



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

TÍTULO

DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MATRIZ PARA EXTRUSIÓN

Autor

Juan Jesús Valdivia Sánchez

Director

José Manuel Franco

Titulación

Grado en Ingeniería Mecánica

Escuela de Ingeniería y Arquitectura

Febrero de 2016



Escuela de
Ingeniería y Arquitectura
Universidad Zaragoza

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD

(Este documento debe acompañar al Trabajo Fin de Grado (TFG)/Trabajo Fin de Máster (TFM) cuando sea depositado para su evaluación).

TRABAJOS DE FIN DE GRADO / FIN DE MÁSTER

D./D^a. Juan Jesús Valdivia Sánchez

con nº de DNI 76973873A en aplicación de lo dispuesto en el art.

14 (Derechos de autor) del Acuerdo de 11 de septiembre de 2014, del Consejo

de Gobierno, por el que se aprueba el Reglamento de los TFG y TFM de la

Universidad de Zaragoza,

Declaro que el presente Trabajo de Fin de (Grado/Máster)

Grado _____, (Título del Trabajo)

Diseño y fabricación de matriz para extrusión.

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

Zaragoza, 11/01/2016

Fdo: Juan Jesús Valdivia Sánchez

Diseño y fabricación de matriz para extrusión.

RESUMEN

En el presente trabajo se pretende cubrir el planteamiento, diseño y verificación de una matriz de extrusión, dando solución al proceso de fabricación de la misma y su puesta a punto en prensa.

Se parte de un perfil dado, a implementar en una matriz con dos salidas. En el proceso de diseño de la misma se contemplan las dilataciones y deformación del perfil desde su salida de la matriz hasta la temperatura ambiente, teniéndolo en cuenta en el dimensionado del perfil. Es implementada a su vez en la salida del perfil un espesor de contacto con el aluminio de espesor variable para la regulación de la velocidad de la tira extruida, además del diseño del SINK-IN. Para la verificación de la matriz se ha propuesto una simulación de la placa de extrusión en la cual se verifican las tensiones y los giros producidos en las zonas de mayor desplazamiento y una simulación FEM no lineal con la que se pretende comparar los efectos producidos al variar un parámetro de salida.

Proceso de fabricación de la matriz partiendo del acero en bruto hasta la puesta a punto en máquina.

Se expone la terminología usada, obtención de términos numéricos, formulas y cálculos intermedios, en los anexos.

- Anexo I: Conceptos y bases acerca de las herramientas de extrusión

En este primer anexo se exponen las diferentes partes de las que puede estar compuesta una prensa común, una matriz de extrusión y los materiales de los que están compuestos, así como la definición y comportamiento del aluminio en caliente.

- Anexo II: Diseño

Se exponen los métodos y criterios, además de cálculos, para obtención de las zonas sensibles para el diseño de la matriz de extrusión, siendo: Cálculo de la presión, efectos de la dilatación y regulación de alturas para las salidas.

- Anexo III: Comportamiento mecánico del acero

Obtención de los límites de rotura y elástico.

- Anexo IV: Análisis FEM lineal y no lineal

Se exponen todos los pasos intermedios en la implementación del problema en el programa FEM, estos pasos son expresados tanto para el caso de la simulación lineal de la matriz, así como la simulación no lineal con la variación del ángulo a la salida del perfil.

- Anexo V: Fabricación.

Son expuestas las hojas de procesos para la obtención de la placa matriz, una breve descripción de las maquinas empleadas en el proceso, además de una justificación de las mismas, las herramientas comerciales seleccionadas según catalogo para la ejecución del arranque de viruta en la placa, y sus condiciones de corte. También se expone el proceso de templado en la placa matriz con los tratamientos térmicos que se han considerado más adecuados para obtención de la dureza deseada. Para terminar, se expone el procedimiento de montaje del conjunto matriz sobre la prensa.

- Anexo VI: Planos.

En este apartado se presentan los planos finales para la comprensión de las partes del conjunto mecánico.

INDICE

1	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	OBJETIVO GENERAL	1
1.2	CONTENIDOS.....	1
2	CONCEPTOS Y BASES ACERCA DE LAS HERRAMIENTAS PARA EXTRUSIÓN	1
3	PERFIL A EXTRUSIONAR Y PRENSA	2
3.1	GEOMETRÍA A CONSEGUIR.....	2
3.2	MATERIAL A EXTRUIR	2
3.3	PRENSA.....	3
4	DISEÑO DE MATRIZ DE EXTRUSIÓN DE ALUMINIO.....	4
4.1	PARTES NECESARIAS PARA EL PERFIL REQUERIDO	4
4.2	PRESIÓN	5
4.3	DIMENSIONADO DE LA SALIDA DEL PERFIL	6
4.4	POSICIONADO DE LOS PERFILES EN LA MATRIZ	7
4.5	IMPLEMENTACIÓN DEL ROCE.....	8
4.6	IMPLEMENTACIÓN PRECAMARA SINK-IN.....	9
4.7	DETERMINACIÓN DIAMETRO Y ESPESOR DE LA MATRIZ.	10
4.8	ANALISIS FEM.....	12
4.8.1	SIMULACION FEM.....	12
4.8.2	ANALISIS DE LOS RESULTADOS.....	13
5	FABRICACIÓN.....	19
5.1	FLUJOGRAMA CON EL RECORRIDO DE LA PLACA MATRIZ	19
5.2	HOJA DE PROCESO PARA FABRICACIÓN DE LA PLACA MATRIZ	21
6	PRESUPUESTO	26
	BIBLIOGRAFIA.....	27
7	ANEXO I: CONCEPTOS Y BASES ACERCA DE LAS HERRAMIENTAS PARA EXTRUSIÓN.....	29
7.1	CONJUNTO PRENSA.....	31
7.2	CONJUNTO MATRIZ.....	33
7.3	MATERIALES DE LA PRENSA, MATRIZ Y ALUMINIOS EXTRUIBLES	36
8	ANEXO II: DISEÑO	46
8.1	OBTENCIÓN DE LA PRESIÓN DE EXTRUSIÓN EN FUNCIÓN DEL RATIO.....	47
8.2	CALCULO DE LA DEFORMACIÓN DEL PERFIL	49
8.3	CALCULO DE ROCES.....	53
8.4	REFERENCIAS ALTURA DE ROCE	57
8.5	PROFUNDIDAD DEL SINK-IN.....	58
9	ANEXO III: COMPORTAMIENTO MECANICO DEL ACERO	60
9.1	LIMITE DE ROTURA.....	62

9.2	LIMITE ELÁSTICO	63
10	ANEXO IV: ANALISIS FEM LINEAL Y NO LINEAL.....	64
10.1	PASOS EN LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROBLEMA FEM LINEAL.....	65
10.2	PASOS EN LA REALIZACIÓN DEL ANÁLISIS FEM NO LINEAL.....	71
	ANALISIS NO LINEAL FEM DEL ROCE	77
10.2.1	DESCRIPCIÓN DE LAS GEOMETRÍAS.....	77
10.2.2	CONCLUSIONES.....	80
11	ANEXO V: FABRICACIÓN.....	81
11.1	PROCESO DE FABRICACIÓN.....	82
11.2	INTRODUCCIÓN A LA FABRICACIÓN.....	88
11.3	SELECCIÓN DE HERRAMIENTAS	91
11.4	TEMPLADO.....	103
11.5	MONTAJE EN PRENSA DE LA MATRIZ.....	108
12	ANEXO VI: PLANOS.....	110
13	ANEXO VII: PRESUPUESTO	116
13.1	INTRODUCCIÓN AL PRESUPUESTO.....	117
13.2	CÁLCULO DEL COSTE	118
13.2.1	PLANIFICACIÓN E INGENIERÍA.....	118
13.2.2	OPERACIONES DE MAQUINA PROPIAS	118
13.2.3	OPERACIONES MANUALES	119
13.2.4	LABORES EXTERNALIZADAS	120

1 INTRODUCCIÓN

1.1 OBJETIVO GENERAL

El objetivo principal de este proyecto es implementar una matriz de extrusión de aluminio para producir un perfil con destino al sector de la construcción, en material ligero tipo aleación de aluminio.

1.2 CONTENIDOS

Los contenidos plasmados en este proyecto cubren tanto el proceso de diseño, y su validación, así como su fabricación para la puesta a punto de dicha matriz de extrusión, dando solución geométrica a la parte principal del utillaje herramental, como es la placa extrusora. La redacción se ha ejecutado de forma secuencial, mostrando primero una visión global del proceso de fabricación para extrusión de aluminio y sus utillajes, para posteriormente desarrollar el propio diseño específico. También se incluye un análisis FEM para validación de la placa matriz. Tras el proceso del diseño de la matriz, se propone un proceso de producción de la misma para su implementación en la práctica, así como su valoración económica.

2 CONCEPTOS Y BASES ACERCA DE LAS HERRAMIENTAS PARA EXTRUSIÓN

A modo de resumen se puede determinar que los elementos de extrusión son los siguientes, estos se encuentran expuestos en profundidad, así como los materiales empleados en el ANEXO I. También se habla de la regulación del flujo en el ANEXO IV, donde se simula, en "2D", comparando algunos resultados en tres casos distintos.

Conjunto prensa:

- Vástago: elemento cilíndrico, encargado de aportar la potencia de empuje.
- Disco de empuje: elemento intercambiable, dispuesto entre el vástago y el tocho
- Camisa: superficie cilíndrica que envuelve y contiene el tocho.
- Camisa intermedia: superficie cilíndrica protectora de la camisa, especialmente útil para los casos de altas presiones.
- Manto: soporte de las camisas, de gran robustez, en ocasiones, este lleva integrado un circuito de calefacción para que las camisas alcancen la temperatura de trabajo.

Conjunto matriz:

- Anillo porta matriz: Utillaje empleado para la correcta adaptación de los elementos que componen la matriz en la prensa.
- Alimentador: Primer elemento de contacto con el tocho, ayuda en la entrada del aluminio además de generar un aspecto más homogéneo del material extruido.
- Puente: Empleado en perfiles huecos, se encarga de generar las superficies cerradas del perfil. Aporta un mayor coste y complejidad a la matriz.
- Placa: Elemento incluido en toda matriz, genera toda superficie abierta de un perfil de aluminio cualquiera.

- Soporte o Contramatriz: Aporta cierta rigidez a las zonas más críticas y completa el espacio existente entre el bolster y la placa.
- Bolster: Último elemento del conjunto, ajusta la matriz al anillo.

3 PERFIL A EXTRUSIONAR Y PRENSA

Suponiendo la petición de un cliente, este proporciona un plano del perfil con las dimensiones finales que se requieren. Inicialmente también se dispone de las características de la prensa que se empleará para extruirlo, situada supuestamente en la planta extrusora. Los principales datos determinantes para el diseño buscado son la fuerza que es capaz de ejercer, su diámetro de embolada y la longitud de los anillos portamatrices que se disponen en dicha prensa horizontal.

A partir de este punto se hace un planteamiento detallado desde el perfil propuesto hasta la propuesta de solución final del mismo y su placa matriz.

3.1 GEOMETRÍA A CONSEGUIR

El perfil que se va a considerar se muestra en las figuras 1 y 2, el plano de la misma se encuentra en el ANEXO VI al final del documento.

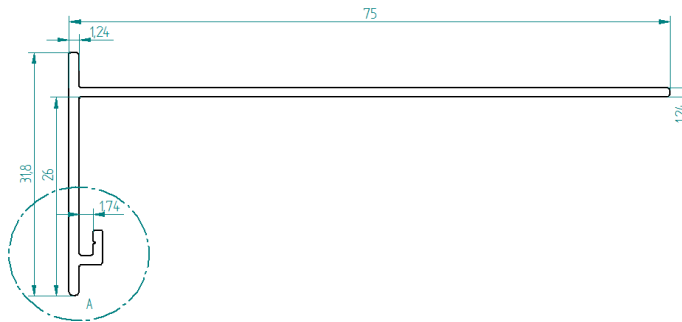


Figura 1. Perfil a fabricar

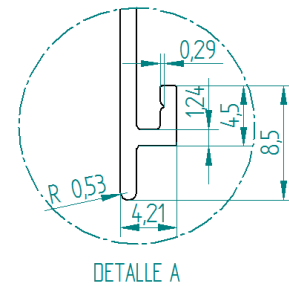


Figura 2. Detalle del perfil a fabricar.

3.2 MATERIAL A EXTRUIR

El material del perfil es una aleación de aluminio-magnesio-silicio designada en norma americana como 6060. En las siguientes figuras se muestran sus características principales.

-6060- (ALUMINIO – MAGNESIO – SILICIO)										
COMPOSICIÓN QUÍMICA										
%	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Oxígenos	Al
Mínimo	0,30	0,10			0,35					
Máximo	0,60	0,30	0,10	0,10	0,60	0,05	0,15	0,20	0,15	El resto

Figura 3. Composición química de la aleación[1]

TRATAMIENTOS DEL ALUMINIO				
Estado	Tratamiento de puesta en solución T°C	Medio de temple	Tratamientos de maduración artificial. Mantenimiento a T° en horas	Maduración natural.
T4	530°C± 5°C	Aire forzado		8 días mínimo.
T5	530°C± 5°C	Aire forzado	8 horas a 175° 5°C o 6 horas a 185° 5°C	
	505°C± 5°C	Agua fría máx. a 40°C	8 horas a 175° 5°C o 6 horas a 185° 5°C	

Figura 4. Tratamientos termicos del aluminio. [1]

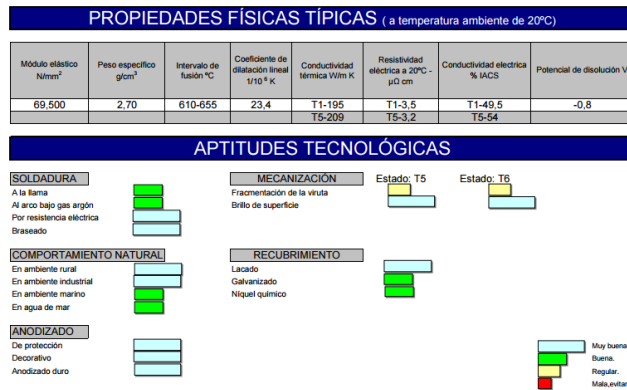


Figura 5 Algunas propiedades mecánicas de la aleación. [1]

Dicha aleación se aplica para perfiles para arquitectura, puertas, ventanas, muros cortina, mobiliario, estructuras, escaleras, peldaños, barandillas, verjas enrejadas, barreras, cercados, disipadores de calor, módulos electrónicos, carcasas para motores eléctricos, sistemas de ensamblado, remaches, elementos especiales para maquinaria, carrocerías de camión, instalaciones neumáticas, tubos de riego, calefacción y refrigeración.

La aleación presenta buena conformabilidad, especialmente en los estados T1 y T4, es muy utilizada para extruir perfiles con secciones complicadas, aleación tratable con características medias y con resistencia inferior a la 6005 A,

3.3 PRENSA

La prensa que se pretende emplear en la extrusión del perfil tiene la disposición horizontal, y se pueden definir tres conjuntos mecánicos principales:

- Mecanismo encargado de dar movimiento al vástago de empuje
- Conjunto mecánico contenedor, en el que está incluido el manto y las camisas
- El conjunto mecánico encargado del posicionado de la matriz.

Cada una de estas partes tiene elementos con funciones dinámicas. La prensa es de gran robustez para poder soportar las tensiones y altas temperaturas.



Figura 6. Prensa de extrusión completa (MZJ-1650).

Las dimensiones exteriores de la prensa en largo, ancho y altura son de 11.2m, 4.2m y 4.2m, respectivamente

La potencia del motor es de 205 KW y potencia de calefacción de 45 KW.

El peso total es de 95 Tn.

La altura de descarga del perfil es de 1335 mm.

Longitud del contenedor es de 780 mm.

El rango de velocidades en el proceso de extrusión va de los 0.3 a los 13 mm/s.

El movimiento del vástago se hace a través de un sistema hidráulico y es controlado con PLC's. La carga de los tochos de aluminio esta automatizada.

La prensa tiene la capacidad de ejercer una fuerza máxima de 16.4 MN.

El diámetro de embolada, embolo de empuje, es de 170 mm.

De este modo se deduce que la presión máxima que puede ejercer es de 648 MPa.

4 DISEÑO DE MATRIZ DE EXTRUSIÓN DE ALUMINIO

4.1 PARTES NECESARIAS PARA EL PERFIL REQUERIDO

Puente. Al no contener el perfil deseado ninguna superficie hueca y cerrada, la matriz no es necesario, ni posible, que disponga de un puente.

Alimentador. Al tener en cuenta la necesidad, o no, de un alimentador, se toma en consideración que este sea estrictamente necesario para la buena implementación del perfil y/o el requerimiento por parte del cliente, que por propia experiencia o estándares de calidad así lo requiere. El alimentador se hace estrictamente necesario cuando la longitud del perfil sobrepasa los límites marcados por la superficie que ocupa el contenedor, o al menos están cerca de sobrepasarlos. Esto se daría en perfiles de grandes dimensiones. Para nuestro caso no se da la situación de sobrepasar o estar cerca del límite ya que el diámetro del contenedor es de 170 mm y la mayor longitud transversal del perfil no llega a los 80 mm. El ahorro de este elemento abarata el conjunto matriz de manera significativa, aportando esta un producto final, (el perfil extruido), con suficiente calidad.

Placa. Para el conformado de cualquier perfil es necesario como mínimo, y elemento fundamental, la placa, estas pueden ser llamadas planas, caso que se expone, o huecas, placas que van acompañadas de un puente.

Soporte y bolster. Tanto el soporte como el bolster tienen el fin de completar el espacio vacío y servir de soporte para la placa, evitando deformaciones excesivas en los puntos críticos durante el proceso de extrusión.

Anillo portamatrices. El anillo portamatrices centra el conjunto de elementos con la salida del aluminio, además de anclarlo para que soporte la presión de empuje.

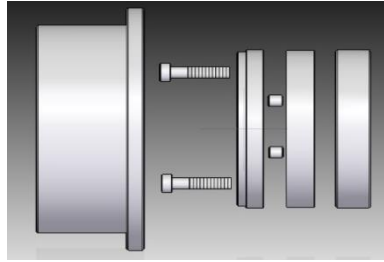


Figura 7. Conjunto matriz explosionado.

4.2 PRESIÓN

Se va a plantear el diseño de la matriz suponiendo la **capacidad de realizar dos perfiles al mismo tiempo**.

Comenzando con la presión necesaria a aplicar sobre el tocho para poder realizar la extrusión de los perfiles con la matriz de dos salidas.

En el **anexo II, apartado obtención de presión**, se indica la obtención de la fórmula EC. 1 que aparece en este apartado para calcular la presión de empuje para la placa. El planteamiento de dicho problema está basado en la igualdad del trabajo aplicado al tocho con el trabajo necesario para la deformación del material, aplicando un rendimiento con el que se supone incluido el trabajo de rozamiento.

$$P_0 = \frac{\left[\frac{K \left(\ln \frac{A_0}{A_f} \right)^{n+1}}{n+1} \right]}{\eta} \quad \text{Ec. 1}$$

Teniendo en cuenta la siguiente información procedente de las características del material, prensa y perfil a extruir se tiene:

Características del aluminio:

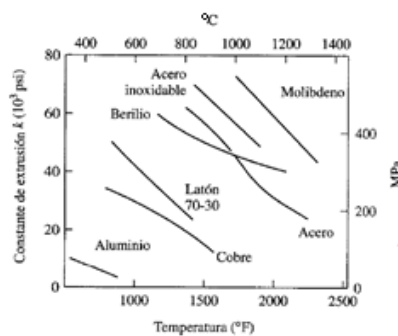


Tabla 4. Valores del exponente de endurecimiento por deformación de la aleación A6060

T / °C	V _{extru} / mm/min	n
T _{amb}	2	0.48
	250	0.40
	500	0.40
400	2	0.17
	250	0.16
	500	0.30

Figura 8 Tabla de datos para la constante de extrusión. [2]

Figura 9 coeficientes de endurecimiento para varios ratios [3].

K	35	MPa
n	0.17	--

Tabla 1. Características obtenidas de fig. 7 y 8.

Características de prensa y perfil:

- Rendimiento considerado: 50%, por ser el más restrictivo [29].
- Área transversal del tocho de aluminio: 25446 mm².

- Área transversal ocupada por los perfiles de aluminio: 280 mm².

Introduciendo los datos queda:

$$P_0 = \frac{\left[\frac{35 \cdot \left(\ln \frac{25446}{280} \right)^{(0.17+1)}}{0.17+1} \right]}{0.5}$$

$$P_0 = 348.53 \text{ MPa} \approx 3485.3 \text{ Bar} \approx 50618.2 \text{ psi}$$

La prensa de la que se dispone es capaz de ejercer una fuerza máxima de 16.4 MN sobre un pistón de superficie 25446 mm². En consecuencia, **puede ejercer una presión máxima de 648 MPa, superior a los 348.53 MPa calculados, garantizando así que el perfil va a poder ser extruido.**

4.3 DIMENSIONADO DE LA SALIDA DEL PERFIL

El proceso de extrusión se realiza a altas temperaturas y esto hace que el aluminio y la matriz se deformen a causa de las dilataciones, tras la extrusión también se realiza el estirado del perfil. El conjunto de estos fenómenos hace que el perfil cambie ligeramente de forma, en el estado de reposo.

El cálculo de las deformaciones se indica en el **anexo II, apartado para cálculo de redimensionado.**

Deformaciones:

Correspondiente a la dilatación del aluminio: $\varepsilon_d = 0.011$

Correspondiente a la tensión del aluminio: $\varepsilon_{ten} \approx -1.55 \cdot 10^{-3}$

Correspondiente a la dilatación del acero: $\varepsilon_{dac} = -5.547 \cdot 10^{-3}$

Correspondiente al estirado: $\varepsilon_e \approx 1.5 \cdot 10^{-3}$

Teniendo en cuenta la dilatación del aluminio, tensiones elásticas, deformación producida por el estirado y la dilatación de la propia matriz se tiene:

$$\varepsilon_t = \varepsilon_d + \varepsilon_{ten} + \varepsilon_{dac} + \varepsilon_e = 0.0054 \equiv 0.54\%$$

A continuación se presenta el perfil a implementar, habiendo modificado las cotas que así lo precisan, dejando iguales las de menor longitud.

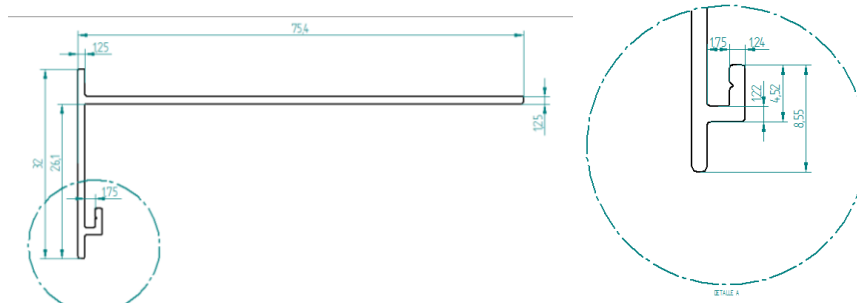


Figura 10. Vista del perfil a implementar en la matriz.

4.4 POSICIONADO DE LOS PERFILES EN LA MATRIZ

Para el posicionado de los perfiles en la placa, soporte y bolster, se debe tener en cuenta:

- Posicionamiento de los perfiles por ergonomía a la salida, pudiendo manejarlos con mayor facilidad por el operario. **En el presente caso no se contempla.**
- **Riesgo de enganche o acoplamiento de estos de forma involuntaria, dificultando la extracción por su gran longitud y altas temperaturas a la salida. Situación susceptible de ocurrir en el presente perfil a extruir.**
- Disposición por parte de la empresa extrusora de alguna de las partes del conjunto matriz, con figuras similares tal que se pueda adaptar al nuevo conjunto matriz y por tanto sirviendo esta de guía para todo el diseño. Situación no contemplada en este caso.
- **Limitaciones dimensionales en la maquinaria principal (pistón empujador) para el extrusionado, que en este caso es de diámetro 170 mm.**
- **Se sabe que el perfil de velocidades dentro del contenedor es similar al de un fluido muy viscoso, teniendo alta velocidad en el centro del contenedor y reduciéndose en los extremos.**

El perfil marcado como "A" tiene una mayor superficie con riesgo de estar demasiado próxima a la superficie exterior, camisa. También se tiene que la parte del perfil de mayor superficie de "B" está situado en la zona interior, estando esta más alejada de la superficie exterior.

Teniendo en cuenta las velocidades dentro del contenedor y la posición relativa de los perfiles se ha buscado alejar el perfil "A" de la pared de la camisa en decremento del perfil "B", dado que este segundo se ve menos afectado por la menor influencia a la que este está expuesto.

A continuación, se presenta el posicionado de los dos perfiles. Colocados de forma que se evita su acoplamiento, además de haber tenido en cuenta que estos quedan dentro del perímetro transversal que ocupa el contenedor de la prensa.

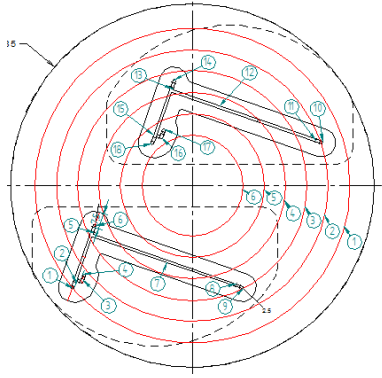


Figura 14. Puntos de cambio de altura.

Punto	Espesor	Punto	Espesor
1	2,2	10	2,6
2	2,7	11	3
3	2,8	12	3,4
4	2,3	13	2,7
5	3,2	14	2,8
6	2,6	15	2,3
7	3,7	16	2,8
8	3,2	17	2,3
9	2,4	18	2,3

Tabla 2. Alturas de roces de acuerdo con los puntos marcados en la figura 13.

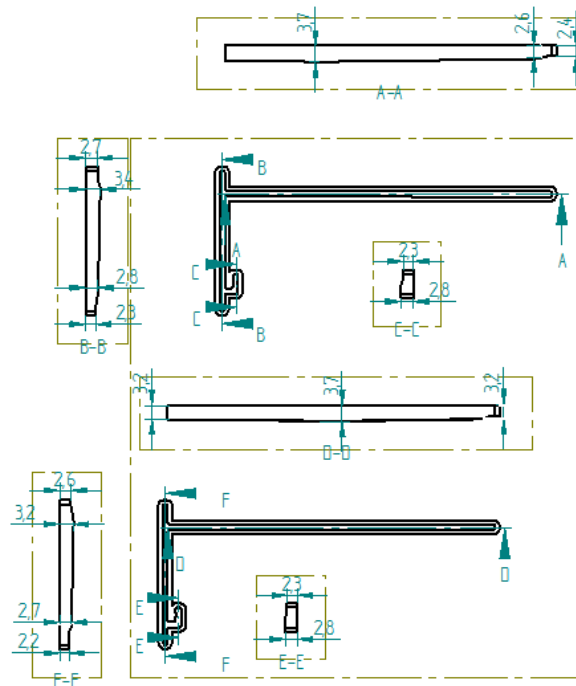


Figura 15. Vista de las alturas de roce implementadas conforme a los resultados.

4.6 IMPLEMENTACIÓN PRECAMARA SINK-IN

Sink-in: Preforma del perfil final, posicionada entre la cara de contacto con el aluminio y el comienzo del roce. Esta preforma puede tener dos finalidades:

- Suavización en el paso del aluminio. Preforma del perfil final.
- Regulación de la velocidad de extrusión.

La regulación de la velocidad se hace con la profundidad de cajera y distancia que separa el roce con la pared de la cajera, llamada offset.

Como norma se podría establecer que el offset aumenta cuando el espesor del perfil de aluminio es pequeño; para facilitar su paso y tiende a disminuir en zonas con gran espesor.

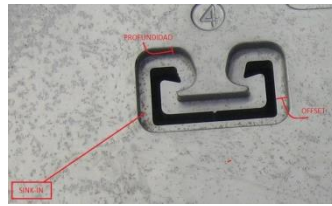


Figura 16. Imagen indicando sink-in.

El objetivo del sink-in en este perfil es la búsqueda de minimizar los defectos en el producto deseado, el Sink-in ayuda a la reducción de estos fenómenos ya que la formación del perfil se hace progresiva.

En el caso del perfil expuesto, la regulación del flujo de aluminio se hace con el roce. Por eso se ha tomado la decisión de diseñar un sink-in con **profundidad constante de 10mm y offset de 12mm.**

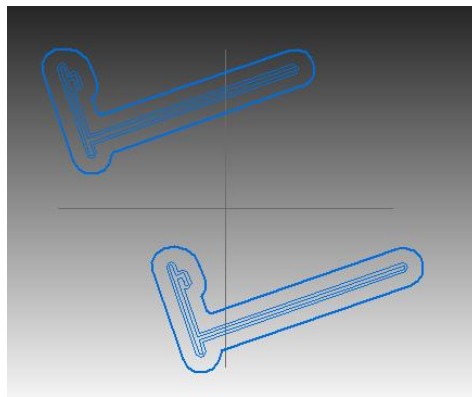


Figura 17. Implementación del contorno del Sink-in en CAD.

4.7 DETERMINACIÓN DIAMETRO Y ESPESOR DE LA MATRIZ.

No existe una normalización en cuanto a los diámetros exteriores de las matrices, esto supone que se tengan que hacer a medida según las dimensiones del anillo portamatrices.

El diámetro interno de esos anillos limita el tamaño de los componentes de la matriz.

Por consiguiente, el **primer limitante será el anillo**, el cual **nos da la profundidad total** que se ha de cubrir, a la vez, **se tiene siempre que tener en cuenta que los materiales sean adecuados y capaces de resistir los esfuerzos.**

Con el dato anterior, la suma total de espesores de todas las partes que sean necesarias, ha de ser la profundidad marcada, con esas partes se entienden: bolster, soporte, placa, puente, alimentador y prealimentador.

$$h_{int,anillo} = h_{bolster} + h_{placa} + h_{soporte} + h_{puente} + h_{alimentador} + h_{prealimentador}$$

Los elementos que no son empleados en el caso que se plantea, son sustituidos por ceros. En nuestro caso son empleadas: bolster, soporte y placa. Siendo en el resto cero.

$$h_{int,anillo} = h_{bolster} + h_{placa} + h_{soporte}$$

Espacio disponible para placa y soporte, suponiendo el espacio del bolster cubierto y teniendo en cuenta el anillo: Ø 228.4 mm y 90.6 mm de espesor, para soporte y placa, teniendo un escalón en el lado de la placa con diámetro de 222.4 mm con longitud de 12.6mm.

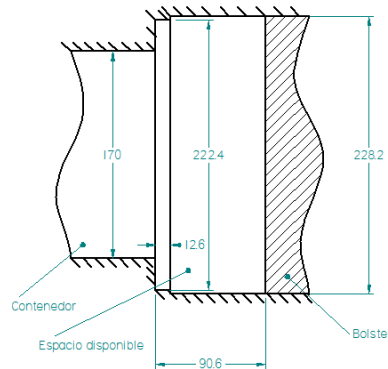


Figura 18. Corte del conjunto contenedor y anillo con el espacio disponible.

De este modo se tiene limitado el espesor a 90.6 mm estando expresado este:

$$90.6 = h_{placa} + h_{soporte} \quad \text{Ec. 2}$$

Inicialmente, a la placa le es asignado un espesor, el espesor es proporcional al diámetro de la misma, esta proporción se da según la regulación interna dentro del sector y de acuerdo con el propio diseñador y cliente.

Una vez seleccionado un espesor mínimo, se opta por la simulación de la placa, exponiendo a esta a la presión de trabajo, expresada en el apartado “4.2” y en el **caso de fallo**, de que la **fuerza aplicada en algún punto supere la fuerza capaz de resistir el material**, se aumentaría el espesor total de la placa o se optaría por reforzar alguna de sus partes, repitiendo la simulación hasta alcanzar el equilibrio adecuado. El otro supuesto de desconformidad se da por **excesiva deformación en la forma de la salida del perfil de aluminio, comparando el ángulo de giro a la salida del perfil, roce, con respecto a la posición de reposo**, el cual es analizado con la simulación FEM.

El espesor inicial aplicado es de 1/6 del diámetro, el cual corresponde a 38 mm, validando posteriormente esta medida con la simulación.

$$h_{placa 1} = 38 \text{ mm}$$

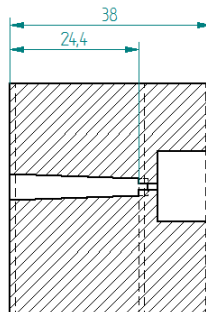


Figura 19. Acotación del detalle de la placa.

4.8 ANALISIS FEM

Para verificar la validez de la placa de la matriz de extrusión, se va a realizar un análisis de tensiones y desplazamientos partiendo del diseño en CAD.

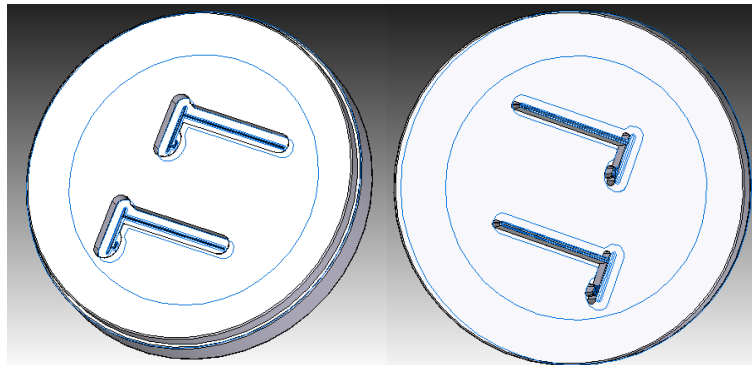


Figura 20. Vista delantera y trasera de la placa a simular.

Este cálculo se realiza mediante software de elementos finitos de propósito general.

La obtención de las propiedades del acero se han indicado en el **anexo III**.

Se van a tomar una serie de consideraciones:

- Para el análisis se va a suponer que el aluminio se comporta como un líquido de gran densidad dentro del conjunto. Se parte de esta hipótesis por la falta de datos de la distribución de presiones en la matriz, esta información es de difícil determinación, dado que la simulación por elementos finitos de la extrusión de aluminio es de gran complejidad. Las condiciones de contorno ejercidas sobre la matriz están en función de los apoyos que esta tiene en la presa de extrusión:
 - Placa apoyada en la cara de salida por el soporte. Desplazamientos en esta dirección restringidos.
 - Las caras exteriores de la placa tienen limitados los desplazamientos por el propio anillo en el cual esta encajada la matriz, desplazamientos en esta dirección restringidos.
- No se va a tomar en consideración el cambio de propiedades de la superficie de la matriz por la nitruración, esta capa es muy fina y solo tiene el objetivo de aumentar la resistencia al desgaste de las zonas de trabajo.

4.8.1 SIMULACION FEM.

Se van a exponer brevemente los pasos que se han seguido en la implementación del análisis. Estos son expuestos con más detalle en el **anexo IV, análisis lineal**.

Pasos seguidos para la realización del análisis FEM

- Importación del diseño de la matriz
- Implementación propiedades del acero
- Asignación del material a la geometría
- Aplicación de condiciones de contorno y cargas
- Creación de malla
- Proceso de cálculo
- Análisis de los resultados.

4.8.2 ANALISIS DE LOS RESULTADOS

Se van a verificar dos aspectos:

- Las tensiones en cualquier punto de la matriz son menores que la del límite elástico
- El giro del roce está dentro de un valor razonable.

Pasos realizados para la obtención de los resultados en **anexo IV, análisis lineal**.

TENSIONES

La máxima tensión es de 750.5 MPa, está localizada en la zona de salida del perfil, donde hay un pequeño voladizo, aunque también se concentran grandes tensiones en el area central de la placa y en muchos puntos del sink-in, esto se debe a que estas zonas son las que tienen una mayor exposición a la fuerza ejercida por el aluminio, esquinas, y que el espesor de la placa en la salida del aluminio se reduce, haciendo que el material tenga que soportar una mayor tensión para el equilibrado de las fuerzas. También se puede afirmar que la mínima tensión en la placa es de 1.024 MPa, esta tensión es a la cual la matriz está expuesta en el contorno exterior, esta area no tiene contacto directo con el aluminio, además está alejada de los puntos de mayor sollicitación.

Dados los resultados, se verifica que la tensión en cualquier punto de la placa es menor que el límite elástico, la tensión máxima admisible del acero en las condiciones de trabajo es de 947 MPa, deduciendo así que el coeficiente de seguridad con el que está diseñada la placa es de 1.26.

En la vista presentada se ve el cambio de color, representando el campo de tensiones en la placa de la zona expuesta al aluminio y la zona de ajuste con la prensa y el anillo portamatrices.

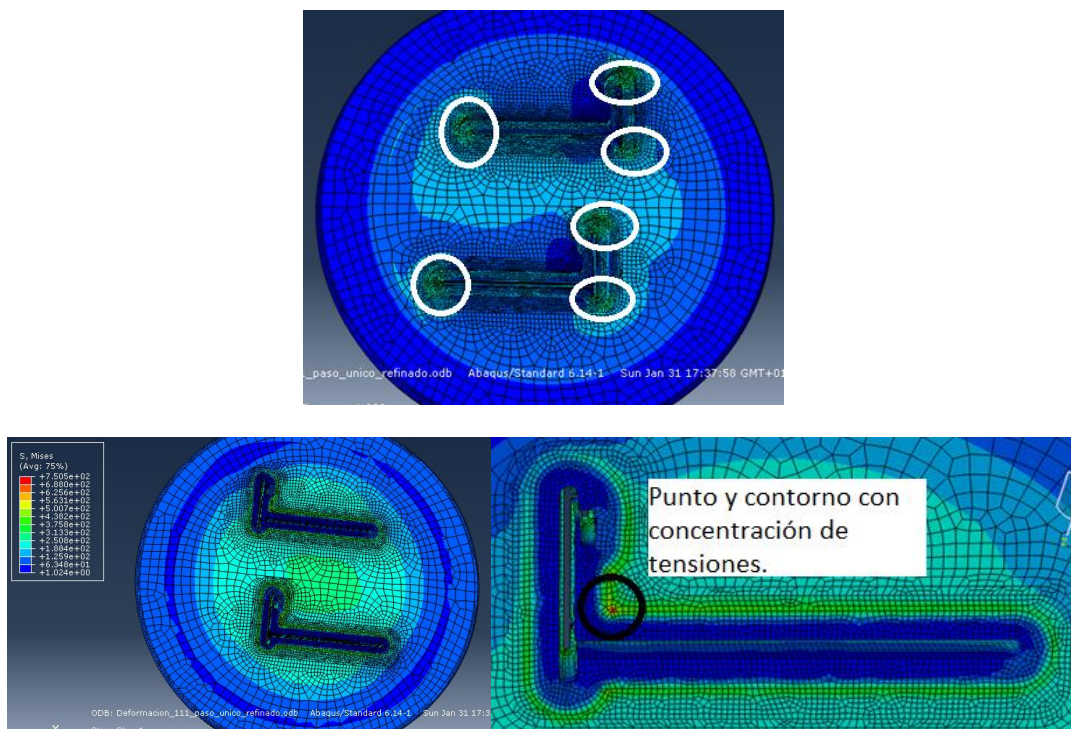


Figura 21. Vista de la matriz simulada.

ÁNGULOS DE GIRO EN EL ROCE

A causa de las tensiones producidas por la presión ejercida del aluminio se producen deformaciones en la matriz.

Las deformaciones que se producen son traducidas en desplazamientos, y por lo tanto suponen una distorsión de la forma de la placa.

Dentro de la distorsión de la placa, se puede caracterizar, para este caso, el ángulo que gira el roce con respecto a la posición de reposo. El ángulo de giro es causado por los desplazamientos del acero en direcciones opuestas y perpendiculares a la dirección de empuje. Estos desplazamientos están relacionados con el momento flector.

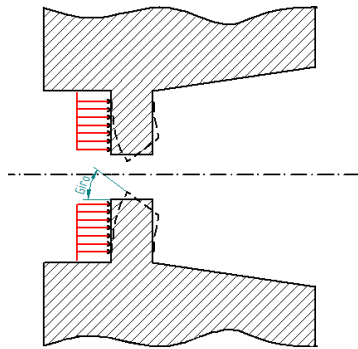


Figura 22. Vista descriptiva del ángulo analizado en el apartado.

En el estudio del ángulo de giro se van a tener en cuenta únicamente las partes con mayores desplazamientos, estas se detectan con la observación del campo de desplazamientos.

De dichas zonas se extraerán los datos necesarios para el cálculo del ángulo, estos datos son los desplazamientos de compresión y desplazamientos de expansión en la dirección perpendicular a la dirección de empuje y normales a la superficie del roce.

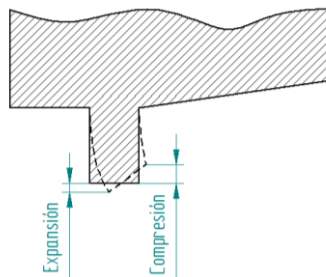


Figura 23. Cotas extraídas del roce.

Los datos se van a extraer de la zona A y B por ser en las que son mayores los desplazamientos, las cuales están identificadas en la figura que se muestra a continuación.

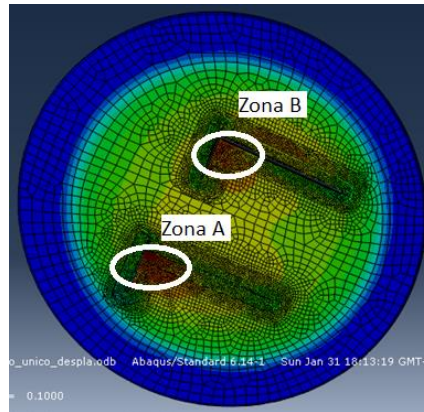


Figura 24. Identificación de las zonas de extracción de datos

Estudio del ángulo de giro de la “zona A”. Lado indicado sobre el dibujo

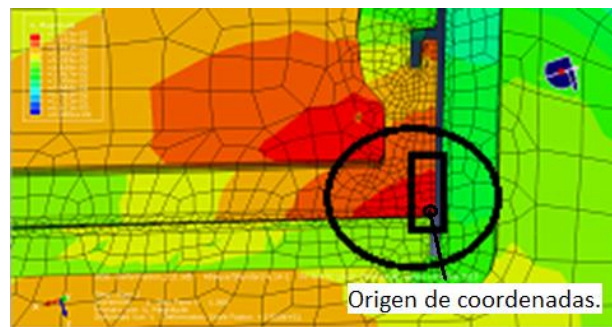


Figura 25. Marcado de los datos que se exponen.

Cota	Angulo desviado
0	4,28E-05
0,184	9,26E-06
0,881	6,87E-06
1,856	6,10E-05
2,831	8,69E-05
3,806	7,09E-05
4,781	9,33E-05
5,757	9,15E-05
6,732	9,82E-05
7,707	0,00011

Tabla 3. Angulos de desviación correspondientes a la figura 14

Estudio del ángulo de giro de la “zona A”. Lado indicado en el dibujo.

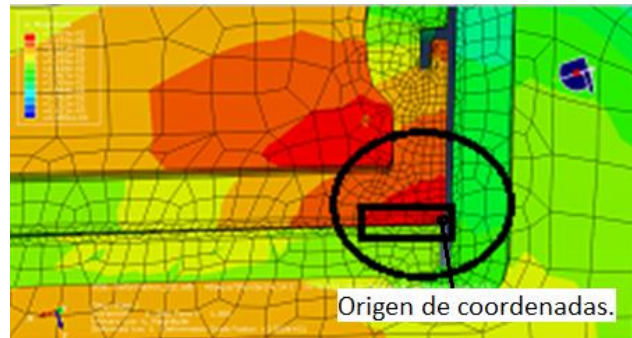


Figura 26. Marcado en la figura de los datos que se exponen.

Cota	Angulo desviado
0	0,00114762
0,10064554	0,0011934
1,09921241	0,00116453
2,09781814	0,00120154
3,09614921	0,00107063
4,09470606	0,00139772
5,09354591	0,00127887
6,09173012	0,00106593
7,09046555	0,00101925
8,08889294	0,00095126
9,0879097	0,00091891
10,0864124	0,00092291

Tabla 4

Estudio del ángulo de giro de la “zona B”. Lado indicado en el dibujo.

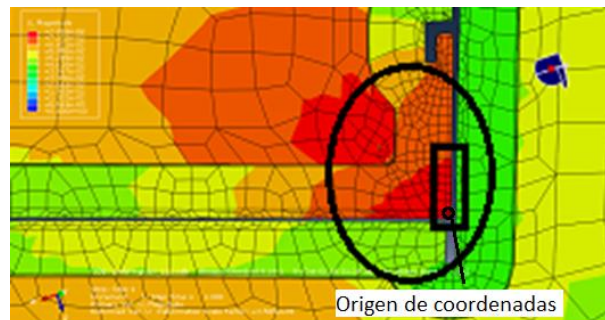


Figura 27. Marcado en la figura de los datos que se exponen.

Cota 1	Angulo desviado
0	0,00014698
0,69692951	0,00011835

Cota 1	Angulo desviado
1,67199087	0,00010704
2,64721274	6,26E-05
3,62230659	0,00010619
4,59748697	5,66E-05
5,57275295	8,88E-05
6,54782629	4,48E-05
7,52292871	5,51E-05
8,49806309	2,67E-05

Tabla 5

Estudio del ángulo de giro de la “zona B”. Lado indicado en el dibujo.

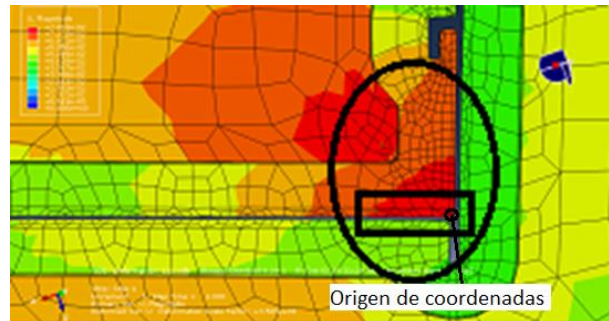


Figura 28. Marcado en la figura de los datos que se exponen.

Cota 1	Angulo desviado
0	0,00101325
0,19686401	0,0011645
1,19274735	0,00088775
2,18853426	0,00145047
3,18490577	0,0010863
4,1800704	0,00103099
5,17642021	0,0008899
6,17193556	0,00096213
7,16836882	0,00079616
8,16391277	0,00102177
9,16013145	0,0006149
10,1554003	0,00121198

Tabla 6.

En ningún punto analizado de las salidas “A” y “B” la desviación del ángulo es superior o igual al límite establecido de 0.08°. Como es expresado en el propio anexo IV, con esta desviación no se ve afectado el flujo de aluminio.

Con esto se puede dar por válido el diseño de la matriz, dado que tanto en desplazamientos como en tensiones está por debajo de los límites establecidos.

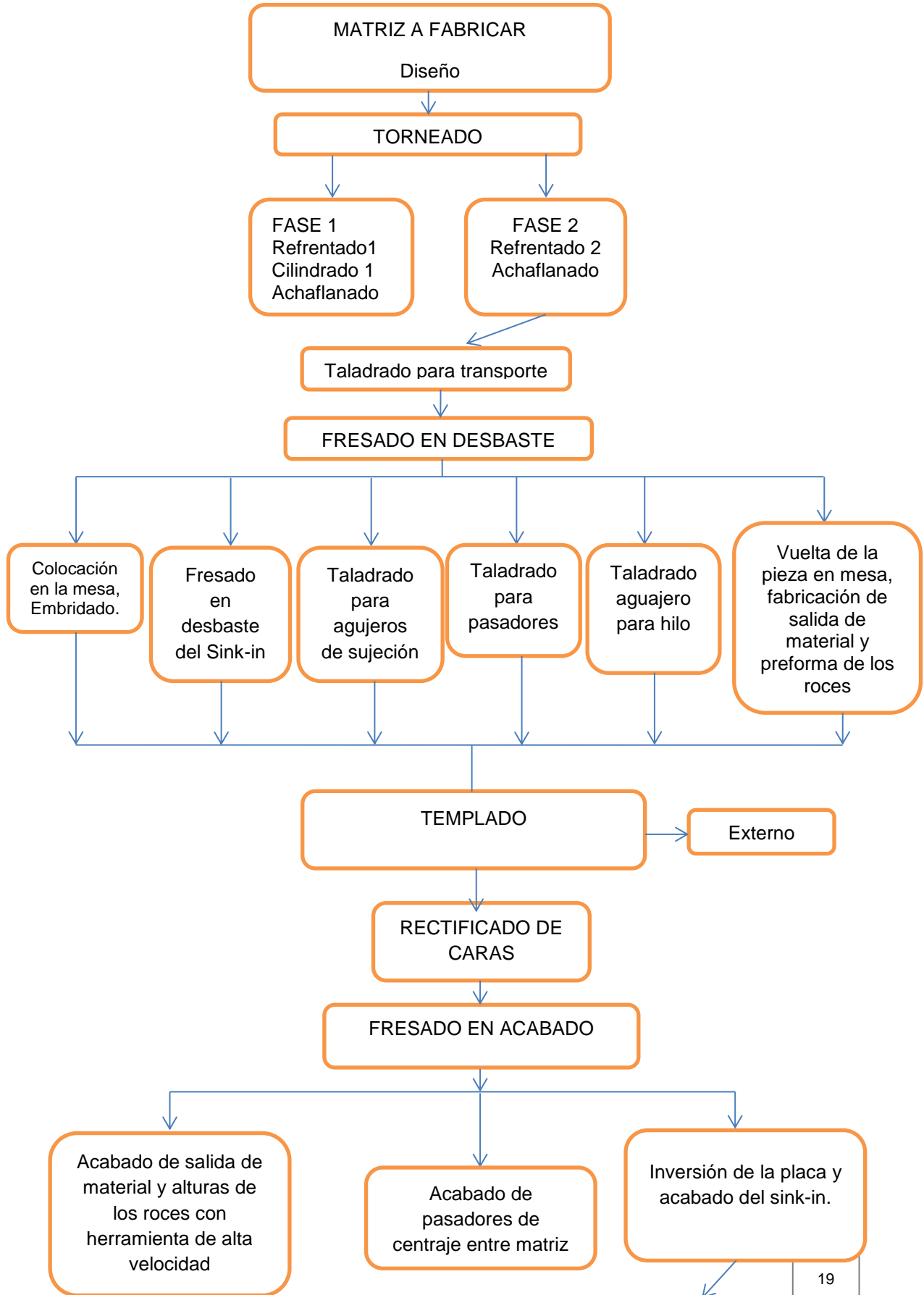
Se da por válido el espesor establecido, dado a la placa, de 38 mm, por consiguiente, se deduce el espesor del soporte, quedando en este caso de 52.6 mm.

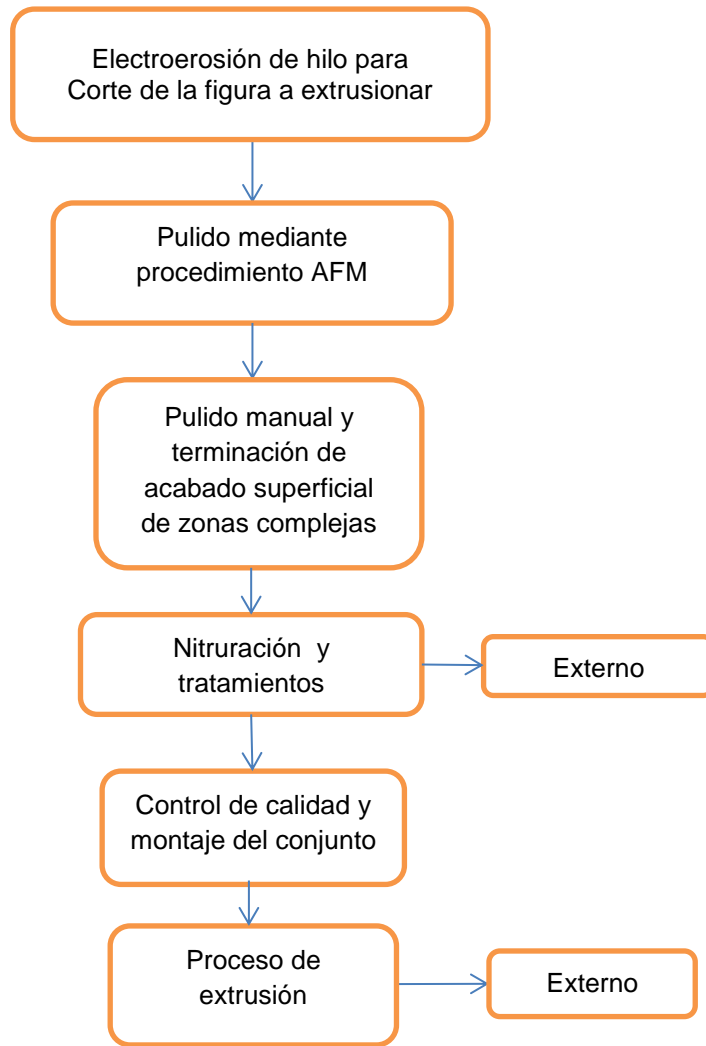
$$h_{soporte} = 90.6 - h_{placa}$$

$$h_{soporte} = 90.6 - 38 = 52.6 \text{ mm}$$

5 FABRICACIÓN

5.1 FLUJOGRAMA CON EL RECORRIDO DE LA PLACA MATRIZ

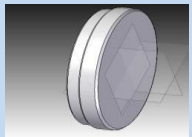
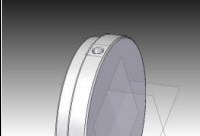



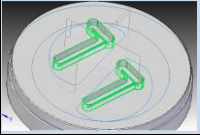

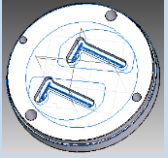


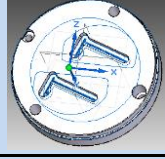
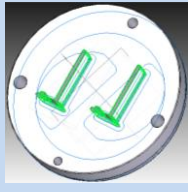



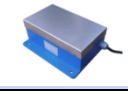










5.2 HOJA DE PROCESO PARA FABRICACIÓN DE LA PLACA MATRIZ


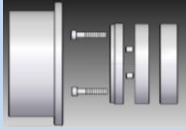
EINA Escuela de Ingeniería y Arquitectura	CONJUNTO EXTRUSIÓN 1.1				
	NOMBRE: Juan Jesús Valdivia Sánchez				
Nº pieza	Denominación	Nº plano	Material	Dimensión bruto	Observaciones
1	Placa-Matriz	123	Böhler W302 (AISI H13)	232X48	

Fase	Subfase	Operación	Denominación	Vc/Av	Tiepo (horas)	Croquis	Maquina	Útiles	
								Trabajo	Control
1	1	Preparación	Puesta a punto de máquina, medida de herramientas.	//				Llaves torx y Allen.	Visual, reloj comparador.
	2	Refrentado	Cogida en torno y refrentado de la primera cara. Justo a limpiar	405 m/min 0,2 mm/rev.				Útil torno con inserto rómbico.	Pie de rey
	3	Cilindrado exterior.	Cilindrado hasta alcanzar diametro de 228,2 mm con el espesor total de la placa.	405 m/min 0,2 mm/rev.			 Torno	Útil torno con inserto rómbico.	Pie de rey
	4	Cilindrado	Mecanizado del rebaje, pasando de diámetro 228.2 a 222.4 mm	405 m/min 0,2 mm/rev.				Útil torno con inserto rómbico.	Pie de rey

Fase	Subfase	Operación	Denominación	Vc/Av	Tiempo (horas)	Croquis	Máquina	Útiles	
								Trabajo	Control
	5	Chaflanes	Mecanizado de chaflanes.	405 m/min 0,15 mm/rev				Útil torno con inserto rómbico.	Verificación visual.
2	1	Inversión de pieza.	Inversión de pieza dejando voladizo de al menos 15 mm.	//				Garras autocentrantes.	Pie de rey
	2	Refrentado	Refrentado de la placa hasta alcanzar medida final con 1 mm de sobreespesor.	405 m/min 0,15 mm/rev				Útil torno con inserto rómbico.	Pie de rey
	3	Chaflan	Mecanizado de chaflan en la esquina viva resultante.	405 m/min 0,15 mm/rev				Útil torno con inserto rómbico.	Verificación visual.
//	//	//	Tiempo total (Fase 1 y 2)	//	2 h	//	//	//	//
3	1	Taladrado	Taladrado de la pieza en el lateral con avellanado para posterior roscado.	14 m/min 0,25 mm/rev			 Taladro	Broca Ø14 mm	Pie de rey (Profundidad).
	2	roscado	Roscado de la pieza con macho de máquina. M16x2	60rpm 2 mm/rev				Macho de roscar M16.	Calibre de roscas pasa no pasa.
//	//	//	Tiempo total (fase 3)	//	1 h	//	//	//	//
4	1	Montaje en fresadora	Montaje en fresadora sobre la mesa con bridas o plato centrante.	//			 Fresadora	Llaves Allen	Sonda óptica.
	2	Desbaste Sink-in	Desbaste de sink-in con fresa de dos dientes	230 m/min 0,12 mm/rev				Plato plaquitas Ø16 mm	Pie de rey.
	3	Taladrado	Taladrado agujeros para pasadores. Falta dar tolerancia con escariador.	14 m/min 0,25 mm/rev				Broca Ø 15 mm	Visual
	4	Taladrado	Taladrado de agujeros pasantes para acceso de los espárragos de sujeción.	14 m/min 0,25 mm/rev				Broca Ø 17 mm	Visual

Fase	Subfase	Operación	Denominación	Vc/Av	Tiempo (horas)	Croquis	Máquina	Útiles	
								Trabajo	Control
	5	Avellanado	Avellanado para la entrada de las cabezas de tornillos Allen.	14 m/min 0.25 mm/rev				Avellanador Ø ext. 26 mm	Visual
5	1	Inversión pieza.	Posicionado de la placa para la mecanización de las partes de la cara opuesta.	//		//		//	Reloj comparador y sonda óptica
	2	Mecanizado salida cónica perfil.	Operación ejecutada con tres herramientas, dos de desbaste y una cónica para las paredes.	Vc= 90 m/min Av=0.03 mm/rev				Fresa Ø6 mm. Fresa Ø4 mm. Fresa cónica.	Pie de rey
	3	Roces	Desbaste de roces.	Vc= 186 m/min Av=0.026 mm/rev		//		Fresa de cabeza esférica.	Pie de rey
	4	Taladrado, paso de hilo	Taladrado de agujero pasante para acceso del hilo	Vc= 14 m/min Av=0.1 mm/rev				Broca Ø 1 mm.	Visual
//	//	//	Tiempo total (fase 4 y 5)	//	3 h	//	//	//	//
6	4	Tratamiento térmico	Templado de la placa y sus posteriores revenidos.	//	entre 1 y 2 días		Horno.	//	Ensayo Rockwell.
7	1	Rectificado	Rectificado de las dos caras a medida.	Av min/ma x=0.025 / 2,5 m/min	≈1h		Rectificadora tangencial	Muela de rectificar.	Micrómetro
8	1	Desmagnetizado.	Eliminación del campo magnético remanente.	//	<5 min		Desmagnetizador.	//	//
//	//	//	Tiempo total (fase 7 y 8)	//	1 h	//	//	//	//
9	1	Amordazado en fresadora.	Colocación de la placa con el Sink-in visto.	//		//		Mordaza.	Reloj comparador ó sonda óptica.
	2	Acabado Sink-in.	Perfilado del sink-in tanto en la superficie como en las paredes, dejándolo a medida.	Vc=10 m/min Av=0.2 mm/rev			 Fresadora	Fresa Ø 12.	Micrómetro para interiores.

Fase	Subfase	Operación	Denominación	Vc/Av	Tiempo (horas)	Croquis	Máquina	Útiles	
								Trabajo	Control
	3	Escariado	Acabado en diámetro de agujeros para pasadores.	Vc=10 m/min Av=0.2 mm/rev				Escariador Ø 16 mm H7.	Visual.
10	1	Inversión de pieza	Amarrado y centrado de la pieza con los agujeros de los pasadores como referencia.	Vc= 90 m/min Av= 0.03 mm/rev		//		Plato centrante.	Pie de rey
	2	Acabado roces	Mecanizado de alturas de roce, con espesores finales.	Vc= 90 m/min Av= 0.03 mm/rev		//		Fresa de cabeza esférica, metal duro.	Calibre digital para profundidades.
//	//	//	Tiempo total (fase 9 y 10)	//	3 h	//	//	//	//
11	1	Corte del perfil.	Corte de la figura dejando sobreespesor de 0.1mm.					Hilo metalico, aleación de cobre.	Visual.
	2	Semiacabado del perfil.	Semiacabado de la figura con sobreespesor de 0.03 mm.				 Electroerosión de hilo	Hilo metalico, aleación de cobre.	Visual.
	3	Acabado del perfil.	Acabado de la figura a medida final.					Hilo metalico, aleación de cobre.	Visual.
//	//	//	Tiempo total (fase 11)	//	10 h	//	//	//	//
12	1	Pulido.	Colocación de la matriz en la máquina de pulido automático y repaso de posibles rebabas.	//	1 h		Pulidora AFM	Limas, rotalin y fresas o piedras de esmeril.	Visual y rugosímetro.

Fase	Subfase	Operación	Denominación	Vc/Av	Tiempo (horas)	Croquis	Máquina	Útiles	
								Trabajo	Control
13	1	Calidad	Control de medidas críticas para la puesta en marcha de la matriz y espesores de salida del aluminio.	//	1h	//	//	Elementos de medida	Galgas calibradas, pie de rey.
14	1	Nitrurado	Deposición superficial de nitrógeno, logrando gran resistencia al desgaste	//	1h		Horno de nitruración	//	//
15	1	Montaje	Ensamblado de la placa matriz con el soporte.	//	1h		Presas de montaje.	Llaves Allen y presas	Visual y galgas en caso de ser necesarias.

6 PRESUPUESTO

Atendiendo al caso expuesto y las necesidades del cliente que van desde el diseño, fabricación y montaje en prensa del conjunto matriz se puede ver con detalle a continuación. Este punto se encuentra desarrollado en el ANEXO VII, apartadode costes.

	Coste por hora (€/h)	Tiempo previsto (h)	Coste proceso €	Cost. Sub. Procesos €
1 Planificación e ingeniería:				755
1.1 Estudio técnico	60	1	60	
1.2 Diseño de la matriz	60	8	480	
1.3 Elección de proveedores	40	1	40	
1.4 Programación	50	3,5	175	
2 Operaciones de máquina:				1080
2.1 Torneado	60	2	120	
2.2 Primer fresado	60	3	180	
2.3 Fresado en acabado	60	3	180	
2.4 Electroerosión de hilo	60	10	600	
3 Operaciones manuales:				160
3.1 Taladrado transporte	40	1	40	
3.2 Rectificado	40	1	40	
3.3 Calidad	40	1	40	
3.4 Montaje	40	1	40	
4 Labores externalizadas:				232
4.1 Acopio material			102,9	
4.2 Temple y revenidos			39,6	
4.3 Nitrurado			39,6	
4.4 Transporte			50	

Precio total (sin I.V.A)
2.230,4 €

BIBLIOGRAFIA

- [1] Centro de distribución ALACER MAS.
- [2] Gráfica obtenida de P.Loewenstein.
- [3] Deformación plástica del material compuesto a6061/al2o3p. Universidad politécnica de Cataluña.
- [5] Foto obtenida de aceros Böhler.
- [6] Foto obtenida de Alustock.
- [7] Foto obtenida de Uddeholm.
- [8] Foto obtenida de Uddeholm.
- [9] Developments in finite element simulations of aluminium extrusión, Joeri Iof. Apartado de influencia del ángulo de entrada.
- [10] International Journal of Engineering and Technology Volume 4 No. 2, February, 2014. Effect of Die Entry Angle on Extrusion Responses of Aluminum 6063 Alloy.
- [11] Foto obtenida de Böhler.
- [12] Documentación técnica aceros Uddeholm.
- [13] Documentación técnica aceros Uddeholm.
- [14] Tratamiento térmico de los aceros, Pere Molera Solá.
- [15] Documentación técnica aceros Uddeholm.
- [16] Manual del aluminio 2ª edición, W. Hufnagel, Pedro Coca.
- [17] Tecnología mecánica 3, Equipo EDEBÉ.
- [18] Manual del aluminio 2ª edición, W. Hufnagel, Pedro Coca.
- [19] Apuntes fundamentos de los materiales, Universidad de Zaragoza.
- [20] The influence of temperatura on the Mechanical Properties of Metals and Allows, E. M. SAVITSKY.
- [21] Behavior of Aluminum at Elevated Strain Rates and Temperatures, Eivind Semb
- [22] Deformación plástica del material compuesto a6061/al2o3p. Universidad politécnica de Cataluña.
- [23] Aluminum Extrusion Technology, Pradip K. Saha.
- [24] Abaqus Analysis User's Manual.
- [25] Effect of Preheating Condition on Strength of AA6060 Aluminium Alloy for Extrusion, Cheng Meng.
- [26] Deformación plástica del material compuesto A6061/Al2O3p. Universidad politécnica de Cataluña.

- [28] Alu-Stock
- [29] Aluminum Extrusion Technology, Pradip K. Saha.
- [30] Física para la ciencia y la tecnología, Tipler Mosca.
- [31] Aluminum Extrusion Technology, Pradip K. Saha.
- [32] Effect of Preheating Condition on Strength of AA6060 Aluminium Alloy for Extrusion,
Cheng Meng.
- [33] Modelling of extrusion process and analysis for optimization the parameters, M.
Manoochehri.
- [34] Modelling of extrusion process and analysis for optimization the parameters, M.
Manoochehri.
- [35] Manual del aluminio 2ª edición, W. Hufnagel, Pedro Coca.
- [36] Manual del aluminio 2ª edición, W. Hufnagel, Pedro Coca.
- [37] Buscar un sitio que ponga que las prensas tienen sistemas de calentamiento
- [38] Aceros Böhler, hoja de características técnicas W302.
- [39] Acero Böhler W302 hoja características técnicas
- [40] Acero Böhler W302 hoja características técnicas
- [41] Manual de abaqus, Abaqus 6.12.
- [42] Getting Started with Abaqus, Abaqus 6.12.
- [43] Manual de abaqus, Abaqus 6.12.
- [44] Getting Started with Abaqus, Abaqus 6.12.
- [45] Aluminum Extrusion Technology, Pradip K. Saha
- [46] Extrusion: Second Edition, ASM international
- [47] Aluminum extrusion with a deformable die, W. A. Assaad
- [48] Aluminum Extrusion Technology, Pradip K. Saha
- [49] Extrusion: Second Edition, ASM international
- [50] AEA asociación española del aluminio.
- [51] obtenido de youtube, Importec SAS.

7 **ANEXO I: CONCEPTOS Y BASES ACERCA DE LAS HERRAMIENTAS PARA EXTRUSIÓN**

CONCEPTOS Y BASES ACERCA DE LAS HERRAMIENTAS PARA EXTRUSIÓN.

MATRIZ Y PRENSA DE EXTRUSIÓN.

Explicar qué es una matriz de extrusión, es también el primer principio para saber que materiales tenemos que emplear en su construcción, y que tratamientos térmicos o termoquímicos son adecuados emplear en cada uno de los elementos que la conforman.

Para comenzar, se intentará hacer una completa explicación de lo que es cada parte de los elementos que constituyen una matriz de extrusión para aluminio.

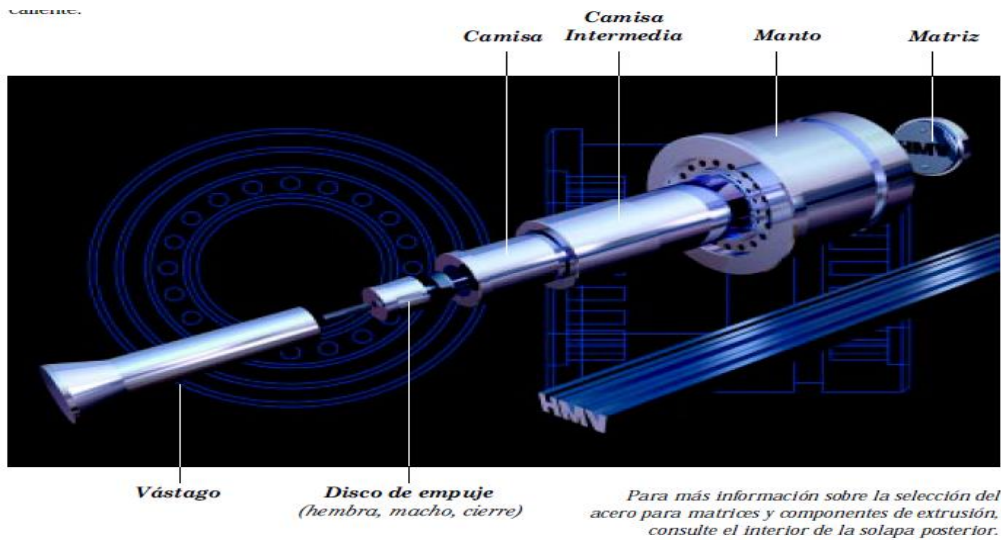


Figura 29. Exploración conjunto prensa [5].

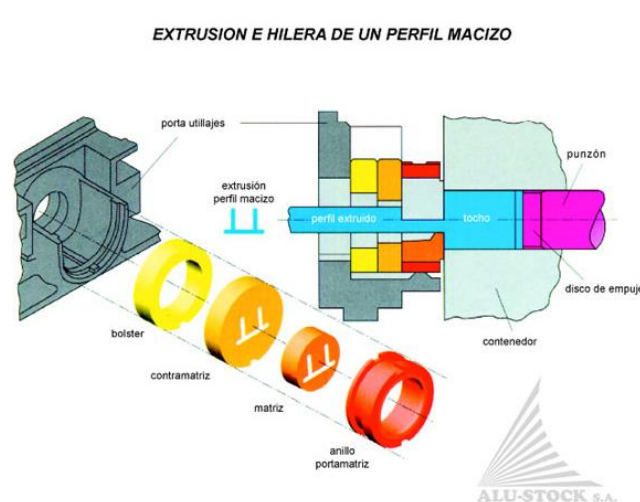


Figura 30. Exploración conjunto matriz y vista de corte. [6]

Como se puede apreciar en este esquema, además de la matriz, están el resto de elementos que forman parte de la máquina de extrusión y que constituyen el contenedor del tocho (materia prima a extrusionar). Estos elementos contenedores no tienen que soportar las elevadas presiones a la que la matriz está sometida, pero no por ello los materiales de fabricación han de ser descuidados. Dichos elementos sufren cambios de temperatura a la par de presiones y vibraciones muy elevadas, por otro lado las adherencias a causa del empuje hidráulico son, en esta fase, críticas e importantes.

A modo de resumen se puede determinar que los elementos de extrusión son los siguientes:

Conjunto prensa:

- Vástago
- Disco de empuje
- Camisa
- Camisa intermedia
- Manto.

Conjunto matriz:

- Anillo portamatriz
- Alimentador
- Matriz.
- Soporte o Contramatriz
- Bolster.

7.1 CONJUNTO PRENSA

VÁSTAGO

Este elemento constructivo no tiene que soportar elevadas temperaturas de trabajo, en comparación con la matriz.

La temperatura de esta parte en contacto es baja. El empuje del aluminio es transmitido a través del vástago, por tal motivo es muy importante que este resista la flexión. Si el vástago flexiona, el empuje tendría una distorsión, y como consecuencia obtendríamos un empotramiento en el conjunto del contenedor del tocho.



Figura 31. Vástago de empuje Foto[7].

DISCO DE EMPUJE

Es el elemento mecánico que está en contacto directo con el tocho. Estos pueden ser de diferentes tipos, su función principal es transmitir la fuerza ejercida por el vástago al tocho y de esa manera producir la extrusión. Es un elemento que ha de soportar elevadas temperaturas y presiones. Al ser de longitud reducida no aparece el problema de flexión, sin embargo el gradiente de temperatura es elevado, por lo tanto, deberá ser resistente a este fenómeno.

- Se mantiene fijo, empleando discos con dos partes llamadas macho y hembra. La hembra se acopla al vástago y el macho contacta con el tocho, este es un método que permite una mayor producción.

El material más adecuado tiene que cumplir los siguientes criterios.

- Elevada resistencia y dureza en caliente.
- Resistencia al revenido (está en contacto directo con el tocho a altas temperaturas)
- Resistencia a la deformación plástica para los esfuerzos aplicados.



Figura 32. Discos de empuje [8]

ZONA CONTENEDORA DEL TOCHO

CAMISA

Es un elemento mecánico que contiene al “tocho”, está expuesto a similares sollicitaciones que el disco de empuje, siendo descritas a continuación:

- Soporta elevadas temperaturas
- Elevadas presiones de trabajo
- Fuerte desgaste por rozamiento del tocho con la camisa
- Elevada tensión tangencial y normal a la superficie derivada de la fuerza de extrusión.

Los aceros a emplear serán los mismos que los utilizados para el disco de empuje. Para la extrusión de aleaciones de aluminio muy duras, se recomienda la utilización de aceros con muy buenas propiedades mecánicas para su correcto funcionamiento.

CAMISA INTERMEDIA

En contenedores sometidos a altas presiones, y condiciones de trabajo límite para los materiales de los que están hechas, es recomendable utilizar una camisa intermedia. Con esto se logra aumentar la rigidez y robustez del contenedor, y así pues reducir las deformaciones del mismo, evitando también posibles vibraciones que se puedan producir.

MANTO

Es la última capa dedicada a la contención del tocho de aluminio. Soporta la camisa intermedia y su misión es servir de soporte a las elevadas presiones, así como amortiguar las temperaturas a las que están expuestos el tocho y las camisas y en ocasiones es portador de elementos calefactores. Para su confección se utilizan aceros de buena calidad y elevada resistencia, con lo que la elección del material con el que se fabrica será un acero bonificado.



Figura 33. Fabricación de un manto. [7].

7.2 CONJUNTO MATRIZ

ANILLO

Elemento encargado de acoplar concéntricamente las partes de las que está compuesta la matriz con el centro del tocho.

La superficie exterior del anillo va acoplada al soporte de la prensa, y la superficie interior sujeta la matriz.

Las prensas, por encargo del extrusor, disponen de una gama de anillos con distintos diámetros interiores para así poder acoplar matrices de distintos tamaños.



Figura 34. Vista interior de un anillo portamatrices.

ALIMENTADOR Y PREALIMENTADOR

Realizan una preforma de la figura final a extruir. Se convierte en parte fundamental en los casos en que el perfil a extruir tiene una circunferencia inscrita mayor que el diámetro del tocho. Para estos casos, el alimentador se encarga de redistribuir materia prima de forma homogénea en todo el perfil, con la misma velocidad de salida. Esto se logra haciendo una entrada cónica, aplicando ángulos más abiertos en las zonas exteriores y cerrándolos en el centro.

En los casos en que la circunferencia inscrita en el perfil a extruir es menor que el diámetro del contenedor, no es estrictamente necesario incluirla. En los casos que se incluye esta parte, es con la finalidad de generar una preforma del perfil para que el aluminio tenga una deformación progresiva; reduciendo los vórtices del material en la entrada. Este elemento encarece el precio de la matriz.



Figura 35. Alimentadores para matriz con doble salida.

PUENTE

Es un elemento necesario para perfiles con cavidades huecas, este tiene la finalidad de generar la cavidad hueca en la superficie transversal del perfil. El puente soporta fuertes solicitaciones a causa de la presión generada por el flujo de aluminio.

Consta de varias partes: alimentaciones, cámara de soldadura y macho.

En el recorrido del flujo de aluminio a lo largo del puente y la placa, se pueden diferenciar tres estados en la formación del perfil. El primer estado, es en el cual el aluminio atraviesa las

cámaras de alimentación. El segundo estado, es la cámara de soldadura donde el aluminio se une por fuerza de contacto. El último estado, es la formación del perfil al entrar en contacto con la salida de la matriz.

El espacio disponible para la cámara de soldadura y las cámaras de alimentación está limitado, esto hace que se tenga que llegar a una relación entre estas dos. A mayor longitud de cámara de soldado implica una mejor unión del aluminio, pero a su vez se pierde resistencia en las alimentaciones.



Figura 36 Fotografías de dos puentes.

PLACA

Elemento encargado de realizar la superficie exterior del perfil de aluminio, esta parte consta de una preforma del perfil llamada sink-in. Tras la preforma se sitúa el “roce”, por el cual se genera el perfil deseado.

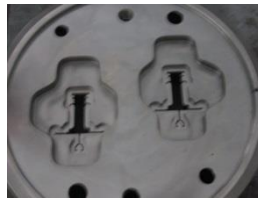


Figura 37. Placa hueca vista la cara de entrada del aluminio.

SOPORTE O CONTRAMATRIZ

Elemento intermedio entre el bolster y la placa, tiene las funciones de separar ambos elementos para completar el espacio muerto intermedio, y en los casos que existe refrigeración hacer de separador térmico entre la placa y bolster, en este último es donde se encuentra normalmente el circuito de refrigeración, y sirve de soporte resistente para zonas críticas que si estuvieran al aire se partirían o tendrían una deformación excesiva, haciendo que la forma final del perfil no fuera la adecuada.

BOLSTER

Elemento intercambiable entre perfiles similares. Será válido entre perfiles siempre que entre estos y las aperturas del bolster exista un espacio suficiente, para que no choque o roce el perfil a extruir. En muchos casos la anchura de la nueva matriz es solicitada en función de la anchura de un bolster ya existente, estos normalmente tiene una o varias aperturas. Alrededor de las salidas pueden contener un circuito de refrigeración, aunque este no es requerido para todos los perfiles. Depende del tratamiento térmico posterior a la extrusión, en los casos en que se refrigera, existen diferentes fluidos, líquidos o gaseosos, que van desde la refrigeración con agua hasta la refrigeración con nitrógeno. Siempre queda esta parte condicionada a las situaciones reales y condicionantes concretas de cada caso. Existen casos en los que la refrigeración es aplicada en la placa o soporte como se muestra en la figura 39.



Figura 38 Muestra de un bolster con el circuito de refrigeración.

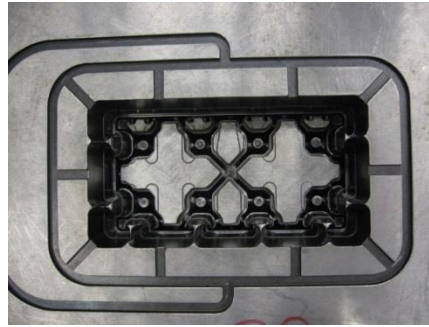


Figura 39 En la siguiente foto se puede observar un circuito de refrigeración en el conjunto placa puente.

FORMAS DEL ROCE EN SITUACIONES ESPECIALES.

ROCE CON ÁNGULO DE ACELERACIÓN

Son zonas de trabajo no ortogonales en la dirección de entrada del material. Es realizado de modo que ayude a la salida del perfil, para permitir un corrimiento más rápido del material sin reducir la altura de roce. Se presenta a la dirección de entrada del material con un ángulo abierto, este método puede ser una buena solución para la alimentación de espesores muy pequeños o zonas particulares, aunque siempre con espesores reducidos y geometrías especialmente complicadas. El objeto de acoplar estas superficies en aceleración es reducir el rozamiento sobre las caras del perfil, esto permite evitar grandes diferencias de altura de roce.

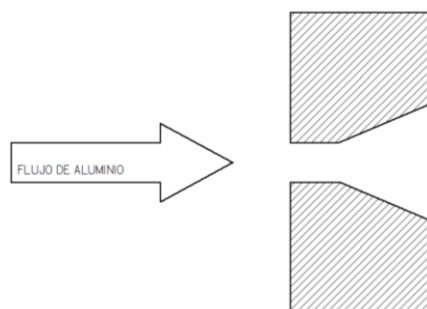


Figura 40. Corte transversal, perfil en aceleración.

ZONAS EN FRENO

Son zonas de trabajo no ortogonales en la dirección de entrada del material. Esto produce un freno a la entrada del perfil a modo de embudo. Este método se podría considerar indispensable para ralentizar el material en presencia de grandes espesores. Estas ralentizan el flujo del material aumentando la fricción y evitando así grandes diferencias de alturas en el roce.

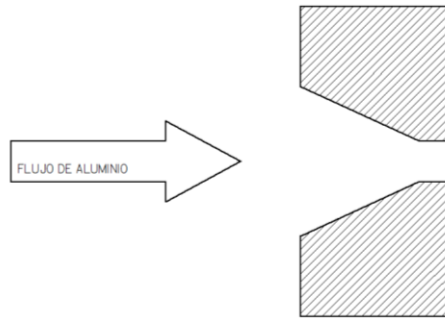


Figura 41. Corte transversal, perfil con choque.

Los dos casos que aglutinan la mayor parte de las situaciones en las que se podrían usar estos recursos son [9] y [10]:

- Reducir la diferencia de altura entre roces.
- Situaciones con cambios bruscos de área.

The results of the bearing angle variation are shown

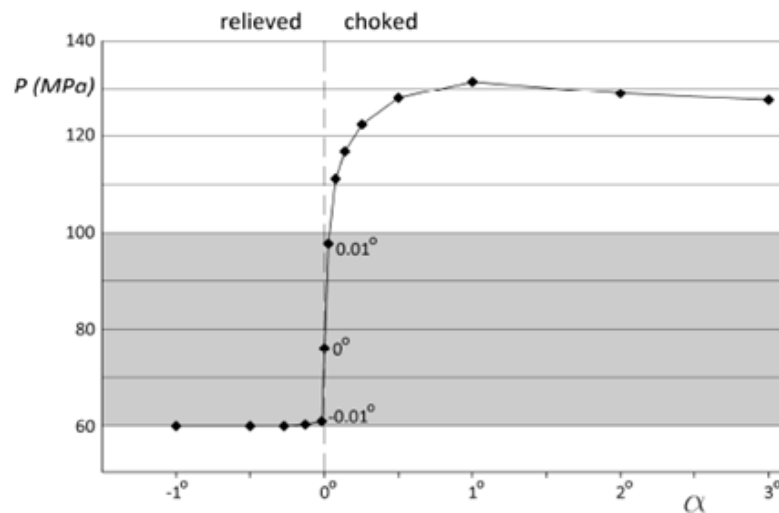


Figura 42 Variación del ángulo de entrada y sus puntos de presión [9].

7.3 MATERIALES DE LA PRENSA, MATRIZ Y ALUMINIOS EXTRUIBLES

ACEROS PARA LA MATRIZ

El conjunto matriz son una serie de elementos cuya finalidad no es otra que darle forma al material a extrusionar, al tiempo que se dejan las medidas dentro de la tolerancia dimensional y de calidad superficial.

Ya se ha visto anteriormente que el conjunto mecánico, prensa y matriz, se encarga de imprimir la temperatura y fuerza necesaria para que se produzca el proceso de extrusión de manera ininterrumpida. En esta parte del proceso donde se da forma al material, la matriz está sujeta a elevadas sollicitaciones producidas principalmente por presión del vástago, fuerza de fricción y altas temperaturas. Estas sollicitaciones se ven agravadas por una capa de óxido duro formada en la superficie del aluminio en el proceso de extrusión, esta capa se crea de manera instantánea y la misma genera una abrasión añadida durante el servicio.



Figura 43 Efectos de la abrasión en matrices de extrusión [11].

Todo lo anterior, lleva a considerar que la selección del material para la fabricación de los componentes del conjunto matriz es crítica, al tener que conseguir buenas propiedades en dureza, tenacidad, resistencia a las agresiones químicas y resistencia a la plasticidad a altas temperaturas. En caso contrario la vida de la matriz sería menor.

Se considera que el conjunto matriz tiene que realizar con eficacia las siguientes tareas:

- La correcta extrusión del perfil, evitando así correcciones o modificaciones costosas en la propia herramienta
- Tolerancias precisas del perfil, evitando un aumento del peso por metro lineal del producto extruido a causa de exceso de consumo de materia prima
- Superficies con acabados de buena calidad
- Diseño y elección de aceros óptima para una larga vida útil del conjunto mecánico.

Elementos y solicitaciones a los que está sometido y deben minimizarse en el conjunto matriz:

- Desgaste
- Deformación plástica
- Roturas
- Indentación
- Estabilidad de los componentes de sujeción
- Formación de grietas por fatiga térmica.

Teniendo en cuenta lo anterior la elección de acero será:

- Acero con elevada resistencia en caliente
- Alta tenacidad, sobre todo en geometrías complicadas, huecas y delgadas
- Elevada resistencia al desgaste por rozamiento
- Resistencia al revenido y al temple durante el trabajo
- Alta capacidad para soportar tratamientos termoquímicos como el nitrurado o carbonitrurado.

Para la matriz, conjunto de placa y puente, la elección irá obligatoriamente dirigida a un acero H10, H11 ó H13 en la clasificación AISI [12].

Este acero una vez mecanizado en desbaste será tratado térmicamente a una dureza de alrededor de 50 HRC [13], tras lo cual se realizarán los procesos finales con el objeto de dar la forma y tolerancias requeridas a la geometría que se desea extruir.

Una vez conseguido el objetivo dimensional deseado se pasa a la fase en la que, con el fin de aumentar la dureza de la matriz y la resistencia al desgaste, se endurece la capa superficial de la misma por diferentes procesos termoquímicos. Con la "Nitruración" se pueden alcanzar durezas superficiales de unos 1000 HV con hasta 1 mm de grosor de capa. Hay otros procesos importantes para conseguir los resultados finales deseados que más adelante son expuestos [14].

También hay que destacar, que el material de la matriz, ha de tener en las condiciones de trabajo una elevada tenacidad, de no ser así la capa superficial rápidamente quedaría eliminada.

El acero adecuado para el resto de elementos del conjunto matriz que no se han tenido en cuenta, son expuestos a continuación. Son necesarios aceros para trabajo en caliente pero con propiedades mecánicas menores, ya que no existen geometrías definitivas integradas en estos. Se considera que los aceros más adecuados para dichas partes son [15]:

- Portamatrices: acero según AISI L6
- Soporte: acero según AISI H13
- El resto de elementos pueden ser de un acero Bonificado tipo AISI P20 Ó DIN 12738

ALEANTES DE LOS ACEROS

Aleantes característicos de los aceros para matrices de extrusión[16]:

Cromo: con un 5% aproximadamente. Favorece la templabilidad, formando carburos simples. Los carburos mejoran la resistencia trabajando en caliente, la dureza, la resistencia a la corrosión y la resistencia en la oxidación.

Molibdeno: Aumenta notablemente la templabilidad de la piezas de grandes secciones. Imprime tenacidad incluso a altas cargas de rotura y reduce la sensibilidad a la fragilidad en el revenido. También forma carburos.

Tungsteno: Debido a la gran afinidad por el carbono, aumenta la dureza y la resistencia al desgaste en caliente.

Vanadio: forma carburos muy duros y estables a temperaturas elevadas, refinados por el carbono y el hidrogeno. También facilita el tratamiento de la nitruración.

Silicio: al 1.5% mejora la resistencia mecánica y a fatiga en caliente.

Manganeso: Es un elemento de empleo generalizado en los aceros comerciales. Una de sus características es desoxidante, además de evitar algunos efectos del azufre. Aumenta la resistencia y dureza del material.

Aluminio: Actúa como un desoxidante para el acero fundido y controla el crecimiento del grano de austenita en aceros recalentados.

Azufre: Generalmente es considerado una impureza, en nuestro caso lo es. Es necesario su equilibrado o eliminación. A veces se utiliza como elemento de aportación para mejorar la maquinabilidad o incluso para la formación de piezas complejas como tuberías y radiadores.

Fosforo: El fósforo aumenta la resistencia y la dureza a la vez que disminuye la ductilidad y la tenacidad de impacto. Los efectos adversos sobre la ductilidad y la tenacidad son mayores en los aceros templados y revenidos con alto contenido en carbono.

Carbono: es un elemento principal del acero y su presencia hasta determinados límites aumenta la dureza y la resistencia a la vez que la soldabilidad y la ductilidad disminuyen.

Tabla 7 Resumen las características expuestas anteriormente.

ELEMENTO	CARACTERISTICAS												
	Dureza	Resistencia Mec.	Limit. elasticidad	Elongación	Resistencia	Elasticidad	Resistencia en caliente	Velocidad de refrigeración	Formación de carburos	Resistencia al desgaste	Trabajabilidad	Nitrurabilidad	Resist. A la corrosión
+ Aumenta - Reduce ≈ Constante / Desconocido													
Silicio	+	+	++	-	-	+++	+	-	-	--	-	-	/
Manganeso	+	+	+	≈	≈	+	≈	-	≈	--	-	≈	/
Cromo	++	++	++	-	-	+	+	--	++	+		++	+++
Aluminio	/	/	/	/	-	/	/	/	/	/	/	+++	/
Tungsteno	+	+	+	-	-	/	+++	--	++	+++	--	+	/
Vanadio	+	+	+	≈	+	+	++	--	++++	++	/	+	+
Molibdeno	+	+	+	-	+	/	++	--	+++	++	-	++	/
Azufre	/	/	/	-	-	/	/	/	/	/	+++	/	-
Fosforo	+	+	+	-	---	/	/	/	/	/	++	/	/
Carbono	+++	+++	+++	-	-	-	-				-		≈

Tabla 8

Elemento	Aceros bohler	Aceros uddeholm	Normas UNE	Normas aisi	Normas din
Vástago	W302	ORVAR 2 M 46-50 HRC	F5318	H13	12344
Disco de empuje	W320	QRO 90 SUPREME (44-48 HRC)	F5313	H10	12365
	W300	DIEVAR (46-52 HRC)	F5317	H11	12343
Camisa	W302	ORVAR 2 M (44-48 HRC)	F5318	H 13	12344
	W 320	QRO 90 SUPREME (44-48 HRC)	F5313	H10	12365
	W 303 H10	DIEVAR (44-50 HRC)	F5317	H 11	12343
Camisa intermedia	M 238.- M200.-M201	IMPAX SUPREME (≈310 HB)	F1257 APROX CON MENOS CROMO QUE EL P20	P 20	12738.-12312.-12311 APROX.TODOS
	W 302	ORVAR 2 M (37-43 HRC)	F5318	H 13	12344
Manto	M 238	IMPAX SUPREME (≈310 HB)	F1257 APROX CON MENOS CROMO QUE EL P20	P20	12738
	W302	ORVAR 2 M (37-43 HRC)	F5318	H 13	12344
Anillo porta matrices	W500	ALBAR 14 (45HRC)	F5307	L6	12714/12711
Alimentador	W300	VIDAR 1	F5317	H11	12343
	W302	ORVAR 2M	F5318	H13	12344
Matriz	W300	VIDAR 1	F5317	H11	12343
	W302	ORVAR 2M	F5318	H13	12344
	W320	QRO 90 SUPREME (44-48HRC)	F5313	H10	12365

Elemento	Aceros bohler	Aceros uddeholm	Normas UNE	Normas aisi	Normas din
Contramatriz	W302	ORVAR 2M (40-44 HRC)	F5318	H13	12344
bolster	W500	ALVAR 14 (45 HRC)	F5307	L6	12714/12711 aprox.

ALEACIONES DE ALUMINIOS EXTRUIBLES

DESIGNACIÓN DE LOS ALUMINIOS

Principales características de los aluminios en función de su designación en norma americana. [17].

1xxx: Aluminio prácticamente puro, altísima ductilidad, alta capacidad de conformado, alta conductividad térmica, resistente a la corrosión y baja resistencia.

2xxx: contiene cobre, relativamente alta resistencia, menor ductilidad y capacidad de conformado, menor resistencia a la corrosión, tratable térmicamente.

3xxx: contiene manganeso, relativamente alta capacidad de conformado y ductilidad, alta resistencia a la corrosión y fácilmente soldable.

4xxx: contiene Silicio, baja/media resistencia, menor resistencia a la corrosión, buenas características de acabado, baja soldabilidad.

5xxx: contiene Magnesio, muy alta resistencia, bajas capacidades de ser soldado y muy buena resistencia a la corrosión.

6xxx: contiene Magnesio y silicio, muy alta resistencia, excelente resistencia a la corrosión, muy altas capacidades de extrusionabilidad, no es fácilmente soldable y tratable térmicamente. **Es la que se emplea en la formación del perfil expuesto.**

7xxx: Zinc, Esta gama se podría decir que es la que mayor resistencia tiene de todas las demás, baja resistencia a la corrosión, frágil y tratable térmicamente.

8xxx: Contiene otros elementos usados con menor frecuencia como por ejemplo hierro y titanio. Las características dependen del elemento mayoritario en el caso concreto.

TRATAMIENTO POSTERIOR Y DESIGNACIÓN DEL TRATAMIENTO EN ALEACIONES DE ALUMINIO.

T "X": Indica que tratamiento térmico y trabajo se le ha aplicado al aluminio, pudiendo ir la "T" acompañada de un número comprendido entre 1 y 10 [18].

Son detallados a continuación:

T1: Trabajado a altas temperaturas y templado posterior con maduración natural. Posterior al tratamiento, en ocasiones se le pueden aplicar trabajos en frío, por ejemplo estirado posterior a la extrusión, estos no modifican notablemente las propiedades del material.

T2: Tratamiento térmico con maduración natural y posterior trabajo en frío con el fin de aumentar su acritud.

T3: Tratamiento térmico de temple, posterior aumento de acritud y maduración natural.

T4: Tratamiento térmico, temple y maduración natural.

T5: Tratamiento térmico producido en el propio proceso de fabricación, como podría ser en la extrusión a la salida de la matriz a altas temperaturas y enfriado rápido con diferentes medios y posterior maduración artificial.

T6: tratamiento de la solución, temple y posterior maduración artificial.

T7: Tratamiento de la solución, temple y estabilizado.

T8: Tratamiento de la solución, temple, acritud y maduración artificial.

T9: Tratamiento de la solución, temple, maduración artificial y acritud.

T10: Tratamiento térmico partiendo de temperatura de trabajo, aplicamos acritud y finalmente maduración artificial.

CAMBIOS DE LAS PROPIEDADES TRABAJANDO EN CALIENTE.

Al calentar un aluminio aleado se reducen notablemente parámetros como el coeficiente de endurecimiento, módulo de Young y tensión de fluencia.

Con temperaturas superiores al 50% de la temperatura de fusión, los cambios en las propiedades se hacen más evidentes. Se originan nuevos granos equiaxiales y estos crecen. Por otro lado las posibles tensiones internas que hubiese a lo largo de la red cristalina desaparecen. Los valores de tensión y plasticidad se reducen a un estado en el que este no está endurecido por deformación plástica.

En general, los fenómenos térmicos producidos están relacionados con la recrystalización de la red y la variación de las propiedades del material.

La recrystalización en los aluminios empieza a los 100 grados centígrados, el ratio de recrystalización aumenta con la temperatura y el grado de deformaciones que se han producido previamente.

Se pueden considerar dos recrystalizaciones. En primer lugar, se crean nuevos granos y estos crecen. La segunda recrystalización comienza cuando el calentamiento no cesa, en este caso los granos existentes crecen a costa de otros que son absorbidos.

El hecho de trabajar los metales en caliente puede ser por diferentes razones: algunas aleaciones de acero, aumentando la temperatura en 200 o 300 grados centígrados apenas cambian sus propiedades, sin embargo, se puede reducir la resistencia a la deformación plástica hasta un 35%, reduciendo así el trabajo necesario para modificar la forma del elemento en cuestión e incluso pudiendo realizar más operaciones al mismo tiempo [19].

Teniendo un intervalo de temperatura de fusión de entre 610 y 655 grados centígrados en el caso de la aleación Al 6060.

La variación de la tensión inicial de fluencia en función de la temperatura, sigue una variación exponencial, estando esta expresada por la ley de Kurnakov, así cuando el material es calentado a altas temperaturas se logra reducir el límite elástico notablemente, ley de Kurnakov [20]:

$$\sigma_{fi} = \sigma_{f0} \cdot e^{C \cdot (T_0 - T_i)}$$

Dónde:

σ_{fi} y σ_{fo} son la tensión de fluencia en caliente y a temperatura ambiente

T_i y T_o son la temperatura en caliente y en frío

c se considera un coeficiente experimental

También influyen fuertemente los ratios de deformación, estando estos en función de la geometría a extruir y velocidad de extrusión, modificando los parámetros anteriormente nombrados [21] [22].

En relación con la temperatura a la salida de la matriz, esta no conviene que sea demasiado elevada, llegando a un acuerdo entre el menor coste energético y las calidades del producto. Principales razones [23]:

- Propiedades mecánicas muy pobres.
- Defectos superficiales y cambios de color en la superficie.
- Excesiva deformación del perfil a la salida.

Actualmente la industria intenta crecer hacia aleaciones cada vez más ligeras. En el sector de la extrusión también es cada vez más común la obtención de perfiles de magnesio, estos son mucho más ligeros aunque con un coste mayor.

MODELO DE PLASTICIDAD DE JOHNSON COOK

Este modelo asocia el flujo de estrés de von Mises con la deformación plástica equivalente.

También tiene en cuenta la temperatura y la velocidad de deformación. En el caso del aluminio, como se ha expuesto anteriormente, existe un cierto grado de influencia.

La forma más general del modelo es la que se muestra [24]:

$$\sigma = (A + B \cdot \varepsilon_p^n)(1 + C \cdot \ln(\dot{\varepsilon}_p^*)) (1 - T^{*m})$$

$$\dot{\varepsilon}_p^* = \frac{\dot{\varepsilon}_p}{\dot{\varepsilon}_o}$$

$$T^* = \frac{T - T_r}{T_m - T_r}$$

A, B, C, m : Constantes características del material

n : Coeficiente de endurecimiento.

ε_p : Deformación plástica

$\dot{\varepsilon}_p$: Ratio de deformación plástica.

$\dot{\varepsilon}_o$: Ratio de deformación considerada como estática.

T_r : Temperatura de referencia.

T_m : Temperatura de cambio de estado.

T : Temperatura en el cálculo.

EXPONENTE DE ENDURECIMIENTO “n”

Este se puede expresar como [25]:

$$n = \frac{\varepsilon \cdot d\sigma}{\sigma \cdot d\varepsilon}$$

$$n = \frac{d(\ln\sigma)}{d(\ln\varepsilon)}$$

Este coeficiente se emplea como referencia para determinar la capacidad de endurecimiento de los materiales.

Dicho coeficiente depende de la velocidad de deformación y la temperatura del material.

Generalmente al aumentar la temperatura, el coeficiente se reduce, y al aumentar la velocidad de deformación, este aumenta. Dicho aumento es producido por la reducción del tiempo que el material tiene para relajar las deformaciones aplicadas.

Para los cálculos en el análisis FEM se va a seleccionar un valor intermedio, obtenido de forma experimental.

Dado que las velocidades de extrusión no son altas, se toma como dato del aluminio A6061 de la Figura 44: $n=0.17$

Tabla 4. Valores del exponente de endurecimiento por deformación de la aleación A6061.

T / °C	V _{deform.} / mm/min	n
T _{amb.}	2	0.48
	250	0.40
	500	0.40
400	2	0.17
	250	0.16
	500	0.30

Figura 44. Tabla con coeficientes de endurecimiento. [26]

RELACIÓN FUERZA MÁXIMA CON DIMENSIONES DE CONTENEDOR

El primer límite que se tiene, está en función de la prensa que se dispone. En la industria la mayoría están entre las 1500 y 3000 Tn. y se emplean principalmente para perfiles de construcción [28].

A la materia prima a extruir se le da el nombre de “Tocho” o “Palanquilla” y las dimensiones de esta tienen que estar en acuerdo con las dimensiones del contenedor de la prensa que se emplea, a continuación se muestra una lista de las dimensiones del contenedor con la fuerza que son capaces de ejercer.

Standard press capacity and specific pressure chart

Press capacity, tons (MN)	Maximum billet length (average)(a), in. (mm)	Container diameter(b), in. (mm)	Specific pressure, P_c , psi (N/mm ² or MPa)
500 (5.0)	14 (355.6)	3 (76.2)	140,800 (971)
		4 (101.6)	79,400 (547)
		5 (127.0)	51,000 (352)
750 (7.5)	16 (406.4)	3.5 (88.9)	155,900 (1075)
		4 (101.6)	119,000 (821)
1000 (10.0)	20 (508.0)	5 (127.0)	76,500 (527)
		4 (101.6)	158,000 (1089)
		5 (127.0)	102,000 (703)
1250 (12.5)	23 (584.2)	6 (152.4)	70,700 (487)
		5 (127.0)	127,600 (880)
		6 (152.4)	88,300 (609)
1500 (15.0)	24 (609.6)	7 (177.8)	64,900 (447)
		6 (152.4)	106,000 (731)
		7 (177.8)	77,900 (537)
1750 (17.5)	26 (660.4)	8 (203.2)	59,000 (407)
		6 (152.4)	123,000 (848)
		7 (177.8)	90,900 (627)
2000 (20.0)	27 (685.8)	8 (203.2)	69,600 (480)
		7 (177.8)	103,900 (716)
		8 (203.2)	79,500 (548)
2250 (22.5)	28 (711.20)	9 (228.6)	62,900 (434)
		7 (177.8)	116,900 (806)
		8 (203.2)	89,500 (617)
2500 (25.0)	30 (762.0)	9 (228.6)	70,800 (488)
		8 (203.2)	99,400 (685)
		9 (228.6)	78,600 (542)
2750 (27.5)	30 (762.0)	10 (254.0)	63,700 (439)
		8 (203.2)	109,300 (754)
		9 (228.6)	86,500 (596)
3000 (30.0)	32 (812.80)	10 (254.0)	70,100 (483)
		9 (228.6)	94,300 (650)
		10 (254.0)	76,400 (527)
3500 (35.0)	36 (914.40)	11 (279.4)	63,200 (436)
		9 (228.6)	110,100 (759)
		10 (254.0)	89,200 (615)
4000 (40.0)	38 (965.2)	11 (279.4)	73,700 (508)
		10 (254.0)	101,900 (703)
		11 (279.4)	84,200 (581)
		12 (304.8)	70,700 (487)

Figura 45 Relación del tamaño de prensa con la fuerza máxima aplicable [29].

PRODUCCIÓN CONTINUA DE PERFILES DE ALUMINIO

En la carga de un nuevo tocho, cuando la prensa ya está trabajando en la extrusión de un perfil, se tiene que llevar una secuencia de carga. El tocho a cargar en la prensa ha sido previamente calentado a la temperatura adecuada en un horno. Una vez calentado el tocho, este es emplazado en un lugar cercano a la entrada del contenedor de la prensa. El pistón empujador de la prensa sale, dejando la entrada del contenedor libre. Con la entrada libre, el tocho es posicionado en la entrada del contenedor, entonces el pistón empujador avanza hasta que se tocan la punta final del tocho consumido con la cabeza del nuevo. La prensa empuja con la presión de trabajo, que corresponde para una velocidad de extrusión constante. Las superficies de los tochos han sido previamente preparadas, sin grasa ni óxido o elementos ajenos a la propia aleación. En el supuesto de que las superficies tengan impurezas, la unión entre tochos será de mala calidad quedando presente en el perfil extruido.

Con la extrusión directa, la longitud de los perfiles puede ser tan larga como se quiera, teniendo una tirada constante. Siguiendo el procedimiento de carga expuesto, el único problema que se puede dar es la mala calidad en el proceso de soldeo de las superficies, prestando atención a que estas estén limpias y sin lubricantes. Aun así, en ocasiones no sale bien, a causa de las características del propio perfil, aleación de aluminio utilizada o temperatura de extrusión. Otros problemas derivados de los perfiles de gran longitud son las limitaciones en el tamaño del horno de maduración, longitud de bancada y sistemas de transporte. Las medidas más comunes de suministro son en barras de 3, 4 y 6 metros, pudiendo llegar a fabricar barras de hasta 28 metros, aunque siempre depende de las necesidades y la logística de la empresa.

ENDEREZADO EN EL PROCESO DE EXTRUSIÓN

Se aplica un enderezado de las barras de aluminio a la salida de la prensa por varias razones:

- Eliminación de pequeñas irregularidades de forma.
- Mejorar las propiedades mecánicas de los perfiles de aluminio, poco notables.

La tensión aplicada y el alargamiento dependen puramente del perfil, aleación y estado superficial a la salida de la prensa. El proceso de eliminación de estas irregularidades es realizado de forma visual, y depende de la experiencia del propio operario y las sollicitaciones técnicas del perfil según el diseño.

8 ANEXO II: DISEÑO

8.1 OBTENCIÓN DE LA PRESIÓN DE EXTRUSIÓN EN FUNCIÓN DEL RATIO

ECUACIONES EMPLEADAS EN LA RESOLUCIÓN:

Trabajo realizado sobre el tocho [30]:

$$(ec. 1) \quad W_o = \int F_o \cdot dl \quad [N \cdot mm]$$

Deformación del material [31]:

$$(ec. 2) \quad \varepsilon = \int_{l_0}^{l_1} \frac{dl}{l} = \ln\left(\frac{l_1}{l_0}\right) \quad [adimensional]$$

Conservación de la materia:

$$(ec. 3) \quad \rho_0 \cdot A_0 \cdot L_0 = \rho_1 \cdot A_1 \cdot L_1 \quad [Kg]$$

Ley de endurecimiento de Hollomon [32]:

$$(ec. 4) \quad \sigma_p = K \cdot \varepsilon_p^n \quad [MPa]$$

Dado que se mantiene constante la masa en todo el proceso y se supone que no existen cambios de densidad, tomando las ecuaciones 2 y 3 se obtiene: $\rho_0 = \rho_1$

$$(ec. 5) \quad \frac{l_1}{l_0} = \frac{A_0}{A_1} \Rightarrow$$

$$(ec. 6) \quad \varepsilon = \ln \frac{A_0}{A_f}$$

Para que sea más sencilla y general la obtención de los resultados, se va a calcular el trabajo realizado por unidad de volumen. Partiendo de la ecuación 1 y de las ecuaciones 7 y 8:

$$(ec. 7) \quad dl = l \cdot d\varepsilon$$

$$(ec. 8) \quad F = \sigma \cdot A$$

$$(ec. 9) \quad w_0 = \frac{W_o}{V_0} = \frac{\int F_o \cdot dl}{V_0} = \frac{\int F_o \cdot l_0 \cdot d\varepsilon}{V_0} = \frac{\int \sigma_0 \cdot A_0 \cdot l_0 \cdot d\varepsilon}{V_0} = \int \sigma_0 \cdot d\varepsilon$$

Introduciendo la ley de Hollomon, ecuación 4, en la ecuación 9 se obtiene el trabajo por unidad de volumen absorbido por la deformación:

$$(ec. 10) \quad w_i = \int \sigma_i \cdot d\varepsilon = \int K \cdot \varepsilon_p^n \cdot d\varepsilon = \frac{K \cdot \varepsilon^{(n+1)}}{n+1}$$

El trabajo por unidad de volumen aplicado por el pistón, se puede expresar como:

$$(ec. 11) \quad w_0 = \frac{W_o}{V_0} = \frac{W_o}{A_o \cdot \Delta l} = \frac{F_o \cdot \Delta l}{A_o \cdot \Delta l} = \frac{F_o}{A_o} = P_0$$

Para procesos ideales, en los que el total de la energía aplicada por la prensa, es consumida por la formalización del perfil, se puede suponer la igualdad de energía por unidad de volumen. Esta igualdad no se cumple en casos reales.

$$(ec. 12) \quad w_0 = w_i$$

Para situaciones reales, se cumple que la energía aportada es mayor que la absorbida en la formación del perfil [33]:

$$(ec. 13) \quad w_0 > w_i$$

Según se ha podido comprobar con la experimentación, entre un 50% y 75% del trabajo aplicado, es utilizado para la deformación del material, y el restante se pierde en el proceso. De este modo, se define el rendimiento del proceso de extrusión como la razón entre el trabajo útil y el trabajo aplicado [34].

$$(ec. 14) \quad \eta = \frac{w_i}{w_0}$$

Tomando ec. 14, ec. 10 y ec.11 se puede obtener la presión necesaria a aplicar por el pistón, estando esta en función del material, ratio de deformación y rendimiento:

$$(ec. 15) \quad \eta = \frac{\left[\frac{K \cdot \left(\ln \frac{A_0}{A_f} \right)^{(n+1)}}{n+1} \right]}{P_0} \Rightarrow P_0 = \frac{\left[\frac{K \cdot \left(\ln \frac{A_0}{A_f} \right)^{(n+1)}}{n+1} \right]}{\eta}$$

8.2 CALCULO DE LA DEFORMACIÓN DEL PERFIL

DILATACIÓN DEL ALUMINIO EN LA EXTRUSIÓN

Los materiales tienen asociado un coeficiente de dilatación, el cual multiplicado por una diferencia de temperaturas da una deformación. Este también depende del rango de temperaturas con el que se está trabajando. La estabilidad del coeficiente de dilatación en función del rango de temperaturas, depende en gran medida de los aleantes del material principal. Por poner un ejemplo, el caso del Silicio hace que esta dependencia disminuya [35].

En la siguiente tabla se muestran los coeficientes de dilatación α para varios rangos de temperatura de aluminio casi puro y aluminio 6060.

Tabla 9 Los valores de la tabla van multiplicados por $10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ [36]

COEFICIENTES DE DILATACIÓN EN FUNCION DEL RANGO DE TEMPERATURA				
Aleación	De -50 a 20°C	De 20 a 100°C	De 20 a 200°C	De 20 a 300°C
Al99.5%	21.7	23.5	24.4	25.4
Al 6060	21.8	23	24	25

En el caso de la aleación 6060, el aumento del coeficiente es lineal en el tramo de 20-100°C, 20 – 200°C y 20 – 300°C.

Al estar trabajando la extrusión en rangos mayores de temperatura de los disponibles y dado que dicho aumento es lineal, se parte de la hipótesis de que se mantiene dicha linealidad. Para la obtención del coeficiente adecuado se interpola linealmente con la función:

$$\alpha = a + b \cdot T$$

a y b : constantes

T : Temperatura máxima del rango

Se sustituyen valores conocidos de la función para la obtención de las constantes a y b desconocidas, quedando la función final:

$$(ec. 16) \quad \alpha = \left[22 + \frac{T [^{\circ}\text{C}]}{100} \right] * 10^{-6} [^{\circ}\text{C}^{-1}]$$

Suponiendo que el aluminio va a estar a una temperatura de alrededor de 450°C, se introduce este valor en dicha ecuación:

$$\alpha(20/450) = 26.6 * 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$$

Las prensas suelen disponer de sistemas de calentamiento del manto, así se puede mantener la temperatura del tocho de aluminio muy estable y homogéneo en toda la superficie transversal. Con esto se puede tener la seguridad de estar trabajando a la temperatura adecuada [37].

Suposiciones para la resolución:

- Temperatura completamente homogénea a lo largo de la sección transversal
- Temperatura constante durante la extrusión
- Sin generación de calor por deformación plástica y rozamiento.

Datos:

Coefficiente de dilatación obtenido con ec.16: $\alpha_{Al} = 26.6 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

Longitud final de la cota bajo análisis:

$$\text{(ec. 17)} \quad L_f = L_0 \cdot (1 + \alpha_{Al} \cdot \Delta T)$$

Siendo: $\Delta T = T_{Al} - T_{ambiente}$

Se parte despejando la relación anterior para la obtención de la deformación:

$$\varepsilon_d = \frac{L_f}{L_0} - 1 = \alpha_{Al} \cdot \Delta T$$

Introduciendo los datos de coeficiente y temperatura, se puede determinar que el aluminio tendrá una dilatación media de:

$$\varepsilon_d = 26.6 \cdot 10^{-6} \cdot (450 - 20) = 0.011$$

COMPRESIÓN ELÁSTICA A LA SALIDA

La parte elástica de la compresión está presente en la salida del perfil en el proceso de la extrusión. Se produce una expansión proporcional al módulo elástico en la última fase de formación, localizada en el roce. Esta expansión se puede calcular fácilmente con el módulo de Young suponiendo que la presión en las paredes es la del límite elástico.

$$\varepsilon_e = \frac{\sigma_0}{E_{Al}}$$

Datos:

$$\sigma_0 = 50 \text{ MPa}$$

$$E_{Al} = 32200 \text{ MPa}$$

Introduciendo los datos se obtiene:

$$\varepsilon_e = \frac{50}{32200} \approx -1.55 \cdot 10^{-3}$$

ESTIRADO DEL PERFIL EXTRUIDO

Tras la extrusión, se aplica el estirado del perfil para la eliminación de defectos geométricos. Al realizar el estirado se produce una reducción de sección. Este proceso se realiza a todos los perfiles, por lo que se tiene que tener en cuenta también para el sobredimensionado.

El volumen de aluminio es constante, esto implica que el volumen inicial y final de aluminio es igual, pudiendo ser expresado en forma de igualdad para una geometría cualquiera.

$$A_0 \cdot L_0 = A_f \cdot L_f$$

Dónde:

$A_0, L_0 =$ Area transversal y longitud inicial del perfil sin estirar

$A_f, L_f =$ Area transversal y longitud inicial del perfil estirado.

La longitud final está definida por la longitud inicial del perfil más el tramo estirado.

$$(ec. 18) \quad L_f = L_0 + \Delta L$$

Teniendo en cuenta la ley de Hook generalizada, se va a intentar demostrar que la deformación unitaria en los dos ejes perpendiculares y ortogonales a la dirección de estirado, son iguales.

Aplicando la tensión únicamente en el eje "Z" quedaría únicamente σ_{zz} , siendo el resto de los términos de tensión nulos, así pues se muestra a continuación:

$$(ec. 19) \quad \begin{bmatrix} \epsilon_{xx} & \gamma_{xy} & \gamma_{xz} \\ \gamma_{yx} & \epsilon_{yy} & \gamma_{yz} \\ \gamma_{zx} & \gamma_{zy} & \epsilon_{zz} \end{bmatrix} = \frac{1+\nu}{E} \cdot \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{zz} \end{bmatrix} - \frac{\nu}{E} \begin{bmatrix} \sigma_{zz} & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_{zz} & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{zz} \end{bmatrix}$$

Según se ve ϵ_{xx} y ϵ_{yy} son iguales y por lo tanto se puede suponer que en el proceso del estirado, a pesar de ser este un proceso de deformación plástica, los desplazamientos van a ser muy parecidos en las dos direcciones.

Retomando la ecuación de igualdad de volúmenes, se va a obtener la relación entre los milímetros estirados y la deformación, en las dos direcciones perpendiculares y ortogonales a esta. Se elimina el espesor y la altura final, introduciendo la deformación unitaria en la ecuación de igualdad de volúmenes:

$$(ec. 20) \quad e_i \cdot h_i \cdot l_i = e_f \cdot h_f \cdot l_f$$

Relacionando ϵ_e del estirado con las medidas finales desconocidas:

$$(ec. 21) \quad e_f = (\epsilon_e + 1) \cdot e_i$$

$$(ec. 22) \quad h_f = (\epsilon_e + 1) \cdot h_i$$

$$(ec. 23) \quad l_f = l_i + \Delta l$$

Se obtiene la deformación en función de la longitud inicial y el tramo estirado:

$$(ec. 24) \quad \epsilon_e = \sqrt{\frac{l_i}{l_i + \Delta l}} - 1$$

Normalmente los perfiles a la salida de la prensa tienen una longitud de 50 metros. El estirado que se realiza depende del perfil y su estado de linealidad. Como no hay una medida general, (y es un factor que depende principalmente de la experiencia del operario, tolerancias geométricas y efecto visual), se va a considerar una medida estándar de 150 mm. Aplicando la fórmula 24, se obtiene que la reducción unitaria de perfil a causa del estirado va a ser:

$$\epsilon_e = \sqrt{\frac{50000}{50000 + 150}} - 1 \approx -1.5 \cdot 10^{-3} = -0.15 \%$$

DILATACIÓN DEL ACERO

Por último se va a considerar la influencia producida por la dilatación del acero de la matriz en la forma del perfil. Se pretende corregir este fenómeno para una mejor adaptación en las medidas.

En primer lugar se ha de determinar el coeficiente de dilatación para dicho acero, esto no va a ser tan complejo como en el caso del aluminio ya que es un acero para trabajar en caliente y se disponen de datos de este a altas temperaturas.

	Température / Temperatura	10^{-6} m/(m.K)
Dilatation thermique, entre 20°C et ...°C, 10^{-6} m/(m.K)	100°C	11,5
	200°C	12,0
	300°C	12,2
	400°C	12,5
Dilatación térmica, entre 20°C y ...°C, 10^{-6} m/(m.K)	500°C	12,9
	600°C	13,0
	700°C	13,2

Figura 46 Coeficiente de dilatación térmica para varios rangos de temperatura acero Böhler W302 [38].

La figura 46 expone los coeficientes de dilatación del acero utilizado para varios rangos de temperatura. Los rangos de temperatura parten de los 20 °C y alcanzan la indicada.

Teniendo en cuenta el coeficiente valido de 20°C a 500°C. Dado que la matriz va a ser calentada a 450°C el coeficiente a emplear va a ser:

$$\alpha_{ac} = 12.9 \cdot 10^{-6}$$

$$\varepsilon_{dac} = \alpha_{ac} \cdot \Delta T$$

Teniendo:

$$\Delta T = 450 - 20 = 430$$

Se introducen los datos en la relación:

$$\varepsilon_{dac} = 12.9 \cdot 10^{-6} \cdot 430$$

$$\varepsilon_{dac} = 5.547 \cdot 10^{-3} \approx 0.55\%$$

8.3 CALCULO DE ROCES

Descripción telegráfica del proceso para solución de alturas de roce [48] [49]:

- Se toma la vista frontal de la matriz con las salidas ya posicionadas.
- Localización centro de la circunferencia descrita por el contenedor que se llamara a partir de ahora C_0 .
- Realización de una circunferencia con centro en C_0 al punto externo máximo en el que se encuentra la geometría.
- Determinación espesor mínimo de roce en función del espesor máximo del perfil.
- Asignar dicho espesor al punto más alejado descrito.
- Cubrir las dos geometrías con circunferencias concéntricas, reduciendo en radio de 10 en 10 mm.

Implementación del proceso paso a paso para la resolución de la geometría deseada.

1. Búsqueda del punto más alejado a través de la primera circunferencia.

Se parte del plano del perfil posicionados en la matriz a escala 1:1.

Se realiza una circunferencia con centro en C_0 y de radio coincidente con la cota radial del extremo del perfil más alejado del centro.

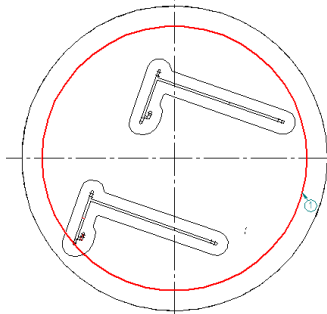


Figura 47

2. Determinación del punto con menor espesor de roce.

El espesor de roce mínimo o espesor de referencia, es un valor de espesor por el cual no se va a estar por debajo en ninguno de los puntos del roce. Este se asigna buscando el espesor mínimo del perfil, independientemente si se encuentra en el centro o en los extremos. Con el espesor mínimo se entra en la tabla del **anexo 6** y se asigna directamente el espesor mínimo de roce.

- Para el espesor de perfil 1.25 mm corresponde una espesor de roce de 2.2 mm

Es importante entender que este espesor solo va a servir como referencia para calcular los demás, haciéndolos proporcionales al patrón inicial.

3. Implementación del resto de circunferencias sobre la geometría.

Se realiza una segunda circunferencia concéntrica con la anterior y un radio 10 mm menor. Es mostrado en la siguiente captura de pantalla.

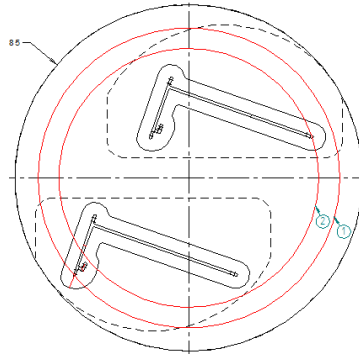


Figura 48

Se realizan tantas curvas sean necesarias hasta cubrir las geometrías de los perfiles completamente reduciendo el radio.

Cada una de estas circunferencias es un paso, siendo el primer paso la circunferencia exterior y aumentando una a una hasta llegar a la última circunferencia. El número de pasos es el número de circunferencias.

Los puntos de corte que hay en cada uno de los pasos con la geometría del perfil, son puntos de transición entre distintos espesores de roce.

El espesor de roce se asigna según el número de paso en el que se encuentra el punto a analizar, el espesor del perfil a extruir y el espesor de roce mínimo (espesor de referencia).

Asignación de espesor de roce a puntos coincidentes en el primer paso:

Los datos de entrada que se tienen son:

- Espesor del perfil en el punto a asignar
- Punto final de perfil o continuación. Esquina, muñón o zona de paso. Observando el punto a analizar
- Espesor de referencia y espesor mínimo de referencia.

Relaciones para las alturas de roce en los puntos de corte de la matriz.

- En cada paso que se avanza el espesor de roce aumenta un 10%.

$$h_{p+1} = h_p \cdot 1.1$$

- En las esquinas y zonas cerradas o terminales el espesor de roce se ve reducido un 30% con respecto a la cota normal.

$$h_{esquina} = h \cdot 0.7$$

- Para cambios de espesor de perfil en un mismo paso, el espesor de roce aumenta o disminuye proporcionalmente.

$$h_1 = h * \frac{e_1}{e}$$

A continuación se aplican estas reglas en el caso que se está tratando:

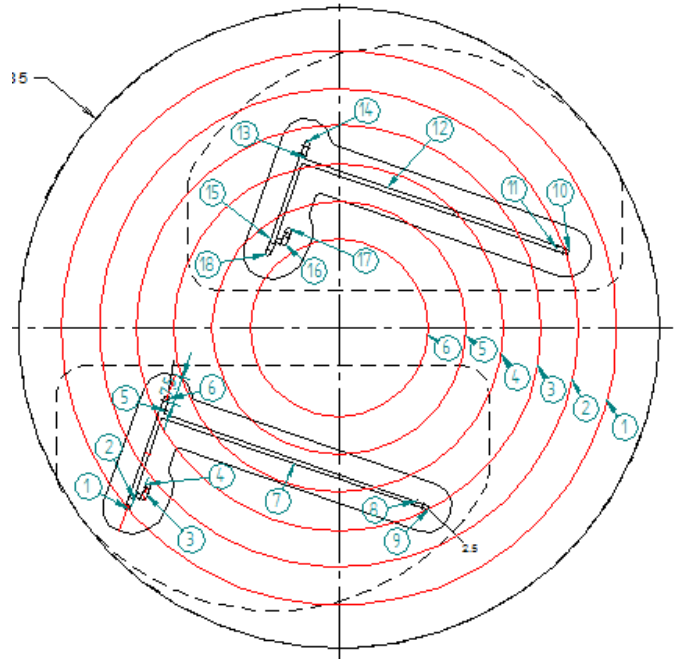


Figura 49

Punto 1: según el espesor de referencia determinado anteriormente, para el espesor de perfil 1.25 mm corresponde un espesor de roce de 2.2 mm.

Punto 2: Se aumenta 20% espesor, dado que partimos de un punto terminal, al pasar la zona de tránsito, este tiene que tener un espesor mayor para equilibrar la menor oposición de paso de flujo por zonas abiertas.

Punto 3: Se aumenta del 5% del espesor con respecto al 2. Esta esquina está aproximadamente medio paso más cerca del centro con respecto al punto 2, esto implica un aumento de espesor de roce.

Punto 4: Se reduce el espesor un 20% con respecto al punto 3. El punto 4 es una zona terminal con gran retención a causa del cerramiento.

Punto 5: Entre el punto 5 y el 2 hay dos pasos de diferencia, aumento el espesor del 2 un 20%.

Punto 6: Se reduce espesor de roce 20% con respecto al punto 5. Al entrar en un tramo terminal, la fricción con las paredes aumenta y reducimos espesor para equilibrar.

Punto 7: Este punto es de espesor máximo en el perfil, dado que es el más próximo al centro, está aproximadamente a 1.5 pasos del punto 5, por lo que se aumenta el espesor de roce un 15%.

Punto 8: Este es coincidente con el punto 5, le aplico el mismo espesor.

Punto 9: Reduzco un 30% el espesor con respecto al punto 8.

Punto 10: Este es el primer punto que se considera de la segunda figura, para que los dos perfiles salgan a la misma velocidad se sigue teniendo en cuenta los pasos con la referencia.

del primer perfil. Al ser punto terminal se hace reducción del 30% con respecto a punto abierto en el mismo paso.

Punto 11: Se Elimina reducción 30% del punto 10.

Punto 12: Esta aproximadamente a 1.5 pasos del punto 5, por lo que se aumente el espesor de roce un 15%.

Punto 13: Se aleja del centro un paso con respecto al punto 12, se aplica reducción del 10% con respecto al 12.

Punto 14: Se reduce un 30% de roce con respecto al punto 13.

Punto 15: Se acerca al centro dos pasos con respecto al punto 13, Aumento 20% con respecto al punto 13.

Punto 16: muy próximo al punto 15, se mantiene el mismo espesor que el punto 15.

Punto 17: Reducción de espesor en un 30% con respecto al 16

Punto 18: Reducción de espesor en un 30% con respecto al 15.

8.4 REFERENCIAS ALTURA DE ROCE

CONSIDERACIONES A TENER EN CUENTA EN LA UTILIZACIÓN DE LA TABLA.

- Los valores de referencia están tabulados y las formulas expuestas son empíricas.
- Para un espesor de perfil se calcula la altura h de roce que le correspondería al punto más alejado del centro.
- El fin de buscar el punto más alejado, con el menor espesor de perfil, es el de asegurarse que el resto de alturas de roce van a ser mayores, y por lo tanto no se va a correr el riesgo de diseñar una altura de roce menor que la de referencia, evitando su rotura o alta deformación.
- Los roces aplicados en la cara opuesta, es decir en la cara de entrada del aluminio tendrían una mayor influencia ya que se puede considerar una modificación local del sink-in y por lo tanto no se podrían aplicar las normas establecidas.

Tabla 10. Tabla con los valores tabulados del espesor y altura de referencia.

Espesor	h	Espesor	h	Espesor	h
0,5	1,3	6,75	7,2	25	22
0,75	1,8	7	7,5	26	22,5
1	2	7,25	7,7	27	23,5
1,25	2,2	7,5	8	28	24,5
1,5	2,2	7,75	8,2	29	25
1,75	2,3	8	8,5	30	26
2	2,5	8,5	9	31	26,5
2,25	2,7	9	9,5	32	27,5
2,5	3	9,5	9,7	33	28,5
2,75	3,2	10	10	34	29
3	3,5	11	11	35	30
3,25	3,7	12	11,5	37	31
3,5	4	13	12	40	33
3,75	4,2	14	13	42	34
4	4,5	15	14	45	36
4,25	4,7	16	14,5	50	38
4,5	5	17	15	55	40
4,75	5,2	18	16	60	42
5	5,5	19	16,5	65	43
5,25	5,8	20	17,5	70	44
5,5	6	21	18,5	75	45
6	6,5	22	19	80	46
6,25	6,7	23	20	90	48
6,5	7	24	21	100	50

8.5 PROFUNDIDAD DEL SINK-IN

Se determina una profundidad que permanece en la mayor parte de los casos invariable alrededor de todo el perfil.

Se enumeran una serie de excepciones en las que se podría considerar el cambio de altura local [45] [46] [47]:

- Casos en los que el perfil tiene un estriado o antideslizante a lo largo de la superficie, con estriados, se aplica un rebaje. Es importante que el estriado sea continuo, en caso contrario, entre estrías hay más del doble de espacio que su propia profundidad, estas no se tienen en cuenta y se considera una superficie lisa.

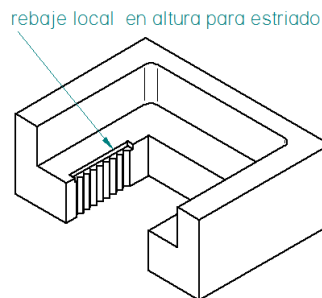


Figura 50

- Pequeñas cavidades localizadas en zonas de gran alimentación. En estos casos se puede aplicar un rebaje local, que afecte solo a la pequeña cavidad. Se reduce la resistencia al paso de aluminio por la zona.

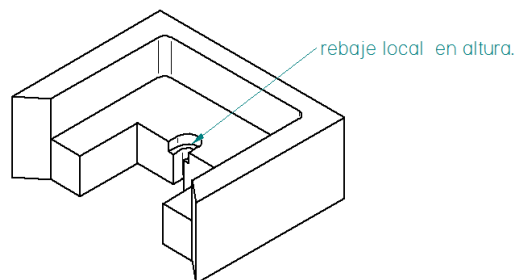


Figura 51

El offset en el sink-in es la distancia que existe del comienzo del perfil, zona exterior en el roce hasta el interior de la cajera. Esta longitud varía notablemente según exista una mayor o menor cantidad de cavidades y no tiene por qué ser constante a lo largo de del perfil. Normalmente aumenta en esquinas y especialmente en zonas terminales, por el contrario, cuando se pretende frenar el flujo este se reduce. El aumento o disminución del offset va en función también de como se ha diseñado el roce, si se han seguido las pautas comentadas anteriormente, este no tendría por qué ser modificado o con grandes variaciones en ningún punto, por el contrario, si no hemos podido respetar alguna de estas alturas se aplicarían variaciones en este punto.

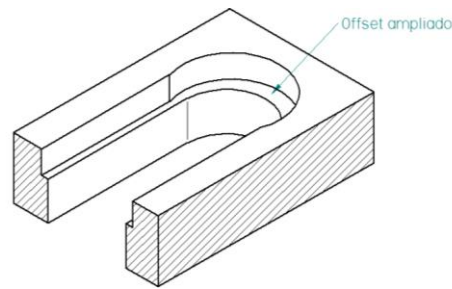


Figura 52. Ilustración de un mayor offset en la esquina.

PERFILES HUECOS

Para matrices huecas con puente, empieza a perder importancia el dimensionado del roce y gana influencia el cómo están concebidos los ángulos que direccionan el flujo de aluminio hacia la salida, aunque estas siguen teniendo un papel fundamental.

En el caso del puente del perfil hueco los ángulos de entrada del aluminio pueden incrementar o reducirle la vida, afectando también a las tensiones que ha de soportar e incluso su validez. Realizando un diseño que ayude a concentrar las tensiones en la dirección radial de este, para que dichas tensiones no tengan que ser soportadas en su totalidad por los nervios que forman las cámaras de alimentación.

A modo descriptivo se presenta un mismo puente con la superficie superior de entrada de aluminio redondeada y otro sin redondear. La presión normal en la superficie de entrada, va a ser mejor soportada por el puente con entrada semiesférica; ya que la componente radial de dichas tensiones va a ser anulada. En el caso contrario, con una entrada plana la componente radial es cero, tomando el total de la tensión la componente axial.

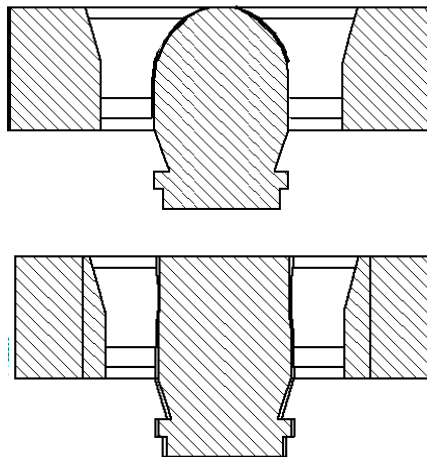


Figura 53

9 ANEXO III: COMPORTAMIENTO MECANICO DEL ACERO

COMPORTAMIENTO DEL MATERIAL

Se determinan las propiedades del acero seleccionado. Este es de la casa Böhler tipo W302. Trabajando a aproximadamente 500°C y tomando los datos que son facilitados por el propio fabricante.

Propriétés physiques		Propiedades físicas	
Densité à /			
Densidad a	20°C	7,80	kg/dm ³
	500°C	7,64	kg/dm ³
	600°C	7,60	kg/dm ³
Résistivité à /			
Resistencia eléctrica específica a	20°C	0,52	Ohm.mm ² /m
	500°C	0,86	Ohm.mm ² /m
	600°C	0,96	Ohm.mm ² /m
Module d' élasticité à /			
Módulo de elasticidad a	20°C	215 x 10 ³	N/mm ²
	500°C	176 x 10 ³	N/mm ²
	600°C	165 x 10 ³	N/mm ²

Figura 54. Densidad, resistencia eléctrica y modulo elástica a distintas temperaturas. Böhler W302 [39]

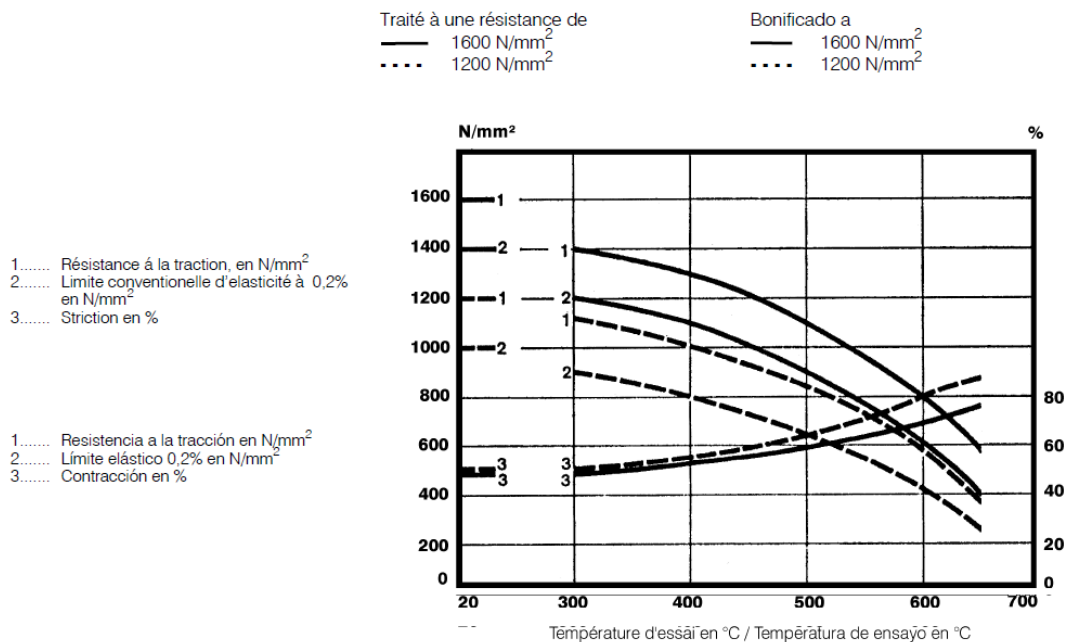


Figura 55. Graficas superpuestas de resistencia a la tracción, límite de proporcionalidad y contracción. Böhler W302 [40]

OBTENCIÓN DEL LÍMITE ELÁSTICO Y LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN

A través del proceso de bonificado, la matriz va a tener una dureza de en torno a 50 HRC, esto corresponde a una resistencia de 1675 MPa. Según se ve expresado en la figura 56, solo hay datos para el acero tratado a 1200 MPa y 1600 MPa.

Para la obtención del límite elástico y de rotura a la temperatura de 500 °C con resistencia de 1675 MPa, se toman los datos de los que se disponen para la resistencia de 1200 y 1600 MPa, figura 57. Estos datos se extrapolan para la resistencia de nuestra matriz.

9.1 LIMITE DE ROTURA

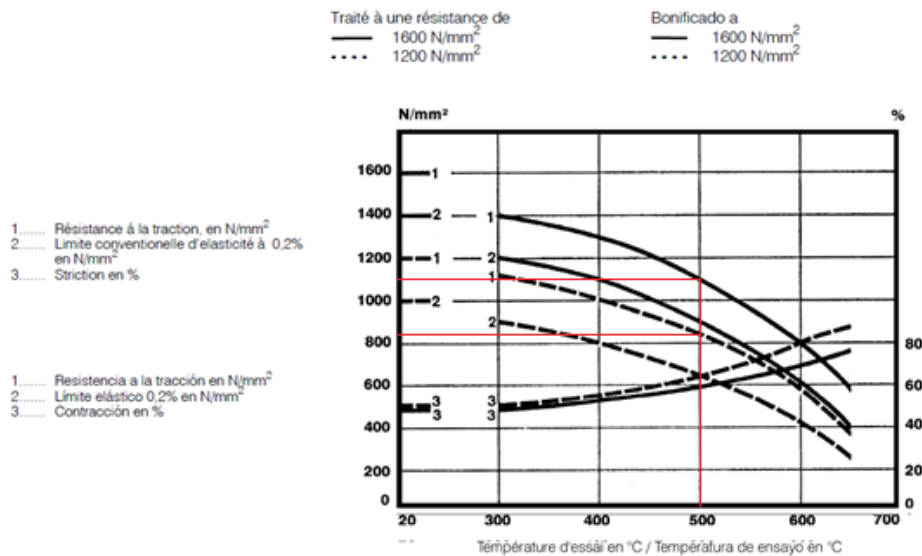


Figura 56. Toma de datos de la resistencia a la tracción.

- Bonificado a 1600MPa, a una temperatura de trabajo de 500°C, corresponde una resistencia a la tracción de 1100MPa.
- Bonificado de 1200MPa, a una temperatura de trabajo de 500°C, la resistencia correspondiente es de 850 MPa.

Extrapolando los datos a 1675°C, se determina el límite de tracción de nuestro acero en trabajo.

$$\frac{1600 - 1200}{1100 - 850} = \frac{1675 - 1600}{\sigma_{1675} - 1100}$$

$$\sigma_{LT1675} = 1147 \text{ MPa como limite de tracción}$$

9.2 LIMITE ELÁSTICO

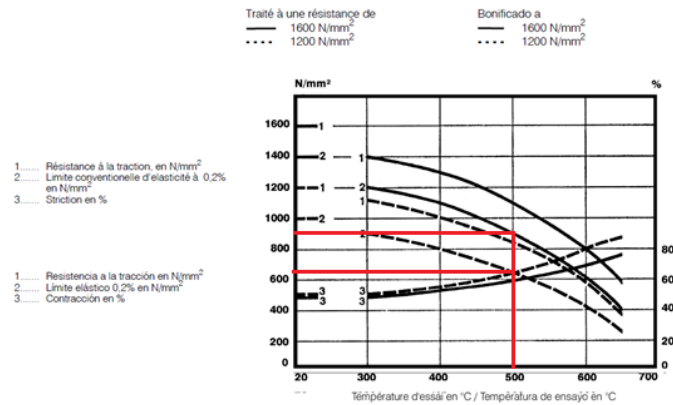


Figura 57. Toma de datos de la resistencia a la tracción.

- Bonificado a 1600MPa, a una temperatura de trabajo de 500°C, corresponde un límite elástico de 900 MPa.
- Bonificado de 1200MPa, a una temperatura de trabajo de 500°C, el límite elástico correspondiente es de 650 MPa.

Extrapolando los datos correspondientes a nuestro caso, 1675°C, se determina el límite de elástico de nuestro acero en trabajo.

$$\frac{1600 - 1200}{900 - 650} = \frac{1675 - 1600}{\sigma_{LE1675} - 900}$$

$$\sigma_{LE1675} = 947 \text{ MPa como limite elastico}$$

10 ANEXO IV: ANALISIS FEM LINEAL Y NO LINEAL

10.1 PASOS EN LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROBLEMA FEM LINEAL

Se va a proceder a la implementación de los pasos, de forma detallada, para la obtención de los resultados mostrados [41] [42].

Definición del material: en este punto son implementadas las propiedades del acero Böehler W302 obtenidas en el ANEXO III.

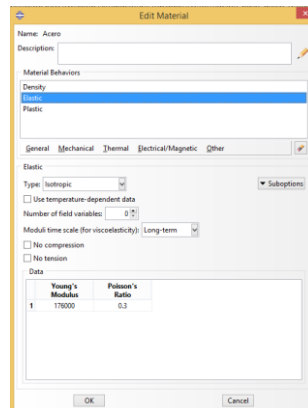


Figura 58. Parametros del material.

Creación del Step: La simulación es realizada en varios incrementos, indicando el comienzo de no linealidad a partir de los 947 MPa. Las condiciones de trabajo a las que la matriz debe estar expuesta son de pequeñas deformaciones lineales, pudiendo considerarse también un proceso estático. El paso asignado es de tipo estático general.

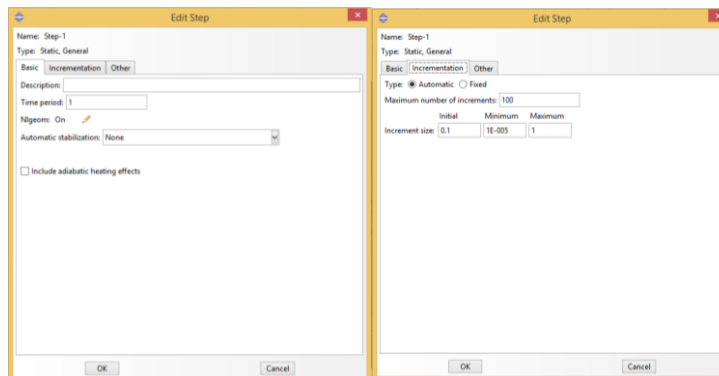


Figura 59. Captura pantalla para las características del paso.

Aplicación de las condiciones de contorno

Este proceso es muy importante, ya que en función de cómo se apliquen y aproximen a la realidad los resultados obtenidos, tendrán una mayor o menor veracidad.

Limitación radial

Al estar la matriz introducida en el anillo portamatrices, los desplazamientos en esa dirección están restringidos.

Limitación axial

A la cara de salida del perfil que está apoyada en el soporte, se le tiene que impedir los desplazamientos en el eje "Z", teniendo en cuenta la dimensión de las salidas en el

soporte. Como se puede observar en la propia captura de pantalla, se han tenido en cuenta las salidas dejando un voladizo.

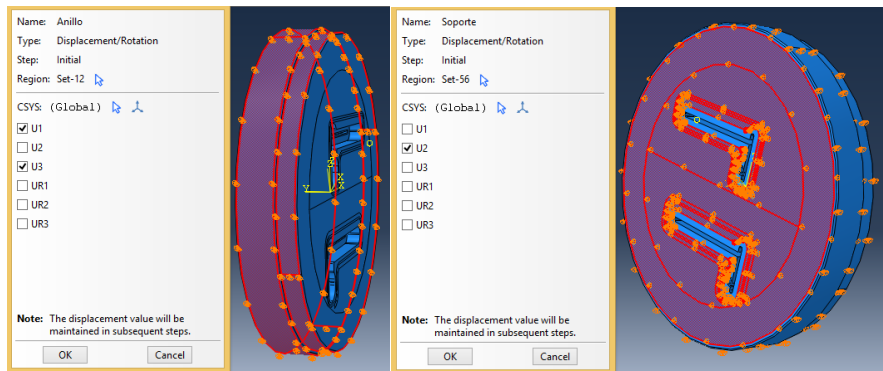


Figura 60. Condiciones de contorno aplicadas.

Aplicación cargas

Según se ha determinado en el proyecto la presión necesaria para extruir el aluminio va a ser de 348.53 MPa, la cual se va a aproximar a 350 MPa. Bajo esa suposición se aplican las cargas sobre las distintas superficies que van a estar en contacto con el aluminio.

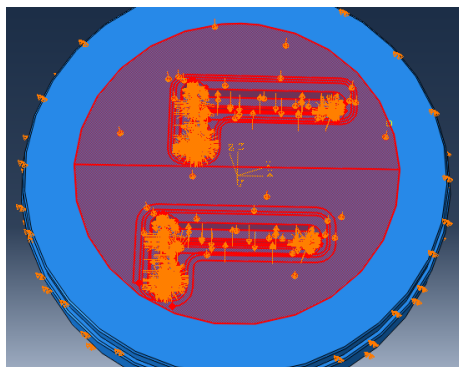


Figura 61. Presión aplicada sobre superficies de contacto.

Particiones realizadas

En la matriz se han realizado una serie de particiones, por las distintas razones que se exponen a continuación:

- Para que la distribución de la malla a lo largo de la matriz sea adecuada a las necesidades.
- Mejorar la calidad de mallado en la geometría.
- Geometrías imposibles de ser malladas si no son divididas en varias partes.

Para saber cuando se puede mallar una geometría correctamente, algunos software imprimen un color sobre la pieza indicando si es posible o no.

En primer lugar se realiza la partición en el límite del roce con la salida, según se muestra en la figura 62, esta región de la matriz es importante porque aunque tiene poca zona de voladizo, su

espesor es pequeño y la presión es alta. Además es donde se va a medir la desviación y es necesaria una mayor definición.

También se realiza un corte en el límite de la placa, donde se aplican las condiciones de contorno de no desplazamiento en la dirección normal a la superficie, coincidente con el Sink-in, de este modo se puede afinar la malla de forma progresiva y crear el límite para la CC. Figura 63.

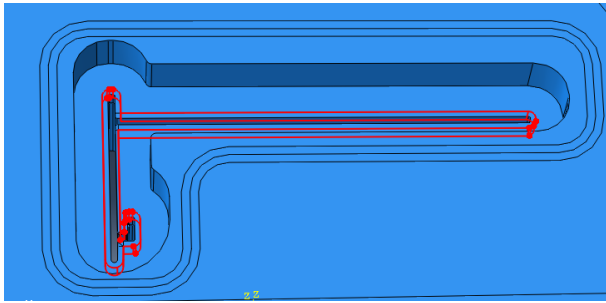


Figura 62 Perímetro de corte en la salida del perfil.

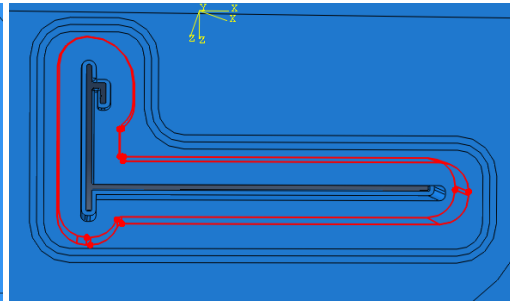


Figura 63. Trayectoria marcada por el contorno del sink-in.

La siguiente partición tiene una doble función, en primer lugar como partición para hacer un mejor mallado, haciendo este más progresivo, además de refinarla en las zonas de mayor sollicitación y haciéndola más grande donde las necesidades son menores por simplicidad. Otro objetivo es la simplificación de las geometrías para que la matriz se pueda mallar, debido a los cambios bruscos de sección no siempre es posible.

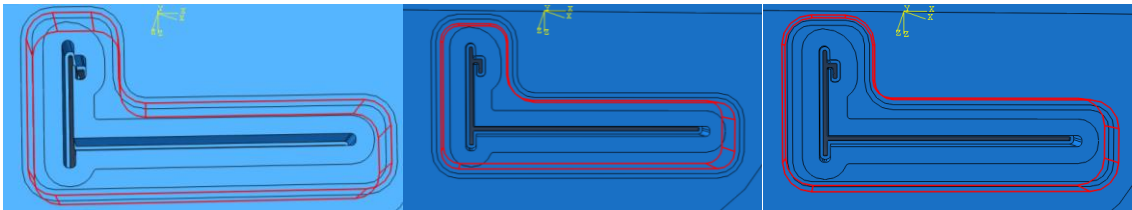


Figura 64. Captura pantalla con la forma del contorno del soporte.

Además de los cortes en las geometrías de salida del perfil, también se corta la placa por la mitad, y marcamos la superficie definida por el contenedor.

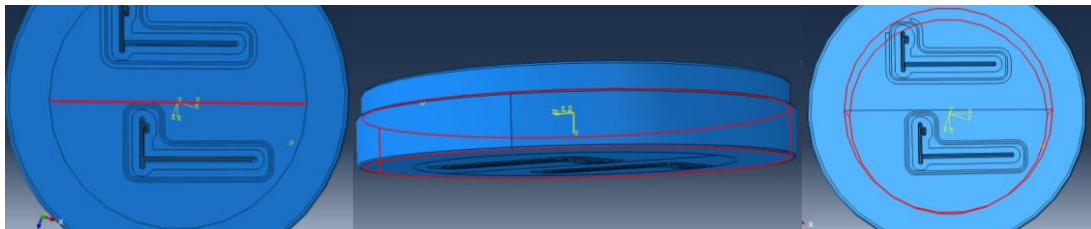


Figura 65. Corte de circunferencia coincidente con contenedor.

Figura 66. Corte a la altura del rebaje.

También se ha tenido que particionar el roce en algunos puntos para que sea posible su mallado como se muestra a continuación.



Figura 67. Detalles de cortes en el roce.

Mallado

Según se ha expuesto anteriormente en el documento, se pretende realizar un mallado escalonado. Los tamaños de malla empleados son de 1 mm en el roce, 2 mm en todo el sink-in y 6 mm en el resto de la matriz. Fig. 79

Los controles de los elementos se mantienen por defecto seleccionando un análisis de tensiones tridimensional. Fig. 80

Tipo de elemento empleado: hexaédrico.

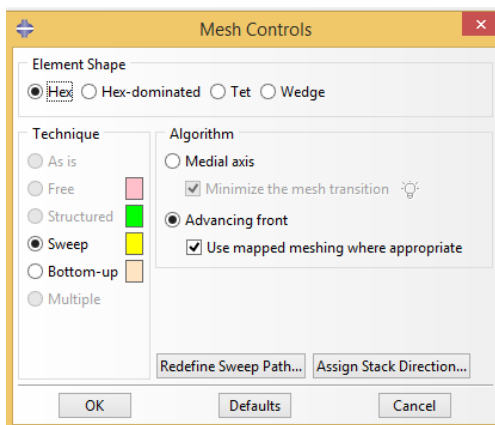


Figura 68. Tipo de elemento.

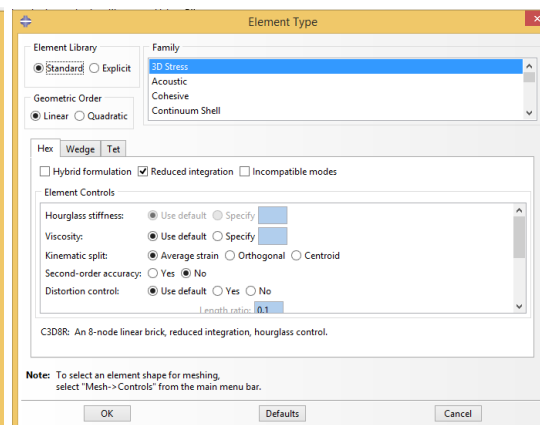


Figura 69. Parámetros de los elementos.

El tamaño de malla en el eje axial, va a ser dividido en dos partes, haciendo una parte de 1 mm que cubra la zona de roce y formación del aluminio, y otra, de menor definición, de 5 mm de lado, cubriendo el resto de la matriz.

Las vistas de la geometría mallada se muestran en las figuras 70 y 72.

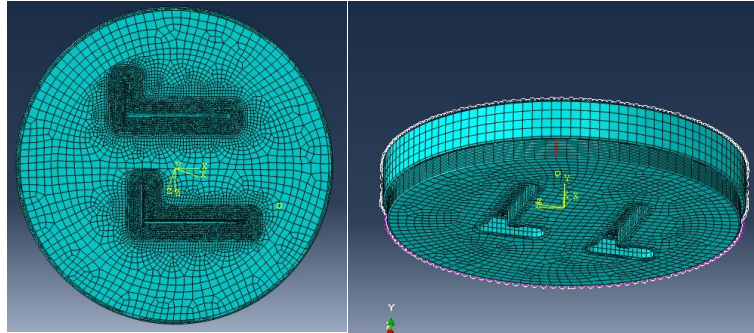


Figura 70. Vista general de la malla en la placa. Figura 71. Vista del tamaño de malla para el espesor.

Vista general del mallado de la placa con las tres zonas de malla diferentes, esta tiene un total de 189651 nodos y 171911 elementos hexaedricos.

PROCESADO

La simulación es ejecutada en varias iteraciones, habiendo establecido el comienzo de la plasticidad en los 947 MPa.

Step	Increment	Att	Severe Discon Iter	Equil Iter	Total Iter	Total Time/Freq	Step Time/LPF	Time/LPF Inc
1	1	1	0	2	2	0.1	0.1	0.1
1	2	1	0	1	1	0.2	0.2	0.1
1	3	1	0	1	1	0.35	0.35	0.15
1	4	1	0	1	1	0.575	0.575	0.225
1	5	1	0	2	2	0.9125	0.9125	0.3375
1	6	1	0	2	2	1	1	0.0875

Figura 72. Iteraciones ejecutadas para la simulación.

Información extraída de software FEM para análisis de la matriz

Giro del roce

Se van a analizar los giros producidos en consecuencia de las cargas aplicadas. Los desplazamientos de la matriz han sido ampliados 35 veces.

En la siguiente imagen, se aprecia una vista general del campo de desplazamientos, siendo la parte exterior la menos afectada a causa de la falta de contacto con el aluminio.

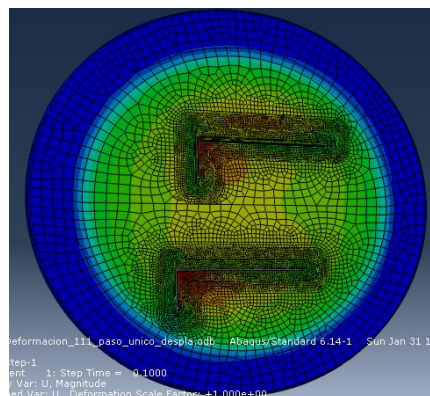


Figura 73. Vista general del campo de desplazamientos en la matriz.

Capturas de pantalla de la primera y segunda salida.

Las zonas más afectadas por los desplazamientos, y donde mayor modificación de la geometría se produce, es en las zonas con color rojo intenso.

Las deformaciones producidas en la segunda salida son muy parecidas a los de la primera.

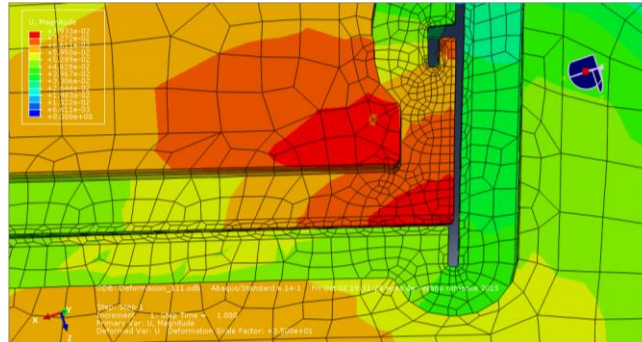


Figura 74. Vista enfocada de la zona con mayores deformaciones.

Otra zona crítica observada ha sido la lengüeta del perfil, por su aparente debilidad. En este análisis no se observa que esté notablemente afectada a pesar de su aparente debilidad. Se deja fuera del análisis de desplazamientos, hay otros puntos con mayor riesgo.

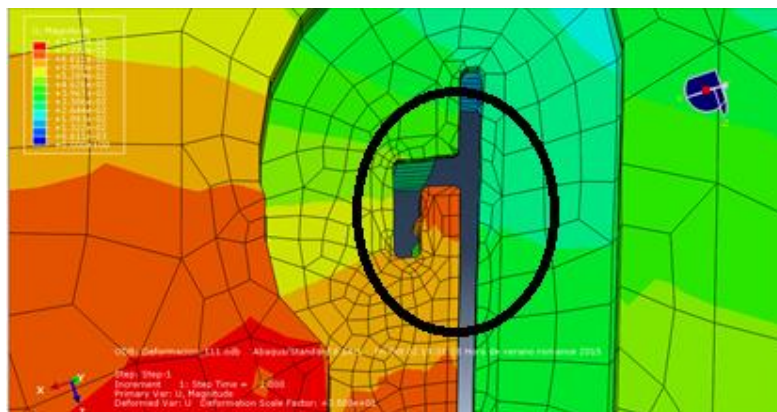


Figura 75. Vista centrada en la lengüeta del perfil.

Extracción de los datos y análisis de los mismos.

Los mayores desplazamientos de ambas salidas se encuentran en la misma zona, aunque con valores distintos. Se va a analizar el giro producido en las zonas de mayor desplazamiento para las dos salidas.

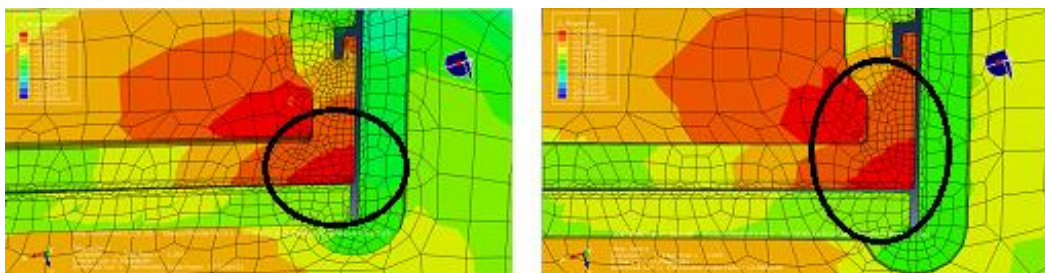


Figura 76. Desplazamientos en la primera y segunda salida.

Para el correcto funcionamiento de la matriz de extrusión, se tiene que establecer un giro máximo producido en el roce. Este giro límite se considera de 0.08° , o lo que es lo mismo de $4.8'$. Se establece este valor por considerarse suficientemente pequeño para no afectar al flujo de aluminio. Es empleado dentro del sector.

En el caso de que se supere el ángulo límite marcado en algún punto, se tendría que hacer la correspondiente compensación del mismo como solución del problema, además de un estudio más en profundidad del resto del roce de la matriz.

Lo primero que se tiene que hacer para poder analizar dicho parámetro, es crear las trayectorias que pasan por los nodos de los que se quieren extraer los datos.

En las imágenes siguientes se muestran las trayectorias diseñadas de una única salida. El proceso para la creación de las trayectorias de la segunda salida sería el mismo.

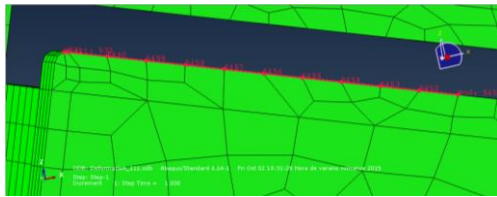


Figura 77.

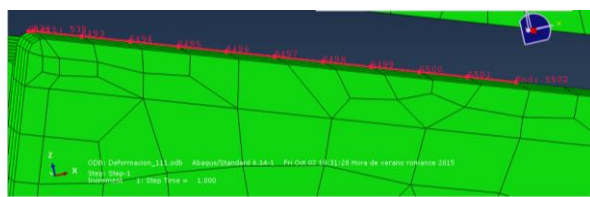


Figura 78

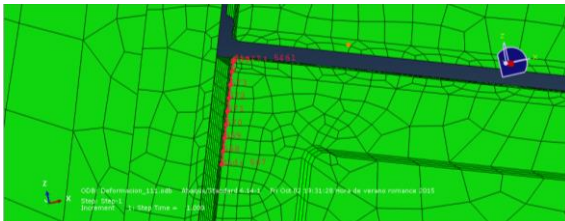


Figura 79

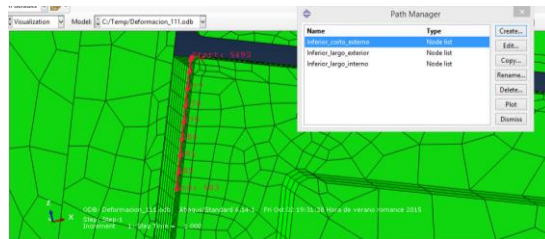


Figura 80

Al grupo de nodos ligados a las trayectorias definidas, son extraídos los desplazamientos normales a la superficie de salida del aluminio, como es detallado en el proyecto.

10.2 PASOS EN LA REALIZACIÓN DEL ANÁLISIS FEM NO LINEAL

Pasos seguidos para la realización del análisis FEM y su implementación [43,44]:

- Creación de las partes
- Creación e implementación del material empleado
- Asignación del material a la geometría
- Creación de las propiedades de contacto e interacciones
- Aplicación de las condiciones de contorno y cargas
- Creación de malla
- Cálculo
- Análisis de la geometría.

Creación de las partes

- **Matriz y contenedor.**

Tanto el contenedor como la matriz son implementados como una única pieza, y el material es considerado rígido para la simplificación del problema.

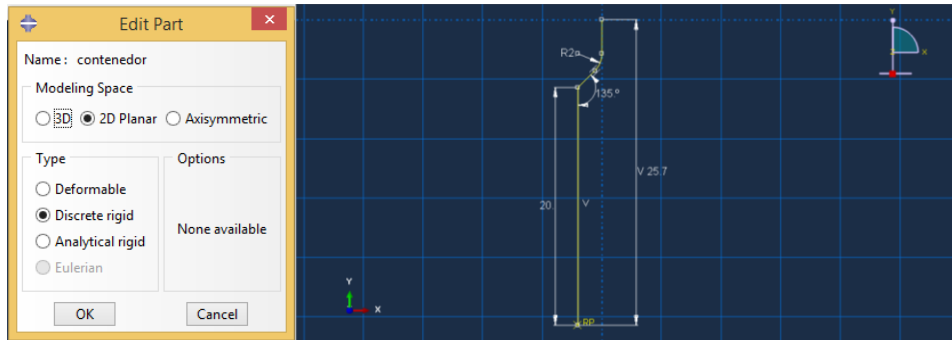


Figura 81. Vista del diseño con cotas de la matriz y el contenedor.

- **Tocho de aluminio.**

La parte exterior del tocho, tiene la misma forma que la parte interior del contenedor-matriz.

Se define únicamente la mitad, aplicando simetría para la simplificación del problema.

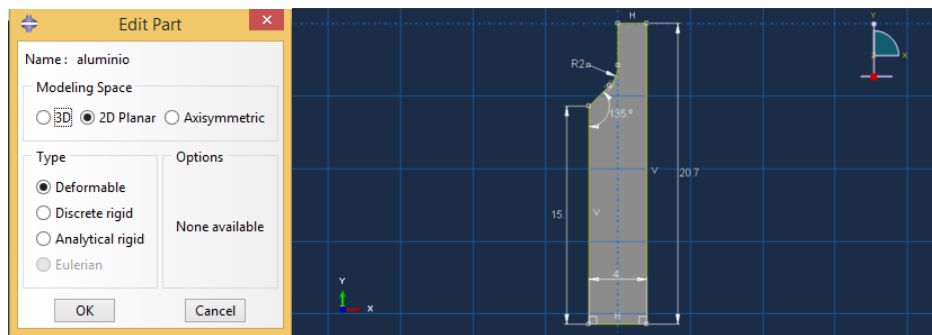


Figura 82. Vista del tocho de aluminio con cotas.

Creación e implementación del aluminio.

- **Propiedades elásticas.**

Aluminio definido con modulo elástico $E=32200$ MPa y coef. Poisson $\nu=0.3$

- **Propiedades plásticas.**

En la definición de la curva plástica, se utiliza la ley de Hollomon, esta ha sido ajustada con los datos obtenidos de la curva tensión-deformación del aluminio, trabajando a temperaturas próximas a 450°C.

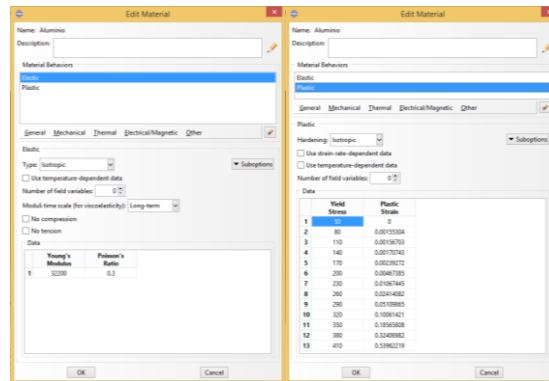


Figura 83.

Asignación del paso para el análisis

Dado que la velocidad de extrusión es relativamente lenta, se considera un paso estático general. Asegurándose que la opción de deformación plástica esta activa, y aumentando el número máximo de incrementos a 1000, a causa de la alta no linealidad, se van a producir una gran cantidad de incrementos siendo estos muy pequeños.

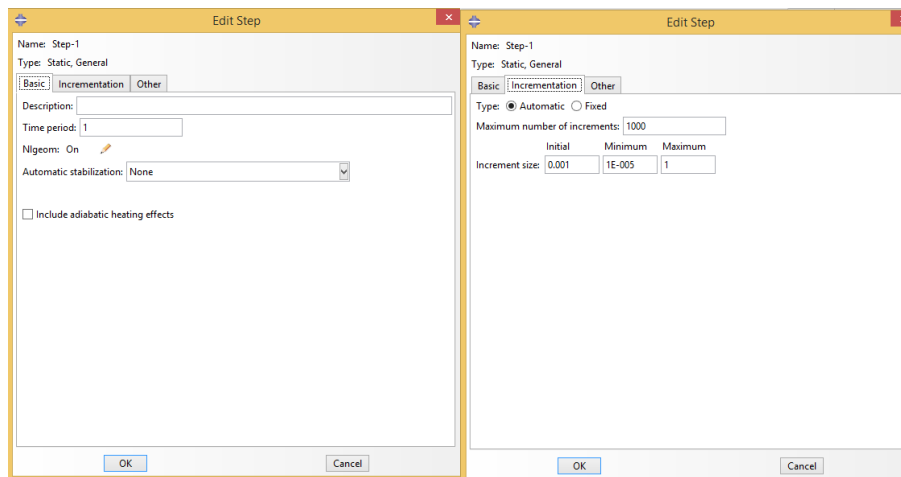


Figura 84

Creación de las propiedades de contacto e interacciones

Como condición de contacto, se establece un coeficiente de rozamiento de 0.2 para la ley de Coulomb, entre el aluminio, contenedor y matriz. Este parámetro va a producir una mayor distorsión en la geometría a analizar. La fuerza de rozamiento producida en el roce también va a ayudar a que este tenga mayor o menor facilidad en la salida cuando se cambie.

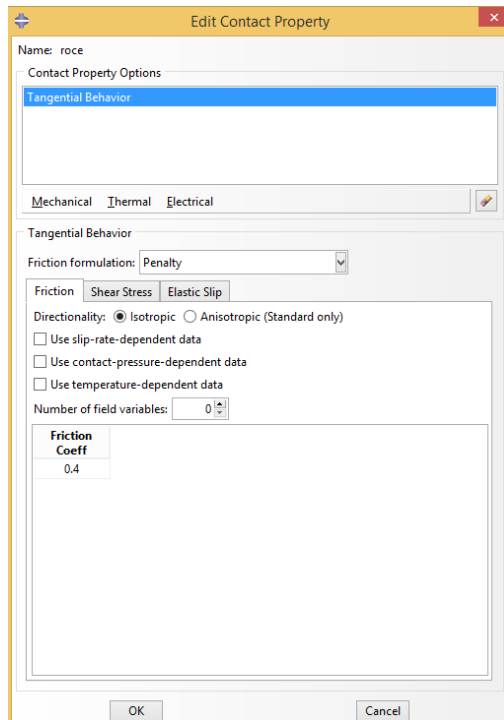


Figura 85

Una vez están definidas las propiedades de contacto, se determina la interacción entre las partes con un contacto general entre los elementos. La otra opción habría sido definir las superficies y posteriormente seleccionar los pares que están en contacto.

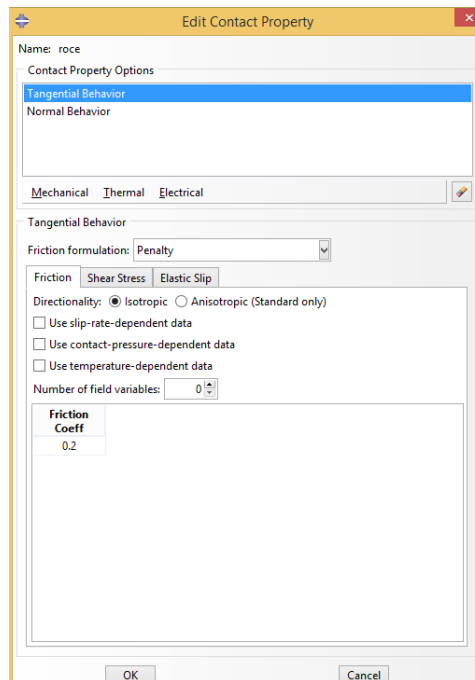


Figura 86

Aplicación de condiciones de contorno y cargas.

Las condiciones de contorno asignadas en el conjunto son un total de tres.

- Simetría
- Encastre del contenedor
- Imposición de desplazamientos.

1. Aplicación de la simetría en la figura. Se impiden los desplazamientos normales en la superficie de corte.

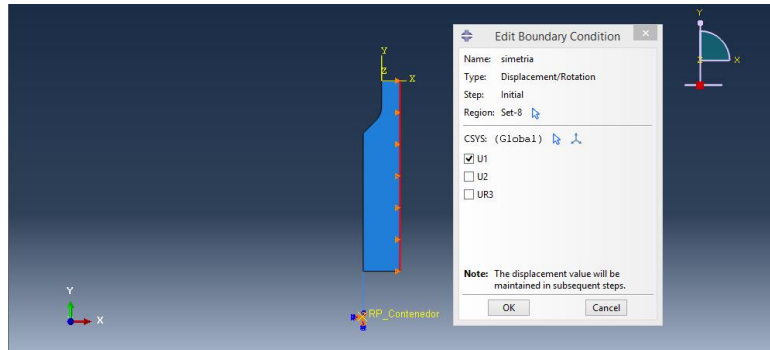


Figura 87

2. Encastre de la matriz en la parte inferior. Este elemento es completamente rígido, no influye en los resultados como han sido impedidos esos desplazamientos.

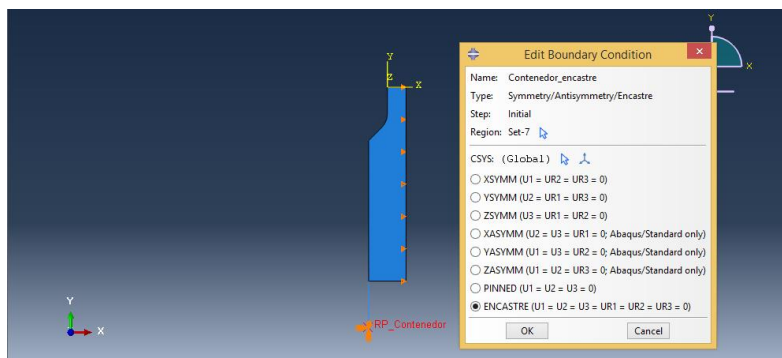


Figura 88

3. Imposición de desplazamientos en la superficie inferior del perfil, aplicación un desplazamiento uniforme de 10 mm para todos los supuestos.

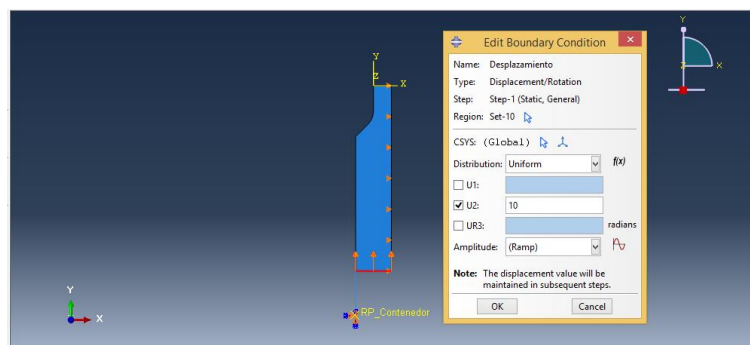


Figura 89

Creación de malla

Es asignado un tamaño de malla de 0.2 mm de lado, dejando los controles de curvatura que aparecen por defecto.

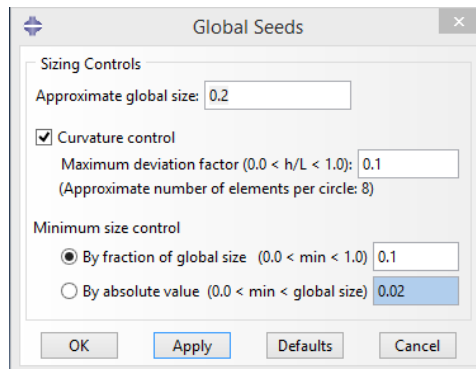


Figura 90

Aplicada malla triangular para toda la geometría, esta tiene buenas propiedades en situaciones de grandes variaciones de tamaño.

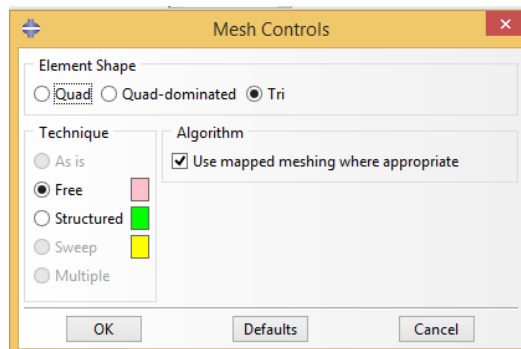


Figura 91

Se aplica deformación plana manteniendo los controles por defecto.

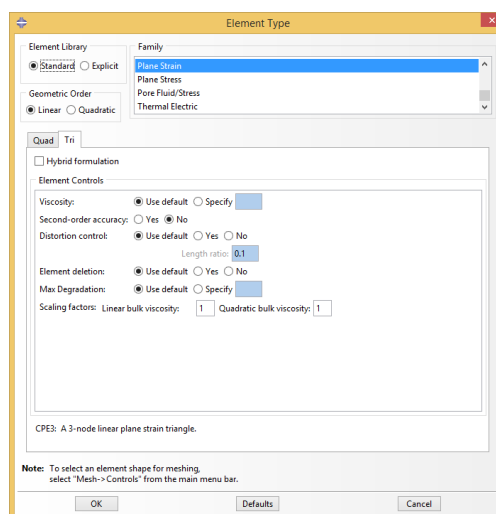


Figura 92

ANÁLISIS NO LINEAL FEM DEL ROCE

Se pretenden comparar los resultados obtenidos de deformación plástica en la formación de una lámina de aluminio de 4 mm de espesor. Para la formación de la misma, se va a modificar el ángulo de salida del roce tomando diferentes posiciones.

10.2.1 DESCRIPCIÓN DE LAS GEOMETRÍAS

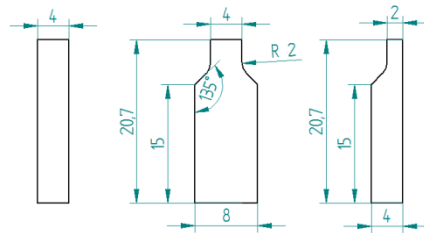


Figura 93. Perfil a lograr, forma del tocho y forma del tocho con el corte de simetría.

Se parte de una lámina de 8 mm de espesor, esta se reduce progresivamente de espesor hasta alcanzar los 4 mm en su forma final. Para hacer posible el análisis se ha suavizado el cambio de espesor con 45 grados de inclinación y un radio de 2 mm entre el plano inclinado y el roce, suavizando el cambio de espesor con el ángulo y el radio, se evita, en gran medida, la alta distorsión de los elementos y problemas de convergencia. Pudiendo obtener algunos resultados de interés para su comparación, aunque en la práctica los diseños se hacen con ángulos rectos.

Al tocho de aluminio le es asignada una longitud de 25.7 mm incluyendo la forma de la geometría final y 20 mm la parte del contenedor.

DEFINICIÓN DE CADA CASO

- Caso 1: Roce con 3 grados de inclinación en choque.
- Caso 2: Roce con 0 grados de inclinación, sin choque ni aceleración.
- Caso 3: Roce con 3 grados de inclinación en acelerado.

ROCE CON 3 GRADOS DE INCLINACIÓN EN CHOQUE.

Vista del perfil en el proceso de extrusión completamente desarrollado mostrando el mapa de deformaciones plásticas de este.

Donde se produce la mayor deformación plástica de este, es en la curva de acuerdo entre el roce y el plano inclinado, manteniéndose con cierta intensidad a lo largo del roce.

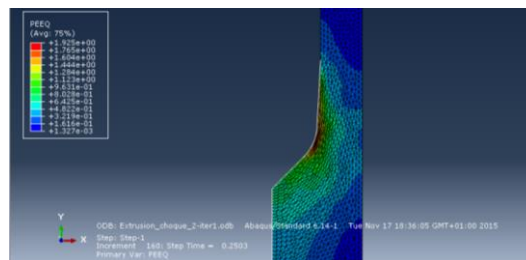


Figura 94. Perfil desarrollado con marcas de plasticidad.

Deformación de tres elementos en tres zonas diferentes

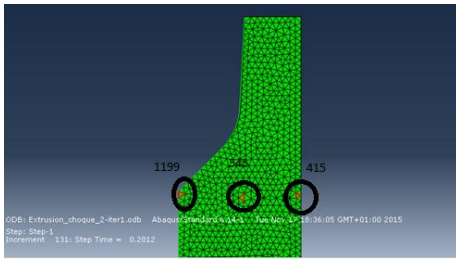


Figura 95. Marcado de elementos a analizar.

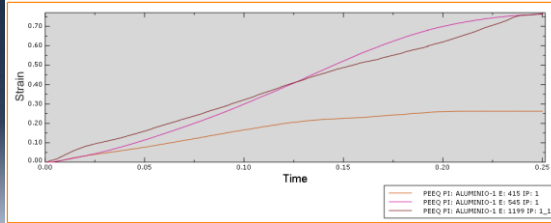


Figura 96. Deformación de los elementos marcados.

Los elementos 1199 y 545 tienen una deformación plástica muy similar, y sin embargo el elemento 415 perteneciente a la línea central de la lámina de aluminio, es poco deformado. Llegando a su estado límite de deformación en poco tiempo y progresivamente.

Medidas tomadas con referencia de tiempo al 20% del total:

- Espesor perfil: 1.84641
- Distancia extruida: 2.95298

ROCE CON 0 GRADOS DE INCLINACIÓN

Vista del perfil en el proceso de extrusión completamente desarrollado para un perfil recto. La manera de deformarse plásticamente es muy similar al caso anterior, perfil en freno, reduciéndose las deformaciones plásticas ligeramente en el roce.

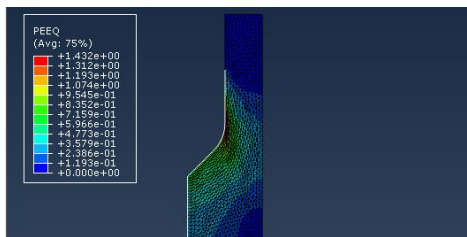


Figura 97. Perfil desarrollado con marcas de plasticidad.

Deformación de tres elementos en tres zonas diferentes, se ha pretendido seleccionar los elementos coincidentes en cota, con los tomados en el ejemplo de roce con choque. Para conseguir resultados comparables.

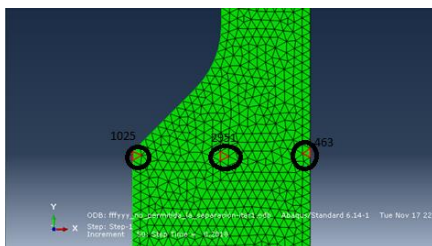


Figura 98. Marcado de elementos a analizar.

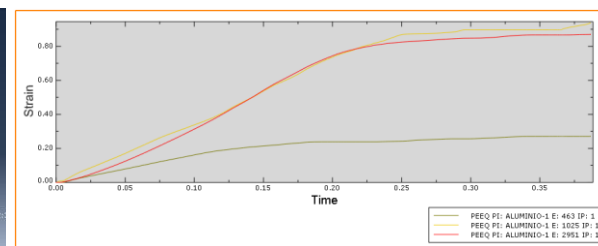


Figura 99. Deformación de los elementos marcados.

Los elementos 2951 y 1025 se deforman a la misma velocidad llegando a su estado final de deformación a la vez, esta situación es análoga a la del perfil con freno, con el inconveniente de no haber podido conocer el estado completamente desarrollado de este. El elemento 463 perteneciente a la línea central de la lámina de aluminio es poco deformado, llegando a su estado límite de deformación en poco tiempo y progresivamente; con la misma tendencia que el caso de roce con choque.

Medidas tomadas con referencia de tiempo al 20% del total:

- Espesor perfil: 1.99517
- Distancia extruida: 3.05968

ROCE CON 3 GRADOS DE INCLINACIÓN EN ACELERADO

Vista del perfil en el proceso de extrusión completamente desarrollado para el perfil con roce inclinado en aceleración. En este caso se produce un gran cambio en la manera de deformarse, ya que eliminamos casi en su totalidad el contacto con el roce, trasladándose las mayores deformaciones a la zona curva del perfil y zona inicial de deformación del perfil.

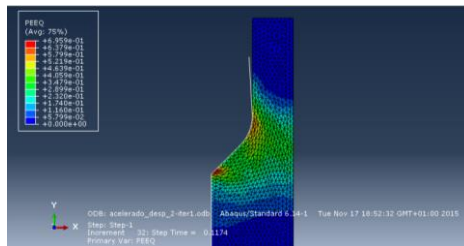


Figura 100. Deformación plástica del perfil desarrollado.

Deformación de tres elementos en tres zonas diferentes.

Igual que en los dos casos anteriores se pretende seleccionar los elementos coincidentes en cota con los tomados en los dos ejemplos anteriores según es mostrado en la figura siguiente.

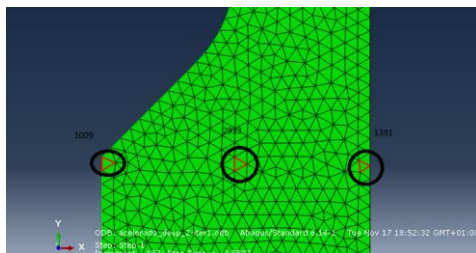


Figura 101. Elementos a estudiar para el caso.

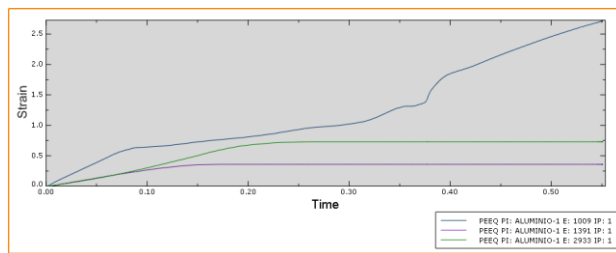


Figura 102. Deformación de los elementos a estudiar.

En este último caso con roce sin apenas contacto, se obtienen valores de deformación mucho mayores a los obtenidos en los dos casos anteriores. Los elementos 1391 y 2933 se deforman a la misma velocidad entre 0 y 0.1 del tiempo en simulación. A partir de este punto se estabiliza el elemento situado en el centro, y el elemento 2933 sigue aumentando un poco sin llegar al estado en el que está el elemento unido a la pared; como ha ocurrido en los casos anteriores. Esto indica la alta influencia que tiene el roce en la deformación del material, puesto que el

elemento 2933 ha deformado muy por debajo de los dos casos anteriores. A la vez el elemento 1009 no llega a estabilizarse completamente.

Medidas tomadas con referencia de tiempo al 20% del total:

- Espesor perfil: 1.9943
- Distancia extruida: 3.5036

10.2.2 CONCLUSIONES

El ángulo del roce tiene una fuerte influencia en los estados de deformación del material, siendo esta influencia especialmente notable cuando se pierde el contacto con el material que está en el proceso de deformación.

Las distancias recorridas por el material en un mismo periodo de tiempo para los tres estados son distintas, aumentando esta cuando la salida es libre y reduciéndose cuando está en choque.

El grado de distorsión de los elementos se mantiene muy similar en todos los casos.

11 ANEXO V: FABRICACIÓN

11.1 PROCESO DE FABRICACIÓN

ENTRADA DE MATERIAL EN BRUTO

Se parte del suministro de una pieza Böhler W302 de material en bruto, de diámetro 232 mm, para alcanzar un diámetro de 228.2 mm y espesor de 48mm para alcanzar un espesor de 38 mm.

TORNEADO EXTERIOR

En la primera fase, dejando en voladizo al menos 40 mm, se refrenta la cara hasta limpiar la superficie y se cilindra a medida de 228.2 mm con una profundidad de al menos 38mm, partiendo de un diámetro de 232 mm. Para la realización del rebaje se cilindra hasta alcanzar una profundidad de 12.8 mm, dejando un diámetro de 222.4 mm. Por último, se mecaniza un chaflán de 2mm x 45° en cada una de las aristas resultantes.

Para la segunda fase se invierte la pieza, dejando un voladizo de al menos 15 mm. Se refrenta hasta que el espesor total sea de 39mm (1 mm de sobreespesor). Para finalizar, se achaflana la esquina viva resultante a 2 mm x 45°.

La herramienta que se propone para la realización de esta operación, es una plaquita rómbica CCMT 120404-F1 con recubrimiento TP2501, de la casa "SECO". Expuestas las herramientas en el final de este mismo anexo

Para esta plaquita, la pasada máxima es de 2.5 mm con una velocidad de corte de 405 m/min. Para el desbaste, se emplea un avance de 0.2 mm/rev, y en el acabado será 0.15 mm/rev, usando la misma herramienta. Teniendo en cuenta los datos, el tiempo total necesario es detallado a continuación.

Tiempos preparación maquina:

10 minutos por amarre de pieza, total 20 minutos.

Tiempos de mecanizado:

$$n = V_c \cdot \frac{1000}{\pi \cdot \phi} = \frac{402000}{\pi \cdot 228.2} = 560 \text{ rpm}$$

$$Tpo \text{ mec. 1} = \frac{l}{n \cdot a_v} = \frac{40 \cdot 2}{560 \cdot 0.2} = 0.7 \text{ minutos}$$

$$Tpo \text{ mec. 2} = \frac{3 \cdot 13.1}{560 \cdot 0.2} = 0.4 \text{ minutos}$$

$$Tpo \text{ refrentado} = \frac{4 \cdot 110}{800 \cdot 0.2} = 2.75 \text{ minutos}$$

TALADRADO PERIFERICO PARA TRANSPORTE

Este elemento tiene el fin de lograr la correcta sujeción de la matriz para su transporte, por eso las tolerancias son grandes, pudiendo realizarse en un taladro de columna fija. Se taladrada radialmente en la posición indicada en el plano, alcanzando una profundidad de 40 mm, para terminar se rosca en el mismo taladro y sujeción, con una profundidad de 30 mm.

Las herramientas que se proponen para la realización de estas operaciones, son una broca de diámetro 14 mm de acero rápido y un macho de roscar para máquina de M16.

V_c broca = 14 m/min. A_v = 0.25 mm/rev.

$$n_{broca} = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot \emptyset} = \frac{14000}{\pi \cdot 14} = 318 \text{ rpm}$$

$$n_{macho} = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot \emptyset} = \frac{3000}{\pi \cdot 16} = 60 \text{ rpm}$$

$$T_{po \text{ taladrado}} = \frac{l}{n \cdot a_v} = \frac{40}{318 \cdot 0.25} = 0.5 \text{ minutos}$$

$$T_{po \text{ roscado}} = \frac{l}{n \cdot a_v} = \frac{30}{60 \cdot 2} = 0.25 \text{ minutos}$$

FRESADO EN DESBASTE

Dado que son requeridas tolerancias relativamente ajustadas y son necesarios muchos cambios de posición con sus respectivos amarres, se recomienda el empleo de un sistema de medición por sonda óptica para el posicionamiento del elemento en la fresadora, además así se reducen tiempos, pudiendo automatizar el sistema.

FASE 1

Mecanizado del Sink-in en desbaste. Dejando un sobreespesor por cara de 0.4 mm para su posterior acabado tras el temple. En esta operación, se emplea una fresa de plaquitas con dos insertos de material sinterizado, con un recubrimiento de titanio

a_p max= 4.5 mm, a_v max =0.12 mm/rev·diente, V_c = 230 m/min

Se realiza en tres pasadas, recorriendo una longitud total de aproximadamente 220 mm en cada pasada y con dos salidas.

$$n_{Fresa} = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot \emptyset} = \frac{230000}{\pi \cdot 16} = 4500 \text{ rpm}$$

$$T_{po \text{ fresado } 1} = \frac{l}{n \cdot a_v} = \frac{1284}{4500 \cdot 0.24} = 1.2 \text{ minutos}$$

Perforado de la placa para los pasadores. La broca empleada sería de diámetro 15 mm con longitud mínima de 40 mm. Para esta operación, se puede emplear una broca acero rápido.

Taladrado de agujeros pasantes para tornillos. La broca empleada sería de diámetro 17 mm con longitud mínima de 40 mm, de acero rápido.

$V_c = 14 \text{ m/min}$, $a_v = 0.25 \text{ mm/rev}$

$$n_{broca} = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot \phi} = \frac{14000}{\pi \cdot 17} = 262 \text{ rpm}$$

$$T_{po \text{ taladrado}} = \frac{l}{n \cdot a_v} = \frac{2 \cdot 40}{262 \cdot 0.25} = 1.25 \text{ minutos}$$

Mecanizado de "cajera" para el alojamiento de la cabeza del tornillo. Esto se realiza con una fresa avellanadora, diámetro 26 mm, medida estándar según el fabricante contemplado y utilizando iguales condiciones que en el taladrado.

$$n_{Avellanado} = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot \phi} = \frac{14000}{\pi \cdot 26} = 171 \text{ rpm}$$

$$T_{po \text{ Avellanado}} = \frac{l}{n \cdot a_v} = \frac{2 \cdot 20}{171 \cdot 0.25} = 1 \text{ minuto}$$

FASE 2

Mecanizado del desahogo con ángulo para cara de salida de perfil. Este proceso es realizado con tres fresas, el primer desbaste se realiza con una fresa $\phi 5 \text{ mm}$, las características básicas de la herramienta son $a_v = 0.032$, $z = 3$, $V_c = 185$, alcanzando una profundidad de 14 mm. De los 14 hasta la profundidad total se emplea una fresa de $\phi 4 \text{ mm}$, con características básicas de la herramienta $a_v = 0.042$, $z = 4$, $V_c = 140$ y para terminar, se perfila la salida inclinada con una fresa conica de 3° de semiángulo de inclinación, esta tiene asignado $a_v = 0.019$, $V_c = 310$, $z = 3$.

Dados los datos técnicos de cada fresa se procede al cálculo de tiempos:

$$n_{mec.1} = \frac{185000}{\pi \cdot 6} = 9800 \text{ rpm}$$

$$n_{mec.2} = \frac{140000}{\pi \cdot 5} = 8900 \text{ rpm}$$

$$n_{mec.3} = \frac{310000}{\pi \cdot 3} = 32900 \text{ rpm}$$

$$T_{po \text{ mec.1}} = \frac{115 \cdot 2 \cdot 35}{9800 \cdot 0.032 \cdot 3} = 8.5 \text{ minutos}$$

$$T_{po \text{ mec.2}} = \frac{115 \cdot 2 \cdot 33}{8900 \cdot 0.042 \cdot 4} = 5.1 \text{ minutos}$$

$$T_{po \text{ mec.3}} = \frac{115 \cdot 2 \cdot 8}{32900 \cdot 0.019 \cdot 3} = 1 \text{ minutos}$$

Mecanizado de alturas de roce dejando un sobreespesor de 0.3 mm. Proceso realizado con una fresa Ø6 mm de punta esférica, características básicas de la herramienta son $a_v=0.04$, $z=2$, $V_c=400$

$$n_{mec.roce} = \frac{400000}{\pi \cdot 1} \approx 100000 \text{ rpm}$$

Obteniendo el tiempo de mecanizado:

$$T^{po}_{mec.roce} = \frac{115 \cdot 2 \cdot \left(\frac{1.5}{0.1}\right) \cdot 3}{100000 \cdot 0.019 \cdot 3} \approx 3 \text{ minutos}$$

Taladrado con broca de 1 mm de diámetro en el material sobrante del perfil, para paso de hilo en la electroerosión.

TRATAMIENTO TÉRMICO

Para la obtención de la dureza deseada, 50/52 HRC, se propone un temple completo de la placa con tres revenidos para la relajación de tensiones internas en la estructura. Se siguen las recomendaciones expresas del fabricante Böhler para el acero designado. En una situación ideal, el tratamiento térmico se realizaría en un horno de vacío y así evitar la capa de óxido formada por las altas temperaturas y la presencia de oxígeno en el ambiente. Se presenta de forma detallada el temple en este mismo anexo, apartado para templado.

VERIFICACIÓN DE DUREZA Y REVISIÓN VISUAL DE AUSENCIA DE DEFECTOS

Una vez que se tiene la matriz templada es preciso comprobar que cumple la dureza. Para este menester se propone un ensayo de dureza Rockwell. Antes de realizar la prueba se limpia la zona donde se va a hacer.

RECTIFICADO

FASE 1. Rectificado cara de entrada del aluminio teniendo en cuenta el ajuste de altura del sink-in.

FASE 2. Rectificado cara de salida a medida final.

La tolerancia en espesor, no es especialmente restrictiva, pudiendo tener una desviación de una décima, pero sí que se requiere un buen acabado y planitud, es fundamental para el buen apoyo de las caras en las últimas operaciones de mecanizado y posterior acople con las otras partes del conjunto matriz, en el periodo de operación.

Se propone realizar esta fase con una rectificadora radial, por su mejor acabado superficial, con una muela EK8 46-G7 VY.

DESMAGNETIZACIÓN DE LA MATRIZ

La sujeción de la matriz en el proceso de rectificado se hace sobre imanes, esto genera la necesidad de su desmagnetización posterior.

FRESADO EN ACABADO. MAQUINA ALTA VELOCIDAD

FASE 1

Mecanizado en acabado del sink-in. Esta parte se realiza con una fresa de metal duro, de diámetro 12 mm, $V_c=90$ m/min, $Z=4$, $a_v=0.03$

$$n_{acab.sink-in} = \frac{90000}{\pi \cdot 12} = 2400 \text{ rpm}$$

Obteniendo un tiempo de mecanizado:

$$T^{po}_{acab.sink-in} = \frac{115 \cdot 2 \cdot 4}{2400 \cdot 0.03 \cdot 4} \approx 4 \text{ minutos}$$

Acabado con escariador de los agujeros para pasadores, con diámetro 16 mm H7 con designación comercial F1096. $Z=6$, $a_v=0.2$, $V_c=10$

$$n_{Escariado} = \frac{10000}{\pi \cdot 16} = 200 \text{ rpm}$$

Obteniendo un tiempo de mecanizado:

$$T^{po}_{Escariado} = \frac{40 \cdot 2}{200 \cdot 0.2} \approx 2 \text{ minutos}$$

FASE 2

Centrado de pieza con pasadores. Una buena solución para el buen centrado de la matriz, teniendo en cuenta que la superficie exterior puede haberse visto afectada por el temple, es el centrado con el diámetro interno de los agujeros para los pasadores, los cuales tienen una buena calidad superficial y tolerancia de acabado.

Mecanizado en acabado de roces. Estos son mecanizados con una fresa de metal duro $V_c=90$, $z=2$ y $a_v=0.03$

$$n_{Escariado} = \frac{90000}{\pi \cdot 1} = 28000 \text{ rpm}$$

Obteniendo un tiempo de mecanizado:

$$T^{po}_{Escariado} = \frac{115 \cdot 2 \cdot 8}{28000 \cdot 0.03 \cdot 2} \approx 1 \text{ minuto}$$

ELECTROEROSIÓN DE HILO

Se va a realizar el corte del perfil en desbaste más dos pasadas de acabado.

El enhebrado de hilo, se realiza a través del agujero provisto para ello antes del temple.

En primer lugar se realiza el corte del perfil en desbaste, dejando un sobreespesor de 0.1 mm en todo el contorno. El corte, se realiza a la mayor velocidad que permita la máquina y el hilo, esto puede llegar a ser hasta 6 mm/minuto. Con esta velocidad el

“gap” que se produce es muy grande y en consecuencia la calidad superficial y tolerancias son malas.

Pasada de semiacabado, en esta fase se deja un sobreespesor en el contorno de 0.03 mm, la velocidad en la que se ejecuta la operación es de 2 mm/min.

Pasada de acabado. Esta pasada se hace a velocidad de corte de 2 mm/min. Dado que el espesor a cortar es mínimo y la velocidad es reducida. El “gap” producido entre la pieza y el hilo es muy pequeño, así pues las medidas finales y la calidad superficial mejoran mucho con respecto al desbaste y semiacabado, obteniendo así poca rugosidad.

El tiempo que se emplea para la realización del corte, semiacabado y acabado:

$$T^{po}_{Electroerosión} = 115 \cdot 2 \cdot 2 \cdot \left(\frac{1}{6} + \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \right) = 537 \text{ minutos} \approx 9 \text{ horas}$$

PULIDO

Pulido de la superficie de contacto del aluminio con la matriz a través del procedimiento “AFM”. Posteriormente se procede a la eliminación de rebabas y verificación de medidas finales. Para esta operación solo sería necesario el uso de un desbarbador y limas finas impregnadas con polvo de diamante.

CALIDAD

Además es realizada una verificación de medidas generales, necesitando un juego de galgas para la verificación de la anchura de roce y un pie de rey para verificación de las medidas exteriores, las cuales tienen mayor margen de tolerancia.

NITRURADO

Tras la última mecanización, para dar una mayor dureza exterior, además de mejores propiedades para trabajo en caliente y resistencia al desgaste, se puede tratar superficialmente la matriz. Este tratamiento se puede aplicar en toda la matriz o únicamente en las partes que van a estar en contacto con el aluminio.

El nitrurado se puede realizar dentro de un rango de temperaturas de entre 500 y 600°C en una atmosfera de amoniaco, a esas temperaturas este se disocia el amoniaco, pasando de $2\text{NH}_3 \Rightarrow \text{N}_2 + 3\text{H}_2$. El nitrógeno se asocia con los aleantes de la capa exterior del acero con una profundidad de entre 0.2 y 0.6 mm.

La dureza que se puede llegar a alcanzar es de entre 600 y 1000 HV.

MONTAJE

Ensamblado de soporte con placa. Esta tarea se realiza con ayuda de una prensa mecánica de ensamblado, además de ayudarnos de llaves Allen.

11.2 INTRODUCCIÓN A LA FABRICACIÓN

En este capítulo, se va a comenzar por hacer una descripción de cada una de las máquinas asignadas para la fabricación de la matriz.

MÁQUINAS:

- Torno CNC “Pinacho ST 310”
- Taladro radial “Foradia GK-50/1500”
- Fresadora CNC (3 ejes) “Kondia A15”
- Electroerosión de hilo “FANUC Robocut α -C400iA”
- Pulidora de matriz. “AFM” “Kennametal Easyflow”

Torno CNC “Pinacho ST 310”

Torno **Pinacho ST 310** con capacidad para diámetro máximo de 310 mm, es válido para el tamaño de pieza a trabajar. Velocidad máxima del usillo de 2800 rpm y potencia de 11 KW.



Figura 103. Torno CNC.

Taladro radial “Foradia GK-50/1500”

Permite el posicionamiento de la pieza a través de una columna móvil y giratoria, con brazo útil de 1500 mm, cono morse N°4, avances automáticos de entre 0.05 y 0.35 mm/rev. y velocidad máxima de usillo de 1460 rpm.



Figura 104. Taladro de columna.

Fresadora CNC “Kondia A15”

Potencia máxima de 18 KW, velocidad máxima del usillo 15000 rpm. El recorrido de trabajo dentro de la mesa está limitado en 1500 X 700 mm.



Figura 105. Fresadora CNC.

Electroerosión de hilo “FANUC Robocut α-C400iA”

WEDM (wire electrical discharge machining), con área de trabajo disponible en la mesa de 370 X 270 mm. Máquina de gran robustez con capacidad para la obtención de buenos acabados superficiales, tanto en rugosidad como en tolerancias dimensionales, de piezas con grandes dimensiones.



Figura 106. Electroerosión de hilo.

Pulidora AFM “Kennametal Easyflow”

Con el fin de evitar defectos del perfil durante el proceso de extrusión, el roce de la matriz es sometido al pulido a través del proceso AFM, Cuyas siglas en inglés son: Abrasive Flow Machining.

Con este proceso se elimina parte de la rugosidad, producto del erosionado con hilo “EDM”.

Es un proceso en el que se hacen pasar polímeros mezclados con partículas abrasivas en suspensión, a través de la apertura preparada para la salida (y formación) del perfil a extruir. Así pues se logra pulir la superficie del roce de forma homogénea, eliminando defectos de la electroerosión.

La rugosidad exigida en la superficie de la matriz y que se logra con este tipo de maquinaria es del orden de $0,1 \text{ RA } \mu\text{m}$.



Figura 107. PULIDORA AFM. Fotografía Kennametal.

Nitruración

El caso de la nitruración es un tratamiento termoquímico, en el cual se difunde nitrógeno en la superficie del metal a tratar, Es importante que el acero tenga un tratamiento de temple y revenido antes de ser realizado, esto se debe a que tiene que ser capaz de soportar las presiones internas que se generan. La temperatura es relativamente baja y no existe aumento del grano, además no es necesario la realización de un tratamiento posterior, lo cual para el caso de las matrices es de gran importancia.

Para la realización del tratamiento, en zonas concretas de la matriz, se pueden impregnar con una aleación de plomo estaño; esta hace que no sea posible la difusión del nitrógeno en la zona marcada.



11.3 SELECCIÓN DE HERRAMIENTAS

En este capítulo, son detalladas las herramientas que se han seleccionado para la fabricación de la matriz y sus características técnicas.

Selección herramienta y portaherramientas para torno.

Identificación material, teniendo en cuenta que el material de la placa matriz va a ser fabricada con un acero comercial, que corresponde con un 12344 según norma DIN, este corresponde a su vez a un material tipo P8 según figura 110, esta designación facilita la identificación de las herramientas en el catalogo.

P8	X 210 Cr 12	1.2080	1.2080	X 210 Cr 12	Z 200 C 12	BD 3	X 210 Cr 13 KU	SKD 1		T30403	
			1.2343	X 38 CrMoV 5.1	Z 38 CDV 5	BH 11	X 37 CrMoV 5.1 KU	SKD 6		T20844	
	X 40 CrMoV 5.1	1.2344	1.2344	X 40 CrMoV 5.1	Z 40 CDV 5	BH 13	X 40 CrMo 5.1 KU	SKD 61	2242	T20813	
	X 100 CrMoV 5	1.2363	1.2363	X 100 CrMoV 5.1	Z 100 CDV 5	BA 2	X 100 CrMoV 5.1 KU	SKD 12	2260	T30702	
			1.2365	X 32 CrMoV 3.3	32 DCV 28	BH 10	30 CrMoV 12 27 KU	SKD 7		T20810	
			1.2436	X 210 CrW 12			X 215 CrW 12 1 KU	SKD 2		2312	
			1.2601	X 165 CrMoV 12			X 165 CrMoV 12 KU			2310	
			1.2713	55 NiCrMoV 6	55 NCDV 7			SKT 4			T61206
	HS 6-5-2-5	1.3243	1.3243	S 6-5-2-5	Z 85 WDKCV 06-05-05-04-02		HS 6-5-2-5	SKH 55		2723	
	HS 2-10-1-8	1.3247	1.3247	S 2-10-1-8	Z 110 DKCW 09-08-04	BM 42	HS 2-9-1-8	SKH 51			T11342
	HS 18-1-2-5	1.3255	1.3255	S 18-1-2-5	Z 80 WKCIV 18-05-04-01	BT 4	HS 18-1-1-5	SKH 3			T12004
	HS 6-5-2	1.3343	1.3343	S 6-5-2	Z 85 WDCV 06-05-04-02	BM 2	HS 6-5-2	SKH 9, SKH 51		2722	T11302
	HS 2-9-2	1.3348	1.3348	S 2-9-2	Z 100 DCWV 09-04-02-02		HS 2-9-2	SKH 58		2762	T11307
	HS 18-0-1	1.3355	1.3355	S 18-0-1	Z 80 WCV 18-04-01	BT 1	HS 18-0-1	SKH 2			T12001

Figura 108. Relación aceros para selección herramienta.

Ejecución, tanto en el cilindrado, como en el refrentado con la misma herramienta. Tomando una forma de inserto con 85° y 95° entre lados. Figura 111.

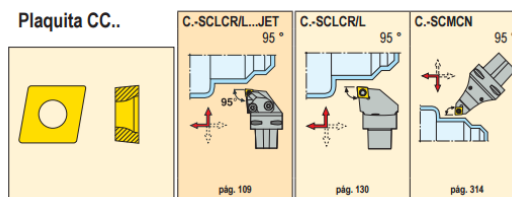


Figura 109. Forma de placa valida para el proceso.

El **tamaño** de la misma, va en función de la profundidad de masada máxima y mínima, seleccionando un tamaño de 12 mm según figura 112.

La aplicación es la que determina que tipo y tamaño de plaquita se debe utilizar.

Forma de la plaquita	Tamaño plaquita	Máximo a_p (mm)															
		2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28		
C	04	—															
	06	—	—														
	09	—	—	—													
	12	—	—	—	—	—											
	16	—	—	—	—	—	—	—									
	25	—	—	—	—	—	—	—	—	—							

Figura 110. Tamaño de la placa teniendo en cuenta profundidad de corte.

Portaherramientas, valido para el tipo de inserto, con orientación a la derecha y con pasividad de refrentado y cilindrado sin cambio de herramienta. Se muestra en la figura 113 y sus características en la figura 114.

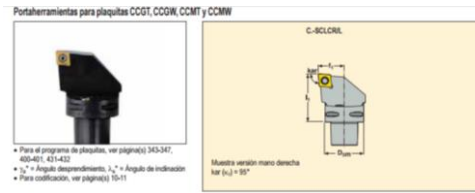


Figura 111. Foto portaherramientas para el torneado.

Tamaño Capto	Referencia	Dimensiones en mm					γ_0°	λ_s°	KG	
		D_{5m}	f_1	l_1						
C5	09	C5-SCLCR -35060-09	50	35,0	60	0	0	0,8	CC.09T3..	
		C5-SCLCL -35060-09	50	35,0	60	0	0	0,8	CC.09T3..	
	12	C5-SCLCR -35060-12	50	35,0	60	0	0	0,7	CC.1204..	
		C5-SCLCL -35060-12	50	35,0	60	0	0	0,7	CC.1204..	

Figura 112. Código para el portaherramientas deseado.

El **recubrimiento de la plaquita** va en función del material que se trabaja, seleccionando un recubrimiento TP2501. Figura 115.

Clasificación ISO de calidades

Calidades	Acero			Acero inoxidable			Fundición			Metales no férricos			Superalloys y titanio			Materiales templados		
	P	M	K	N	S	H	P01 P10 P20 P30 P40 P50	M01 M10 M20 M30 M40	K01 K10 K20 K30 K40	N01 N10 N20 N30	S01 S10 S20 S30	H01 H10 H20 H30						
CVD	TP0501																	
	TP1501																	
	TP2501																	
	TP3501																	
	TP40																	
	TM2000																	
PVD	TK1001																	
	TK2001																	
	TH1500																	
	TS2000																	
Cermet	TP1030																	
	TP1020																	
No recubrimiento	890																	
	KK																	
	883																	

Figura 113. Recubrimientos de placa en función del material.

Al ser un material muy duro el que se trabaja, la viruta se va a romper con facilidad, de este modo se selecciona un rompevirutas tipo -F1, el cual es muy común. Figura 116.

CCMT

Tolerancias:
 $d = \pm 0,05$
 $d = \pm 0,08$
 $s = \pm 0,05$
 $s = \pm 0,13$
 $r_s = \pm 0,1$

Tamaño:
 06, 09
 12
 06, 09
 12

Tamaño	Dimensiones en mm				
	d	l	s	h	$r_s = \text{rep}$
0602	6,35	6,5	2,38	2,9	0,2-0,8
0802	8,13	8,7	3,02	4,6	0,2-0,8
1204	12,70	12,8	4,75	5,6	0,4-1,2

Figura 114. Formas del rompevirutas

Teniendo en cuenta los datos obtenidos, la referencia de la plaquita sería CCMT 120404-F1 TP2501. Figura 117.

Plaquitas	Referencia	Calidades																						
		Recubierta													No recub.		Cermet							
		TP0501	TP1501	TP2501	TP3500	TP200	TP40	TH1000	TH1500	TM2000	TM4000	TK1001	TK2001	TS2000	TS2500	CP200	CP300	CP800	HX	KX	883	890	TP1020	TP1030
CCMT-F1	CCMT 060202-F1	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	060204-F1	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	060208-F1	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	CCMT 09T302-F1	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	09T304-F1	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	09T308-F1	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	CCMT 120404-F1	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	120408-F1	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	120412-F1	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Figura 115. Referencia de plaquitas.

Introduciendo el tipo de recubrimiento, material a mecanizar y avance empleado se obtienen las **velocidades de corte recomendadas**. Figura 118.


SMG	TP0501			TP1501			TP2501			TP3500			TP200		
	f (mm/r)			f (mm/r)			f (mm/r)			f (mm/r)			f (mm/r)		
	0,2	0,3	0,4	0,2	0,3	0,4	0,2	0,3	0,4	0,2	0,3	0,4	0,2	0,3	0,4
P1	780	690	610	690	590	510	590	510	450	510	405	335	335	290	255
P2	760	670	590	680	570	495	560	520	460	490	395	330	330	280	250
P3	620	590	510	500	450	400	570	530	465	345	275	225	280	240	215
P4	580	510	450	510	435	375	435	375	330	375	300	250	250	210	190
P5	520	495	435	420	380	335	405	375	330	290	230	190	235	205	180
P6	620	550	480	550	465	405	465	405	355	400	320	265	265	230	200
P7	550	520	460	445	405	355	405	375	330	305	245	200	250	215	190
P8	520	495	435	420	380	335	405	375	330	300	230	190	235	205	180
P11	540	510	445	435	390	345	405	375	330	295	235	195	245	210	185

Figura 116. Velocidades de corte para la plaquita de torneado.

Brocas para el taladrado lateral, pasadores y agujeros pasantes para el montaje del conjunto

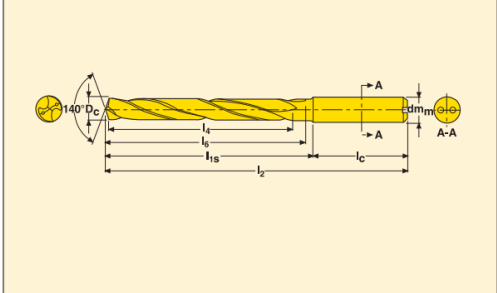
Para hacer una rosca de M16, es necesaria una broca de 14 mm de diámetro, siendo también necesarios una broca diámetro 15 y 17 mm para los pasadores y agujeros pasantes respectivamente. Figuras 119 y 120. Las velocidades de corte y avances son mostrados en la figura 121.

Profundidad de taladrado ~ 7 x D



- Refrigeración interior
- Para datos de corte y mecanizado, ver páginas 127
- Recubrimiento: TiAlN + TiN
- Tolerancia del agujero: IT 9

Mango cilíndrico DIN 6537A



Dc m7 (mm)	Dc m7 (pulg.)	Tamaño escañador*	Tipo de macho de roscar	Macho de laminación	l4	Referencia	Dimensiones en mm				
							l2	l1s	l3	l5	dm h6

13,8	-	14 H6/14 H7	-	-	83	SD207A-13.8-83-14R1	155	110	45	108	14
14,0	-	-	-	-	83	SD207A-14.0-83-14R1	155	110	45	108	14
14,25	-	-	-	-	92	SD207A-14.25-92-16R1	171	123	48	121	16
14,5	-	-	MF16X1,5/UNF5/8-18	-	92	SD207A-14.5-92-16R1	171	123	48	121	16

* Para información respecto al escariado (ver página 317) y el roscado (ver página 249).
También disponible para diámetros intermedios a través del programa Custom Design.

Figura 117. Características de las brocas disponibles.

D _c m7 (mm)	D _c m7 (pulg.)	Tamaño escariador*	Tipo de macho de roscar	Macho de laminación	l ₄	Referencia	Dimensiones en mm				
							l ₂	l ₁₅	l _c	l ₆	dm _m h6
14,8	-	15 H6/15 H7	-	-	92	SD207A-14.8-92-16R1	171	123	48	121	16
15,0	-	-	MF16X1	-	92	SD207A-15.0-92-16R1	171	123	48	121	16
15,5	-	-	M18	-	92	SD207A-15.5-92-16R1	171	123	48	121	16
15,8	-	16 H6/16 H7	-	-	92	SD207A-15.8-92-16R1	171	123	48	121	16
16,0	-	-	-	-	92	SD207A-16.0-92-16R1	171	123	48	121	16
16,5	-	-	MF18X1,5	-	103	SD207A-16.5-103-18R1	185	137	48	135	18
16,8	-	17 H6/17 H7	-	-	103	SD207A-16.8-103-18R1	185	137	48	135	18
17,0	-	-	MF18X1	-	103	SD207A-17.0-103-18R1	185	137	48	135	18
17,5	-	-	M20	-	103	SD207A-17.5-103-18R1	185	137	48	135	18
17,8	-	18 H6/18 H7	-	-	103	SD207A-17.8-103-18R1	185	137	48	135	18
18,0	-	-	-	-	103	SD207A-18.0-103-18R1	185	137	48	135	18
18,5	-	-	MF20X1,5	-	112	SD207A-18.5-112-20R1	200	150	50	148	20
18,8	-	19 H6/19H7	-	-	112	SD207A-18.8-112-20R1	200	150	50	148	20
19,0	-	-	G1/2/MF20X1	-	112	SD207A-19.0-112-20R1	200	150	50	148	20
19,5	-	-	M20	-	112	SD207A-19.5-112-20R1	200	150	50	148	20
19,8	-	20 H6/10 H7	-	-	112	SD207A-19.8-112-20R1	200	150	50	148	20
20,0	-	-	-	-	112	SD207A-20.0-112-20R1	200	150	50	148	20

Figura 118. Características de las brocas disponibles.

Datos de corte – SD207A – Ø3-20

SMG	Z	f										v _c
		Ø3,00	Ø5,00	Ø6,00	Ø8,00	Ø10,00	Ø12,00	Ø14,00	Ø16,00	Ø18,00	Ø20,00	
P1	P	0,13	0,18	0,20	0,24	0,28	0,32	0,36	0,38	0,40	0,42	165
P2	P	0,14	0,18	0,20	0,26	0,30	0,32	0,36	0,38	0,40	0,42	160
P3	P	0,13	0,17	0,19	0,24	0,28	0,32	0,34	0,36	0,38	0,40	140
P4	P	0,13	0,17	0,19	0,24	0,28	0,30	0,34	0,36	0,38	0,40	120
P5	P	0,12	0,17	0,19	0,22	0,26	0,30	0,32	0,34	0,36	0,38	115
P6	P	0,12	0,16	0,19	0,22	0,26	0,30	0,32	0,34	0,36	0,38	130
P7	P	0,12	0,16	0,19	0,22	0,26	0,30	0,32	0,34	0,36	0,38	125
P8	P	0,13	0,17	0,19	0,24	0,28	0,32	0,34	0,36	0,38	0,40	115
P11	P	0,12	0,16	0,19	0,22	0,26	0,30	0,32	0,34	0,36	0,38	120

Figura 119. Velocidades de corte y avance para las brocas seleccionadas.

Avellanador para paso del tornillo Allen M16

Es seleccionado un avellanador normalizado. Este da como resultado una cavidad preparada para un tornillo con cabeza tipo Allen. Es importante que la cabeza no sobresalga de la placa, eso daría como resultado problemas en el ajuste.

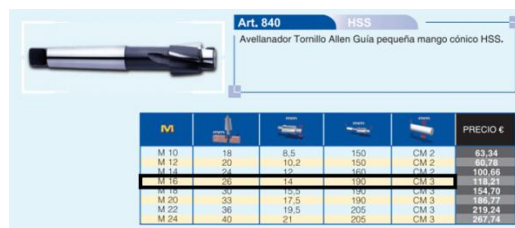
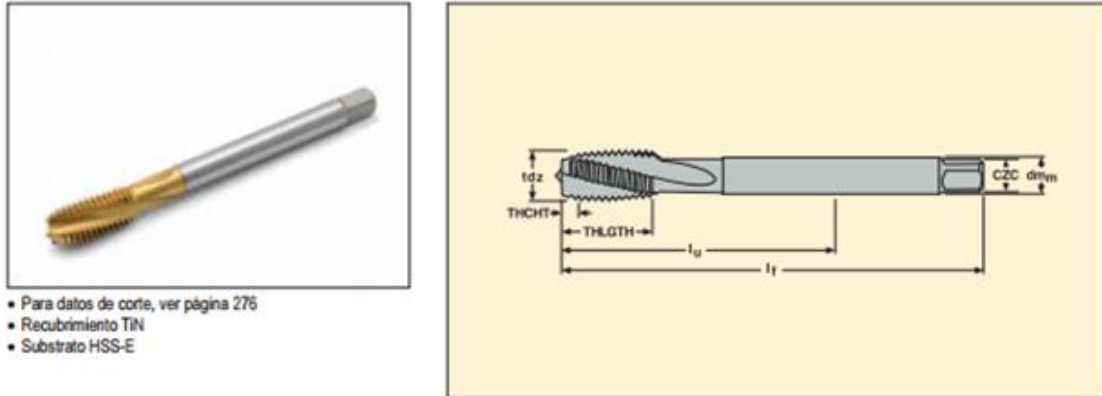


Figura 120. Fuente "Virma"

Macho de roscar para rosca M16

Es seleccionado un macho de roscar para maquina con recubrimiento de titanio. Figura 123.



- Para datos de corte, ver página 276
- Recubrimiento TiN
- Substrato HSS-E

Referencia	Rosca	Paso		Dimensiones en mm					N° de dientes	BSG	tctr	THCHT
		mm	TPI	dm _m	lu	THLGTH	lf	CZC				
MTH- M12X1.75ISO6H-BC-S020	M12	1,75	-	9,00	83	23	110	9,00X7,00	3	DIN 376	6H	C
MTH- M14X2.00ISO6H-BC-S020	M14	2	-	11,00	81	25	110	11,00X9,00	3	DIN 376	6H	C
MTH- M16X2.00ISO6H-BC-S020	M16	2	-	12,00	68	25	110	12,00X9,00	3	DIN 376	6H	C
MTH- M18X2.50ISO6H-BC-S020	M18	2,5	-	14,00	81	30	125	14,00X11,00	3	DIN 376	6H	C
MTH- M20X2.50ISO6H-BC-S020	M20	2,5	-	16,00	95	30	140	16,00X12,00	3	DIN 376	6H	C
MTH- M22X2.50ISO6H-BC-S020	M22	2,5	-	18,00	93	34	140	18,00X14,50	4	DIN 376	6H	C
MTH- M24X3.00ISO6H-BC-S020	M24	3	-	18,00	113	38	160	18,00X14,50	4	DIN 376	6H	C
MTH- M27X3.00ISO6H-BC-S020	M27	3	-	20,00	97	38	160	20,00X16,00	4	DIN 376	6H	C

Figura 121. Machos de roscar en un paso para maquina.

Desbaste del sink-in

El desbaste del sink-in es realizado con un **plato de plaquitas de diámetro 16 mm**, aportando este las características deseadas para el buen desalojo de la viruta, además de disponer refrigeración interna, con salida directa a la plaquita durante el proceso de mecanización. El plato dispone de posicionado para dos placas. Figura 124. La plaquita que se emplea viene limitada por el propio plato, figuras 125, 126 y 127.

Turbo 10 – R217.69-10

- Para selección plaquita y datos de corte recomendados, ver pag(s). 30-31
- Para ver el programa completo de plaquitas, ver pag(s). 622
- Para rampeado e interpolación helicoidal, ver pag(s). 664

Ranurado y contornoado

Referencia	Tipo de montaje	Dimensiones en mm										α° máx.	KG	Plaquita
		ap	Dc	dm _m	l ₁	l ₂	l ₃	l ₄	l ₅	l ₆	l ₇			
R217.69 -1416.6-19-2A	Cilindrico	9	16	14	-	160	26,5	87	134	7,8	2	0,2	29400	XO.X1013
-1616.3-19-2A	Cilindrico	9	16	16	-	160	26,5	87	134	7,8	2	0,2	29400	XO.X1013
-1616.3-19-2A	Cil.-Weldon	9	16	16	54	78	23	30	54	7,5	2	0,1	29400	XO.X1073

Figura 122. Platos disponibles para la operación a realizar.

SMG = Grupos Seco de Material
 f_z = mm/diente
 v_c = m/min
 a_p/D_c = %
 Datos de corte básicos

SMG		a_p	f_z		
			100%	30%	10%
P1	XOMX10T308TR-ME07 F40M	4,5	0,11	0,12	0,19
P2	XOMX10T308TR-ME07 F40M	4,5	0,12	0,13	0,19
P3	XOMX10T308TR-ME07 MP2500	4,5	0,11	0,12	0,18
P4	XOMX10T308TR-ME07 MP2500	4,5	0,11	0,12	0,18
P5	XOMX10T308TR-M09 MP2500	4,5	0,12	0,13	0,20
P6	XOMX10T308TR-M09 MP2500	4,5	0,12	0,13	0,20
P7	XOMX10T308TR-M09 MP2500	4,5	0,12	0,13	0,20
P8	XOMX10T308TR-M09 MP2500	4,5	0,12	0,13	0,20
P11	XOMX10T308TR-M09 T350M	4,5	0,12	0,13	0,20

Figura 123. Plaquetas para desbaste de Sink-in

R217/220.69-10 - Datos de corte v_c = (m/min)

SMG	MP1020			MP1500			MP2500			MP3000			T350M			F40M		
	100%	30%	10%	100%	30%	10%	100%	30%	10%	100%	30%	10%	100%	30%	10%	100%	30%	10%
P1	360	435	465	370	495	570	330	435	510	310	415	480	285	380	445	250	330	385
P2	355	420	450	355	470	560	310	415	495	295	395	470	270	365	430	235	315	375
P3	320	375	400	310	415	490	275	365	435	260	345	410	240	320	375	210	275	330
P4	280	330	350	275	365	430	240	320	380	230	305	360	210	280	330	185	245	290
P5	270	315	335	270	355	410	235	315	365	225	300	345	205	275	315	180	240	275
P6	300	355	375	300	400	470	265	355	415	250	335	390	230	310	360	200	270	315
P7	285	335	355	285	375	440	255	335	390	240	315	370	220	290	340	190	255	295
P8	270	315	335	260	345	410	230	310	365	220	290	345	200	270	315	175	235	275
P11	275	325	345	275	365	430	245	325	380	230	305	360	215	280	330	185	245	290

Figura 124. Características de corte para dicha plaqueta.

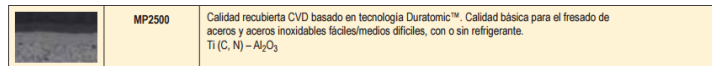


Figura 125. Recubrimiento de la plaqueta.

Mecanizado del desahogo

Esta parte se va a mecanizar con tres fresas distintas, con las dos primeras se abre la ranura de forma escalonada y para terminar se repasa la pared de la salida dejando una conicidad de 3° en el contorno. Estas son expuestas a continuación para la extracción de datos.

Primera parte del desahogo

Empleando una fresa de diámetro 6 mm hasta la profundidad de 14 mm, Figura 128 y datos de corte en Figura 129.

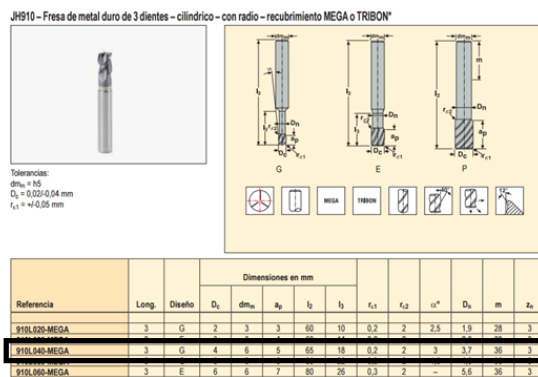


Figura 126. Fresa empleada con medidas de la misma.

Datos de corte – JH910 Ranurado

SMG	a _p / D _c	f _z																	v _c
		1	2	3	4	5	6	8	9	10	11	12	13	16	17	20			
P1	ME/A	0,28	0,0055	0,011	0,016	0,022	0,026	0,032	0,044	0,048	0,055	0,060	0,065	0,070	0,080	0,085	0,090	260 (230 – 285)	
P2	ME/A	0,28	0,0055	0,011	0,016	0,022	0,028	0,032	0,044	0,050	0,055	0,060	0,065	0,070	0,080	0,085	0,095	250 (225 – 280)	
P3	ME/A	0,28	0,0050	0,010	0,016	0,020	0,026	0,032	0,042	0,046	0,050	0,055	0,060	0,065	0,075	0,080	0,090	220 (195 – 245)	
P4	ME/A	0,28	0,0050	0,010	0,015	0,020	0,026	0,030	0,040	0,046	0,050	0,055	0,060	0,065	0,075	0,080	0,085	195 (175 – 215)	
P5	ME/A	0,28	0,0050	0,010	0,015	0,020	0,024	0,030	0,040	0,044	0,050	0,055	0,060	0,065	0,075	0,075	0,085	185 (165 – 205)	
P6	ME/A	0,28	0,0050	0,010	0,015	0,020	0,024	0,030	0,040	0,044	0,050	0,055	0,060	0,060	0,075	0,075	0,085	210 (185 – 230)	
P7	ME/A	0,28	0,0050	0,010	0,015	0,020	0,024	0,030	0,040	0,044	0,050	0,055	0,060	0,060	0,075	0,075	0,085	195 (175 – 220)	
P8	ME/A	0,28	0,0050	0,010	0,016	0,020	0,026	0,032	0,042	0,046	0,050	0,055	0,060	0,065	0,075	0,080	0,090	185 (165 – 205)	
P11	ME/A	0,28	0,0050	0,010	0,015	0,020	0,024	0,030	0,040	0,044	0,050	0,055	0,060	0,060	0,075	0,075	0,085	190 (170 – 210)	

Figura 127. Avance por diente y velocidad de corte para la fresa.

Segunda parte del desahogo

Esta segunda parte se va a desbastar con una fresa de diámetro 4 mm, para el acceso de la misma hasta el fondo de la cavidad, esta está expuesta en las figuras 130, 131 con propiedades de corte expuestas en la figura 132.

JHP951 – Fresa con chaffán/radio en la esquina – cilíndrico

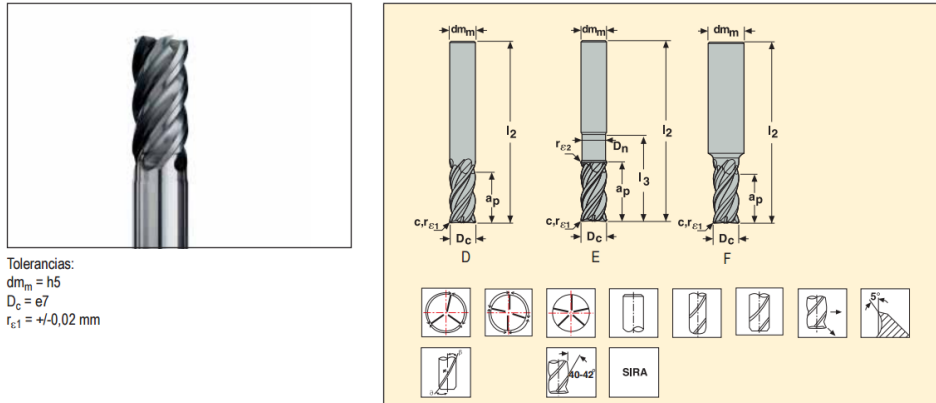


Figura 128. Segunda fresa empleada.

Referencia	Long.	Diseño	Dimensiones en mm							c x 45°	z _n	Cilíndrico
			D _c	dm _m	a _p	l ₂	l ₃	D _n	r _{e,1}			
JHP951030F2C.0Z3-SIRA	2	F	3	6	8	50	–	–	0	0,1	3	■
JHP951030F2R020.0Z3-SIRA	2	F	3	6	8	50	–	–	0,2	–	3	■
JHP951030F2R050.0Z3-SIRA	2	F	3	6	8	50	–	–	0,5	–	3	■
JHP951040F2C.0Z4-SIRA	2	F	4	6	10	55	–	–	0	0,15	4	■
JHP951040F2R020.0Z4-SIRA	2	F	4	6	10	55	–	–	0,2	–	4	■
JHP951040F2R050.0Z4-SIRA	2	F	4	6	10	55	–	–	0,5	–	4	■
JHP951050F2C.0Z4-SIRA	2	F	5	6	12	55	–	–	0	0,2	4	■
JHP951050F2R020.0Z4-SIRA	2	F	5	6	12	55	–	–	0,2	–	4	■
JHP951050F2R050.0Z4-SIRA	2	F	5	6	12	55	–	–	0,5	–	4	■

Figura 129. Medidas de segunda fresa.

Datos de corte – JHP951 Ranurado

SMG	Refrigerante	a_p / D_c	f_z													v_c
			2	3	4	6	8	10	12	14	16	18	20	25		
P1	E/M/A	1,5	0,017	0,026	0,034	0,050	0,070	0,085	0,10	0,12	0,13	0,14	0,15	0,17	200 (170 – 225)	
P2	E/M/A	1,5	0,018	0,026	0,036	0,055	0,070	0,090	0,10	0,12	0,13	0,14	0,15	0,17	190 (165 – 215)	
P3	E/M/A	1,5	0,017	0,024	0,034	0,050	0,065	0,085	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,16	165 (140 – 190)	
P4	E/M/A	1,5	0,016	0,024	0,032	0,048	0,065	0,080	0,095	0,11	0,12	0,13	0,14	0,16	150 (125 – 170)	
P5	E/M/A	1,5	0,016	0,024	0,032	0,048	0,065	0,080	0,095	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	140 (120 – 160)	
P6	E/M/A	1,5	0,016	0,024	0,032	0,048	0,065	0,080	0,095	0,11	0,12	0,13	0,13	0,15	160 (135 – 180)	
P7	E/M/A	1,5	0,016	0,024	0,032	0,048	0,065	0,080	0,095	0,11	0,12	0,13	0,13	0,15	150 (130 – 170)	
P8	E/M/A	1,5	0,017	0,024	0,034	0,050	0,065	0,085	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,16	140 (120 – 160)	
P11	E/M/A	1,5	0,016	0,024	0,032	0,048	0,065	0,080	0,095	0,11	0,12	0,13	0,13	0,15	145 (125 – 165)	

Figura 130. Datos de la segunda fresa.

Fresa cónica para salidas

Esta no tiene buenas propiedades para corte en penetración y solo se usa para dar el perfilado final. Figura 133, las medidas de esta se pueden ver en la figura 134. Teniendo los datos de corte disponibles en la figura 135.

HK/HKM – Fresa cónica multidiente de 3° – cilíndrico



Tolerancias:
 $D_c = HKM+0,07/+0,03$ HK+0,1/0 mm
 $\alpha^\circ = \pm 0,1^\circ$
 $dm_m = h5$

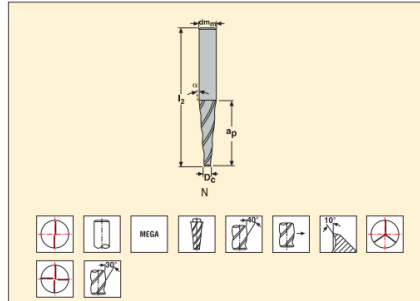


Figura 131. Vista de la fresa conica para perfilado.

Referencia	Long.	Diseño	Dimensiones en mm				α°	z_n
			D_c	dm_m	a_p	l_z		
HKM030-010-MEGA	2	N	1	3	4	40	3	2
HKM030-015-MEGA	2	N	1,5	3	6	40	3	2
HK030-025-MEGA	2	N	2,5	6	20	65	3	3
HK030-033-MEGA	2	N	3	8	30	75	3	3
HK030-065-MEGA	2	N	6	12	55	110	3	3
HK030-083-MEGA	2	N	8	12	30	80	3	4

Figura 132. Medidas para fresa conica.

Datos de corte – TDM Copiado en desbaste $a_p/D_c = 0,08$

SMG	Refrigerante	a_p / D_c	f_z					v_c
			3	4	6	8	10	
P1	E	0,15	0,020	0,026	0,040	0,055	0,065	440 (395 – 490)
P2	E	0,15	0,020	0,028	0,042	0,055	0,070	430 (385 – 475)
P3	E	0,15	0,019	0,026	0,038	0,050	0,065	370 (330 – 410)
P4	E	0,15	0,019	0,026	0,038	0,050	0,065	325 (290 – 360)
P5	E	0,15	0,019	0,024	0,038	0,050	0,060	310 (280 – 345)
P6	E	0,15	0,018	0,024	0,036	0,050	0,060	350 (310 – 385)
P7	E	0,15	0,018	0,024	0,036	0,050	0,060	330 (295 – 365)
P8	E	0,15	0,019	0,026	0,038	0,050	0,065	310 (280 – 345)
P11	E	0,15	0,018	0,024	0,036	0,050	0,060	320 (285 – 355)

Figura 133. Datos de corte para fresa conica.

SMG = Grupos Seco de Material
 Refrigerante = A = Aire D = Seco E = Emulsión M = Mezcla pulverizada
 $v_c = m/min$
 $f_z = mm/diente$
 $a_p (mm)/D_c (mm) =$ factor
 $a_p (mm)/D_c (mm) =$ factor
 Datos de corte básicos

Desbaste de roces

Para el desbaste de roces es necesaria una herramienta que proporcione buen corte en superficies no regulares, cambiantes de cota en el eje z. Además es preciso que pueda acceder a las zonas de interés con facilidad, para ello se expone en las figuras 136, 137 y 138 la herramienta seleccionada.

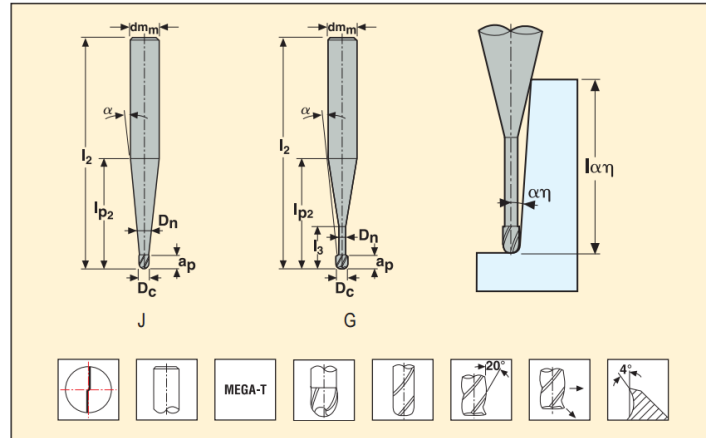


Figura 134. Vista de fresa para desbaste de las alturas de roce.

Referencia	Long.	Diseño	Dimensiones en mm										Máx. P.D.P. en relación $\alpha\eta$ ($l\alpha\eta$, ref)*						
			D_c	dm_m	a_p	l_2	l_3	l_{p2}	D_n	r_{c1}	α°	z_n	0°	0.5°	1°	1.5°	2°	3°	
9150010-MEGA-T	1	J	0,1	3	0,15	40	-	5,7	-	0,05	14,5	2	0,15	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
9150015-MEGA-T	1	J	0,15	3	0,2	40	-	5,7	-	0,075	14,5	2	0,2	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
915002-MEGA-T	1	J	0,2	3	0,2	40	-	5,6	-	0,1	14,5	2	0,2	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
915003-MEGA-T	1	J	0,3	3	0,3	40	-	5,5	-	0,15	14,5	2	0,3	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
915004-MEGA-T	1	J	0,4	3	0,4	40	-	5,4	-	0,2	14,5	2	0,4	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
915005-MEGA-T	1	J	0,5	3	0,5	40	-	5,3	-	0,25	14,5	2	0,5	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
915006-MEGA-T	1	J	0,6	3	0,6	40	-	5,6	-	0,3	13,5	2	0,6	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
915008-MEGA-T	1	J	0,8	3	0,8	40	-	5,1	-	0,4	13,5	2	0,8	1	1	1	1	1	1,1
915010-MEGA-T	1	J	1	3	1	40	-	4,9	-	0,5	12,5	2	1	1	1	1	1	1	1,1
915012-MEGA-T	1	J	1,2	3	1,2	40	-	4,7	-	0,6	12,5	2	1,2	1,4	1,4	1,4	1,4	1,5	1,5
915015-MEGA-T	1	J	1,5	3	1,5	40	-	4,4	-	0,75	11,5	2	1,5	1,7	1,7	1,7	1,8	1,8	1,9

Figura 135. Dimensiones de la fresa.

Datos de corte – JM915/JM925 Copiado en desbaste $a_p/D_c = 0,05$

SMG	a _p / D _c	f _z														v _c
		0.1	0.15	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1	1.2	1.5	1.8	2		
P1	WE/A	0,60	0,0032	0,0046	0,0060	0,0095	0,013	0,017	0,020	0,030	0,040	0,055	0,060	0,070	0,075	560 (500 — 630)
P2	WE/A	0,60	0,0032	0,0048	0,0065	0,0095	0,014	0,017	0,020	0,032	0,042	0,055	0,065	0,070	0,075	550 (490 — 610)
P3	WE/A	0,60	0,0030	0,0044	0,0060	0,0090	0,013	0,016	0,020	0,028	0,040	0,050	0,060	0,065	0,070	475 (425 — 530)
P4	WE/A	0,60	0,0028	0,0044	0,0060	0,0090	0,013	0,016	0,020	0,028	0,038	0,048	0,060	0,065	0,070	420 (375 — 465)
P5	WE/A	0,60	0,0028	0,0044	0,0055	0,0085	0,012	0,016	0,019	0,028	0,038	0,048	0,055	0,065	0,070	400 (355 — 445)
P6	WE/A	0,60	0,0028	0,0042	0,0055	0,0085	0,012	0,016	0,019	0,028	0,036	0,048	0,055	0,065	0,065	450 (400 — 500)
P7	WE/A	0,60	0,0028	0,0042	0,0055	0,0085	0,012	0,016	0,019	0,028	0,036	0,048	0,055	0,065	0,065	425 (380 — 470)
P8	WE/A	0,60	0,0030	0,0044	0,0060	0,0090	0,013	0,016	0,020	0,028	0,040	0,050	0,060	0,065	0,070	400 (355 — 445)
P11	WE/A	0,60	0,0028	0,0042	0,0055	0,0085	0,012	0,016	0,019	0,028	0,036	0,048	0,055	0,065	0,065	415 (365 — 460)
N1	E/M/A	0,75	0,0032	0,0046	0,0060	0,0095	0,013	0,017	0,020	0,028	0,038	0,048	0,060	0,070	0,075	1350 (1200 — 1525)
N2	E/M/A	0,75	0,0032	0,0046	0,0060	0,0095	0,013	0,017	0,020	0,028	0,038	0,048	0,060	0,070	0,075	870 (760 — 980)
N3	E/M/A	0,75	0,0032	0,0046	0,0060	0,0095	0,013	0,017	0,020	0,028	0,038	0,048	0,060	0,070	0,075	580 (510 — 660)
N11	E/M/A	0,75	0,0032	0,0046	0,0060	0,0095	0,013	0,017	0,020	0,028	0,038	0,048	0,060	0,070	0,075	780 (670 — 890)
H3	M/A	0,50	0,0011	0,0017	0,0022	0,0036	0,0048	0,0065	0,0080	0,012	0,016	0,019	0,022	0,026	0,026	200 (175 — 225)
H5	M/A	0,28	0,0015	0,0022	0,0030	0,0044	0,0060	0,0075	0,0090	0,012	0,015	0,018	0,022	0,028	0,030	355 (310 — 400)
H7	M/A	0,50	0,0020	0,0030	0,0040	0,0060	0,0080	0,010	0,012	0,016	0,020	0,024	0,030	0,036	0,040	200 (175 — 225)
H8	M/A	0,44	0,0030	0,0044	0,0060	0,0090	0,013	0,017	0,022	0,032	0,042	0,050	0,060	0,065	0,070	360 (315 — 405)
H11	M/A	0,28	0,0015	0,0022	0,0030	0,0044	0,0060	0,0075	0,0090	0,012	0,015	0,018	0,022	0,028	0,030	455 (400 — 510)
H12	M/A	0,28	0,0015	0,0022	0,0030	0,0044	0,0060	0,0075	0,0090	0,012	0,015	0,018	0,022	0,028	0,030	730 (640 — 830)
H21	M/A	0,44	0,0030	0,0044	0,0060	0,0090	0,013	0,017	0,022	0,032	0,042	0,050	0,060	0,065	0,070	360 (315 — 405)
H31	M/A	0,44	0,0026	0,0040	0,0055	0,0080	0,012	0,015	0,019	0,028	0,038	0,044	0,050	0,060	0,060	270 (235 — 305)

Figura 136. Datos de corte para fresa de alturas de roce.

Escariador para pasadores

Se busca un escariador con calidad H7 para los agujeros de los pasadores. Los datos de corte del mismo están en la figura 140 Teniendo que seleccionar un recubrimiento RX 2000.

H10	escariador general	20 + HRC < 45	20 HRC ISO CBN 1000/1000(L)
H11	escariador para cilindros	20 + HRC < 45	20 HRC X 100 RP 15
H12	escariador para pasadores de fundición	20 + HRC < 20	20 HRC X 100 CBN 1000/1000
H13	escariador para pasadores de acero	20 + HRC < 20	20 HRC X 100 C 15
H14	escariador para pasadores de acero	20 + HRC < 45	20 HRC X 100 CBN 1000/1000
H15	escariador para pasadores de acero	20 + HRC < 45	20 HRC X 100 C 15
H16	escariador para pasadores de acero	20 + HRC < 45	20 HRC X 100 C 15
H17	escariador para pasadores de acero	20 + HRC < 45	20 HRC X 100 C 15
H18	escariador para pasadores de acero	20 + HRC < 45	20 HRC X 100 C 15
H19	escariador para pasadores de acero	20 + HRC < 45	20 HRC X 100 C 15
H20	escariador para pasadores de acero	20 + HRC < 45	20 HRC X 100 C 15
H21	escariador para pasadores de acero	20 + HRC < 45	20 HRC X 100 C 15
H22	escariador para pasadores de acero	20 + HRC < 45	20 HRC X 100 C 15
H23	escariador para pasadores de acero	20 + HRC < 45	20 HRC X 100 C 15
H24	escariador para pasadores de acero	20 + HRC < 45	20 HRC X 100 C 15
H25	escariador para pasadores de acero	20 + HRC < 45	20 HRC X 100 C 15
H26	escariador para pasadores de acero	20 + HRC < 45	20 HRC X 100 C 15
H27	escariador para pasadores de acero	20 + HRC < 45	20 HRC X 100 C 15
H28	escariador para pasadores de acero	20 + HRC < 45	20 HRC X 100 C 15
H29	escariador para pasadores de acero	20 + HRC < 45	20 HRC X 100 C 15
H30	escariador para pasadores de acero	20 + HRC < 45	20 HRC X 100 C 15

Figura 137. Designación del material para selección de herramientas.

Datos de corte - NFNS...EB845

SMG		a_p (Ø)		f		V_c		
		z=4	z=6	z=4	z=6	H15	CP20	RX2000
P3	NFNS-EB845	0,10-0,15	0,1-0,20	0,10-0,30	0,20-0,60	-	60 (30-100)	80 (30-150)
P4	NFNS-EB845	0,10-0,15	0,1-0,20	0,10-0,20	0,20-0,50	-	50 (30-80)	60 (30-120)
P5	NFNS-EB845	0,10-0,15	0,1-0,20	0,10-0,20	0,20-0,50	20 (10-25)	50 (30-80)	60 (30-120)
P6	NFNS-EB845	0,10-0,15	0,1-0,20	0,10-0,20	0,20-0,50	20 (10-25)	50 (30-80)	60 (30-120)
P7	NFNS-EB845	0,10-0,15	0,1-0,20	0,10-0,20	0,20-0,50	20 (10-25)	50 (30-80)	60 (30-120)
P8	NFNS-EB845	0,10-0,15	0,1-0,20	0,10-0,20	0,20-0,50	15 (10-20)	35 (20-60)	40 (20-80)
P11	NFNS-EB845	0,10-0,15	0,1-0,20	0,10-0,20	0,20-0,50	15 (10-20)	35 (20-60)	40 (20-80)
K1	NFNS-EB845	0,10-0,20	0,10-0,25	0,10-0,30	0,20-0,60	25 (15-30)	60 (40-100)	80 (30-150)
K2	NFNS-EB845	0,10-0,20	0,10-0,25	0,10-0,30	0,20-0,60	-	25 (20-40)	40 (30-70)
K3	NFNS-EB845	0,10-0,20	0,10-0,25	0,10-0,30	0,20-0,60	25 (15-30)	60 (40-100)	80 (30-150)
K4	NFNS-EB845	0,10-0,20	0,10-0,25	0,10-0,30	0,20-0,60	25 (15-30)	45 (30-70)	70 (40-120)
K5	NFNS-EB845	0,10-0,20	0,10-0,25	0,10-0,30	0,20-0,60	25 (15-30)	45 (30-70)	70 (40-120)
K6	NFNS-EB845	0,10-0,20	0,10-0,25	0,10-0,30	0,20-0,60	-	60 (40-100)	80 (30-150)
K7	NFNS-EB845	0,10-0,20	0,10-0,25	0,10-0,30	0,20-0,60	-	60 (40-100)	80 (30-150)
S1	NFNS-EB845	0,08-0,15	0,10-0,15	0,10-0,20	0,20-0,30	-	15 (8-20)	20 (10-25)
S2	NFNS-EB845	0,08-0,15	0,10-0,15	0,10-0,20	0,20-0,30	-	15 (8-20)	20 (10-25)
S3	NFNS-EB845	0,08-0,15	0,10-0,15	0,10-0,20	0,20-0,30	-	15 (8-20)	20 (10-25)
S11	NFNS-EB845	0,08-0,15	0,10-0,15	0,10-0,20	0,20-0,30	20 (15-30)	30 (15-40)	40 (20-50)
S12	NFNS-EB845	0,08-0,15	0,10-0,15	0,10-0,20	0,20-0,30	20 (15-30)	30 (15-40)	40 (20-50)
S13	NFNS-EB845	0,08-0,15	0,10-0,15	0,10-0,20	0,20-0,30	20 (15-30)	30 (15-40)	40 (20-50)
H3	NFNS-EB845	0,08-0,15	0,10-0,15	0,10-0,20	0,20-0,30	-	-	10 (8-15)
H5	NFNS-EB845	0,08-0,15	0,10-0,15	0,10-0,20	0,20-0,30	-	-	10 (8-15)
H7	NFNS-EB845	0,08-0,15	0,10-0,15	0,10-0,20	0,20-0,30	-	-	10 (8-15)
H8	NFNS-EB845	0,08-0,15	0,10-0,15	0,10-0,20	0,20-0,30	-	-	10 (8-15)
H11	NFNS-EB845	0,08-0,15	0,10-0,15	0,10-0,20	0,20-0,30	-	-	10 (8-15)
H12	NFNS-EB845	0,08-0,15	0,10-0,15	0,10-0,20	0,20-0,30	-	-	10 (8-15)
H21	NFNS-EB845	0,08-0,15	0,10-0,15	0,10-0,20	0,20-0,30	-	-	10 (8-15)
H31	NFNS-EB845	0,08-0,15	0,10-0,15	0,10-0,20	0,20-0,30	-	-	10 (8-15)
PM1	NFNS-EB845	0,10-0,15	0,1-0,20	0,10-0,20	0,20-0,50	-	50 (30-80)	70 (40-100)
PM2	NFNS-EB845	0,10-0,15	0,1-0,20	0,10-0,20	0,20-0,50	-	50 (30-80)	70 (40-100)
PM3	NFNS-EB845	0,10-0,15	0,1-0,20	0,10-0,20	0,20-0,50	-	50 (30-80)	70 (40-100)

Figura 138. Datos de corte escariador seco

Acabado del sink-in

Al estar templada la placa, son necesarias herramientas que puedan ser utilizadas con el acero a una dureza de aproximadamente 50HRC, para ello se ha buscado una que permite el mecanizado de aceros con durezas de entre 48 y 63 HRC

**End mill
Protostar® H 50
Ultra**



Materials from 48 to 63 HRC



- solid carbide
- 4 to 8 cutting edges
- without centre cut
- 50° helix angle

Special features:
Slot milling: $a_p \leq 0.1 \times D_c$
Shoulder milling: $a_p \leq 0.1 \times D_c$

TAX	P	M	K	N	S	H	O
						●●	

P standard L	D_c h10 mm	L_c mm	l_1 mm	l_4 mm	d_1 h5 mm	Z	TAX designation H8083128
Shank DIN 6535 HA	3	8	57	21	6	4	-3X8
	4	11	57	21	6	4	-4X11
	5	13	57	21	6	4	-5X13
	6	13	57	21	6	6	-6X13
	6	26	70	34	6	6	-6X26
	8	19	63	27	8	6	-8X19
	8	36	80	44	8	6	-8X36
	10	22	72	32	10	6	-10X22
	10	46	100	60	10	6	-10X46
	12	26	83	38	12	6	-12X26
	12	55	110	65	12	6	-12X55
	16	32	92	44	16	6	-16X32
	16	66	130	82	16	6	-16X66
	20	38	104	54	20	8	-20X38
	20	80	145	95	20	8	-20X80
	25	45	121	65	25	8	-25X45

Figura 139. Herramienta para acabado Sink-in.

Cutting data for shoulder / slot milling

Material group	Classification of the main material groups and code letters	Brinell hardness HB	Tensile strength R_m N/mm ²	Machining group ¹	Cutting tool material				
					Solid carbide				
	Workpiece material				Family	Des.	λ	Page	
					Flash	H3094728	50°	E 139	
					(48-63 HRC)				
					Dia. 4 - 20				
					Z = 4				
					TAX				
					1/1	1/2	1/4	VT	
H	Hardened steel	hardened and tempered	50 HRC	-	H1				E
		hardened and tempered	55 HRC	-	H2	90	110	130	E
	Hardened cast iron	hardened and tempered	60 HRC	-	H3	50	60	70	E
		hardened and tempered	55 HRC	-	H4	90	110	130	E

Figura 140. Condiciones de corte para herramienta

Acabado de roces

De igual manera que para el acabado del sink-in, es precisa una herramienta con capacidad de mecanizar aceros con elevadas durezas, además de poder acceder a puntos de difícil acceso.

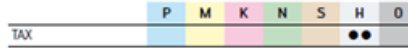
Ball-nose end mill
Protostar® HSC 30
Ultra



Materials from 48 to 63 HRC



- solid carbide
- long reach
- 2 cutting edges
- with centre cut
- 30° helix angle



P standard XL

Shank DIN 6535 HA

D _c h7 mm	R mm	L _c mm	l ₁ mm	α	l ₁ mm	l ₄ mm	d ₁ h5 mm	Z	TAX designation H8004728
1	0.5	1	17.55	2.5	57	21	6	2	-1-2.5-57
1	0.5	1	17.55	2.5	57	21	6	2	-1-4-57
1	0.5	1	36.4	4	80	44	6	2	-1-2.5-80
1.5	0.75	1.5	17.55	2.5	57	21	6	2	-1.5-2.5-57
1.5	0.75	1.5	17.55	4	57	21	6	2	-1.5-4-57
2	1	2	18.25	2.5	57	21	6	2	-2-4-57
2	1	2	18.25	2.5	57	21	6	2	-2-2.5-57
2	1	2	39.75	4	80	44	6	2	-2-2.5-80
2.5	1.25	2.5	18.75	2.5	57	21	6	2	-2.5-2.5-57
2.5	1.25	2.5	18.75	4	57	21	6	2	-2.5-4-57
3	1.5	3	19	2.5	57	21	6	2	-3-2.5-57
3	1.5	3	19	2.5	57	21	6	2	-3-4-57
3	1.5	3	38.4	4	80	44	6	2	-3-2.5-80
4	2	4	20	2.5	57	21	6	2	-4-2.5-57
4	2	4	20	2.5	57	21	6	2	-4-4-57
4	2	4	30	4	80	44	6	2	-4-10-80

Figura 141. Fresa para acabado de roces.

Solid carbide									
Family	Des.	λ	Page	Family	Des.	λ	Page		
Ultra	H4046928	30°	E 208	Ultra	H8014028	30°	E 203		
HSC 30	H8004028		E 200	HSC 30	H8014128		E 204		
(48-63 HRC)	H8004128		E 200	(48-63 HRC)	H8016428		E 202		
	H8004728		E 201		H8074128		E 203		
	H8006428		E 202						
Dia. 0.3 - 16				Dia. 3 - 16					
Z = 2				Z = 2 + 4					
TAX				TAX					
1/10	a _e / D _c	1/20	1/50	VT	1/10	a _e / D _c	1/20	1/50	VT
120	140	170	B	130	150	180	B		
130	140	170	B	130	150	180	B		
80	80	100	B	80	90	100	B		
130	140	170	B	130	150	180	B		

Figura 142. Propiedades de corte.

11.4 TEMPLADO

El acero seleccionado para la fabricación de la matriz es Böhler W302, norma DIN 1.2344 simbólica X40CrMoV5-1, por sus buenas propiedades mecánicas para el trabajo en caliente.

El trabajo en prensa, en los puntos más calientes, está en torno a 400°C y 500°C, lo cual es un problema para muchos aceros porque cae la resistencia del material; haciendo que se desgaste rápidamente el dado o roce y se pueda deformar plásticamente en algunos puntos.

Para el acero seleccionado en la gráfica de revenido, se puede observar que el punto de máxima dureza para este oscila los 500°C, esto hace que dicho acero sea una solución adecuada para el problema expuesto. Aunque en principio, como se ha expuesto anteriormente podría valer cualquier acero de la gama H13 (AISI).

Medidas disponibles.

Hay que tener en cuenta que no todos los fabricantes comercializan cualquier dimensión de bruto que se requiera, de ahí la necesidad de tener clara la gama de bruto que se van a poder adquirir antes de comenzar a diseñar.

Inicialmente, el suministrador dispone de las siguientes medidas del acero Böhler W302:

Barras redondas IBO ECOMAX

Acabado: laminado o forjado, descortezado o bien torneado

15,0	18,5	20,5	25,5	26,0	30,5	31,0	35,8	40,8	41,0
45,8	46,0	50,8	51,0	55,8	56,0	60,8	61,0	65,0	66,0
71,0	76,0	81,0	86,0	91,0	96,0	101,0	101,5	106,5	111,0
111,5	116,5	121,0	121,5	126,5	131,0	131,5	136,5	141,0	141,5
151,0	151,5	156,5	161,0	162,0	167,0	172,0	182,0	192,0	202,0
207,0	212,0	218,0	222,0	232,0	242,0	252,0	252,5	257,5	262,0
262,5	272,0	272,5	282,0	282,5	292,0	292,5	302,5	303,0	312,5
313,0	323,0	333,0	343,0	353,0	358,0	363,0	383,0	403,0	413,0
423,0	433,0	434,0	453,0	460,5	463,0	483,0	503,0	523,0	

Figura 143. En formato redondo para nuestro interés.

La matriz tiene un diámetro exterior máximo de 228,2 mm sobre el diseño, teniendo que ser seleccionado el siguiente diámetro de 232 mm, Figura 146.

Diseño del tratamiento térmico

Con la placa desbastada, realizamos los tratamientos térmicos que le corresponden.

En este caso se realiza templado, y tres revenidos.

A continuación se describe el templado:

Se calienta la pieza a 1050°C, para que esta austenice completamente.

Suponiendo que 25.4 mm (1") tardan entre treinta minutos y una hora, y teniendo en cuenta que el espesor de nuestra matriz tiene 38 mm (siendo la mitad 19 mm), se calcula el tiempo que tiene que estar nuestra matriz en el horno para que austenice hasta el centro.

$$\frac{\text{Espesor} * 30}{25.4} = \frac{19 * 30}{25.4} = 22 \text{ minutos}$$

$$\frac{\text{Espesor} * 60}{25.4} = \frac{19 * 60}{25.4} = 44 \text{ minutos}$$

La placa tiene que **permanecer al menos 22 minutos**, y alcanzando los 44 minutos de permanencia se podría asegurar su completa austenización.

El enfriamiento se puede realizar:

Baño de sales	Aceite	52/56 HRC
Aire	vacío	50/54 HRC

Decidiendo hacerse, en nuestro caso, al aire.

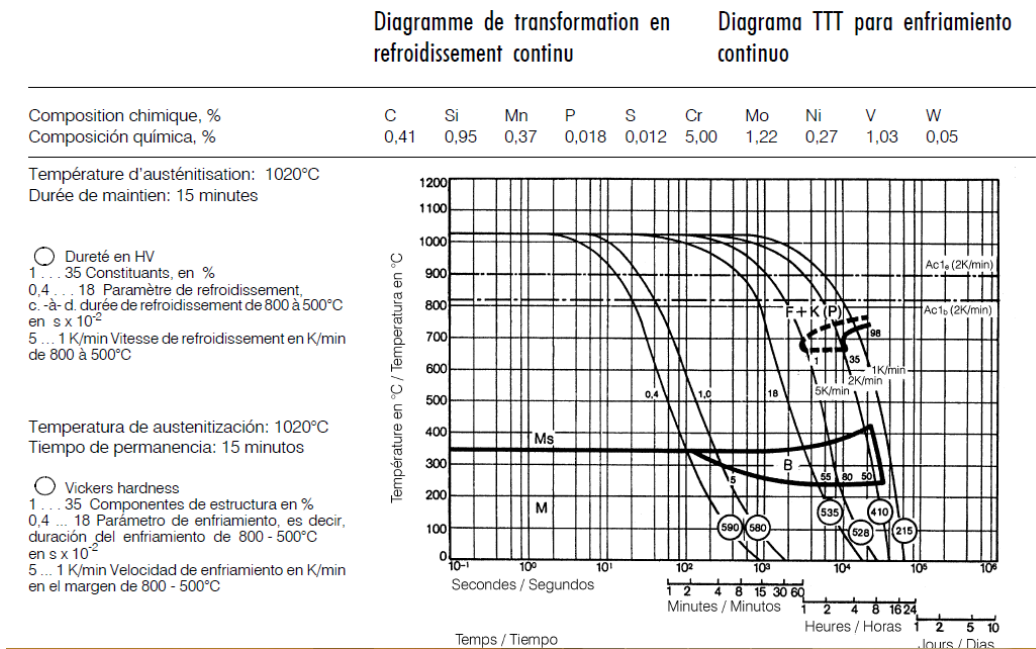


Figura 144. Velocidades de enfriamiento y zonas de transito.

Revenido: tratamiento posterior al templado con el que conseguimos aumentar enormemente la tenacidad a cambio de sacrificar algo la dureza,

En esta etapa del tratamiento térmico, logramos alcanzar la dureza que realmente queremos para la placa, ya que con una matriz totalmente martensítica, nuestra matriz es demasiado frágil, altamente tensionada y de excesiva fragilidad; pudiendo romper fácilmente.

Para nuestro caso queremos lograr una dureza de entre 49 y 52 HRC, tomando un valor de 50 HRC para nuestra matriz, la cual, según la tabla y cálculos que se muestran a continuación, corresponde a una tensión de 1675 MPa. Se presenta de aquí en adelante esta tensión

in MPa	in PSI	HV	HB	HRB	HRC
1520	220.506	470	447		46,9
1555	225.584	480			47,7
1595	231.387	490			48,4
1630	236.464	500			49,1
1665	241.542	510			49,8
1700	246.619	520			50,5
1740	252.422	530			51,1
1775	257.499	540			51,7
1810	262.577	550			52,3
1845	267.654	560			53,0
1880	272.732	570			53,6

Figura 145. Relación de tensiones y durezas superficiales.

Centrándonos en el valor superior e inferior más próximos al valor 50 HRC, e interpolando entre los dos puntos, podremos saber cuál es la tensión correspondiente.

1665	241.542	510	49,8
1700	246.619	520	50,5

$$\frac{49.8 - 50.5}{1665 - 1700} = \frac{49.8 - 50}{1665 - \sigma}$$

$$\sigma = 1675 \text{ MPa}$$

Courbe de revenu:

Diagrama de revenido:

Température de trempe: 1050°C
Eprouvette: carré 50 mm
Temperatura de temple: 1050°C
Sección de la probeta: cuadrada 50 mm

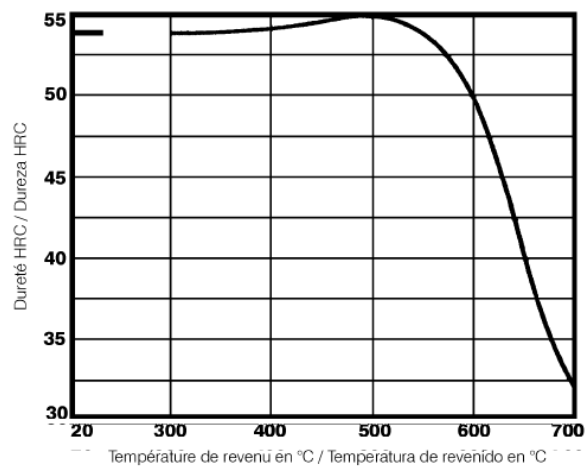


Figura 146. Diagrama de revenido en dureza y temperatura.

Nota: En esta gráfica se puede observar como a partir de la temperatura de 500°C disminuye drásticamente la dureza del material. En referencia a lo ya expuesto con anterioridad.

El propio fabricante, recomienda una permanencia en el horno de 1 hora por cada 20 mm de espesor, en nuestro caso el espesor es de 38 mm por lo que por cada revenido la matriz va a permanecer 2 horas.

De igual manera el fabricante recomienda para el primer revenido hacerlo 30°C por encima de la temperatura correspondiente a la máxima dureza (Figura 150), para el segundo hacerlo a la temperatura correspondiente al valor que queremos obtener (Figura 151) y el tercero hacerlo entre 30 y 50°C por debajo de la temperatura correspondiente a la dureza máxima (Figura 152).

Siguiendo las recomendaciones anteriormente citadas muestro las temperaturas en la propia grafica de valores:

- Primer revenido:

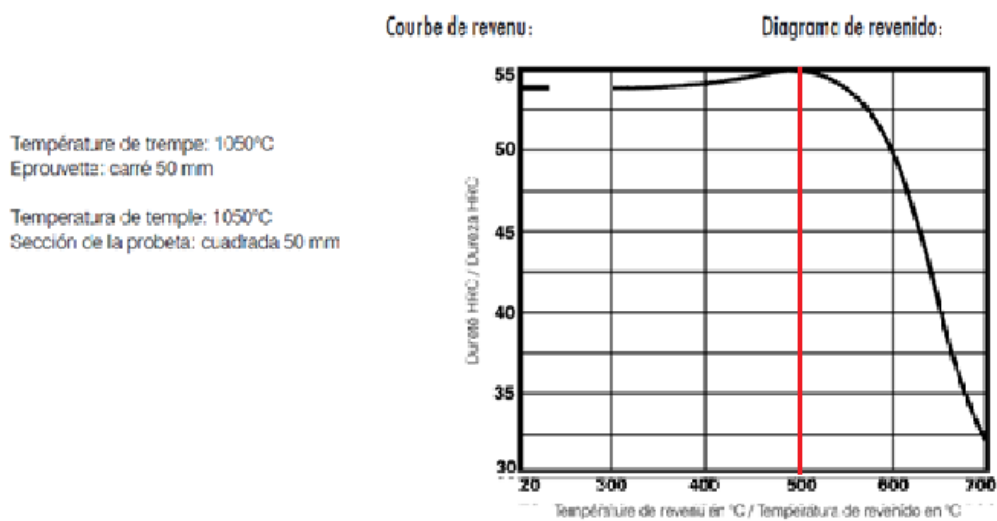


Figura 147. Marcado para primer revenido.

El punto de mayor dureza corresponde a 500 °C, con lo cual se le aplica a la matriz una temperatura aproximada de 530 °C durante dos horas, dejándose posteriormente enfriando al aire.

- Segundo revenido:

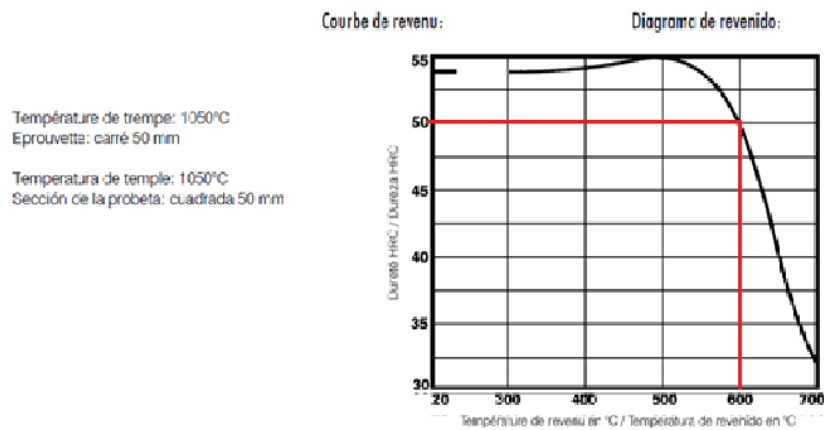


Figura 148. Marcado para segundo revenido.

Para un punto de dureza de 50 HRC corresponden 600°C, y de igual manera se mantienen durante dos horas dejándose enfriar al aire. Con este alcanzamos la dureza deseada.

- Tercer revenido:

Este último revenido se aplica para distensionar.

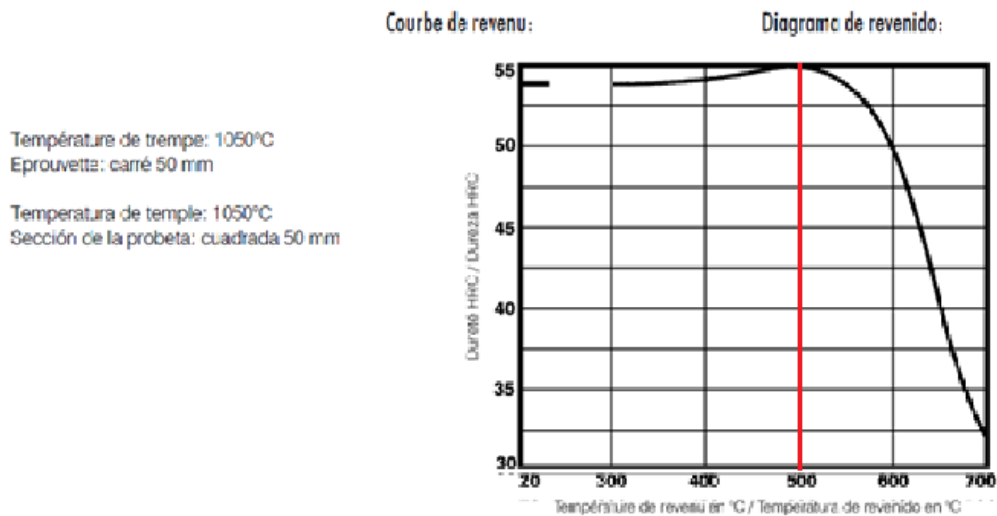


Figura 149. Marcado para tercer revenido.

Para este último revenido, se puede aplicar una temperatura aproximada de entre 450 y 470°C. Para nuestro caso se elige un punto intermedio, siendo este 460°C, manteniéndose dicha temperatura por dos horas y dejándose enfriar al aire igual que en los casos anteriores.

11.5 MONTAJE EN PRENSA DE LA MATRIZ

Preparación

Se trata de montar en la máquina un conjunto que está formado por los siguientes elementos:

- Bolster.
- Soporte.
- Matriz.

Todo este conjunto se monta sobre un útil donde cada elemento es alojado, formando un conjunto compacto y a modo de sandwich. A este soporte se le da el nombre de **anillo portamatrices**, el cual sirve para ser incorporado a la prensa y dar comienzo al proceso de extrusión.

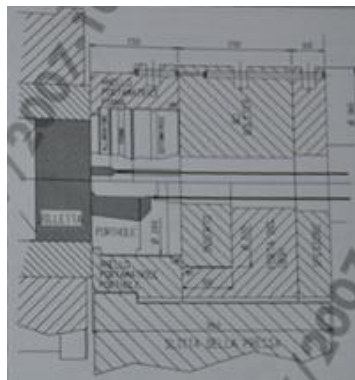


Figura 150. Imagen conjunto matriz montado en prensa.

Este conjunto no se encuentra calefactado, y la distribución de temperaturas en el conjunto matriz disminuye progresivamente desde la matriz hasta el bolster.



Figura 151. Montaje de la matriz sobre utensilio.

Alineación de anillo portamatriz

Comprobar que el anillo portamatriz es alojado adecuadamente en su posición dentro de la máquina extrusora.

Calentamiento de la matriz

Antes de ensamblar el anillo portamatrices, se monta sobre la prensa, siendo imprescindible un tiempo mínimo para poder elevar la temperatura del conjunto a la temperatura de trabajo. La temperatura del horno estará comprendida entre 470° y 500°C.

Verificar el disco de empuje

Como se aprecia en la figura 155, se ve el empujador, que entra en contacto directo con el tocho y lo empuja fuertemente contra la matriz. Por lo tanto, se hace imprescindible verificar que el disco de empuje está bien alineado y se encuentra con su cara de contacto con el tocho perfectamente planificada.

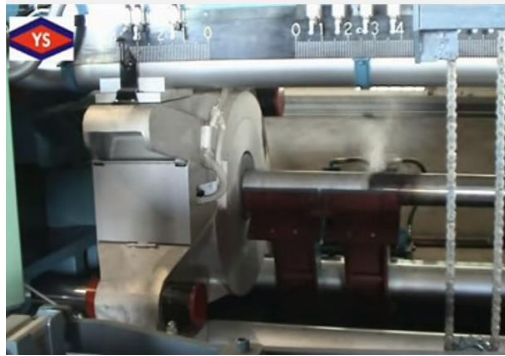


Figura 152. Empujador actuando [51].

Alineamiento del vástago con el contenedor

Verificar que el vástago se encuentra alineado con el tocho y el contenedor. De tener alguna desalineación produciría daños importantes, además de producirse desgastes inadecuados en el conjunto mecánico.

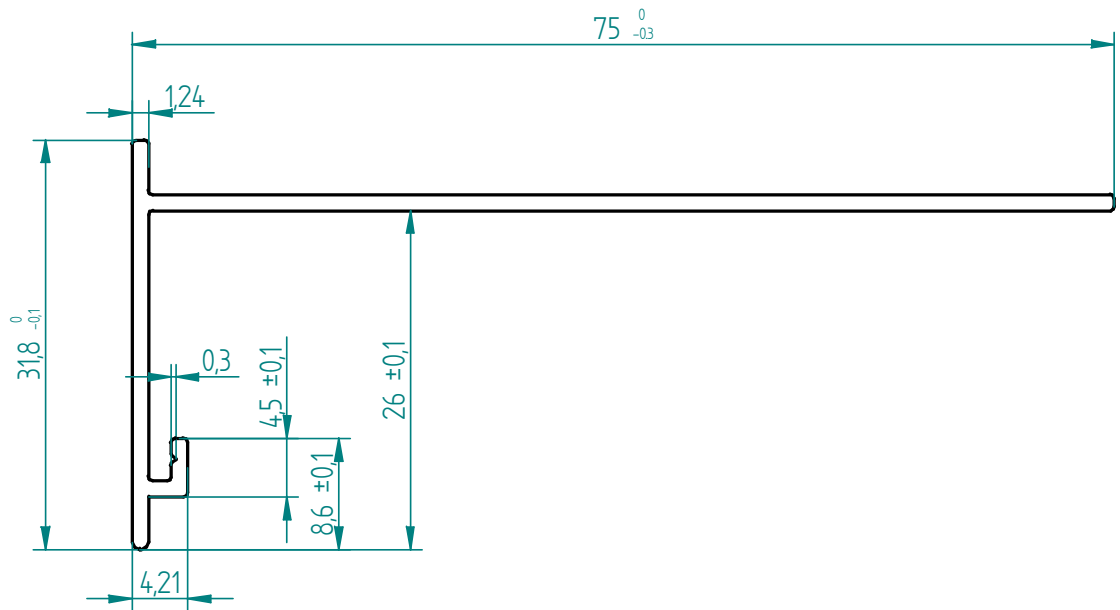
Calentamiento del tocho

Comprobar que el contenedor se calienta de manera adecuada y no se observan fallos de temperatura. Se observan los datos de las sondas y se ve que responden a las acciones de cambio que se desean.

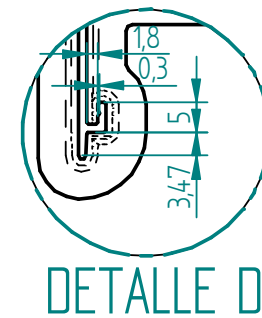
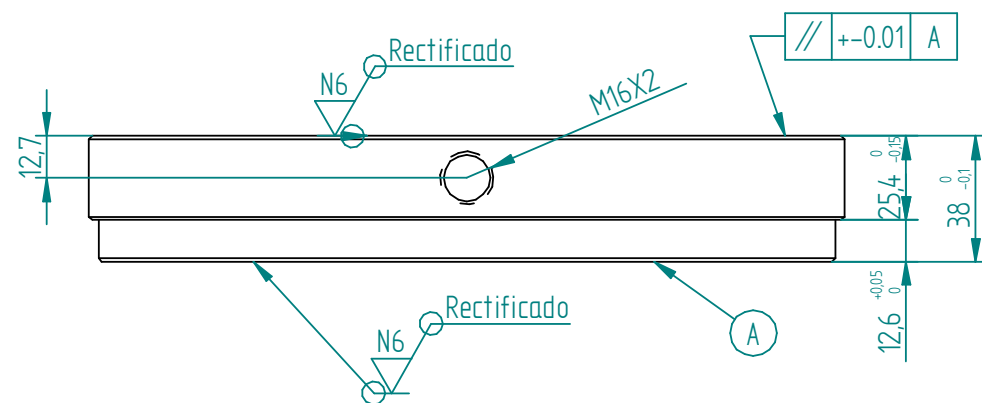
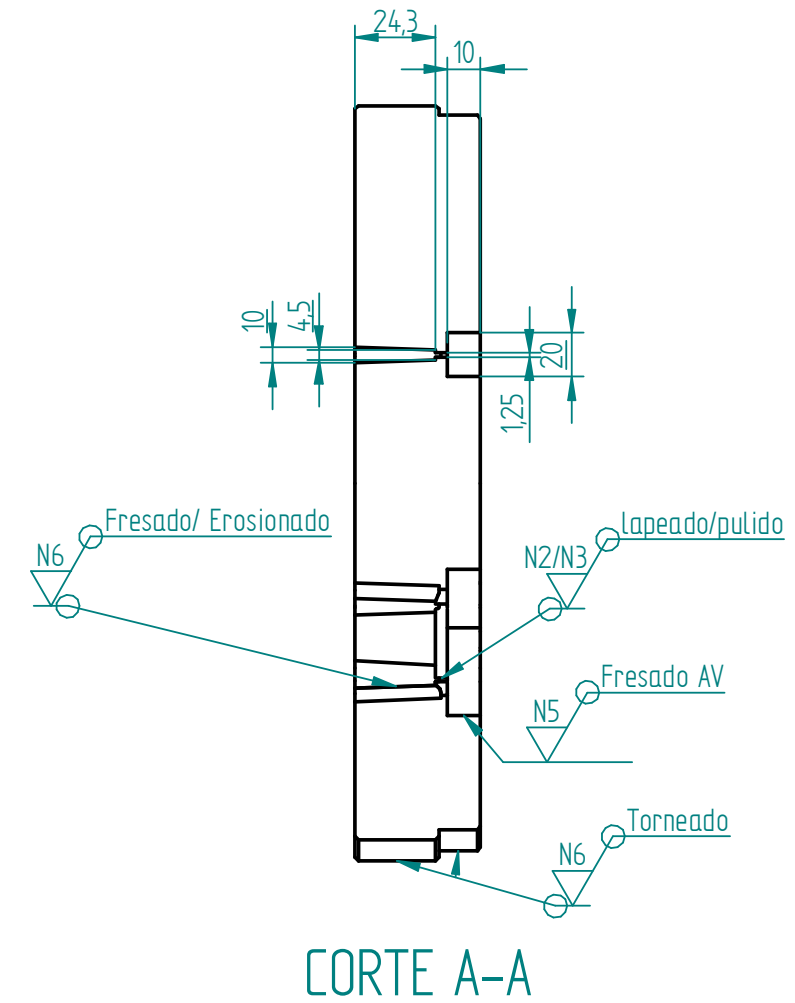
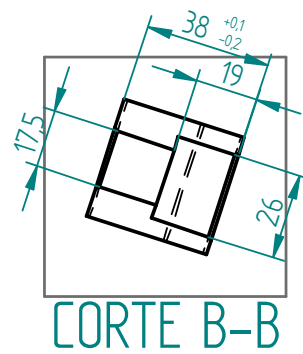
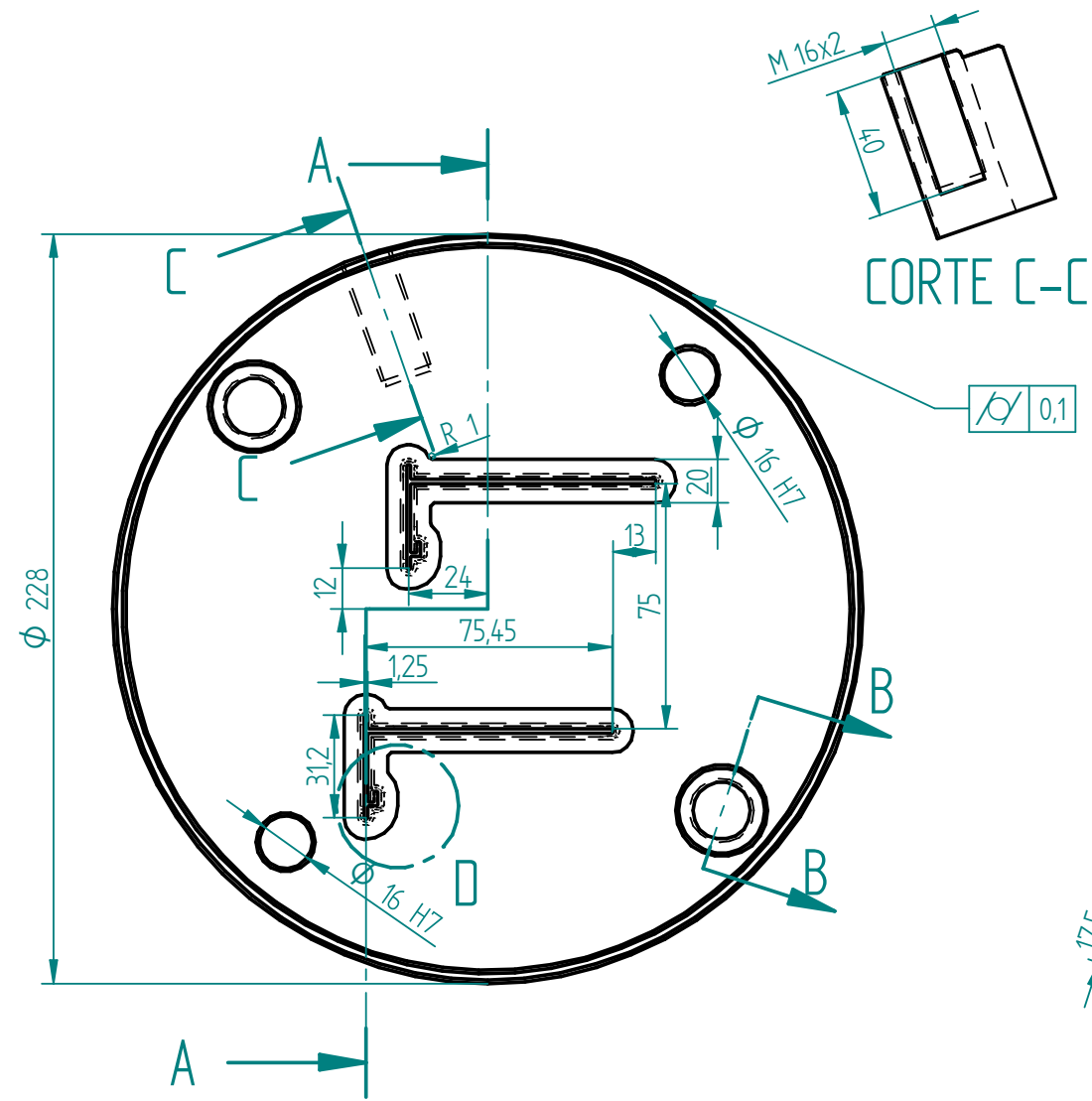
12 ANEXO VI: PLANOS

INDICE DE LOS PLANOS REFERENTES A LA MATRIZ DE EXTRUSIÓN.

Numeración del plano	Nombre del plano
1 de 4	Perfil resultante
2 de 4	Placa plana
3 de 4	Alturas de roce (sobre la placa)
4 de 4	Soporte

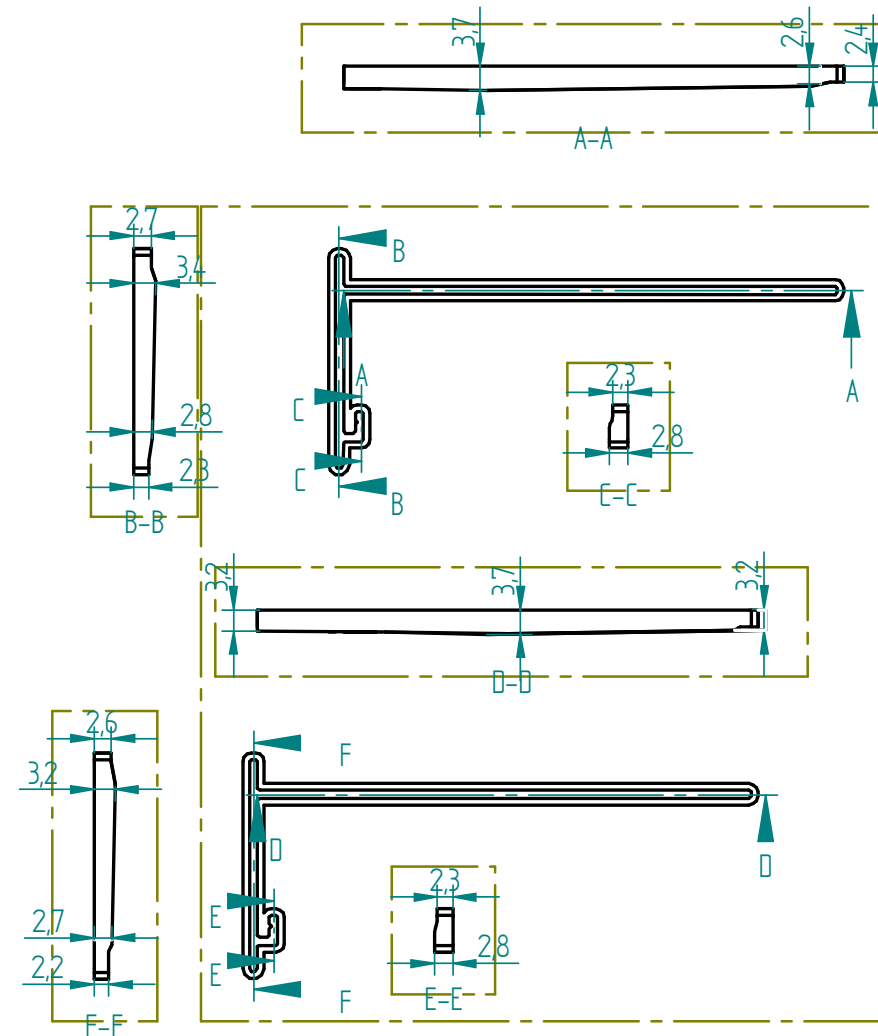


	Nombre	Fecha	EINA Grado ingeniería mecánica		
Dibujado	Juan Jesús	1/01/01			Perfil resultante
Comprobado					
Aprobado 1					
Aprobado 2					
Salvo indicación contraria tolerancias ± 0.05 Rugosidad N7			A4	Radios de acuerdo en todo en perfil: 0.3 mm	
			Escala: 2/1		Plano 1 de 4

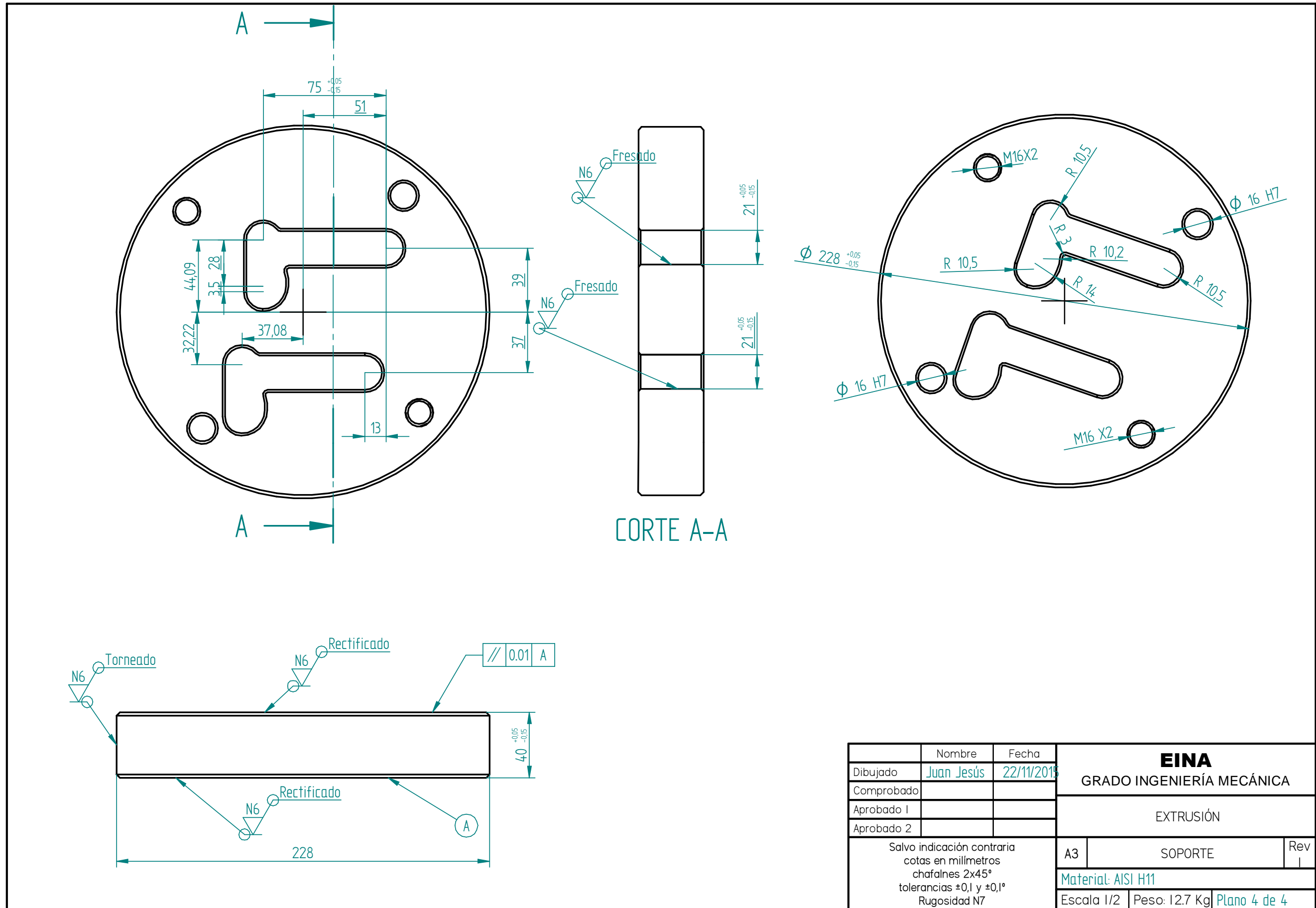


Nombre		Fecha		EINA GRADO INGENIERÍA MECÁNICA	
Dibujado	Juan Jesús	22/11/2015			
Comprobado					
Aprobado 1					
Aprobado 2				A3 Rev 1 Material: Böhler W302 (H13) Escala 1/2 Peso: 12.5 Kg Plano 2 de 4	
Salvo indicación contraria Chafanes 2x45° cotas en milímetros tolerancias ±0,05 y ±0,1° Rugosidad N7					

Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado



	Nombre	Fecha	UNIZAR GRADO INGENIERÍA MECÁNICA	
Dibujado	Juan Jesús	22/11/2015		
Comprobado			Altura de o ces	
Aprobado 1				
Aprobado 2			A3	Rev
Salvo indicación contraria ángulos en grados tolerancias $\pm 0,01$ mm Rugosidad N7			Material: Böhler W302 (AISI H13)	
			Escala 1:2	Peso: 12.5 Kg o 3 de 4



Nombre		Fecha		EINA GRADO INGENIERÍA MECÁNICA			
Dibujado	Juan Jesús	22/11/2015				EXTRUSIÓN	
Comprobado							
Aprobado 1							
Aprobado 2				A3 SOPORTE Rev I			
Salvo indicación contraria cotas en milímetros chafalnes 2x45° tolerancias ±0,1 y ±0,1° Rugosidad N7						Material: AISI H11	
						Escala 1/2	Peso: 12.7 Kg

13 ANEXO VII: PRESUPUESTO

13.1 INTRODUCCIÓN AL PRESUPUESTO

En este presupuesto se puntualizan todos los costes que afectan a la fabricación de una matriz de extrusión de aluminio para un perfil concreto a obtener.

Para ello, se ha dividido el proceso completo en cuatro partes, estando estas a su vez subdivididas en los procesos internos de cada apartado. Dichos apartados son detallados a continuación:

1. Planificación e ingeniería

Partiendo del perfil que se quiere obtener, se realiza un estudio de la viabilidad técnica en su implementación, diseño de cada una de las partes y programación de la producción del mismo.

1. Estudio
2. Diseño.
3. Elección proveedores
4. Programación

2. Operaciones en máquina

Las matrices de extrusión de aluminio carecen, en casi su totalidad, de elementos normalizados, teniendo que ser fabricados, para cada caso, los elementos fuera de norma previamente diseñados.

El coste asociado a la fabricación se calcula según: tiempo de operación y tiempo de preparación de máquina.

Al ser piezas únicas, en el proceso de operación se va a considerar como mínimo una hora de trabajo, aunque este no la alcance.

1. Torneado
2. Primer fresado
3. Fresado en acabado
4. Electroerosión de hilo

3. Operaciones manuales

Son consideradas operaciones manuales las que no están automatizadas y dependen, puramente o parcialmente, de la pericia de un profesional.

1. Taladrado
2. Rectificado
3. Calidad
4. montaje

4. Labores externalizadas

Estas son partes del proceso consideradas dependientes de entidades externas a la empresa o equipo encargado del diseño y fabricación de la matriz, teniendo que ser realizadas por terceros.

Es normal, especialmente en centros de producción pequeños, que parte del proceso tenga que ser externalizado por varios impedimentos. Las principales razones son: el coste de la producción propia sería más alto que la oferta del mercado, altos costes en la inversión inicial, carencia de espacio, know-how de otras compañías dedicadas en exclusiva a algunas operaciones concretas.

1. Acopio de material
2. Temple y revenidos
3. Nitrurado
4. Transporte

13.2 CÁLCULO DEL COSTE

13.2.1 PLANIFICACIÓN E INGENIERÍA

- **Estudio técnico:** Reflexión necesaria para la correcta configuración de elementos por los que está compuesta la matriz y localización de posibles problemas constructivos en la concepción de la misma para el correcto funcionamiento de la misma.

El tiempo necesario estará en función del diseñador y de la complejidad del perfil, en este caso se estima una hora.

- **Diseño:** Consiste en la implementación, bajo diseño, de la idea inicial que ha sido concebida, cumpliendo los requisitos, en caso de que estos existan, del cliente.

Este proceso presume de ser uno de los más críticos. En el supuesto de que se produzca un fallo, la herramienta posiblemente tenga que ser fabricada nuevamente, asumiendo los gastos el fabricante de la matriz.

En el diseño de esta matriz se estiman 8 horas de trabajo de un diseñador cualificado, suponiendo un coste de 60 €/hora.

- **Elección de proveedores:** En el diseño de la matriz se han determinado, tanto elementos normalizados, como los materiales a emplear en las partes no normalizadas. En este proceso se hace el envío del pedido.

- **Programación:**

Torno: 1 hora.

Fresadora: ½ por fase. En total son cuatro fases.

Electroerosión de hilo: ½ hora en total.

PLACA Y SOPORTE			
OPERACIÓN	TIEMPO (Horas)	Coste por hora (€/hora)	Coste proceso (€)
Estudio técnico	1	60	60
Diseño de la matriz	8	60	480
Elección de proveedores	1	40	40
Programación	3,5	50	175
COSTE TOTAL			755

13.2.2 OPERACIONES DE MAQUINA

- **Torneado:** El tiempo de operación calculado para la placa completa es menor de una hora, de este modo se aproxima a la hora completa.

La preparación de la máquina, entendiéndose por preparación de máquina la colocación de garras para el diámetro a mecanizar y el calibrado de la herramienta, se considera de una hora completa.

La colocación de la pieza por cada una de las fases lleva un tiempo máximo de media hora por fase.

Tiempo de mecanizado: 1 hora.
Preparación maquina: 1 hora.

- **Primer fresado:** Este es implementado en dos fases de trabajo como mínimo. El tiempo de operación obtenido es reducido, especialmente si se compara con la complejidad y el tiempo necesario para el ajuste de las herramientas, colocación de la parte en cada fase y su centrado. Es considerada una hora para el tiempo de operación total, el tiempo estimado total de preparación de máquina es de dos horas.

Preparación maquina: 2 horas.
Tiempo de operación: 1 hora.

- **Fresado en acabado:** Este proceso es realizado después del tratamiento térmico de la placa, reduciendo así las velocidades de corte y avances recomendados para las herramientas, a la vez, el volumen a eliminar es mucho menor. El tiempo de operación estimado para las dos fases es menor a la hora, aproximándolo así a la unidad. La preparación de máquina y colocación de la pieza por fase no es variable, la máquina a emplear es la misma, tanto antes como después del tratamiento térmico, teniendo está disponible almacén de herramientas automático.

Preparación maquina: 2 horas.
Tiempo de mecanizado: 1 hora.

- **Electroerosión de hilo:** a diferencia de los procesos anteriores, el corte de material por electroerosión de hilo es muy lento, siendo además muy dependiente el acabado superficial final y las tolerancias con la velocidad con la que se corta. Además, la sujeción de estas piezas no requiere de grandes sollicitaciones, aunque no se puede descuidar la buena calidad del centraje que es requerida. Así pues es considerada una hora completa para la preparación de la máquina y colocación de la pieza, y teniendo como tiempo estimado de operación un total de 9 horas.

Preparación máquina y colocación pieza: 1 hora.
Tiempo de mecanizado: 9 horas.

OPERACIÓN	TIEMPO (Horas)	Coste por hora (€/hora)	Coste proceso
Torneado	2	60	120
Primer fresado	3	60	180
Fresado en acabado	3	60	180
Electroerosión de hilo	10	60	600
SUMA TOTAL			1080

13.2.3 OPERACIONES MANUALES

- **Taladrado transporte:** Operación con alto grado de tolerancia. Por facilidad y rapidez, esta operación se realiza manualmente, en un taladro manual. Las medidas son posibles de obtener gracias al nonius instalado en el eje Z y al marcado previo del punto donde realizar el agujero.

Para el proceso completo de marcado, preparación de máquina, colocación de pieza y ejecución de las operaciones es considerada una hora completa.

Preparación, taladrado y roscado: 1 hora.

- **Rectificado:** Proceso de gran importancia, de este va a depender, en su medida, el correcto acabado de las fases post-temple y su posterior buen funcionamiento en prensa, pero debido al tipo de rectificado que se le aplica, este se realiza con una rectificadora manual y avances automáticos.

El tiempo que se estima para el rectificado de las dos caras es de una hora en total.

- **Calidad:** Se supone que se han respetado y verificado las tolerancias más importantes al terminar cada uno de los procesos, especialmente en los pasos finales, ya que no son modificados nuevamente, o al menos no son las medidas modificadas fuertemente. Aun así es muy importante realizar un control de calidad final en el que son anotadas las medidas en una hoja de control, en este control se verifica: el buen funcionamiento de las roscas y medidas exteriores dentro de la tolerancia permitida. En el caso de salirse alguna cota del margen de error, la matriz podría, incluso, no poder ser montada en la prensa, dando una imagen muy negativa.

La parte más técnica, perteneciente al diseño puro para la buena extrusión del perfil es la verificación de los espesores de salida y alturas de roce. Pudiendo ser verificados con galgas, dado que los calibres no son tan pequeños.

El tiempo estimado en la verificación de cotas es considerado aproximadamente de una hora aproximadamente

- **Montaje:** Para el correcto montaje de la placa y el soporte se estima un tiempo aproximado de una hora.

OPERACIÓN	TIEMPO (Horas)	Coste por hora (€/hora)	Coste proceso (€)
Taladrado transporte	1	40	40
Rectificado	1	40	40
Calidad	1	40	40
Montaje	1	40	40
SUMA TOTAL			160

13.2.4 LABORES EXTERNALIZADAS

- **Acopio de material:** Los materiales requeridos para la completa ejecución del proyecto son: 16 Kg de acero para trabajo en caliente “Böhler W302”, dos tornillos Allen de M16 X 80 mm de longitud y dos pasadores con diámetro de 16 mm

El coste por kilogramo acero 6.5 €/Kg.
Densidad materia prima: 7800 Kg/m³.

- **Temple y revenidos:** El coste se expresa por unidad de masa a tratar térmicamente y dicho coste por unidad a varía según la calidad de dicho tratamiento térmico. En este caso, el tratamiento completo que se realiza consta de un temple y tres revenidos, teniendo asociado un coste de 2.5€/Kg.

El coste del temple con tres revenidos es de 2,5 €/Kg

- **Nitrurado:** Al igual que en el temple, el coste de este también está asociado a la masa de la pieza a tratar, teniendo este un coste de 2.5€/Kg.
- **Transporte:** Los coste de transporte están asociados a dos variables: costes fijos y costes variables. Los costes fijos son relativos a seguros, amortizaciones, salarios y tasas. Los costes variables suele ser el combustible, mantenimiento, peajes y dietas.

Para nuestro caso se contempla un coste dependiente únicamente de la carga que se transportar, suponiendo que esta va a ser movida únicamente dentro del territorio nacional, siendo el coste de 1.3 €/Kg, el coste mínimo se considera de 50€ (nuestro caso).

OPERACIÓN	Cantidad (Kg)	Coste por Kilogramo (€/Kg)	Coste proceso (€)
Acopio de material	16	6,5	102,9
Temple y revenidos	16	2,5	39,6
Nitrurado	16	2,5	39,6
Transporte			50,0
SUMA TOTAL			232,0

NORMALIZADOS			
OPERACIÓN	Cantidad (un)	Coste por unidad (€/u)	Precio (€)
Tornillos M16	2	0,85	1,7
Pasadores	2	0,85	1,7
SUMA TOTAL			3,4

Aunando los costes asociados a la fabricación de la matriz se tiene el precio sin estar incluidos en este los impuestos pertinentes:

PLACA	
OPERACIÓN	Coste proceso (€)
Planificación e ingeniería	755,0
Operaciones de maquina	1080,0
Operaciones manuales	160,0
Labores externalizadas	235,4
SUMA TOTAL	2230,4