



Universidad de Oviedo

Escuela politécnica de Ingeniería de Gijón

Máster en Ingeniería Mecatrónica



Anexo II – Cálculos Iniciales

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.....	3
2. Propiedades mecánicas de los materiales.....	4
3. Características técnicas de brocas y husillos	7
3.1. Fresas.....	7
3.2. Selección de la fresa.....	11
3.3. Brocas.....	12
3.4. Selección de la broca.....	14
3.5. Husillos para fresado	15
3.6. Selección del husillo para fresado	16
3.1. Husillos para punteado-taladrado	16
3.2. Selección del husillo para punteado-taladrado	17
4. Cálculos iniciales	18
4.1. Taladrado-punteado.....	18
4.2. Seta de emergencia.....	19
4.3. Display	21
5. Bibliografía	23



1. INTRODUCCIÓN

En el presente documento se expondrán propiedades mecánicas de los materiales y las características técnicas de las herramientas (fresas y husillos) que se han descrito en la memoria. Además, se realizará la selección de la fresa y el husillo. Para ello, se incluyen una serie de cálculos iniciales en base a los catálogos que justifican la viabilidad de las herramientas seleccionadas para realizar las distintas operaciones sobre las superficies de los armarios eléctricos.

Este documento se dividirá por tanto en un capítulo con las propiedades mecánicas de los materiales presentes en los armarios eléctricos, otro capítulo con características técnicas sobre brocas, fresas y husillos. A continuación, se realizará la selección de las herramientas, en la que se llevará a cabo una justificación de la elección mediante los parámetros obtenidos en los catálogos de los fabricantes. Finalmente, se realizarán unos cálculos básicos de las operaciones a realizar sobre el armario eléctrico.

Se debe tener en cuenta que a priori resulta muy difícil simular unas operaciones con los parámetros de los mecanizados que se realizarán sobre el armario eléctrico. Sin embargo, unos cálculos con operaciones genéricas de taladrado y fresado, serán suficientes para analizar la viabilidad de la solución.

2. PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MATERIALES

Los materiales más comúnmente utilizados en armarios eléctricos son el acero, el aluminio y el polímero. A lo largo de la memoria del presente proyecto, se ha citado cuales serían los espesores máximos a mecanizar de los distintos materiales. A continuación, se muestran dicha lista de materiales junto con sus propiedades mecánicas:

- 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. Se ha seleccionado el **acero S275JR**, debido a la facilidad para encontrar stock y a lo conocido que resulta en el campo estructural. Puesto que el cincado consiste en un tratamiento que se le da al acero para mejorar sus propiedades estéticas y permitir lacarlo o pintarlo, no se analizará por separado. En la siguiente imagen (fig. 2.1), se muestran las propiedades mecánicas del acero S275JR.

	Sentido	Espesor (mm)	R _e (MPa)	R _m (MPa)	A ₈₀ (%)
S235JR EN 10025-2	L	6 - 20	-	-	-
	T	1,5 - 2	≥ 235	360 - 510	≥ 17
		2 - 2,5			≥ 18
		2,5 - 3			≥ 19
		3 - 16	-		
		16 - 20	≥ 225		-

Figura 2.1- Propiedades mecánicas del acero S275JR.

En la imagen anterior (fig. 2.1), se observan las propiedades mecánicas para un espesor de 2 mm. Se muestra el límite elástico (Re), la resistencia a la tracción (Rm) y el alargamiento a rotura (A₈₀). Las propiedades han sido extraídas del catálogo del fabricante ArcelorMittal.

- Chapa de acero galvanizado de máximo 3 mm de espesor. El galvanizado es un recubrimiento adicional que se aplica al acero para evitar que este se oxide y que por ello se deteriore notablemente. A efectos del mecanizado objetivo del presente proyecto, no producirá grandes cambios y por ello se recurrirá al acero S275JR cuyas propiedades mecánicas se han descrito en la anterior imagen (fig. 2.1). Las propiedades para un espesor de 2 mm o de 3 mm, son prácticamente idénticas.

- Chapa de acero inoxidable **AISI 304L** de máximo 2 mm de espesor. En la siguiente tabla (tabla 2.1), se muestran las propiedades mecánicas de este material.

Re (MPa)	210
Rm (MPa)	564
A ₈₀ (%)	18

Tabla 2.1- Propiedades mecánicas del acero AISI 304L.

En la tabla anterior (tabla 2.1), se observan las propiedades mecánicas para un espesor de 2 mm. Se muestra el límite elástico (Re), la resistencia a la tracción (Rm) y el alargamiento a rotura (A₈₀). Las propiedades han sido extraídas del catálogo del fabricante de chapa asturiano Metalasa.

- Chapa de acero laminado en frío **EN10130 DC04** de máximo 1,2 mm de espesor. En la siguiente tabla (tabla 2.2), se muestran las propiedades de este material.

Re (MPa)	210
Rm (MPa)	270-350
A ₈₀ (%)	28

Tabla 2.2- Propiedades mecánicas del acero EN10130 DC04.

En la imagen anterior (tabla 2.2), se observan las propiedades mecánicas para un espesor de 1,2 mm. Se muestra el límite elástico (Re), la resistencia a la tracción (Rm) y el alargamiento a rotura (A₈₀). Las propiedades han sido extraídas del fabricante ArcelorMittal.

- Chapa de aluminio **AlMg3** de 2 mm de espesor de máximo. En la siguiente tabla (tabla 2.3), se muestran las propiedades de este material.

Re (MPa)	80
Rm (MPa)	200
A ₈₀ (%)	15

Tabla 2.3- Propiedades mecánicas del aluminio AlMg₃.

En la tabla anterior (tabla 2.3), se observan las propiedades mecánicas para un espesor de 2 mm. Se muestran el límite elástico (Re), la resistencia a la tracción (Rm) y el alargamiento a rotura (A₈₀). Las propiedades han sido extraídas del catálogo del fabricante de aluminio Alcoa.

- Chapa de **poliéster** de 12 mm de espesor. Como se ha comentado en la memoria, debido a la dificultad para estimar las propiedades de este material cuando es reforzado con fibra de vidrio y acero, se mayorarán las propiedades obtenidas empleando un coeficiente de seguridad. En la siguiente tabla (tabla 2.4), se muestran las propiedades de este material.

Re (MPa)	63
Rm (MPa)	78
A ₈₀ (%)	4,7

Tabla 2.4- Propiedades de la chapa de resina de poliéster.

En la tabla anterior (fig. 2.4), se observan las propiedades mecánicas de la chapa de resina de poliéster para un espesor de 12 mm. Se muestran el límite elástico (Re), la resistencia a la tracción (Rm) y el alargamiento a rotura (A₈₀). Las propiedades han sido extraídas de una base de datos sobre polímeros en línea.

3. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE BROCAS Y HUSILLOS

En el presente apartado se mostrarán detalles técnicos sobre las fresas, las brocas y los husillos seleccionados. Éstos, se han descrito brevemente en la memoria del presente proyecto. Además de la información que será descrita en el presente capítulo, se seleccionarán las herramientas y los husillos más apropiados justificándolo con unos cálculos sobre esfuerzos. Para ello, se emplearán las propiedades mecánicas de los materiales que han sido detalladas en el anterior capítulo.

3.1. Fresas

A continuación, se muestra la lista de fresas junto con las propiedades que aporta el fabricante sobre las herramientas:

- En la gama del fabricante Sandvik destacan el modelo CoroMill[®] Plura y el CoroMill[®] 316 para las operaciones a realizar en el armario eléctrico. Sin embargo, la tipología de sujeción del CoroMill[®] Plura empleando un mango cilíndrico resulta más óptimo para los husillos que serán descritos próximamente. Observando el catálogo del fabricante, se debe determinar en primer lugar la operación a realizar. Como se ha comentado en la memoria del presente proyecto, las operaciones son taladrados y cajeados (traspasando o no la superficie del material), es decir, según las operaciones que se observan en el catálogo del fabricante, se debe seleccionar una herramienta que permita mecanizar en vertical, realizar operaciones de fresado helicoidal y mecanizados o cajeados en cavidades. Además, debe ser apta para los materiales que se han descrito en el capítulo anterior. En la siguiente imagen (fig. 3.1), se observa la fresa seleccionada.

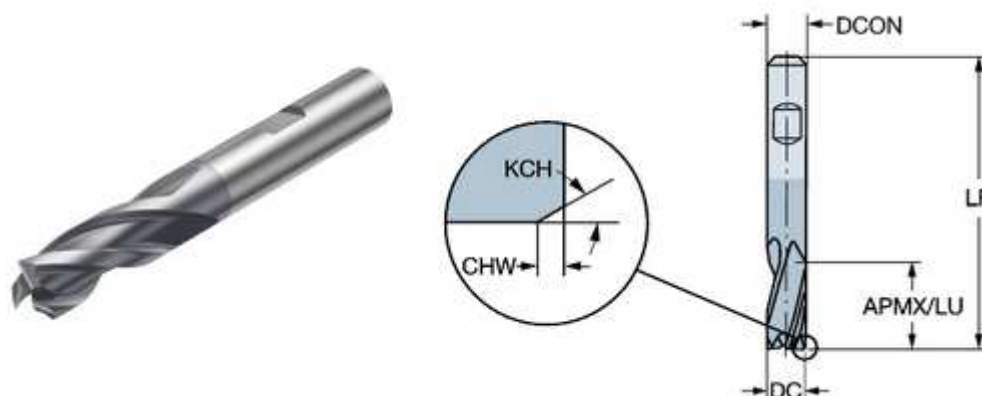


Figura 3.1- Fresa CoroMill® Plura para planeado en escuadra.

En la imagen anterior (fig. 3.1), se observa una fresa para planeado en escuadra. A pesar de la definición que realiza el fabricante, atendiendo a las características que se observan en la siguiente imagen (fig. 3.2), se puede concluir que la fresa es apta para las operaciones objetivo en los materiales descritos anteriormente.



Figura 3.2- Fresa CoroMill® Plura para planeado en escuadra.

El fabricante califica la herramienta como versátil. La variedad de materiales y operaciones que se observan en la imagen anterior (fig. 3.2) son una prueba de ello. Entre los datos que aporta el fabricante, se hace necesario indicar los que se observan en la siguiente tabla (tabla. 3.1).

Diámetro de conexión (DCON – mm)	6
Diámetro de corte (DC – mm)	3
Corte central	Sí

Velocidad de giro máxima (rpm)	80000
Peso (Kg)	0,028
Dureza admisible (HRC)	48
Fuerza de corte específica acero (N/mm ²)	1400 - 3100
Fuerza de corte específica acero inoxidable (N/mm ²)	1800 - 2850
Fuerza de corte específica aluminio (N/mm ²)	350 - 700

Tabla 3.1- Propiedades mecánicas de la Fresa CoroMill® Plura.

Adicionalmente, el fabricante aporta información sobre las velocidades de corte y parámetros de las operaciones para los distintos materiales. Estos aspectos serán tratados en el apartado de comparativa entre las fresas.

- En la gama del distribuidor Virma destaca el modelo NTC Mill del fabricante alemán DUTCH. Se ha seleccionado la fresa de 5 labios que se muestra en la siguiente imagen (fig. 3.3), debido a que es apta para una gran variedad de materiales.



Figura 3.3- Fresa NTC Mill del fabricante DUTCH.

Respecto a la herramienta que se muestra en la imagen anterior (fig. 3.3), el fabricante indica que es apta para mecanizar una gran variedad de materiales hasta una dureza de 48 HRC. En la siguiente imagen (fig. 3.4), se observan algunas características de la fresa, junto a los materiales para los que es recomendable su uso.



Figura 3.4- Características de la fresa y materiales aptos.

En la imagen anterior (fig. 3.4), el fabricante indica que el material es apto para el aluminio y para gran variedad de operaciones. Sin embargo, no aporta detalles sobre los parámetros de las operaciones en un mecanizado de aluminio, ni detalles concretos de si es apto para las operaciones objetivo de este proyecto. En la siguiente tabla (tabla 3.2), se aportan algunos detalles sobre la herramienta.

Diámetro de conexión (DCON – mm)	6
Diámetro de corte (DC – mm)	4
Corte central	Sí
Dureza admisible (HRC)	48
Fuerza de corte específica acero (N/mm ²)	1400
Fuerza de corte específica acero inoxidable (N/mm ²)	1600
Fuerza de corte específica aluminio (N/mm ²)	350 - 700

Tabla 3.2- Propiedades mecánicas de la Fresa NTC Mill.

En la tabla anterior (tabla 3.2), se observa que el diámetro de la herramienta para la conexión con el husillo es de 6 mm. Sin embargo, el diámetro de corte es de 4 mm. Un detalle a tener en cuenta será el excesivo tamaño de corte que puede impedir la realización de determinadas operaciones.

- En la gama del fabricante WNT destaca el modelo MonsterMill. El fabricante califica el modelo como el más versátil de la gama y apto para multitud de materiales. Sin embargo, tras analizar en detalle el catálogo de especificaciones. No existe una herramienta que permita realizar las operaciones objetivo del presente proyecto en los materiales descritos anteriormente. Por tanto, se debe descartar este fabricante.

3.2. Selección de la fresa

En el presente apartado se realizará la selección de la herramienta o fresa más apropiada para el objetivo del presente proyecto. En el apartado anterior se ha descartado la fresa del fabricante WNT ya que no es apta para el mecanizado de todos los materiales descritos. Por tanto, sería necesario realizar un cambio de herramienta y como se indica en los requisitos del diseño, es algo no deseable.

En relación a las otras dos herramientas descritas, la fresa del fabricante Sandvik y la del fabricante Dutch, el fabricante de la segunda no deja claro si puede realizar las operaciones que se han descrito en el armario eléctrico. Además, como también se ha comentado anteriormente, se desconoce el comportamiento de la fresa al mecanizar aluminio. Adicionalmente, la fresa del fabricante Sandvik aporta más información sobre datos de corte y parámetros de las operaciones. Por último, el diámetro de corte de la herramienta del fabricante Dutch es excesivo para las operaciones que se detallan en el presente documento y también en la memoria del presente proyecto. Estos argumentos son suficientes para seleccionar el modelo CoroMill® Plura.

En la siguiente tabla (tabla 3.3), se citan algunos parámetros de corte para las operaciones a realizar en función del material en el que se realice el mecanizado.

	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	0,1800	7,5
------------------	-----	--------	-----

Tabla 3.3- Parámetros de corte en función del material.

En la tabla anterior (tabla 3.3), 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. La velocidad de corte, el avance y la profundidad de corte máxima será determinada en base a los valores que se han obtenido tras una búsqueda de operaciones similares realizadas en polímeros. Además, se realizarán una serie de ensayos en piezas de polímero con el mismo espesor para determinar los parámetros de corte más adecuados.

En la tabla, también se observa que la velocidad de corte máxima que se podría alcanzar realizando una operación en los materiales anteriormente descritos, es de 920 m/min. A continuación, se muestra la ecuación (ec. 3.1) que relaciona la velocidad de corte, con la velocidad de giro del motor y el diámetro de la herramienta:

$$V \left[\frac{m}{min} \right] = \frac{\pi \times d [mm] \times n \left[\frac{rev}{min} \right]}{1000} \quad (ec. 3.1)$$

Sustituyendo los datos: $d = 3,175$ mm y $V = 330$ m/min, se obtiene una velocidad de giro máxima de aproximadamente 17500 rpm. En el apartado de selección del husillo para fresado (3.6), se analizará lo que supone este resultado.

3.3. Brocas

Como se ha comentado en la memoria del presente proyecto, será necesario realizar un punteado o un taladrado previo al re-taladrado objetivo. Esto asegurará una mayor precisión y una correcta colocación de la herramienta en la segunda operación. A continuación, se muestra la lista de brocas junto con las propiedades que aporta el fabricante sobre las herramientas:

- En la gama del fabricante Sandvik destaca el modelo CoroDrill® R840. Como se podrá observar en el capítulo de cálculos iniciales, haciendo referencia a los diámetros de punteado o taladrado, será necesario seleccionar una herramienta cuyo diámetro de corte sea de 2 mm. En la siguiente imagen (fig. 3.5), se muestran algunos detalles de la herramienta.

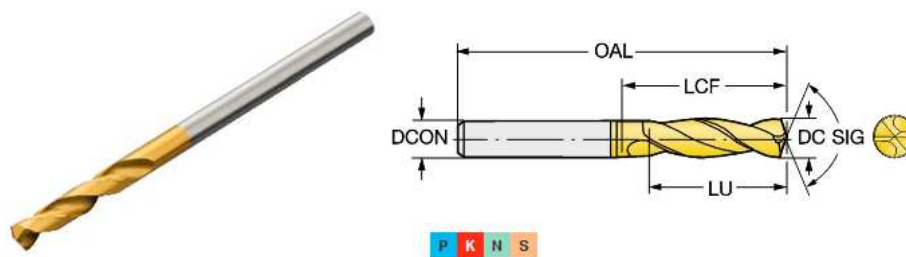


Figura 3.5- Apariencia de la broca y materiales aptos.

En la imagen anterior (fig. 3.5), se observa que la broca es apta para el mecanizado de acero (código ISO P) y aluminio (código ISO N). En la siguiente tabla (tabla 3.4), se muestran algunas propiedades mecánicas de la herramienta.

Diámetro de conexión (DCON – mm)	2
Diámetro de corte (DC – mm)	2
Dureza admisible (HRC)	48
Fuerza de corte específica acero (N/mm ²)	1000
Fuerza de corte específica acero inoxidable (N/mm ²)	950
Fuerza de corte específica aluminio (N/mm ²)	400

Tabla 3.4- Propiedades mecánicas de la broca CoroMill® R840.

En la tabla anterior (tabla 3.4), se observa que, a diferencia de las fresas detalladas anteriormente, la broca tiene un diámetro continuo en toda su longitud. Estas características son propicias para los husillos para taladrado y punteado que se detallarán en próximos apartados.

- En la gama del fabricante WNT destaca el modelo VX 3xD Mastertool Performance. La herramienta seleccionada tiene la peculiaridad de admitir gran variedad de materiales. Esta broca de alto rendimiento posee un sistema de autocentrado óptimo en base a su diseño. En la siguiente imagen (fig. 3.6), se muestran algunas características de la herramienta.



Figura 3.6- Apariencia de la broca y materiales aptos.

En la imagen anterior (fig. 3.6), se observa que la broca es apta para el mecanizado de acero, acero inoxidable y aluminio. A pesar de que el fabricante no lo indica, se han observado prototipos de máquinas de control numérico (CNC) para el mecanizado de plásticos dónde la fresa desarrollada es la utilizada para las operaciones de taladrado. En la siguiente tabla (tabla 3.5), se observan las propiedades mecánicas de la herramienta.

Diámetro de conexión (DCON – mm)	3
Diámetro de corte (DC – mm)	2
Dureza admisible (HRC)	48
Fuerza de corte específica acero (N/mm ²)	800
Fuerza de corte específica acero inoxidable (N/mm ²)	850
Fuerza de corte específica aluminio (N/mm ²)	350

Tabla 3.5- Propiedades mecánicas de la broca VX 3xD Mastertool Performance.

En la tabla anterior (tabla 3.5), se observa que a diferencia de la broca de Sandvik, la broca seleccionada tiene un diámetro de conexión con el husillo de 3 mm y un diámetro de operación para taladrado y punteado de 2 mm.

3.4. Selección de la broca

En el presente apartado se realizará la selección de la broca más apropiada para el objetivo del presente proyecto. En relación a la broca del fabricante Sandvik, no se asegura

que se apta para el mecanizado de Acero Inoxidable. Ésta, es una razón suficiente para seleccionar la broca del fabricante WNT.

En la siguiente tabla (tabla 3.6), se citan algunos parámetros de corte para las operaciones a realizar en función del material en el que se realice el mecanizado.

	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 3.6- Parámetros de corte en función del material.

En la tabla anterior (tabla 3.6), 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, como se ha comentado anteriormente, se han observado varios prototipos donde se utilizaba esta herramienta para el taladrado en polímero. Se deberán realizar ensayos para determinar la velocidad de corte, el avance, la velocidad del husillo y la profundidad de corte máxima en una operación de punteado o taladrado en un polímero.

3.5. Husillos para fresado

En la siguiente tabla (tabla 3.7), se muestran las características de los husillos que se han descrito en la memoria del presente proyecto para las operaciones de fresado (taladrado, cajado, fresado helicoidal, etc.).

Fabricante	Potencia (W)	n_{max} (rpm - en vacío)	Peso (kg)	d_{adm} fresa (mm)
Kress	1050	25000	1,3	2 - 8

Makita	710	30000	1,8	6 - 8
DeWALT	900	27000	1,9	6 - 8
Bosch	600	33000	1,5	6 - 8

Tabla 3.7- Características de los husillos seleccionados.

Como se puede observar en la tabla anterior (tabla 3.7), la máxima velocidad en vacío es la producida por la máquina de Bosch. Sin embargo, la escasa potencia con respecto a las otras herramientas y la ausencia de información hace que no resulte una decisión segura.

3.6. Selección del husillo para fresado

Se ha optado por el fabricante Kress ya que tiene un rango de velocidades muy amplio, siendo el valor máximo de la velocidad 25000 rpm. La velocidad máxima alcanzada por el husillo es muy superior a la que se ha calculado anteriormente (17500 rpm). El peso de 1,7 kg es la media de los obtenidos en los distintos fabricantes. La gran cantidad de información obtenida sobre las distintas aplicaciones del husillo, 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.

En el catálogo del fabricante Kress relacionado con el husillo seleccionado, se puede observar cómo se incluyen todos los planos del dispositivo. Esta información será muy importante y necesaria en el diseño del dispositivo objetivo del presente proyecto.

3.1. Husillos para punteado-taladrado

En la siguiente tabla (tabla 3.8), se muestran las características de los husillos que se han descrito en la memoria del presente proyecto para la realización de las operaciones de punteado y taladrado.

Fabricante	Potencia (W)	n_{max} (rpm - en vacío)	Peso (kg)	d_{adm} fresa (mm)
Kress	530	25000	1,3	2 - 8

Icroato	400	12000	1,3	1 - 5
WLXY	75	12000	0,5	1 - 3

Tabla 3.8- Características de los husillos seleccionados.

Como se puede observar en la tabla anterior (tabla 3.8), la máxima velocidad en vacío es la producida por la máquina de Kress. Se han seleccionado varias herramientas con distintas potencias y dimensiones. Sin embargo, haciendo referencia a los datos obtenidos en el apartado de selección de la broca, la elección del husillo es bastante clara.

3.2. Selección del husillo para punteado-taladrado

Se ha optado por el fabricante Kress ya que tiene un rango de velocidades muy amplio, siendo el valor máximo de la velocidad 25000 rpm. La velocidad máxima alcanzada por el husillo es muy superior a la que se ha calculado anteriormente (11000 rpm). El peso de 1,3 kg es contenido, tratándose de un dispositivo con esta capacidad de trabajo. La elección está fundamentada en la potencia del dispositivo, puesto que un gran par asegura una buena confiabilidad en la herramienta.

En el catálogo del fabricante Kress relacionado con el husillo seleccionado, se puede observar cómo se incluyen todos los planos del dispositivo. Esta información será muy importante y necesaria en el diseño del dispositivo objetivo del presente proyecto. Se debe tener en cuenta que al haber seleccionado dos husillos del mismo fabricante, es muy probable que dé pie a obtener una buena rebaja económica en el precio de los mismos.

4. CÁLCULOS INICIALES

En el presente apartado se recogen unos cálculos sobre operaciones genéricas de punteado-taladrado, fresado y retaladrado en los materiales seleccionados a partir de las especificaciones técnicas de la fresa, la broca y los husillos seleccionados. Se simularán una serie de operaciones básicas a realizar en un armario eléctrico: el punteado y taladrado realizado en un agujero roscado para la fijación de un tornillo, el agujero de una seta de emergencia y el cajado de un display. El material seleccionado, será el acero S275JR.

4.1. Taladrado-punteado

En la siguiente imagen (fig. 4.1), se observa un conector RS232 que se debe situar en una cara del armario eléctrico. Por tanto, sería necesario realizar dos agujeros que posteriormente se roscarían para fijar los tornillos del conector macho (además del cajado de la parte central).



Figura 4.1- Conector RS232 hembra.

Haciendo referencia al plano que se incluye en la memoria del presente proyecto, el diámetro de los agujeros es de 3 mm. Sin embargo, teniendo en cuenta que éstos están roscados, se debería practicar una operación de punteado o taladrado con una broca de 2 mm de diámetro como la que se ha seleccionado. En la tabla anterior (tabla 3.6), se muestran los parámetros de la operación a realizar. Además, teniendo en cuenta que el espesor de la pared es de 2 mm, se podría realizar la operación en una sola vez. Cabe destacar, que esta operación

de taladrado se realizará como un punteado previo en las operaciones que se muestran a continuación.

4.2. Seta de emergencia

En la siguiente imagen (fig. 4.2), se observa una seta de emergencia del fabricante alemán EUCHNER para encastrar en un armario eléctrico.



Figura 4.2- Seta de emergencia del fabricante EUCHNER.

La seta de la imagen anterior (fig. 4.2), tiene un diámetro (en la zona que contacta con el armario eléctrico) de 12 mm. Como se ha comentado anteriormente, la fresa seleccionada tiene un diámetro efectivo de 6 mm. Por tanto, la operación a realizar será un fresado en rampa circular o interpolación helicoidal. Para realizar esta operación, el primer paso corresponde a una operación de taladrado. En la siguiente imagen (fig. 4.3), se observa el inicio de la operación en puntos suspensivos.

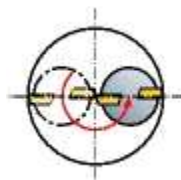


Figura 4.3- Croquis de la interpolación helicoidal.

Antes de abordar la operación de taladrado se debe tener en cuenta que el acero seleccionado tiene una tensión de rotura de 36 kg/mm^2 . Teniendo en cuenta este valor, el fabricante recomienda una velocidad de corte de: $V_c = 18 \text{ m/min}$. A partir de la velocidad de corte se han determinado las revoluciones necesarias de la máquina:

$$N \text{ (rpm)} = \frac{18 \left(\frac{m}{min} \right) \times 1000}{\pi \times 2 \text{ mm}} \approx 2800 \text{ rpm} \quad (\text{ec. 4.1})$$

Como se puede observar en la ecuación anterior (ec. 4.1), la primera parte de la operación se realizará con una velocidad de 2800 rpm. Dicho valor, es perfectamente obtenible con el husillo seleccionado. Otro factor a comprobar está relacionado con el espesor de 2 mm a mecanizar. La herramienta tiene una longitud de corte efectiva de 7,5 mm, es decir, sería factible realizar el agujero en una sola operación. En cuanto a la segunda parte de la operación, el fresado helicoidal, se debe comprobar si el diámetro de la fresa es admisible para realizar esa operación:

$$D_{max} = D_{fresa} \times 2 = 12 \text{ mm} \quad (\text{ec. 4.2})$$

Como se puede observar en la ecuación anterior (ec. 4.2), el diámetro máximo para realizar la operación de fresado helicoidal con la fresa disponible es de 12 mm. Por tanto, el valor de 12 mm es perfectamente admisible por la herramienta. Los últimos valores a determinar serán la velocidad de corte para la operación, el paso y la velocidad de giro del husillo.

En la tabla anterior (tabla 3.3), se indica que la velocidad de corte máxima para una operación de fresado sobre el acero es de 245 m/min. El fabricante establece que la velocidad de corte debe situarse entre la velocidad de corte para el taladrado y la máxima admisible para el fresado. Por tanto, una velocidad entre 100 m/min y 150 m/min será suficiente. A partir de la velocidad de corte se han determinado las revoluciones necesarias de la máquina:

$$N \text{ (rpm)} = \frac{150 \left(\frac{m}{min} \right) \times 1000}{\pi \times 6 \text{ mm}} \approx 8000 \text{ rpm} \quad (\text{ec. 4.3})$$

Como se puede observar en la ecuación anterior (ec. 4.3), se ha realizado el cálculo con una velocidad de corte de 150 m/min. Por último, cabe destacar que a medida que se realiza la operación de mecanizado en rampa, se puede incrementar la velocidad paulatinamente hasta alcanzar la máxima para la operación de fresado.

En cuanto al paso de la operación, no debe ser mayor que la profundidad máxima de corte de la herramienta. Con un espesor de acero de 2 mm y una profundidad máxima de 7,5 mm, el margen es más que suficiente.

4.3. Display

En la siguiente imagen (fig. 4.4), se observa un display del fabricante MORNING para encastrar en un armario eléctrico.



Figura 4.4- Display del fabricante MORNING.

En la imagen anterior (fig. 4.4), se observa un display con las siguientes medidas: 72 mm x 72 mm. Como se ha comentado anteriormente, la fresa tiene un diámetro de 6 mm. Por tanto, la operación a realizar será inicialmente de taladrado, para luego finalizar con un fresado (o cajeadado traspasando el material) del área necesaria para colocar el display. En la siguiente imagen (fig. 4.5), se observa la operación de fresado a realizar tras el taladrado de la superficie del armario eléctrico.

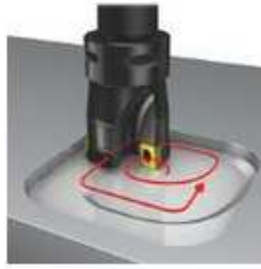


Figura 4.5- Operación de fresado.

La operación de taladrado a realizar tendrá los mismos parámetros que la comentada en el anterior apartado. Por tanto, se empleará una velocidad de corte de 18 m/min y una velocidad del husillo de aproximadamente 950 rpm. En cuanto a la operación de fresado, la velocidad de corte máxima que indica el fabricante de la fresa es de 245 m/min. Sin embargo, una velocidad de corte de entre 150 m/min y 180 m/min será suficiente para realizar la operación sin comprometer la duración de la herramienta y el deterioro del husillo. A partir de la velocidad de corte, se han determinado las revoluciones necesarias de la máquina:

$$N \text{ (rpm)} = \frac{180 \left(\frac{m}{min} \right) \times 1000}{\pi \times 6 \text{ mm}} \approx 9550 \text{ rpm} \quad (\text{ec. 4.4})$$

Como se puede observar en la ecuación anterior (ec. 4.4), se ha realizado el cálculo de la velocidad del husillo en base a la velocidad máxima de corte.



5. BIBLIOGRAFÍA

Sitios Web:

- (1) <http://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=MQ304L>. Fecha de visita a la web: 5 de Mayo de 2017.
- (2) <http://industeel.arcelormittal.com/wp-content/uploads/2016/01/DS-INOX-UR304Lv2.pdf>. Fecha de visita a la web: 5 de Mayo de 2017.
- (3) <http://www.metalasa.es/>. Fecha de visita a la web: 5 de Mayo de 2017.
- (4) <http://www.alcoa.com/spain/es/default.asp>. Fecha de visita a la web: 5 de Mayo de 2017.
- (5) <http://www.polymerlibrary.com/OpenAccessPDFs/1089315.pdf>. Fecha de visita a la web: 5 de Mayo de 2017.
- (6) <https://www.euchner.de/de-de/>. Fecha de visita a la web: 28 de Mayo de 2017.
- (7) www.morning-group.com. Fecha de visita a la web: 30 de Mayo de 2017.

Catálogos de fresas:

- (1) Categorías ISO de materiales:
<http://www.sandvik.coromant.com/es-es/knowledge/materials/introduction/pages/default.aspx>. Fecha de visita a la web: 10 de Mayo de 2017.
- (2) Fresa del fabricante Sandvik:
<http://www.sandvik.coromant.com/es-es/products/pages/productdetails.aspx?c=1P231-0650-XB 1630>. Fecha de visita a la web: 10 de Mayo de 2017.
- (3) Fresa del fabricante Dutch:
http://www.dutchtechtools.com/upload/product_pdf/1972507478_1478938445.pdf.
Fecha de visita a la web: 10 de Mayo de 2017.



- (4) Enlace de descarga del catálogo de fresas del fabricante WNT:

https://media.wnt.com/dwn/es/catalogo/9903400016_wnt%20el%20catalogo%202016%20-%202013%20fresas%20de%20metal%20duro%20integral.pdf. Fecha de visita a la web: 15 de Mayo de 2017.

Catálogos de brocas:

- (1) Broca del fabricante Sandvik:

http://www.sandvik.coromant.com/es-es/products/pages/productdetails.aspx?c=R840-0200-50-A0B_1020. Fecha de visita a la web: 12 de Junio de 2017.

- (2) Enlace de descarga del catálogo de brocas del fabricante WNT:

https://media.wnt.com/dwn/es/catalogo/9903400016_wnt%20el%20catalogo%202016%20-%202001%20brocas%20de%20hss.pdf. Fecha de visita a la web: 12 de Junio de 2017.

Catálogos de husillos de fresado:

- (1) Husillo del fabricante Kress:

http://www.kress-elektrik.de/Herramientas-electricas.71+M527552492bd.0.html?&tx_commerce_pi1%5BcatUid%5D=17&tx_commerce_pi1%5BmDepth%5D=1&tx_commerce_pi1%5Bpath%5D=2%2C68. Fecha de vista a la web: 7 de Mayo de 2017.

- (2) Husillo del fabricante Makita:

<http://www.makita.es/tool/22150/RT0700C.html>. Fecha de visita a la web: 7 de Mayo de 2017.

- (3) Husillo del fabricante DeWalt:

<http://productos.dewalt.es/powertools/productdetails/catno/D26200/>. Fecha de visita a la web: 7 de Mayo de 2017.

- (4) Husillo del fabricante Bosch:



<https://www.bosch-professional.com/es/es/gkf-600-11578-ocs-p/>. Fecha de visita a la web: 7 de Mayo de 2017.

Catálogos de husillos de taladrado:

(1) Husillo del fabricante Kress:

http://www.kress-elektrik.de/Herramientas-electricas.71+M527552492bd.0.html?&tx_commerce_pi1%5BcatUid%5D=17&tx_commerce_pi1%5BmDepth%5D=1&tx_commerce_pi1%5Bpath%5D=2%2C68.
Fecha de vista a la web: 7 de Mayo de 2017.

(2) Husillo del fabricante Icroato:

<https://es.aliexpress.com/item/52mm-cnc-spindle-400w-ER11-chuck-DC-12-48v-400W-Spindle-motor-cnc-for-Engraving-Machine/32749909037.html?spm=2114.43010308.4.12.vTJpmP>. Fecha de visita a la web: 12 de Junio de 2017.

(3) Husillo del fabricante XLXY:

<http://www.ebay.es/itm/2-2KW-ER20-WATER-COOLED-SPINDLE-MOTOR-AND-2-2KW-VFD-MATCHED-INVERTER-DRIVE-/250748327119>. Fecha de visita a la web: 12 de Junio de 2017.