

ESCUELA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA DE ZARAGOZA
UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA

PROYECTO DE FIN DE GRADO

**PLANIFICACIÓN DEL MECANIZADO DE GRANDES
COMPONENTES DEL SECTOR ENERGÉTICO. CASO
TÉCNICO: SOPORTE DE EJE DE GENERADOR EÓLICO**

Planning of the machining of large components of the energy sector.
Technical case: wind generator shaft support

AUTOR

PAOLO MEDIEL AZNAR

DIRECTORES

EMILIO ROYO VÁZQUEZ

JESÚS CASANOVA AGUSTÍN

Resumen

En este trabajo fin de grado se exploran las particularidades de la planificación del mecanizado de piezas de grandes dimensiones del sector energético, haciéndolas palpables mediante un caso técnico: particular un soporte de eje de generador eólico.

En primer lugar, se ha realizado un análisis de la pieza para seleccionar la máquina más adecuada para este tipo de piezas. Se requiere una máquina con grandes recorridos, con 4º eje en mesa para minimizar el movimiento de la pieza debido a su gran tamaño, por lo que se ha seleccionado la PAMA SR100.

El material de la pieza es fundición nodular y dentro de la fundición nodular se ha seleccionado el ASTM A-536 65-45-12, al cual se le ha realizado un estudio de sus propiedades y su índice de maquinabilidad.

Para poder realizar el mecanizado de toda la pieza se ha dividido en dos subfases, donde dentro de cada subfase se ha dividido en caras para minimizar el movimiento de la pieza.

Para cada subfase se ha tenido que realizar el diseño de utillaje a través de familias de utillajes versátiles y soportes específicos para colocar las caras que se van a mecanizar perpendicular al eje principal de trabajo (ZM). Para la realización del utillaje se ha empleado el programa Solid Edge.

Para cada operación se ha llevado a cabo la búsqueda de la herramienta más adecuada mediante el catálogo de herramientas de Sandvik.

Las operaciones que se han realizado principalmente son planeado, cajeras, taladrado y roscado. Para la planificación del mecanizado se ha usado el programa CAM, SE CAMPro.

Por último, se ha realizado una hoja de procesos con el resumen de cada herramienta usada, para que operación se ha realizado, parámetros de la herramienta y velocidades de esta y finalmente el tiempo empleado en el mecanizado.

Como conclusión, en este proyecto se han observado las posibilidades que se tiene para el mecanizado de piezas de grandes dimensiones.

Informe de Codirección

D. Paolo Mediel, autor del TFG del Grado en Ingeniería Mecánica que lleva por título "Planificación del mecanizado de grandes componentes del sector energético. Caso técnico: soporte de eje de generador eólico", justifica la codirección del TFG por parte de Emilio Royo y Jesús Casanova, ambos profesores del Dpto de Ingeniería de Diseño y Fabricación.

- Emilio Royo tiene amplia experiencia en el uso de CAD/CAM y el diseño de utillajes en distintos sectores de fabricación, aplicada a la dirección de trabajos fin de estudios y el desarrollo de proyectos OTRI. Se encargará de tuturar el TFG en sus fases de diseño 3D de los utillajes y la planificación de estrategias de mecanizado mediante CAM.
- Jesús Casanova tiene amplia experiencia en el uso de las máquinas-herramienta disponibles en el Área de Ingeniería de los Procesos de Fabricación. Se encargará de asesorar en la selección de herramientas y parámetros de corte y supervisar la validación experimental de las estrategias de taladrado y roscado.

Zaragoza, a 7 de julio de 2021.

ROYO
VAZQUEZ
EMILIO
JULIAN - DNI
25447118X

Firmado
digitalmente por
EMILIO VAZQUEZ
DNI:25447118X
Fecha: 2021.07.09
16:11:03 +02:00

Emilio Royo



Jesús Casanova



Paolo Mediel

ÍNDICE

1.	Introducción	1
1.1	Objetivos y alcance.....	1
1.2	Antecedentes	1
1.3	metodología	2
1.4	Estructura de la memoria.....	2
2.	Pieza	3
2.1	Material	4
3.	Estado del arte	5
3.1	Máquina-herramienta	5
3.1.1	Tipos de máquinas según la estructura.....	5
3.2	Taladrado	6
3.2.1	Tipos de brocas.....	6
3.2.2	Taladrado en superficies irregulares	7
3.2.3	Taladrado con chaflán	7
3.2.4	Taladrado bidiametral o bidiametral y con chaflán	8
3.3	Roscado	9
3.3.1	Selección de diámetro de corte	9
3.3.2	Trayectoria de la herramienta.....	10
3.3.3	Mecanizado con varias pasadas de penetración.....	11
3.3.4	Mecanizado con y sin refrigerante.....	11
3.4	Planeado.....	11
3.4.1	Aplicación	11
3.4.2	Tabla planeado	12
4.	Planificación de las subfases de mecanizado.....	13
5.	Máquina	17
6.	Subfase 1	19
6.1	Estrategias de las operaciones	19
6.2	Planificación Subfase 1.....	20
6.3	Cara 1	20
6.4	Cara 2	21
6.5	Cara 3	22
6.6	Cara 4	22
6.7	Cara 5	23
6.8	Cara 6	24

6.9	Cara 7	24
6.10	Hoja de procesos subfase 1	25
6.11	Tiempo.....	26
7.	Utillaje SubFase 1	26
7.1	Tope.....	26
7.2	Soporte.....	27
8.	Subfase 2	28
8.1	Planificación subfase 2	28
8.2	Cara 1	29
8.3	Cara 2	29
8.4	Cara 3	30
8.5	Cara 4	31
8.6	Cara 5	31
8.7	Cara 6	31
8.8	Cara 7	32
8.9	Cara 8	32
8.10	Cara 9	33
8.11	Cara 10	33
8.12	Cara 11 y 12.....	34
8.13	Hoja de procesos subfase 2.....	35
8.14	Tiempo.....	37
9.	Utillaje subfase 2	37
9.1	Soporte.....	37
9.2	Apoyo	38
10.	Conclusión y líneas futuras.....	39
11.	Bibliografía	40

1. Introducción

En este apartado se van a explicar los aspectos principales de esta memoria, como pueden ser sus objetivos y alcances, antecedentes, metodología y estructura.

1.1 Objetivos y alcance

El objetivo principal de este proyecto es el mecanizado de piezas de grandes dimensiones del sector eólico, en particular de un soporte de eje de generador eólico, mediante CAM, SE CAMPro, programa de simulación de mecanizado de Siemens.

Los objetivos específicos que se plantean en este proyecto son los siguientes:

- Estudiar qué es y cómo realizar operaciones de mecanizado tales como planeado, taladrado y roscado.
- Aprender el manejo de Solid Edge y CAM, SE CAMPro.
- Saber analizar y seleccionar la herramienta más adecuada para cada operación.
- Creación de utillaje para la colocación de la pieza mediante Solid Edge.
- Selección de la máquina más adecuada.
- Analizar la mejor estrategia de mecanizado en cada cara de la pieza.

El propósito general de este proyecto es la búsqueda de la forma de realizar el mecanizado de una pieza de grandes dimensiones, mediante la simulación y así poder llevarlo a cabo una situación real.

1.2 Antecedentes

Este proyecto es de carácter académico donde se realiza la planificación de una pieza de grandes dimensiones del sector energético, en concreto, el soporte de eje de generador eólico. El mecanizado de esta pieza se realiza en empresas del sector del mecanizado como por ejemplo la empresa INDAE



Fig.1.2.1 mecanizado de la pieza

1.3 metodología

Primero se va a realizar un análisis de la pieza y así poder seleccionar la máquina más adecuada para realizar las operaciones. Se va a realizar un estudio de las operaciones principales (planeado, taladrado y roscado). La planificación de las operaciones se realizará sobre el centro de mecanizado PAMA SR100 a partir de la preforma fundida. Para la selección de las herramientas se usará el catálogo de herramientas de la marca Sandvik. Para la programación se usará el programa CAM, SE CAMPro y para el diseño del utillaje Solid Edge. Se analizarán alternativas en las distintas operaciones para establecer las estrategias de mecanizado más adecuadas.

1.4 Estructura de la memoria

- **Apartado 1: Introducción**
Se indican los objetivos principales del proyecto, su alcance, antecedentes, metodología y la estructura de la memoria.
- **Apartado 2: Pieza**
se realiza un análisis de la pieza y que material se emplea en la pieza con una tabla de sus características y su índice de maquinabilidad.
- **Apartado 3: Estado de arte**
Se hace un pequeño resumen teórico sobre tipos de máquinas-herramientas, del taladrado, del roscado y del planeado que se expone diferentes formas de realizar un planeado y que fresas emplear.
- **Apartado 4: Planificación de las subfases de mecanizado**
Se analizan las dos subfase en la que se va a trabajar y el orden de cada subfase.
- **apartado 5: Máquina**
Se realiza un análisis del tipo de maquina más adecuada para este tipo de piezas, en este caso se selecciona la PAMA SR1000, y una tabla con las características de la máquina. También se muestran los dos cabezales que se van a emplear para realizar las operaciones.
- **Apartado 6: Subfase 1**
Se expone las estrategias de las operaciones, una planificación de las operaciones y se analiza una a una todas las caras de la subfase 1. Al final se realiza una hoja de procesos y el tiempo empleado en el mecanizado.
- **Apartado 7: Utillaje subfase 1**
Se recrea con el Solid Edge el utillaje para la subfase 1 y se expone que material se usa en el utillaje y que función tienen.
- **Apartado 8: Subfase 2**
Se establece una planificación de las operaciones y se analiza una a una todas las caras de la subfase 2. Al final se realiza una hoja de procesos y el tiempo empleado en el mecanizado.
- **Apartado 9: Utillaje subfase 2**
Se recrea el utillaje para la subfase 2 en Solid Edge y se expone como se crea el soporte y que material se usa y también se hace un pequeño análisis de la fuerza que hace el apoyo.
- **Apartado 10: Conclusiones y líneas futuras**
Se presentan las conclusiones y las líneas futuras.

2. Pieza

La pieza que se va a trabajar es un soporte de eje de un generador eólico:



Fig.2.1 Preforma soporte eje de generador eólico

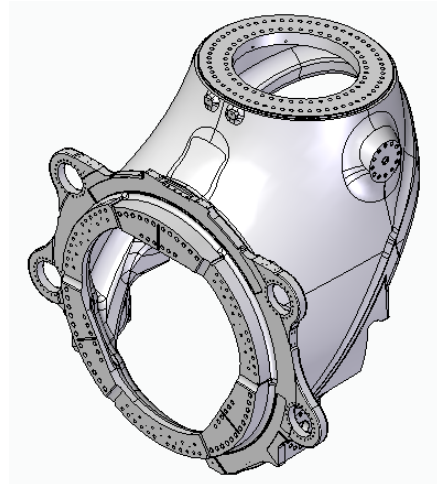


Fig.2.2 Soporte eje de generador eólico

Se trata de una pieza de grandes dimensiones con un peso de 13789,233 kg. La preforma de la pieza consta de un sobre espesor de entre 15 y 30 mm según las zonas de la pieza. El mecanizado se va a realizar en dos subfases:

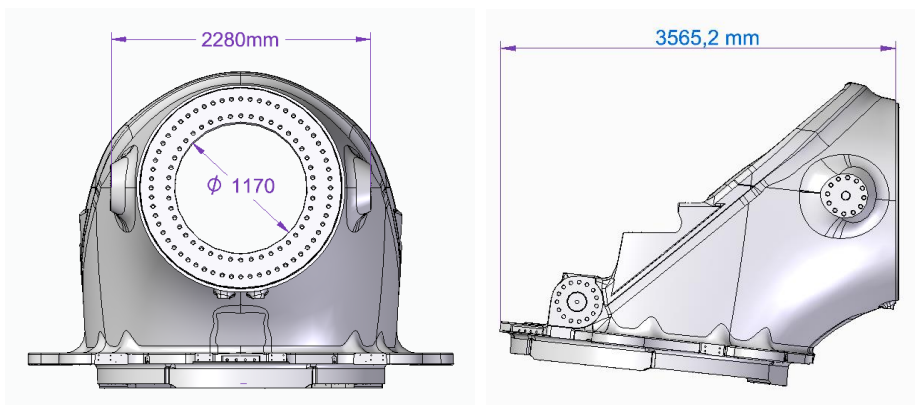


Fig.2.3 Subfase 1

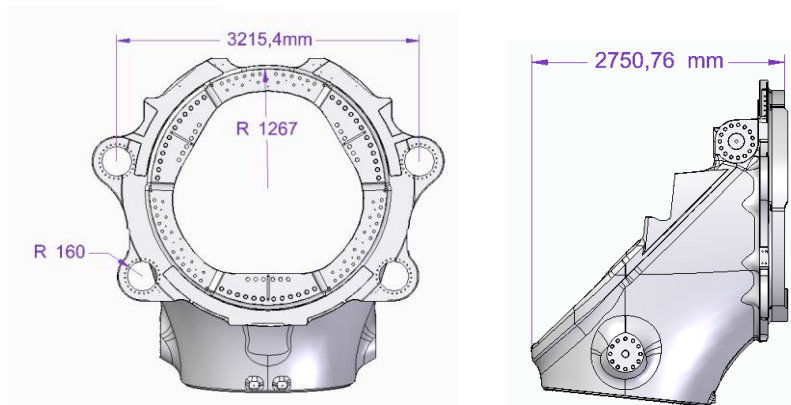


Fig.2.4 Subfase 2

2.1 Material

El material de la pieza es fundición nodular. La fundición nodular contiene grafito de forma esférica. Esta microestructura produce propiedades deseables como alta ductilidad, resistencia, buena mecanizabilidad y buena tenacidad.

También tiene características no deseables como mala amortiguación, mala conductividad térmica y se produce más calor en el proceso de mecanizado.

En estas fundiciones el grafito también favorece la fragmentación de la viruta y produce un efecto de lubricación. Sin embargo, la estructura nodular de este material es mucho menos favorable que el caso laminar de las fundiciones grises, siendo un poco menor la maquinabilidad. Dentro de este grupo vuelven a ser las de tipo perlítico de mayor dificultad que las de tipo ferrítico

Dentro de la fundición nodular se ha seleccionado el ASTM A-536 65-45-12, ya que, es de tipo ferrítico y tiene mayor maquinabilidad que las de tipo perlítico. El índice de maquinabilidad es de un 61%.

Al grupo de materiales que corresponde según la normativa ISO es al grupo ISO K, por lo que todas las herramientas empleadas se tienen que poder usar en material ISO K.

Tabla de características de la fundición nodular:

Propiedad	Valor
Densidad	6920,000 kg/m ³
Conductividad térmica	0,048 kW/m-C
Calor específico	544,000 J/kg-C
Módulo de elasticidad	110316,112 MPa
Coefficiente de Poisson	0,290
Límite elástico	193,053 MPa
Tensión de rotura	275,790 MPa
Dureza Brinell	250HB
Maquinabilidad	61%

3. Estado del arte

3.1 Máquina-herramienta

3.1.1 Tipos de máquinas según la estructura

- Pórtico o puente móvil: Máquina para piezas grandes con excelente accesibilidad. Acceso de operario a zona de trabajo y baja rigidez y precisión geométrica.



Fig.3.1.1.1 Fresadora tipo pórtico

- Tipo C: Máquina para piezas más pequeñas, cabezal solidario a la columna, buen cambio de herramientas, mejor accesibilidad del operario, baja rigidez y precisión geométrica.



Fig.3.1.1.2 Fresadora tipo C

- Tipo caña: El movimiento de avance transversal lo lleva el cabezal respecto a la columna, con las guías en el lateral del bloque central para tener mayor recorrido. Los tres ejes los soporta la columna.

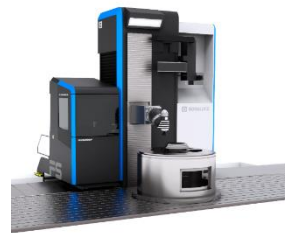


Fig.3.1.1.3 Fresadora tipo caña

En la siguiente tabla se muestran los rendimientos de los diferentes tipos de máquinas, ya sean móvil o fijas: Para este trabajo la que mejor se adapta a nuestras necesidades es el tipo Caña de columna móvil para poder acceder a todas las caras de la máquina sin tener que mover la pieza.

Característica	Estruct C Columna Fija	Estruct C Columna Móvil	Puente o Pórtico Móvil	Puente o Pórtico Fijo	Columna fija con Caña	Columna móvil con Caña
Rigidez	★★★★	★★	★★	★★★★	★★	★1/2
Precisión Geométrica	★★★★	★★	★★	★★★★	★★	★1/2
Estabilidad Térmica	★★1/2	★★	★★★	★★★★	★★	★★
Comportamiento Dinámico	★★★★	★	★★★	★★★★1/2	★★	★
Coste	★★★★	★★	★★	★★★★	★★★★	★★
Adecuado para Piezas pequeñas	★★★★	★1/2	★★	★★★	★★★	★★
Adecuado para piezas medianas	★★★1/2	★★	★★★	★★★1/2	★★★	★★1/2
Adecuado para piezas grandes	★	★★★	★★★★	★★★	★★	★★
Acceso Operario	★★★	★★★★	★★★★	★★★	★★★★	★★★★
Cambio Pieza	★★	★★★★	★★★★	★★★	★★★	★★★★
Cambio automático de herramienta	★★★	★★★	★★	★★	★★	★★
Para Piezas med. y pequeñas.	★★★★	★★	★★★	★★★★	★★★	★★1/2
Para Piezas grandes	★★1/2	★★★	★★★1/2	★★★1/2	★★1/2	★★★

Los diseños de un CMV de 3 ejes para el mecanizado de alto rendimiento. '★★★★' representa la categoría más alta, '★' la más baja. Las categorías para las piezas grandes son más bajas por término medio por la dificultad de conseguir tolerancias ajustadas en componentes complejos, en relación a piezas medianas o pequeñas.

Fig.3.1.1.4 Tabla rendimientos de las maquinas

3.2 Taladrado

3.2.1 Tipos de brocas

- **Broca enteriza:** Esta broca se usa para agujeros de diámetro pequeño, agujeros de precisión o con un margen de tolerancia más reducido. Se usa para agujeros de pequeña o media profundidad.
- **Broca de plaquita intercambiable:** Se aplica para agujeros medios o grandes diámetros, contiene dos placas una central y otra periférica. Tiene un margen de tolerancia medio.
- **Broca de metal con punta soldada:** Complemento a la broca enteriza para diámetros mayores o cuando la estabilidad del proceso es deficiente. La parte de acero de la broca proporciona tenacidad.



Profundidad y diámetro del agujero

En la siguiente grafica (Fig.3.2.1) se muestra el tipo de broca ideal según la profundidad y el diámetro del agujero.

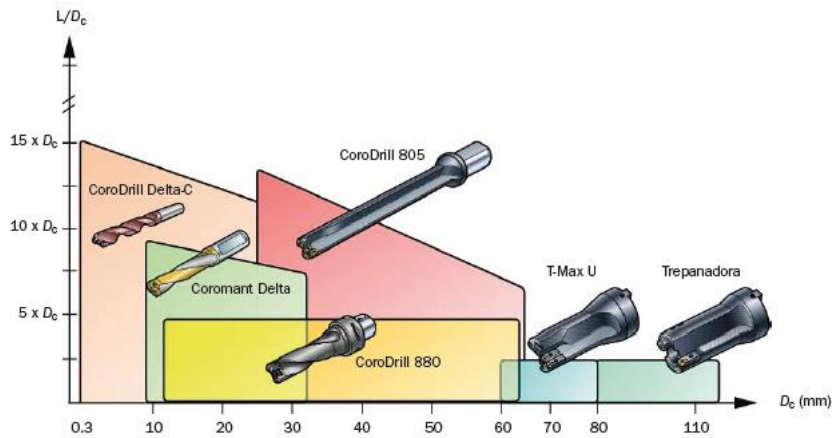


Fig.3.2.1.1 Grafica elección de broca según la profundidad y diámetro del agujero

3.2.2 Taladrado en superficies irregulares

El taladrado en superficies irregulares puede generar fuerzas excesivas y desiguales sobre los filos de la broca y esto puede provocar un desgaste prematuro.

- **Superficie irregular:**
 - **Brocas de plaquitas intercambiables:** Las superficies irregulares y bastas pueden astillar las plaquitas al entrar o salir de la superficie por lo que es necesario reducir la velocidad de avance.
 - **Broca enteriza:** Se debe reducir el avance a 1/4 de la velocidad normal al entrar para evitar la formación de astillas.

- **Superficie en ángulo o inclinada:**
 - **Broca de plaquitas intercambiables:** Utilizar una broca lo más corta posible para minimizar la tendencia a la vibración y reducir los efectos de la flexión de la broca. Si el ángulo de la superficie es mayor a 2 grados, reducir el avance a 1/3 de la velocidad normal.
 - **Broca enteriza:** Para superficie de inclinación hasta 10 grados, reducir el avance 1/3 de la velocidad normal hasta que todo el diámetro de la broca este actuando. Si la inclinación es superior a 10 grados, no se recomienda taladrar.

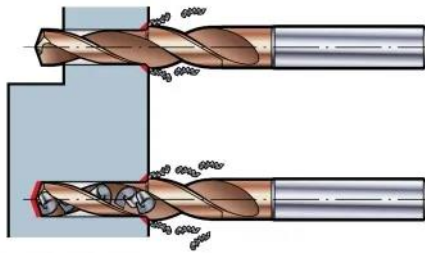
- **Superficie con curvas asimétricas:**
 - **Broca de plaquitas intercambiables:** La broca se puede desviar del centro igual que cuando penetra una superficie inclinada. Es necesario reducir el avance a 1/3 del indicado para el taladro inicial de superficies cóncavas.
 - **Broca enteriza:** No se puede taladrar.

- **Agujeros pretaladrados:**
 - **Broca de plaquitas intercambiables:** Para mantener el equilibrio de las fuerzas de corte entre la plaquita periférica y la central dentro de un nivel aceptable, el agujero pretaladrado no debe ser mayor que $D_c/4$.
 - **Broca enteriza:** No se puede taladrar.

3.2.3 Taladrado con chaflán

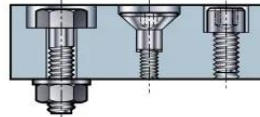
Una buena parte de los agujeros mecanizados requieren un chaflán. Algunos ejemplos típicos son los agujeros para tornillos y remaches.

Para aplicar un taladrado con chaflán se debe utilizar el mismo avance f_n (mm/rev), cuando la plaquita de achaflanar está en corte. Una reducción del avance puede provocar creación de virutas largas en la operación de taladrado.



3.2.4 Taladrado bidiametral o bidiametral y con chaflán

Otro tipo de agujero muy habitual es un agujero bidiametral o bidiametral y con chaflán. Las aplicaciones típicas son piezas con pernos y tornillos avellanados.



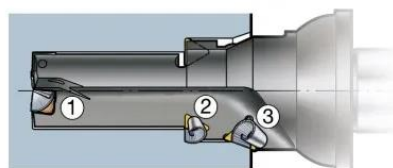
Elección de la herramienta:

CoroDrill® Delta-C*				CoroDrill® B80	CoroDrill® Delta-C*	Coromant Delta*	CoroDrill® B80	CoroBore®	Fresado
R840	R842	R846	R850		Todos los tipos	R411.5			
Herramientas especiales y especiales				Herramientas especiales y especiales	Herramientas estándar				
P M K N S H				P M K N S H	b				
K					c				
S					d				
N					e				

Fig.3.2.4.1 Tabla de brocas según el tipo de chaflán

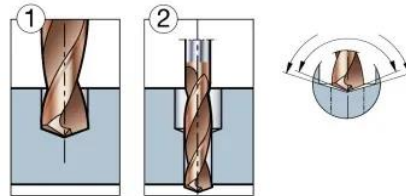
A) Agujeros bidiametral con chaflán en una pasada: El desafío cuando se utiliza una herramienta de varios diámetros es conseguir buena rotura de viruta en todos los filos de corte. En materiales de viruta larga como acero de bajo contenido en carbono y acero inoxidable, las pruebas iniciales se deben realizar por pasos:

1. Comprobar formación de viruta en la broca.
2. Comprobar formación de viruta en la plaquita bidiametral.
3. Comprobar formación de viruta en la plaquita del chaflán.



B) Agujeros bidiametrales por taladrado de dos agujeros: Taladrar siempre el diámetro más grande para garantizar el centrado de la punta de la broca y evitar el astillamiento de los filos.

Al taladrar el diámetro más pequeño, asegurarse de que el ángulo de la punta de la broca sea igual o inferior al de la broca grande para garantizar que la punta golpea primero la pieza.



C) Agujeros bidiametrales por taladrado y mandrinado: Empezar la operación con el taladrado y acabar con el mandrinado.

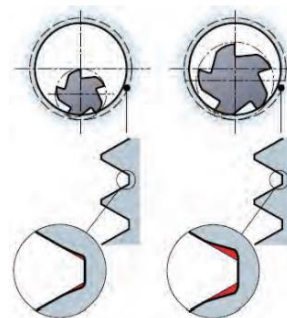
3.3 Roscado

Los métodos de roscado por corte de metal son: Torneado de roscas, fresado de roscas, roscado con macho, roscado por torbellino y rectificado. Este trabajo se va a centrar en el fresado de roscas, cuyas ventajas son:

- Roscado sobre piezas estáticas.
- Los cortes intermitentes permiten un buen control de viruta en los materiales de viruta larga.
- Las menores fuerzas de corte permiten roscar con gran voladizo y en piezas de paredes finas.
- Al roscar cerca de la escuadra o de la base no hay necesidad de una ranura de desahogo.
- Permite el mecanizado de piezas grandes que no se pueden montar fácilmente en un torno.

3.3.1 Selección de diámetro de corte

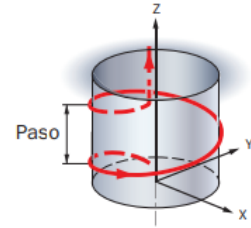
Un diámetro de corte pequeño ayuda a conseguir roscas de alta calidad. Para reducir al mínimo la desviación del perfil, el diámetro de la fresa deberá ser inferior al 70% del diámetro de roscado.



Como se muestra en la figura, a mayor diámetro la desviación es mayor.

3.3.2 Trayectoria de la herramienta

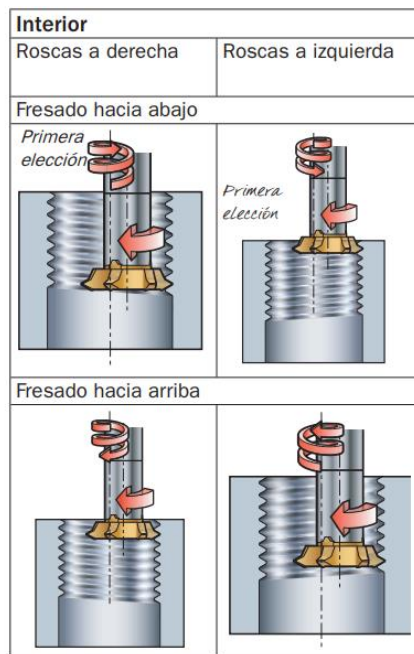
El fresado de roscas requiere que la máquina herramienta tenga capacidad de movimiento simultáneo en los ejes X, Y y Z. El diámetro de la rosca viene determinado por los ejes X e Y, mientras que el eje Z controla el paso.



Roscas interiores a la derecha: Todas las fresas se colocan inicialmente tan cerca del fondo del agujero cómo es posible, y a continuación se desplazan en sentido antihorario en dirección ascendente para conseguir que el fresado sea hacia abajo.

Roscas interiores a la izquierda: El fresado de una rosca a izquierda sigue la dirección opuesta, de arriba hacia abajo, también con una trayectoria antihoraria para conseguir que el fresado sea hacia abajo.

Fresado hacia abajo y hacia arriba: El fresado hacia abajo hace disminuir el grosor de la viruta desde el inicio del corte, hasta que alcanza el grosor cero al final, esto evita que el filo roce y se queme contra la superficie antes de introducirse en el corte, por ello, es el método recomendado si la máquina, la sujeción y la pieza lo permitan.



Entrada en el corte: Se efectúa una entrada suave en el corte mediante fresado circular o progresión en rampa. Se puede conseguir realizando un círculo adicional, lo que produce virutas más finas en la salida.

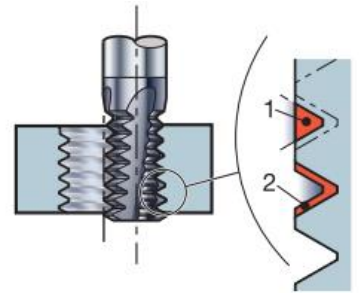
Se entra en el corte lentamente; se debe dividir el paso entre cuatro, para cada cuarto de revolución (90°).

Una entrada suave en el corte es fundamental también para evitar la vibración y prolongar la duración de la herramienta.

3.3.3 Mecanizado con varias pasadas de penetración

Realizar el roscado en varias pasadas se consigue mayores pasos de rosca y disminuye el riesgo de rotura de la herramienta en materiales exigentes.

Al realizar varias pasadas mejora la tolerancia de la rosca, debido a que se reduce la flexión de la herramienta. Esto aporta mayor seguridad en el caso de grandes voladizos y condiciones inestables.



3.3.4 Mecanizado con y sin refrigerante

El fluido de corte hace más agudas las variaciones de temperatura entre entrada y salida y esto provoca fisuras térmicas, por eso se recomienda siempre el mecanizado sin refrigeración.

3.4 Planeado

En el planeado se mecanizan superficies planas para múltiples aplicaciones: superficies de apoyo, juntas estancas, superficies de guías de deslizamiento, etc.

El planeado es la operación de fresado más habitual y puede realizarse con diferentes herramientas.

El siguiente diagrama muestra las principales áreas de aplicación para los diferentes conceptos de fresas en términos de profundidad de corte, a_p , y avance por diente, f_z .

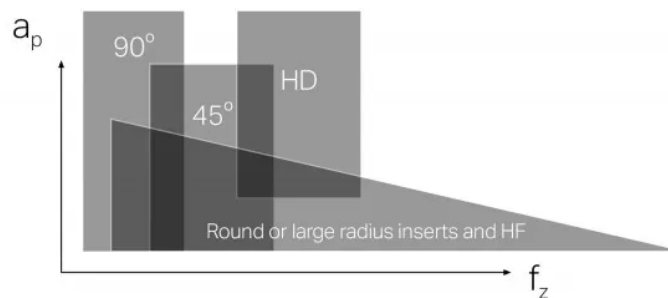


Fig.3.4.1 diagrama de avance por diente (f_z) y profundidad de corte (a_p)

Si lo que se desea es una alta profundidad se seleccionaría una fresa con plaquitas a 90 grados, pero si lo que necesita es una alta velocidad de avance se selecciona una fresa con plaquitas con ángulos grades o redondas. Las plaquitas con un ángulo de 45 grados son las más utilizadas.

3.4.1 Aplicación

Mantener la fresa en constante contacto con la pieza, aplicar fresado hacia abajo para favorecer la formación de viruta y evitar entradas y salidas frecuentes de la pieza. Esto puede provocar tensiones perjudiciales sobre el filo, o tendencias a paradas y vibración.



Evitar realizar varias pasadas en paralelo, en cambio, realizar un recorrido radial de la herramienta para que se mantenga en movimiento y en constante contacto.

3.4.2 Tabla planeado

En la siguiente tabla se muestra la profundidad de corte según el ángulo de posición de las placas y en el material en el que se puede trabajar.

	Fresas de planeado			
Ángulo de posición (α), mm	60°	45°	90°	Plaquitas redondas
Máx. profundidad de corte (a_p), mm	13/18	10	15.7	12.5
Diám. de corte (D_c), mm	160 - 500	80 - 250	40 - 200	66 - 200
Material				

Fig.3.4.2.1 Tabla de fresas para planeado

4. Planificación de las subfases de mecanizado

La planificación del mecanizado se realiza en dos subfase dentro de las cuales se dividen en caras:

Subfase 1: En esta primera subfase se va a trabajar en siete zonas diferentes del bastidor: Cara 1 color rojo, cara 2 color verde, cara 3 color azul, cara 4, que es la parte trasera de la cara 1, color naranja, cara 5 color morado, cara 6 color violeta y cara 7 color amarillo como se muestra en las siguientes imágenes:

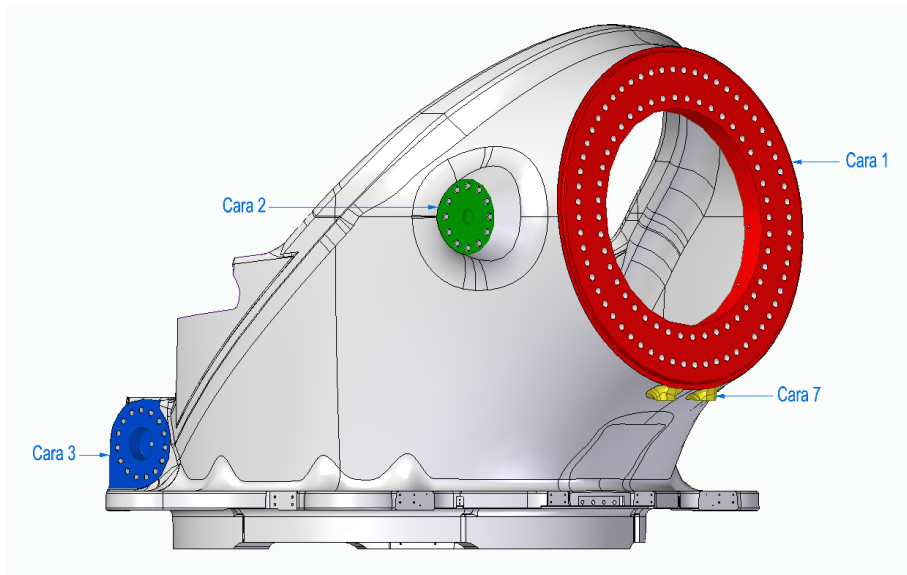


Fig.4.1 Bastidor parte delantera

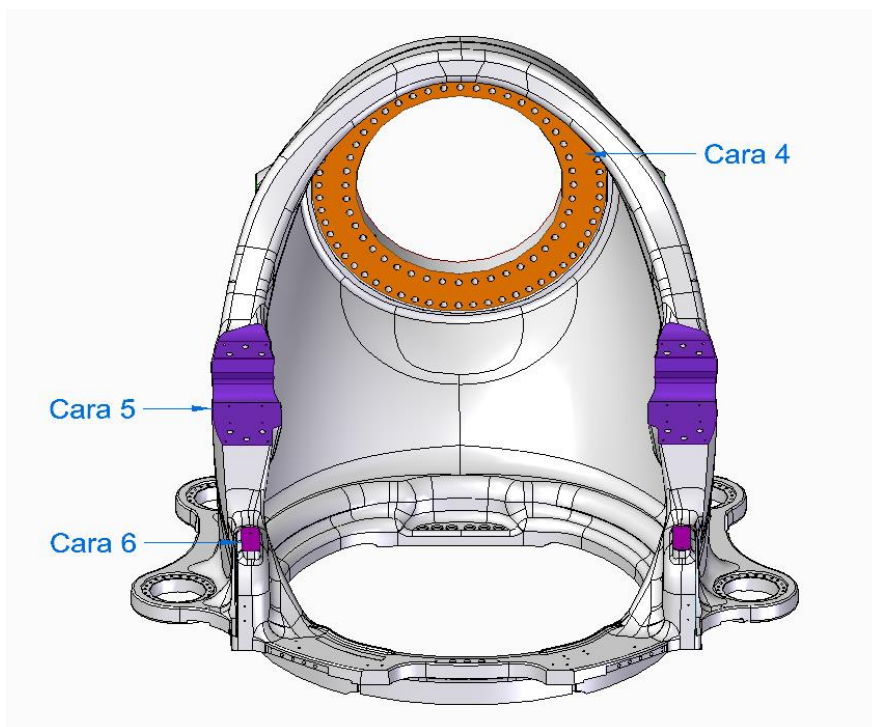


Fig.4.2 Bastidor parte trasera

Subfase 2: En esta subfase 2 distinguimos 12 caras diferente: color verde cara 1, color rojo cara 2, color morado cara 3, color amarillo cara 4, color naranja cara 5, color azul cara 6, color gris cara 7, color cian cara 8, color marrón cara 9, color violeta cara 10, color negro cara 11 y color oro cara 12.

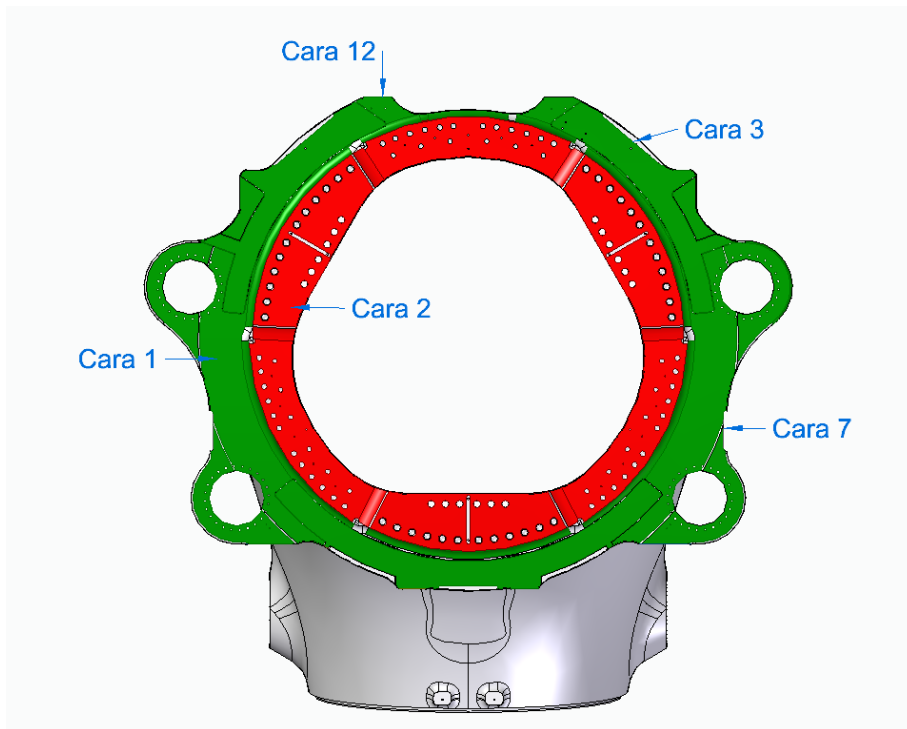


Fig.4.3 Bastidor parte frontal

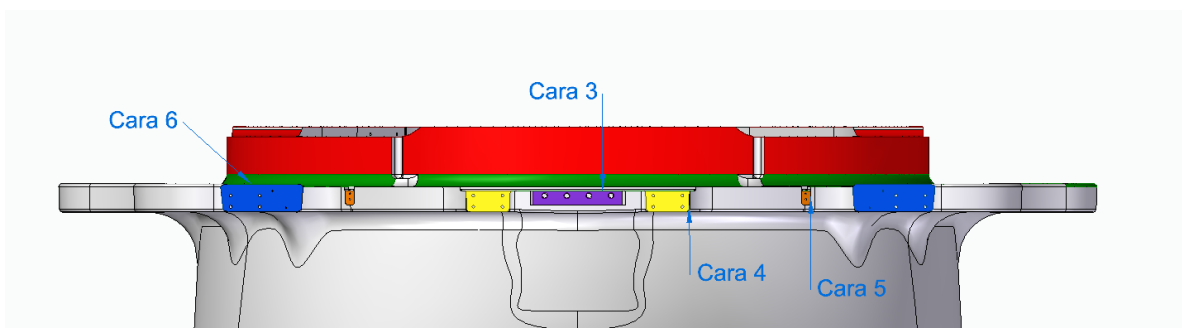


Fig.4.4 Bastidor parte frontal parte inferior

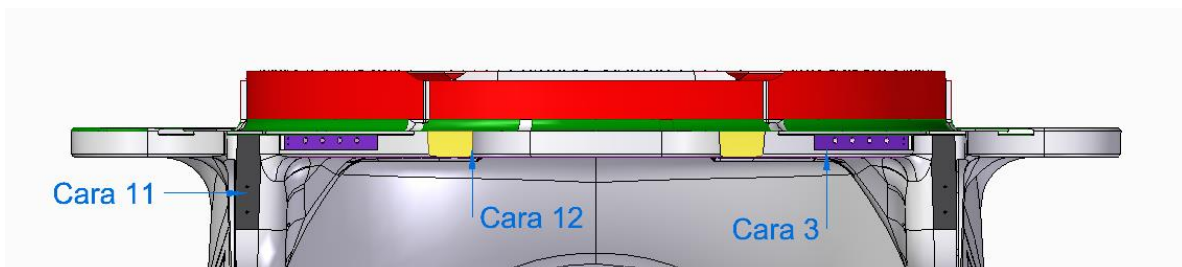


Fig.4.5 Bastidor parte frontal parte superior

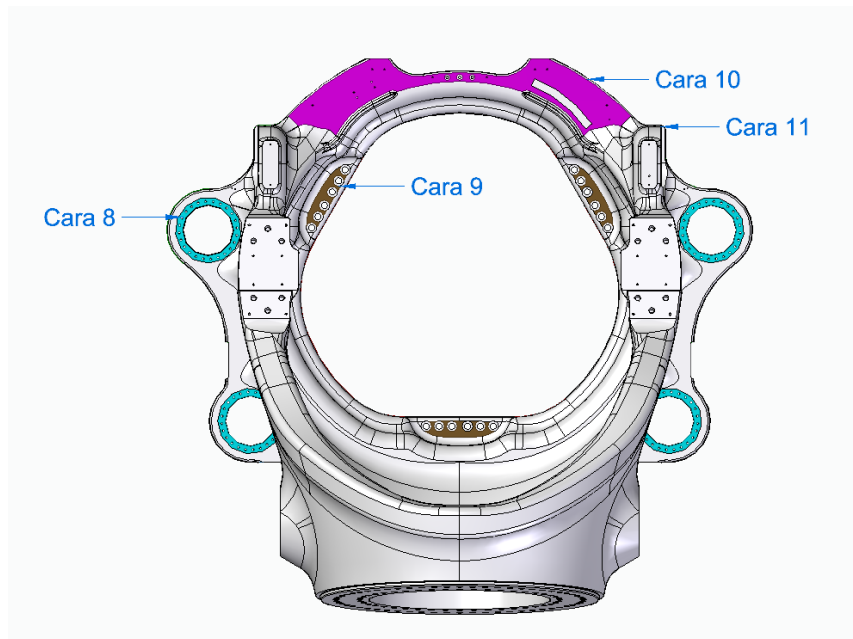


Fig.4.6 Bastidor parte trasera

El mecanizado se realiza en este orden porque una vez realizado la primera subfase resulta más fácil colocar unos cáncamos en la cara 5 de la subfase 1 para poder mover la pieza con un puente grúa y usar la cara 1 como referencia para poder colocar la pieza en el utillaje de la subfase 2 como se muestra en la siguiente imagen.



Fig.4.7 Colocación de la pieza en utillaje de subfase 2

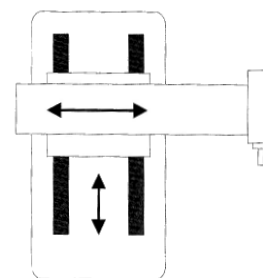
Estas piezas se realizan en pequeñas series y lo que conlleva más tiempo de trabajo es mover la pieza, por lo que se necesita una máquina de columna móvil para que mientras se esté trabajando en una pieza en la otra mesa de trabajo se coloque otra pieza y así optimizar los tiempos, como se muestra en la siguiente imagen.



Fig.4.8 mecanizado de pieza

5. Máquina

Para poder realizar las operaciones se necesita una máquina capaz de llegar a todas las zonas de trabajo sin la necesidad de tener que mover mucho la pieza debido a su gran tamaño y peso, también se necesita una máquina con carnero para poder acceder a la cara 4 de la subfase 1 o a las caras 9 y 10 de la subfase 2, por ello, se necesita una máquina que se pueda desplazar tanto en el eje (YM), de la columna de la máquina, como en el (ZM), eje principal de trabajo. La mejor opción es una máquina-herramienta tipo caña con columna móvil.



En los centros de mecanizado de tipo caña (esquema del mismo) el eje Y de la caña está en voladizo a una distancia variable que depende de la posición del eje. Esto provoca cambios en rigidez, alineación del husillo y rendimiento dinámico con diferentes posiciones del husillo.

Fig.5.1 Máquina tipo caña móvil

La máquina-herramienta que se va a usar es la PAMA SR1000, una fresadora tipo caña de columna móvil con 4º eje en la mesa de trabajo cuyas características son:

ÁREA DE TRABAJO		
Eje X (columna)	mm	5000
	mm	1000 x 1000
Y axis (headstock)	mm	2000 - 9000
Eje Z (ariete)	mm	1200 - 2000
Eje W (husillo de mandrinar)	mm	800 - 1600
Eje Z + W	mm	2000 - 3600
HEADSTOCK		
Sección de carnero	mm	430 x 430 – 600 x 600
Diámetro del husillo de mandrinar	mm	130 - 260
Velocidad máxima del husillo	rpm	1600 - 4000
Rangos de engranajes de husillo		2/3
Potencia máxima del husillo	kW	61 - 138
TASAS DE ALIMENTACIÓN DE EJES		
Velocidad de avance / avance rápido de los ejes XYZW	m/min	Hasta 30



Fig.5.2 PAMA SR1000

Para realizar las operaciones se van a usar dos cabezales uno que ataca solamente en el eje principal de la herramienta (ZM) y otro cabezal que sea multidireccional. La máquina PAMA SR100 permite el cambio de cabezal automatizado.

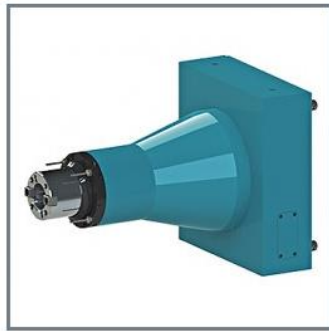


Fig.5.3 Cabezal eje ZM



Fig.5.4 Cabezal multidireccional

Estas máquinas también nos permiten trabajar con 3º eje para poder realizar trabajos en caras que no estén perpendicular al cabezal como por ejemplo en el buje, como se muestra en la siguiente imagen, pero en este caso se va a realizar solo en dos ejes gracias a los utillajes.



Fig.5.5 mecanizado de buje con 3º eje

6. Subfase 1

El eje principal de la herramienta es el eje ZM, aunque en algunas operaciones se tendrá que cambiar el cabezal a un cabezal multidireccional para poder trabajar en otros ejes.

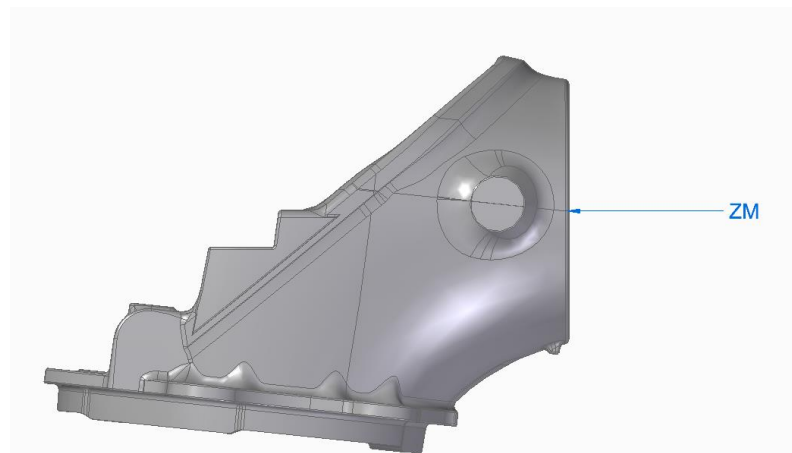


Fig.6.1 Eje principal de trabajo (ZM)

6.1 Estrategias de las operaciones

- **Planeado:** El patrón de corte que se va a utilizar en todas operaciones de planeado es seguir la periferia, la profundidad de corte se escoge dependiendo de la fresa escogida para realizar la operación.

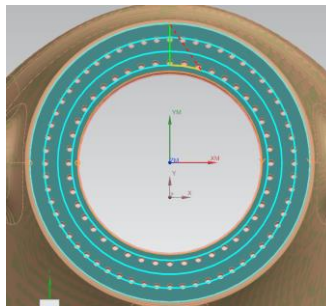


Fig.6.1.1 Planeado patrón de corte seguir la periferia

- **Punteado:** Antes de realizar el taladrado siempre se tiene que realizar un punteado que consiste en taladrar un agujero pequeño inicial para establecer con precisión el lugar donde se realizara el taladrado, para ello se usa una broca de punta a 90 grados de 20mm de diámetro.
- **Taladrado:** En las caras donde se encuentren más de un agujero la secuencia será ir al más cercano para optimizar la operación.
- **Plano de seguridad:** Para mover la fresa entre figuras en la misma cara se va a usar un plano de seguridad de 30mm.

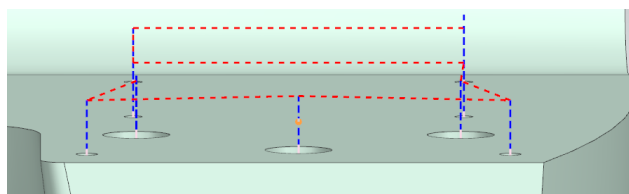


Fig.6.1.2 plano de seguridad 30mm

- **Desbaste:** En las caras que se realiza un desbaste, donde la pendiente de la cara es mayor a 60 grados se realiza el patrón de corte en forma de zigzag.
- **Roscado:** Los roscados se realizan en agujeros de diámetros de 20mm o inferiores y la trayectoria de rosca es hacia la derecha.
- Estas mismas estrategias de operaciones son utilizadas en la subfase 2.

6.2 Planificación Subfase 1

En La secuencia de operaciones se realiza todas las operaciones de una zona antes de mover la pieza porque se ahorra tiempo y al mover mucho la pieza podría provocar que se descentre:

1. Colocación de la pieza con los utillajes.
2. Planeado, escuadra, perfilado, punteado, taladrado y roscado cara 1.
3. realizar planeado, punteado, taladrado y roscado cara 7.
4. Girar pieza 90 grados, planeado cara 2 y 3, cajera cara 2, escuadra y cajera cara 3, chaflán en la cajera central, punteado, taladrado y chaflán en los agujeros caras 2 y 3.
5. Girar pieza 180 grados y repetir secuencia del punto 4.
6. Planeado cara 4.
7. Planeado caras 5 y 6, desbaste cara 5 y punteado, taladrado y roscado caras 5 y 6.

6.3 Cara 1

La cara 1 tiene las siguientes operaciones:

- **Planeado:** Se va a utilizar una fresa de placas intercambiables con el filo a 45 grados con un diámetro de corte (Dc) 138mm, la cara 1 tiene una demasía de 15mm por lo que se va a realizar dos pasadas de 7.5mm.
- **Escuadra:** Se usa una fresa enteriza de 19mm de diámetro y con un radio de punta de 3.2mm.
- **Perfilado:** El perfilado se puede realizar de varias maneras, una de ellas sería la de usar una herramienta para mandrinar de grandes diámetros, pero el problema de usar eso es que la profundidad de pasada (ap) es muy pequeña y tardaría mucho en realizar la operación, entonces se va a usar una fresa de perfilar de una profundidad de pasada de 71.6mm de placas intercambiables.
- **Punteado y taladrado:** La broca para taladrar es de 39mm de placas intercambiables, contiene una placa central y una placa periférica.
- **Punteado, taladrado y roscado:** En la cara donde se realiza el perfilado se encuentran 4 agujeros de 17.5 diámetro, para poder realizar esta operación se tiene que realizar previamente un cambio de cabezal y así poder atacar esa zona. Se usa una fresa con placa intercambiables para realizar el taladrado. El roscado se usa un macho M20.

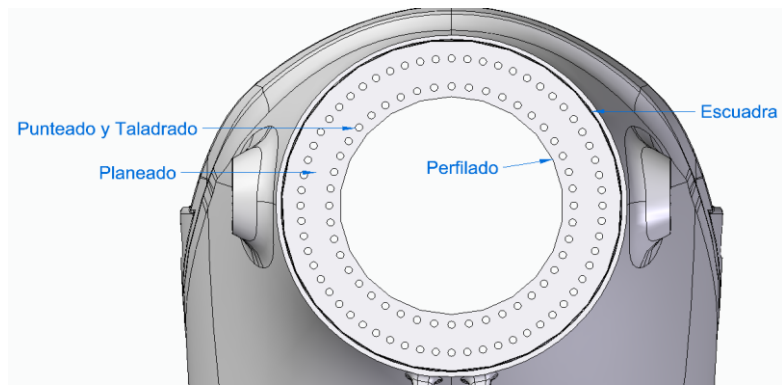


Fig.6.3.1 operaciones Cara 1

6.4 Cara 2

La cara 2 tiene dos zonas iguales, por lo que se realiza las mismas operaciones en las dos zonas:

- Planeado: Para el planeado de esta cara se va a usar la misma fresa que en el planeado de cara 1, pero como la demasía es 20mm se van a realizar dos pasadas de 10mm.
- Cajera: Para realizar la cajera central se necesita una fresa con radio de punta de 4mm por ello se va a emplear una fresa de radio de corte 20mm y radio de punta 4mm.
- Chaflán agujero central: Para realizar el chaflán se usa una fresa de achaflanar a 45 grados de 48.65mm de diámetro.
- Punteado y taladrado: La broca empleada para los agujeros es de 32mm de diámetro de placas intercambiables, una central y otra periférica.
- Chaflán agujeros: Para realizar el chaflán de los agujeros se usa una fresa de achaflanar de placas colocadas a 45 grados con un diámetro de 27mm.

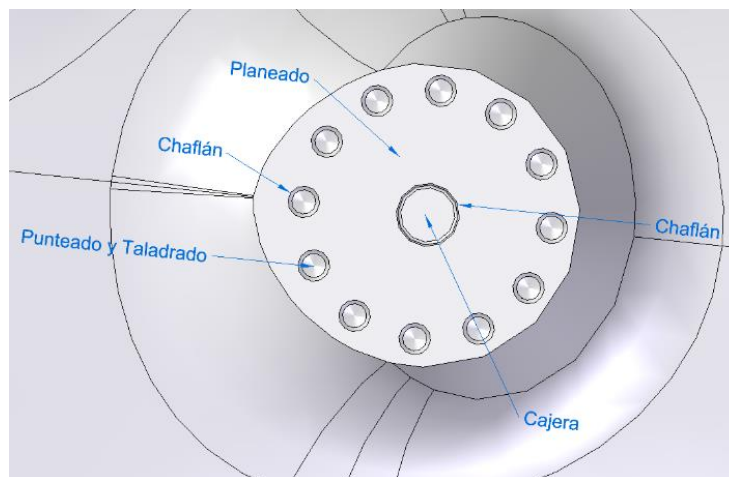


Fig.6.4.1 operaciones cara 2

6.5 Cara 3

La cara 3 pasa igual que en la cara 2 que tiene dos zonas iguales y se repiten las mismas operaciones:

- Planeado: La máxima demasía es de 30mm por que se va a utilizar profundidad de pasada de 10mm que es lo máximo que da la fresa. La fresa para emplear es la misma que se usa en el planeado de las dos caras anteriores.
- Borde: El borde tiene un radio de 6mm en la esquina. La fresa que se usa es de placas intercambiables de 38mm diámetro y una radio de punta de 6mm.
- Cajera central: La cajera tiene un radio de esquina de 5mm y una profundidad de 80mm. La fresa es de placas intercambiables de 50mm de diámetro, un radio de punta de la placa de 5mm y la profundidad de pasada es de 15,7mm.
- Chaflán agujero central, punteado y taladrado y chaflán de agujeros: similar a las operaciones de la cara 2.

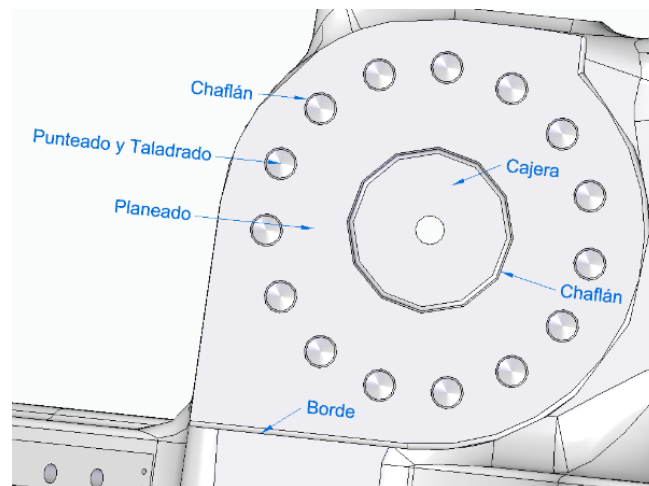


Fig.6.5.1 operaciones cara 3

6.6 Cara 4

La cara 4 es la parte trasera de la cara 1, para poder llegar a esta zona en el cabezal se tiene que usar el carnero de la máquina.

- Cajera: En esta cara solo se realiza una cajera con una fresa de placas intercambiables colocadas a 45 grados de 54mm de diámetro de corte y una profundidad de pasada de máxima de 6mm.



Fig.6.6.1 operaciones cara 4

6.7 Cara 5

Para poder trabajar en la cara 5 se tiene que cambiar el cabezal por un cabezal multidireccional para poder atacar en varios ejes.

- Planeado: Lo primero que se realiza es un planeado de las dos zonas planas de la cara, se usa una fresa de diámetro 31.75mm y una profundidad de pasada de 15.7mm.
- Desbaste: Para realizar el desbaste de la cara se va a usar fresa de punta esférica 40mm para la zona más grandes y de mejor acceso y para la zona más difícil de mecanizar se usa una fresa de punta esférica de diámetro 16mm.
- Punteado, taladrado y roscado: En esta cara se encuentran agujeros de diferente diámetro. Para los agujeros de diámetro 10.25mm, 12.2mm y 16mm se usan brocas de material enterizo y los roscado son de M12, M14 y M18 respectivamente. Para los agujeros de diámetro de 37mm se usa broca de placas intercambiables con placa central y placa periférica.

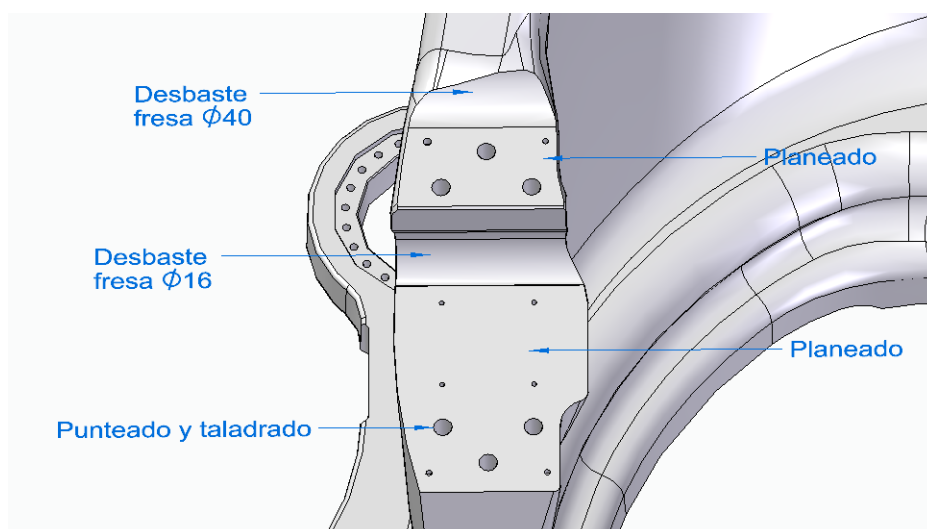


Fig.6.7.1 operaciones cara 5

6.8 Cara 6

En esta cara y en la cara 7 se sigue usando el cabezal multidireccional para atacar otros ejes de trabajo.

- Planeado: Para el planeado de esta cara se usa la misma fresa para planear que la cara 5.
- Punteado, taladrado y roscado: Para los agujeros de esta zona se usa dos brocas enterizas de diámetro 10.25mm y de 8.5mm con roscado de M12 y M10.

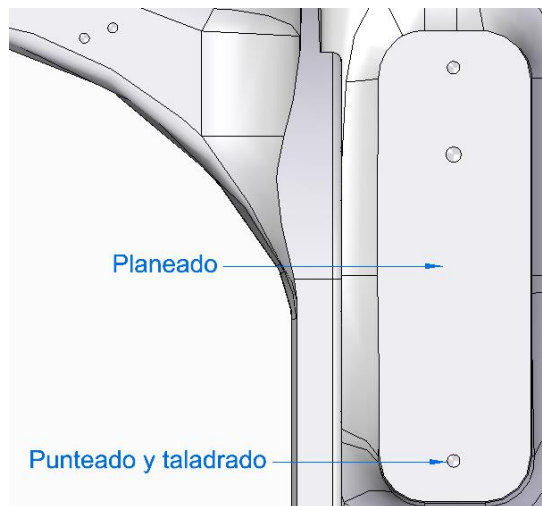


Fig.6.8.1 operaciones cara 6

6.9 Cara 7

Las operaciones son similares a los de la cara 6:

- Planeado: Se usa la misma fresa de planear que la cara 5.
- Punteado, taladrado y roscado: Para los agujeros se usa una broca enteriza de diámetro 10.25mm y rosca de M12.

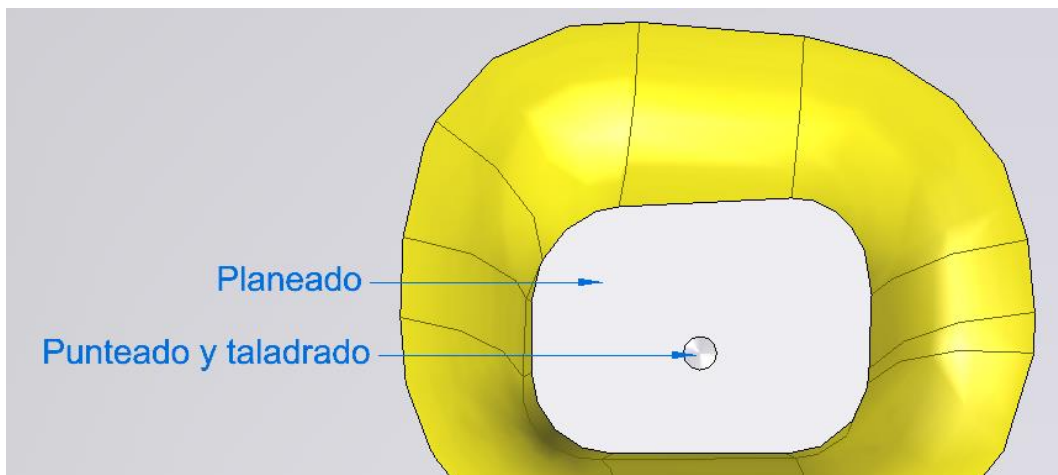


Fig.6.9.1 operaciones cara 7

6.10 Hoja de procesos subfase 1

Operación	Nombre ISO	Diámetro (mm)	Vc(m/min)	avance por diente(mm)	Velocidad(rpm)	Z (numero de dientes)	Ap (mm)	LU(mm)	Plaquita ISO	Plaquita ISO2
Planeado cara 1	R245-125Q40-18M	138.8	218	0.28	500	5	10		R245-18 T6 M-KM 3220	
Escuadra cara 1	RA215.28-4850HAL54L 1620	19	241	0.285	4000	8		85.725		
Perfilado cara 1	RA390-063C6-71M	63.5	303	0.8	1520	4		71.6	R390-18 06 08M-KM 3330	R390-18 06 08M-KM 3330
Punteado	112060 20	20	35	0.07	560	2		40		
Taladrado cara 1	DS20-D3900DM40-04	39	147	0.1125	1200	2		157.007	DS20-0508-P-M7W 4334	DS20-0508-C-M7 1344
Taladrado cara 1	DS20-D1750L25-04	17.5	151	0.07	3550	2		70	DS20-0104-P-M7W 4334	DS20-0104-C-M7 1344
Roscado M20 cara 1	T300-XM101DA-M20 B110	17.5	8.27	2.5	130	4		95		
Planeado cara 2	R245-125Q40-18M	138.8	218	0.28	500	5	10		R245-18 T6 M-KM 3220	
Cajera cara 2	R216.24-20050IAK38P 1620	20	154	0.126	2580	4	38			
Chaflán central cara 2	RA215.64-32M32-4512	48.65	183	0.35	1200	3	7.86		SPMT 12 04 08-WH 4040	
Punteado	112060 20	20	35	0.07	560	2		40		
Taladrado cara 2	DS20-D3200DM40-04	32	150	0.1	1500	2		128.832	DS20-0407-P-M7W 4334	DS20-0407-C-M7 1344
Chaflán agujeros cara 2	R215.64-12A20-4512	27.13	183	0.35	2150	1	7.86		SPMT 12 04 08-WH 4040	
Planeado cara 3	R245-125Q40-18M	138.8	218	0.28	500	5	10		R245-18 T6 M-KM 3220	
Borde cara 3	RA390-038M32-17H	38.1	131	0.15	1100	4	15.7		R390-17 04 60E-KM H13A	
Cajera central cara 3	R390-050Q22-17H	50	119	0.1	760	5	15.7		R390-17 04 50E-KM H13A	
Chaflán central cara 3	RA215.64-32M32-4512	48.65	183	0.35	1200	3	7.86		SPMT 12 04 08-WH 4040	
Punteado	112060 20	20	35	0.07	560	2		40		
Taladrado cara 3	DS20-D3200DM40-04	32	150	0.1	1500	2		128.832	DS20-0407-P-M7W 4334	DS20-0407-C-M7 1344
Chaflán agujeros cara 3	R215.64-12A20-4512	27.13	183	0.35	2150	1	7.86		SPMT 12 04 08-WH 4040	
Cajera cara 4	345-040C4-13M	54	220	0.11	1300	4	6		345R-1305E-KL 3040	
Planeado cara 5	RA390-032EH25-17M	31.75	236	0.2	2360	3	15.7		R390-17 04 08M-KH 3330	
Desbaste cara 5	R216-40C4-080	40	188	0.28	1500	2		31.6	R216-40 07 M-M 4240	
Desbaste cara 5	R216.54-16040RAL45G 1620	16	201	0.22	4000	4		45		
Punteado	112060 20	20	35	0.07	560	2		40		
Taladrado cara 5	860.1-1020-052A1-GM X1BM	10.25	108	0.29	3400	2		52.8		
Taladrado cara 5	860.1-1220-038A1-GM X1BM	12.2	107	0.32	2800	2		38.8		
Taladrado cara 5	860.1-1600-041A1-GM X1BM	16	105	0.355	2100	2		48		
Taladrado cara 5	DS20-D3700DM40-04	37	151	0.23	1300	2		149	DS20-0508-P-M7W 4334	DS20-0508-C-M7 1344
Roscado M12 cara 5	T300-XM103DA-M12 C110	10.25	9.98	35	265	3		83		
Roscado M14 cara 5	T300-XM103DA-M14 C110	12.2	13.1	2	299	3		81		
Roscado M18 cara 5	T300-XM101DA-M18 B110	16	14	2.5	247	4		81		
Planeado cara 6	RA390-032EH25-17M	31.75	236	0.2	2400	3	15.7		R390-17 04 08M-KH 3330	
Punteado	112060 20	20	35	0.07	560	2		40		
Taladrado cara 6	860.1-0850-044A1-GM X1BM	8.5	106	0.0533	4000	2		44		
Taladrado cara 6	860.1-1020-052A1-GM X1BM	10.25	19	0.0645	3400	2		52.8		
Roscado M10 cara 6	T300-XM102DA-M10 C110	8.5	9.79	1.5	312	3		39		
Roscado M12 cara 6	T300-XM103DA-M12 C110	10.25	11.1	1.75	295	3		83		
Planeado cara 7	RA390-032EH25-17M	31.75	236	0.2	2400	3	15.7		R390-17 04 08M-KH 3330	
Punteado	112060 20	20	35	0.07	560	2		40		
Taladrado cara 7	860.1-1020-052A1-GM X1BM	10.25	108	0.29	3400	2		52.8		
Roscado M12 cara 7	T300-XM103DA-M12 C110	10.25	8.37	1.75	222	3		83		

Fig.6.10.1 Hoja de procesos subfase 1

6.11 Tiempo

El tiempo total empleado en realizar todas las operaciones en la subfase 1 es de: 17 horas 21 minutos y 49 segundos. Este tiempo solo contempla el tiempo de trabajo, no tiene en cuenta el tiempo de cambio de broca, tiempo de mover la pieza y tiempos de movimientos vacíos de las brocas.

7. Utillaje SubFase 1

Para realizar la primera subfase del mecanizado se coloca la cara del bastidor, en la que se va a trabajar, perpendicular al eje de trabajo principal (ZM). Para ello, se va a utilizar una familia de utillajes versátiles de diferentes alturas y un soporte debido a que no concuerda el punto de giro de la mesa con el centro de masa de la pieza y esto provoca un par de vuelque.

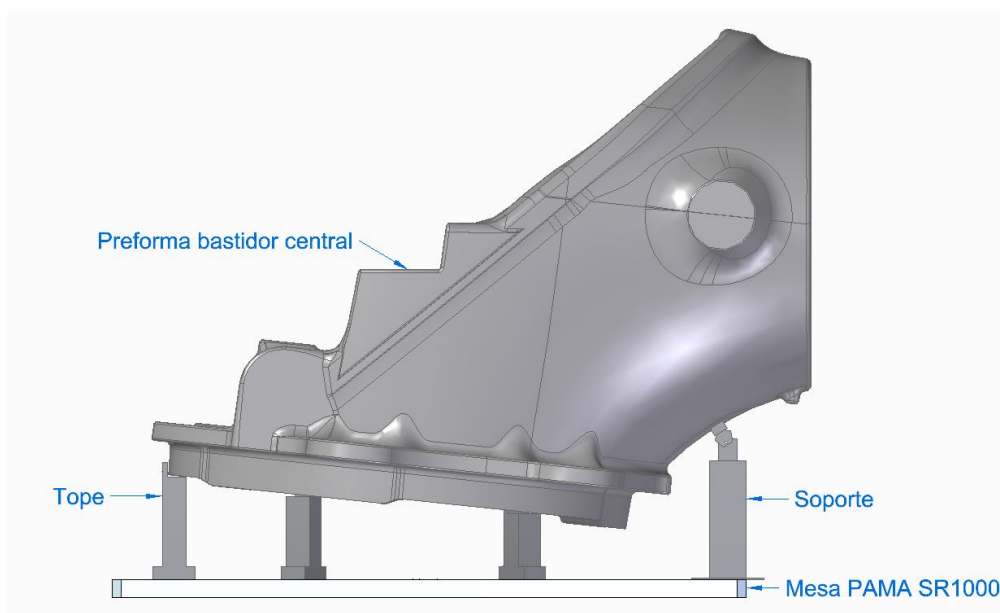


Fig.7.1 Utillaje Subfase 1

7.1 Tope

Los topes son una familia de utillaje de diferentes alturas, está fabricado de acero F-114, contiene cuatro agujeros para tornillos Allen M-20 para poder sujetarlo a la mesa de trabajo y dos agujeros para Tornillos Hexagonal M-30 que son los que están en contacto con la pieza. Al ser tan pequeños en comparación con la pieza se consideran puntos puntuales.

Para poder colocar el bastidor se colocan 5 topes de diferentes alturas.

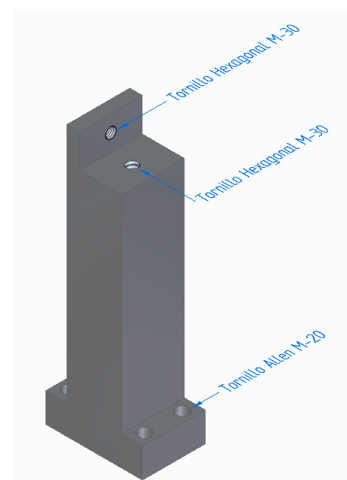


Fig.7.1.1 Tope

Se han utilizado dos topes de 360mm, dos de 455mm y un último tope de 565mm. Como se muestra en la siguiente imagen, los topes de 360mm están colocados simétricos a la mesa de trabajo, al igual que los topes de 455mm.

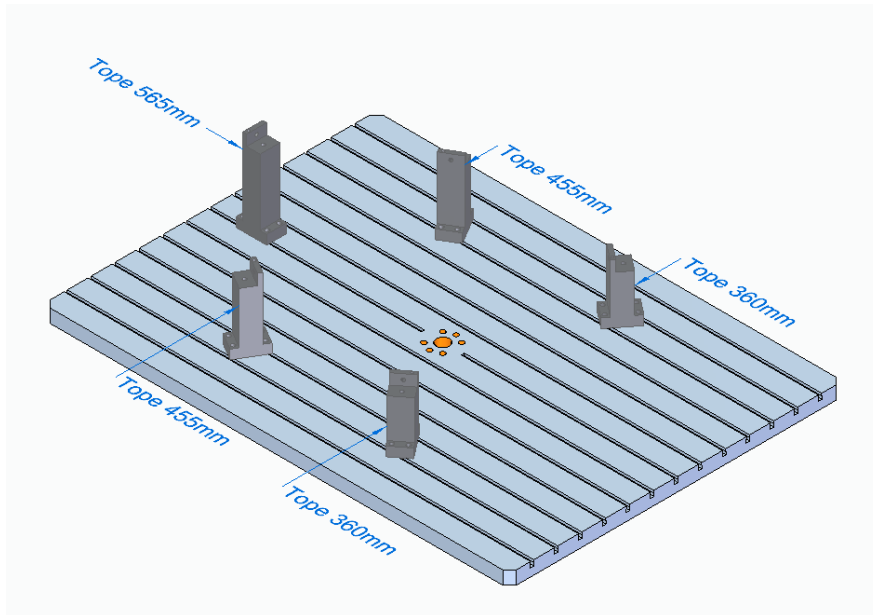


Fig.7.1.2 Colocación topes

7.2 Soporte

El centro de masas del bastidor no se ha podido alinear con el centro de la mesa de trabajo, entonces al girar la mesa para trabajar en otras caras de la pieza puede que se produzca un par de vuelte y para solucionar el problema se ha colocado un soporte.

El soporte está fabricado con acero F-114 y consta de una placa rectangular con 4 agujeros para tornillos M-20 para sujetarlo a la mesa, y un sistema de auto ajustado con unos pasadores que hace que la placa que está en contacto con el bastidor se mueva y se autoajuste cuando se mueva el bastidor para trabajar en las diferentes caras.

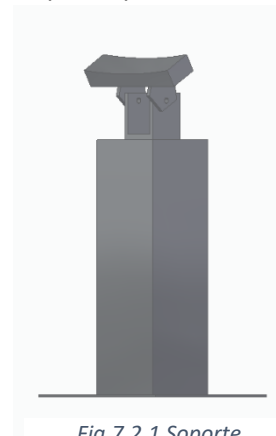


Fig.7.2.1 Soporte

8. Subfase 2

Como en la subfase 2 se realizan muchos cambios de dirección sin cambiar la posición de la pieza se va a usar solo el cabezal multidireccional, el eje principal de herramienta es el eje ZM.

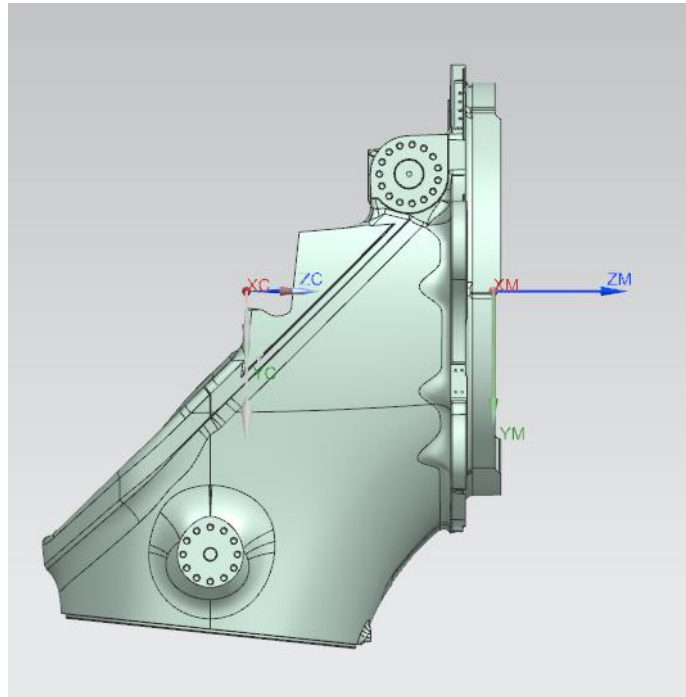


Fig.8.1 Bastidor central eje de la herramienta

8.1 Planificación subfase 2

La secuencia de operaciones son las siguientes.

1. Colocación de pieza en los utillajes.
2. Cara frontal, planeado caras 1 y 2, cajera, escuadra y desbaste cara 1, desbaste, perfilado y cajera cara 2 y punteado, taladrado, roscado y chaflán de las caras 1 y 2.
3. Cajeras caras 3, planeados caras 4, 5 y 6 y punteados, taladrados y roscados de las 4, 5, 6 y de una de las zonas de la cara 3.
4. Planeado cara 12 y punteado, taladrado y roscado cara 11.
5. Girar pieza 90 grados, cajera, perfil, chaflán, punteado y taladrado de la cara 8 y punteado, taladrado y roscado de las caras 3 y 7.
6. Girar 180 grados y repetir secuencia punto 5.
7. Girar a la cara trasera, cajeras caras 9 y 10 y punteado y taladrado de la cara 10.

8.2 Cara 1

Las operaciones que se realizan en esta cara son:

- Planeado: Para el planeado se usa una fresa de placas intercambiables de diámetro 112.5mm y las placas están colocadas a 45 grados.
- Cajera: Esta operación se realiza en las zonas donde hay una pared, pero se hace lo mismo que en el planeado y se usa la misma herramienta para quitar el mayor material posible, posteriormente se usa una fresa con un diámetro menor para llegar a las zonas más pequeñas de la cara.
- Escuadra: Para realizar la escuadra de la pared se usa una fresa de placas intercambiables de 25mm de diámetro y radio de punta de 5mm.
- Desbaste: Para realizar el Desbaste de la zona más irregular se usa una fresa de punta esférica de 40mm y para las zonas más pequeñas se usa una fresa de punta esférica de 16mm.
- Punteado, taladrado y roscado: Como siempre antes del taladrado se realiza un punteado para centrar la broca y posteriormente se realiza un el taladrado, en esta cara existen agujeros de dos diferentes medidas, para ello se usan brocas de material enterizo de 14 y 5mm de diámetro y roscas de M16 y M6.

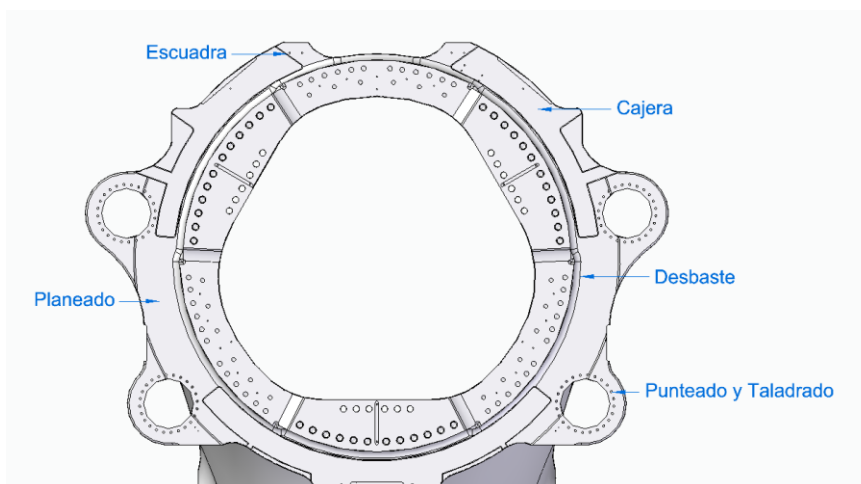


Fig.8.2.1 Operaciones cara 1

8.3 Cara 2

Operaciones en la cara 2:

- Planeado: El planeado de esta cara se usa la misma fresa que se usa en el planeado de la cara 1.
- Desbaste: Para la zona irregular se usa una fresa de punta esférica de 40mm.
- Cajera: En esta cara se encuentran 3 cajeras pequeñas donde se usa una fresa de 11.7mm de diámetro y una profundidad de pasada de 5.8mm.
- Perfil: Para realizar el perfil se usa una broca de material enterizo de 25mm para llegar a las zonas más pequeñas y se realizan pasadas de 20mm en zigzag.
- Punteado, taladrado y roscado: En esta cara se encuentran agujeros con dos diámetros diferentes, en este caso se realiza primero la pasada de mayor diámetro y posteriormente la de menor diámetro. Los agujeros de mayor diámetro se usan

fresas de placas intercambiables de 46mm, 40mm y de 37.5mm, para los agujeros de diámetros intermedio se usan fresas con punta intercambiable de 32mm y 26.5 mm y para los agujeros de menor diámetro se usan brocas de material enterizo de 10.2mm y 8.5mm y las rosca de M12 y M10 respectivamente.

- Chaflán: En los agujeros de 46 y de 40mm se realizan el chaflán, en el caso de los agujeros 46mm se usa una fresa de placas intercambiables de 48mm y las placas a 45 grados y en el caso de los agujeros de 40mm se usa una fresa de placas intercambiables de 27mm y a 45 grados.

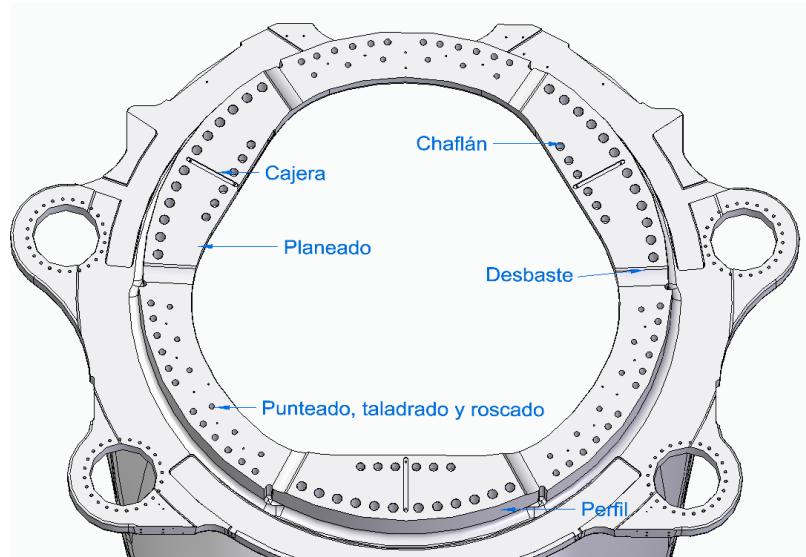


Fig.8.3.1 Operaciones cara 2

8.4 Cara 3

Esta cara consta de 3 zonas iguales en la pieza donde se van a realizar más mismas operaciones:

- Cajera: Se realiza una cajera con una fresa de placas intercambiables de 20mm de diámetro, esta operación se realiza desde el eje ZM de la herramienta para poder llegar a las zonas más difíciles.
- Punteado y taladrado: Como en la cara 2 también se encuentran agujeros con dos diámetros diferentes por que se usa el mismo método, se hace primero el de mayor diámetro y posteriormente el de menor diámetro. Primero se realiza el agujero de 22mm con una broca de punta intercambiable y posteriormente en el mismo agujero se realiza con la broca de punta intercambiable de 17.5mm. Para los agujeros de 6.5mm se usa una broca de material enterizo. Para el roscado se usa un macho de roscar de M20 y M8.



Fig.8.4.1 Operaciones cara 3

8.5 Cara 4

Operaciones caras 4:

- Planeado: Se realiza un planeado con una fresa de placas intercambiables de 50mm de diámetro y con una profundidad de pasada de 15.7mm.
- Punteado, taladrado y roscado: El taladrado se realiza con una broca de material enterizo de 10.2 mm de diámetro y el roscado con una broca M12.

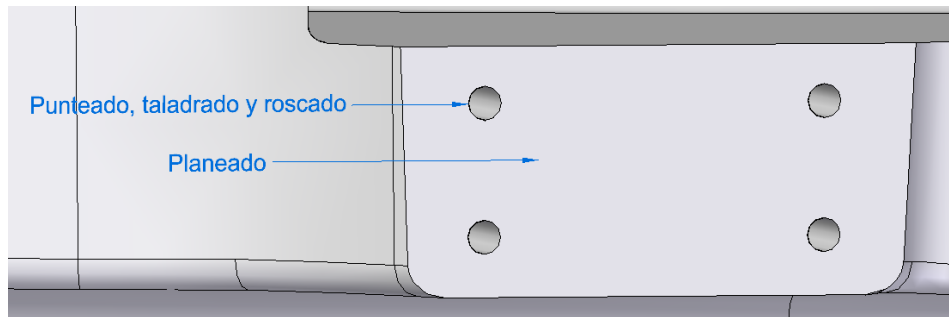


Fig.8.5.1 Operaciones cara 4

8.6 Cara 5

Operaciones cara 5:

- Planeado: Como esta zona es pequeña se usa una fresa de placas intercambiables de 16mm de diámetro y una profundidad de pasada de 10mm.
- Punteado, taladrado y roscado: El taladrado se realiza con una broca de material enterizo de 6.75 mm de diámetro y rosca M8.

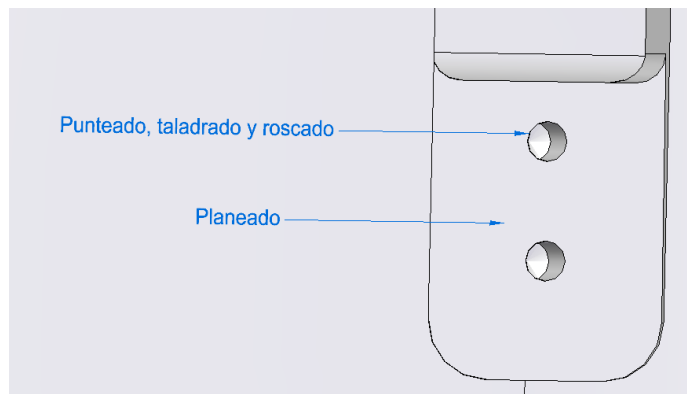


Fig.8.6.1 Operaciones cara 5

8.7 Cara 6

Operaciones cara 6:

- Planeado: Se usa una fresa de placas intercambiables de 15.7mm de profundidad y un diámetro de 38mm.
- Punteado y taladrado: Como son agujeros pequeños se realiza con brocas de material enterizo de 10.2 mm y de 5mm y el roscado con machos M12 y M6.

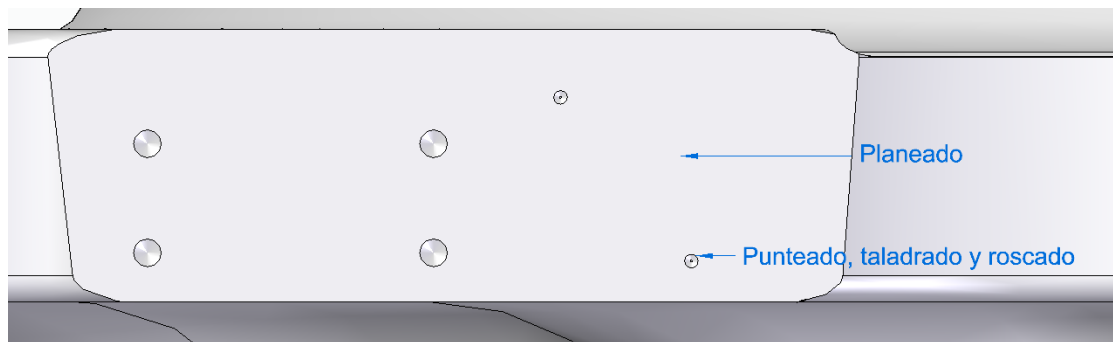


Fig.8.7.1 Operaciones cara 6

8.8 Cara 7

Operaciones cara 7:

- Cajera: Como sucede en la cara 3 se va a atacar esta cara desde el eje ZM para poder llegar a las zonas más difíciles y se usa una fresa de placa intercambiables de 20mm y una profundidad de pasada de 10mm.
- Punteado y taladrado: Se realiza un taladrado con brocas de material enterizo de 14mm y roscado con macho M16.

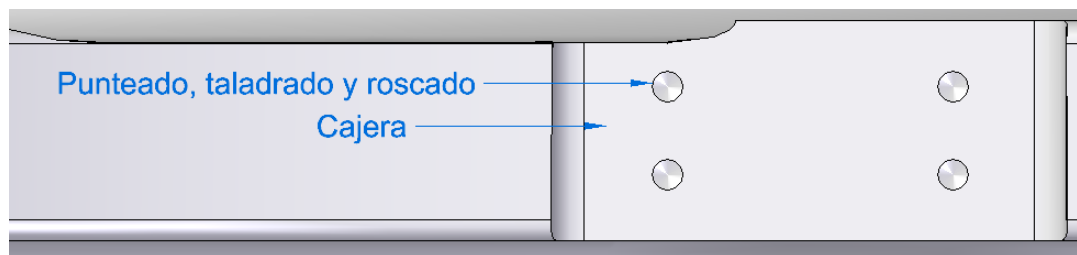


Fig.8.8.1 Operaciones cara 7

8.9 Cara 8

La cara 8 son 4 zonas iguales en la pieza donde se repite las operaciones:

- Cajera: Lo primero que se realiza es una cajera con una fresa de placas intercambiables de 31.75mm de placas colocadas a 90 grados y con una profundidad de pasada de 15.7mm.
- Perfil: Para realizar el perfil de la parte interior del círculo se realiza con la misma broca empleada para realizar el perfil de la cara 2.
- Chaflán: El chaflán se realiza con la misma fresa de placas intercambiables de 48mm de diámetro que se usa en el chaflán de la cara 2.
- Punteado y taladrado: Estos agujeros tienen dos diámetros, pero los de diámetro 14mm se han realizado desde la cara 1 que es más fácil de llegar, ahora desde la cara 8 se realiza un punteado y el taladrado con broca de punta intercambiable de 16mm. También se encuentran agujeros de 6.5mm que se realizan con broca de material enterizo y roscado con un macho M8.

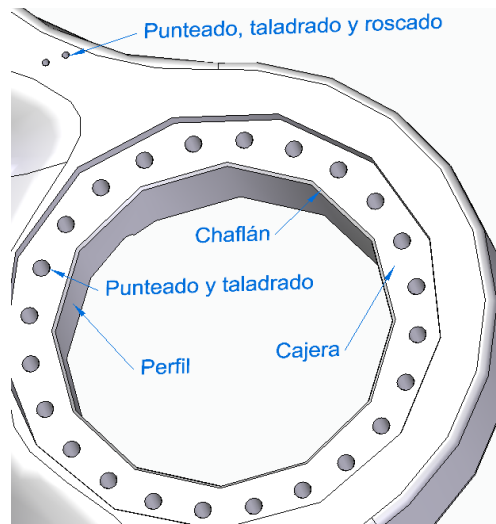


Fig.8.9.1 Operaciones cara 8

8.10 Cara 9

En esta cara solo se realiza una operación ya que el agujero se realiza en la cara 2:

- **Cajera:** Se realizan cajeras circulares con una fresa de placas intercambiables de 19mm de diámetro y 10mm de profundidad de pasada, para poder llegar a esta cara se tiene que usar el carnero.

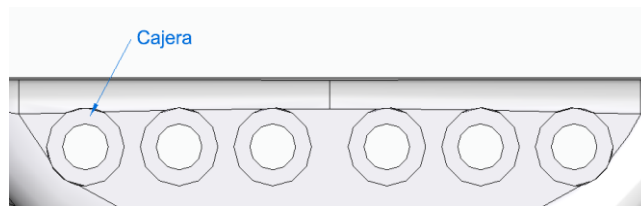


Fig.8.10.1 Operaciones cara 9

8.11 Cara 10

Operaciones cara 10:

- **Cajera:** Esta cajera es similar que la de la cara 9 pero más pequeña para ello se usa una fresa de placas intercambiable de 12mm de diámetro de corte.
- **Punteado, chaflán y taladrado:** Como los agujeros son de 8.5mm se va a usar una broca con chaflán de material enterizo y así realizar el chaflán y agujero a la vez, pero como el agujero es muy profundo luego se usa otra broca de material enterizo para terminar y la rosca con un macho M10. Para los agujeros de 17.5mm se usan brocas de punta intercambiables y una rosca M20.

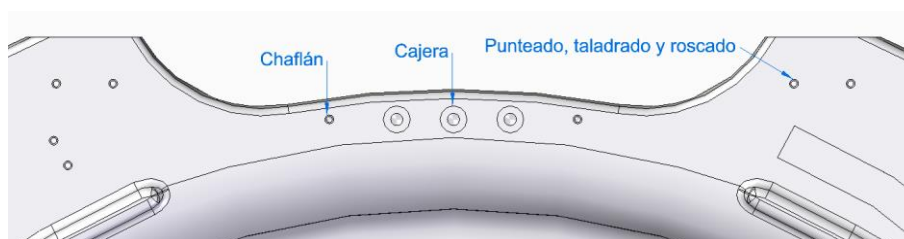


Fig.8.11.1 operaciones cara 10

8.12 Cara 11 y 12

En la cara 11 solo se encuentran cuatro agujeros de 8.5mm donde se usa una broca de material enterizo y el roscado con un macho M10. En la cara 12 solo se realiza un planeado con una fresa de placas intercambiables de 50mm y 15.4mm de profundidad de pasada.

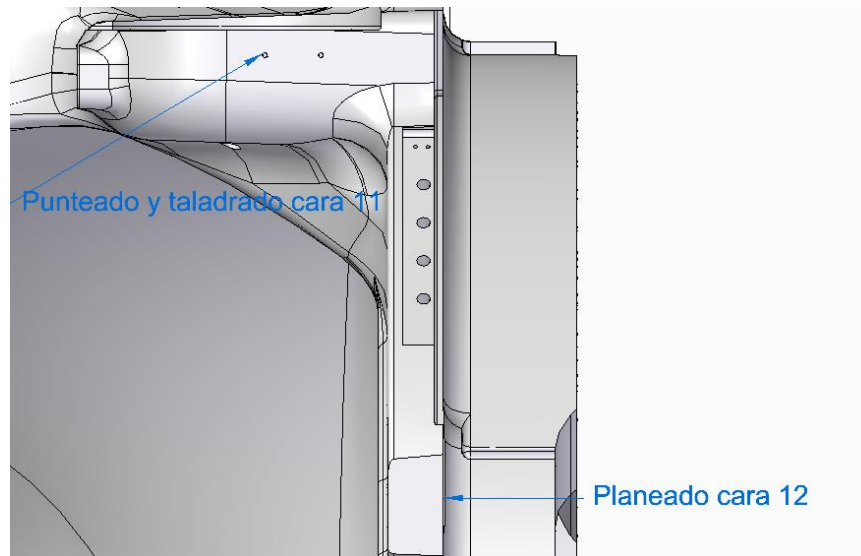


Fig.8.12.1 Operaciones cara 11 y 12

8.13 Hoja de procesos subfase 2

Operación	Nombre ISO	Diámetro (mm)	Vc(m/min)	avance por diente(mm)	Velocidad (rpm)	Z(numero de dientes)	Ap (mm)	LU(mm)	Plaquita ISO	Plaquita ISO2
Planeado cara 1	RA245-100J31.75-12H	112.5	180	0.1375	510	10	6		R245-12 T3 E-KL 1020	
Planeado cara 1	RA390-032EH25-17M	31.75	239	0.2	2400	3	15.7		R390-17 04 08M-KH 3330	
Cajera cara 1	R390-050Q22-18M	50	205	0.11	500	4	15.4		R390-18 06 08H-KL 1020	
Escuadra cara 1	R390-025B25-17L	25	120	0.124	1500	2	15.7		R390-17 04 50E-KM H13A	
Desbaste cara 1	R216-40C4-080	40	188	0.28	1500	2		31.6	R216-40 07 M-M 4240	
Desbaste cara 1	R216.54-16040RAL45G 1620	16	201	0.22	4000	1		45		
Punteado	112060 20	20	35	0.07	560	2		40		
Taladrado cara 1	860.1-0500-025A1-GM X1BM	5	62	0.215	3950	2		25.9		
Taladrado cara 1	860.1-1400-114A1-GM X1BM	14	107	0.33	2430	2		114.5		
Roscado M6 cara 1	T300-XM102AA-M6 C110	5	9.79	1	519	3		25.5		
roscado M16 cara 1	T100-KM103AA-M16 D210	14	36.9	2	735	5		65.7		
Planeado cara 2	RA245-100J31.75-12H	112.5	180	0.1375	510	10	6		R245-12 T3 E-KL 1020	
Desbaste cara 2	R216-40C4-080	40	188	0.28	1500	2		31.6	R216-40 07 M-M 4240	
Cajera cara 2	R390-0117A12-07M	11.7	147	0.058	4000	3	5.8		390R-070204M-KM 3330	
Punteado	112060 20	20	35	0.07	560	2		40		
Taladrado cara 2	DS20-D4600DM50-04	46	151	0.23	1050	2		185	DS20-0608-C-M7 1344	DS20-0608-P-M7W 4334
Taladrado cara 2	DS20-D3700DM40-07	37.5	195	0.22	1680	2		240	DS20-0508-C-M7 1344	DS20-0508-P-M7W 4324
Taladrado cara 2	880-D4000L40-02	40	151	0.23	1200	2		75	880-07 04 06H-C-GR 1044	880-07 04 W12H-P-GR 4334
Taladrado cara 2	870-3100-31LX125-5	32	130	0.44	1300	2		170	870-3200-31-KM 3334	
Taladrado cara 2	870-2600-26L32-5	26.5	130	0.44	1600	2		139	870-2650-26-KM 3334	
Taladrado cara 2	860.1-0850-027A1-GM X1BM	8.5	106	0.2375	3970	2		27		
Taladrado cara 2	860.1-1020-052A1-GM X1BM	10.2	109	0.29	3400	2		52.8		
Perfilado cara 2	1P360-2540-XA 1620	25.4	236	0.328	1060	2		91.68		
Chafilán cara 2	R215.64-32V50-4512	48	205	0.35	1360	3	7.86		SPMT 12 04 08-WH 4030	
Chafilán cara 2	R215.64-12A20-4512	27	205	0.35	2100	1	7.86		SPMT 12 04 08-WH 4030	
Roscado M10 cara 2	T300-XM102DA-M10 C110	8.5	9.79	1.5	312	3		39		
Roscado M12 cara 2	T300-XM103DA-M12 C110	10.25	9.98	1.75	295	3		83		
Cajera cara 3	R390-20T10-11M	20	252	0.12	4000	3	10		R390-11 T3 08M-PM 4220	
Punteado	112060 20	20	35	0.07	560	2		40		
Taladrado cara 3	870-2200-22L25-5	22	130	0.44	1880	2		118	870-2200-22-KM 3334	
Taladrado cara 3	870-1700-17LX075-5	17.5	130	0.38	2365	2		93	870-1750-17-KM 3334	
Taladrado cara 3	860.1-0675-020A1-GM	6.75	84	0.2	3960	2		78		
Roscado M20 cara 3	T300-XM101DA-M20 B110	17.5	8.27	2.5	130	4		95		
Roscado M8 cara 3	T300-XM102AA-M8 C110	6.75	13.6	1.25	541	3		33.5		
Planeado cara 4	R390-050Q22-18M	50	205	0.11	1300	4	15.4		R390-18 06 08H-KL 1020	
Punteado	112060 20	20	35	0.07	560	2		40		
Taladrado cara 4	860.1-1020-052A1-GM X1BM	10.2	109	0.29	3400	2		52.8		
Roscado M12 cara 4	T300-XM103DA-M12 C110	10.25	9.98	1.75	295	3		83		

Fig.8.13.1 Hoja de procesos subfase 2 parte 1

Operación	Nombre ISO	Diámetro (mm)	Vc(m/min)	avance por diente(mm)	Velocidad (rpm)	Z(numero de dientes)	Ap (mm)	LU(mm)	Plaquita ISO	Plaquita ISO2
Planeado cara 5	R390-016B16-11L	16	195	0.12	3880	2	10		R390-17 04 04E-PM 4240	
Punteado	112060 20	20	35	0.07	560	2		40		
Taladrado cara 5	860.1-0675-020A1-GM	6.75	84	0.2	4000	2		78		
Roscado M8 cara 5	T300-XM102AA-M8 C110	6.75	13.6	1.25	541	3		33.5		
Planeado cara 6	RA390-038M32-17H	38.1	237	0.2	1980	4	15.7		R390-17 04 08M-KH 3330	
Punteado	112060 20	20	35	0.07	560	2		40		
Taladrado cara 6	860.1-1020-052A1-GM X1BM	10.2	109	0.29	3400	2		52.8		
Taladrado cara 6	860.1-0500-025A1-GM X1BM	5	62	0.215	4000	2		25.9		
Roscado M12 cara 6	T300-XM103DA-M12 C110	10.25	9.98	1.75	295	3		83		
Roscado M6 cara 6	T300-XM102AA-M6 C110	5	9.79	1	519	3		25.5		
Cajera cara 7	R390-20T10-11M	20	252	0.12	4000	3	10		R390-11 T3 08M-PM 4220	
Punteado	112060 20	20	35	0.07	560	2		40		
Taladrado cara 7	860.1-1400-055A1-GM X1BM	14	106	0.33	2430	2		60		
Roscado M16 cara 7	T300-XM103DA-M16 C110	14	9	2	179	4		68		
Cajera cara 8	RA390-032EH25-17M	31.75	254	0.2	2550	3	15.7		R390-17 04 08M-KH 3330	
Punteado	112060 20	20	35	0.07	560	2		40		
Taladrado cara 8	870-1600-16L20-3	16	130	0.385	2580	2		54	870-1650-16-KM 3334	
Taladrado cara 8.2	860.1-0675-020A1-GM	6.75	84	0.2	3960	2		78		
Roscado M8 cara 8	T300-XM102AA-M8 C110	6.75	13.6	1.25	541	3		33.5		
Perfilado cara 8	1P360-2540-XA 1620	25.4	236	0.328	2950	8		91.68		
Cajera cara 9	RA390-019EH20-11M	19.05	239	0.16	4000	3	10		R390-11 T3 16M-KM 3330	
Cajera cara 10	R390-012A16-11L	12	150	0.25	4000	1	10		R390-11 T3 16M-KM 3330	
Punteado	112060 20	20	35	0.07	560	2		40		
Taladrado cara 10	870-1700-17LX075-5	17.5	130	0.38	2365	2		93	870-1750-17-KM 3334	
Chaflán cara 10	860.2-0850-028A1-GM X1BM	8.5	106	0.24	3970	2	25			
Punteado	112060 20	20	35	0.07	560	2		40		
Taladrado cara 10	861.1-0850-102A1-GM GC34	8.5	106	0.24	3970	2		104		
Roscado M10 cara 10	T300-XM102DA-M10 C110	8.5	9.79	1.5	312	3		39		
Roscado M20 cara 10	T300-XM101DA-M20 B110	17.5	8.27	2.5	130	4		95		
Punteado	112060 20	20	35	0.07	560	2		40		
Taladrado cara 11	860.1-0850-027A1-GM X1BM	8.5	106	0.2375	3970	2		27		
M10 cara 11	T300-XM102DA-M10 C110	8.5	11.8	1.5	312	3		39		
Planeado cara 12	R390-050Q22-18M	50	205	0.11	1300	4	15.4		R390-18 06 08H-KL 1020	

Fig.8.14.2 Hoja de procesos subfase 2 parte

8.14 Tiempo

El tiempo total empleado en realizar todas las operaciones de la subfase 2 es de 21 horas 22 minutos y 46 segundos.

Como en el tiempo de la subfase 1, solo se contempla el tiempo de mecanizado, a este tiempo habría que añadir los tiempos de movimiento en vacío de la broca, el tiempo de mover la pieza y tiempo del cambio de brocas o de cabezal.

9. Utillaje subfase 2

Para realizar la subfase 2 de mecanizado se necesita un soporte para mantener la cara donde se va a trabajar perpendicular a la mesa de trabajo PAMA SR1000 y como en el utillaje de la subfase 1 aquí también aparece un par de vuelque por lo que se necesita un apoyo adicional.

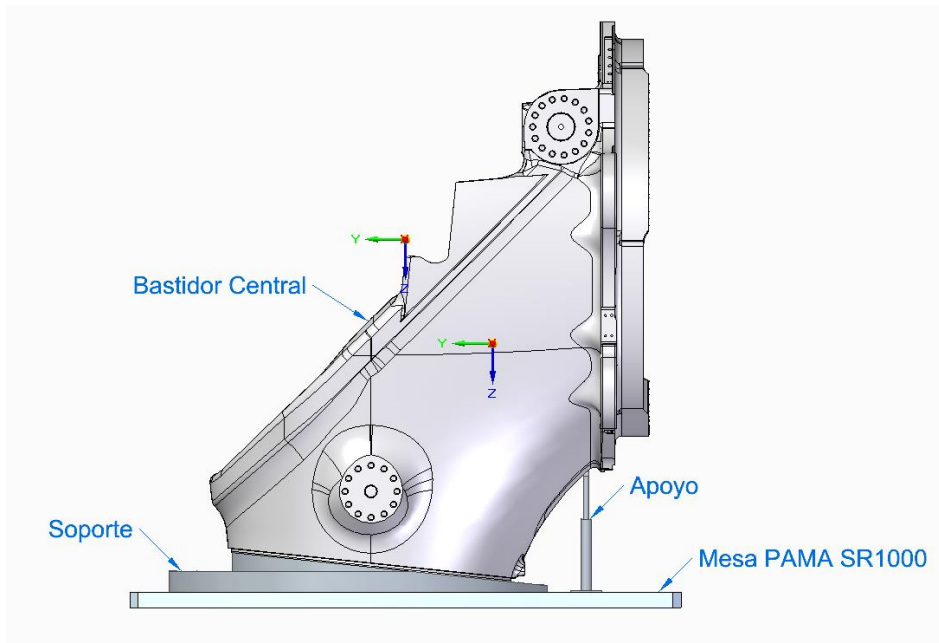
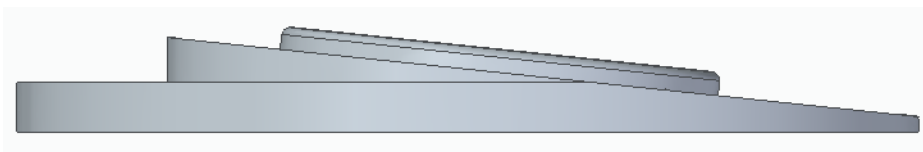


Fig.9.1 Utillaje subfase 2

9.1 Soporte

El soporte consta de dos placas de acero F-114 de un grosor de 130mm y una placa de acero F-114 de un grosor de 60mm. Estas tres placas son independientes, las placas de 130mm se sueldan entre sí y posteriormente se mecanizan y la de 60mm se mecaniza y posteriormente se suelda con las otras dos.



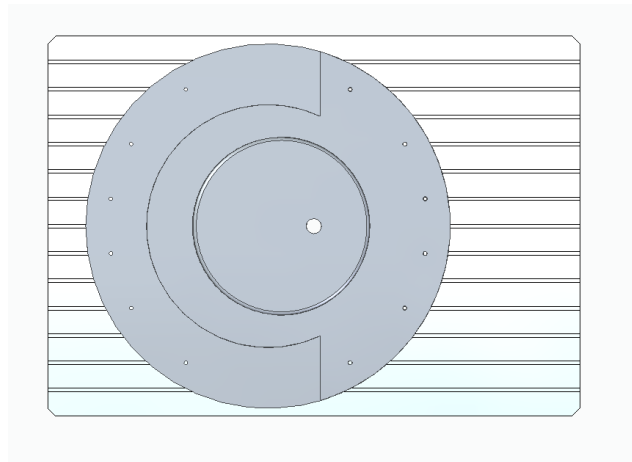


Fig.9.1.1 Soporte

La función de los agujeros es anclar el soporte a la mesa PAMA SR1000 y así no poder moverse. El agujero de mayor diámetro coincide con el agujero central de la mesa de trabajo y así poder girar. Lo ideal sería que el agujero de mayor diámetro coincidiera con el centro de masas del bastidor y así no tener problemas al girar la pieza, pero como no es posible se utiliza un apoyo.

A la placa de 60mm se le realiza un redondeo y una pequeña holgura para que al colocar el bastidor no sufra daños ya que esa parte ha sido mecanizada en la subfase 1. A las placas de 130mm se les realiza un mecanizado para que coincida con la cara del bastidor donde se apoya.

9.2 Apoyo

Al no poder coincidir el agujero con el centro de masas aparece un par de vuelque y para anularlo se coloca un apoyo.

El apoyo consta de una placa rectangular con dos agujeros para poder anclarlo a la mesa de trabajo, dos cilindros y una placa rectangular que es la parte que está en contacto con el bastidor y que es autoajutable para cuando se mueva la pieza.

El material utilizado es el mismo que en el soporte, acero F-114.

Fuerza de apoyo:

$$\sum M_{\text{Punto de giro}} = \text{Peso} * L1 - F_{\text{Apoyo}} * L2 = 0$$

Peso = 12221,703Kg

L1=503,53mm

L2=1096,76mm

Haciendo los cálculos sale que la Fuerza de apoyo es 5622,42Kg

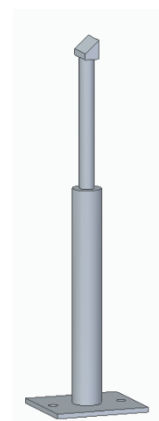


Fig.9.2.1 Apoyo

10. Conclusión y líneas futuras

Como conclusión, Se ha conseguido llevar a cabo la planificación de una gran variedad de operaciones mediante CAM, SE CAMPro y la creación de utillaje mediante Solid Edge.

Se ha adquirido conocimiento de las diferentes operaciones realizadas en la pieza (planeado, taladrado y roscado principalmente), así como el conocimiento de que herramienta seleccionar para cada operación.

Se ha observado la gran importancia de la selección correcta de la máquina-herramienta para desempeñar el trabajo.

En cuanto al utillaje, se ha diseñado un utillaje para colocar el eje principal de trabajo (ZM) perpendicular a las caras donde se realiza el mecanizado, también se ha tenido en cuenta en el utillaje de la subfase 2 la colocación de un utillaje que no dañe las caras previamente mecanizadas.

Se ha analizado que cuanto menos se mueva la pieza mejor, por eso es mejor el cambio de fresas que el movimiento de la pieza, porque al intentar moverla mucho es fácil que se descentre y no este alineada con la máquina.

Como líneas futuras, se podría hacer un cálculo de las fuerzas que ejerce la pieza sobre los utillajes para saber su deformación, también habría que estudiar la manera de hacer el mecanizado Basado en el Conocimiento (KBM) y analizar los tiempos de movimiento en vacío, de mover la pieza y de cambio de broca o de cabezal.

También se podría hacer un calculo del coste que supondría la realización de este mecanizado y establecer este estrategia en otras piezas de grandes dimensiones del sector eólico como el buje.

11. Bibliografía

1. Jiménez Calzado, M., De Mingo de Miguel, D., del Real Romero, J. C. y Sandes Villalta, V. *Taladrado y Roscado de Alta Velocidad*. Izaro
2. López de Lacalle Marcaide, L. N., Sánchez Galíndez, J. A. y Lamikiz Menchaca, A. (2004). *Mecanizado de alto rendimiento*. Izaro
3. Sandvik Coromant. Sandvik Coromant. <https://www.sandvik.coromant.com/es-es/pages/default.aspx>
4. Hoffman Group. Fresado y Taladrado. Brocas para puntear. <https://www.hoffmann-group.com/ES/es/hoefresado-y-taladrado/Brocas-para-metal/Broca-de-puntear-CN-HSS-E-PM-90%C2%B0-N-TiAlN/p/112060>
5. Siemens. Solid Edge (2020). <https://solidedge.siemens.com/es/>
6. Siemens. Solid Edge CAMPRO (2020). <https://solidedge.siemens.com/es/solutions/products/computer-aided-manufacturing-cam/solid-edge-cam/>
7. PAMA. PAMA. <https://en.pama.it/>
8. Royo Vázquez, E. R., Oliveros Colay, M. J. “Apuntes de sistemas de mecanizado, de la asignatura Tecnologías de fabricación I”
9. Royo Vázquez, E. R., Oliveros Colay, M. J. “Apuntes de planificación de procesos de mecanizado, CAPP, de la asignatura Tecnologías de fabricación I”