

Tesis final de carrera Ingeniería mecánica  
Centro de mecanizado vertical a control  
numérico



Universidad Tecnológica Nacional  
Facultad Regional Santa Fe

Profesor: Ing. Monti, Rubén

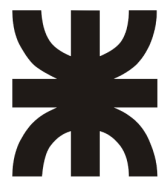
JTP: Ing. Benzi, Sebastián

Auxiliar: Ing. Brunas, Cristian.

Director proyecto: Ing. Taboro, Miguel.

Alumno: Alan Maximiliano Bonetto

6 de diciembre de 2023



# Índice general

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2. Mecanizado</b>	<b>3</b>
2.1. Proceso de mecanizado . . . . .	3
2.2. Sujeción de la pieza . . . . .	4
2.2.1. Sujeción en torneado . . . . .	5
2.2.2. Sujeción en fresado . . . . .	5
2.3. Técnicas de fresado . . . . .	7
2.4. Fuerzas en el mecanizado . . . . .	11
2.4.1. Componentes . . . . .	11
2.4.2. Determinación . . . . .	11
2.4.3. Ejemplos de aplicación . . . . .	13
<b>3. Estructura</b>	<b>16</b>
3.1. Materiales . . . . .	16
3.1.1. Fundición . . . . .	17
3.1.2. Perfiles de aluminio . . . . .	17
3.1.3. Perfiles y chapa de acero . . . . .	18
3.1.4. Concreto . . . . .	18
3.2. Vibraciones . . . . .	23
3.2.1. Amortiguamiento de vibraciones . . . . .	25
3.3. Estabilidad dimensional . . . . .	27
3.4. Cinemática . . . . .	28
3.5. Estructura seleccionada . . . . .	30
3.5.1. Geometría de la estructura adoptada . . . . .	30
3.5.2. Cinemática adoptada . . . . .	33
3.5.3. Materiales adoptados . . . . .	33
3.6. Subconjuntos . . . . .	34
3.6.1. Carro . . . . .	36
3.6.2. Puente móvil . . . . .	36
3.6.3. Puente fijo . . . . .	37
3.6.4. Mesa . . . . .	40
3.6.5. Base . . . . .	41
3.6.6. Armazón y cerramiento . . . . .	43
3.6.7. Cajón de virutas . . . . .	46
3.7. Conjunto general . . . . .	49
3.7.1. Montaje . . . . .	49
3.7.2. Escuadrado . . . . .	50

3.7.3. Juntas replicadas: . . . . .	54
3.8. Dimensionamiento . . . . .	57
3.8.1. Criterios y limitaciones . . . . .	58
3.8.2. Fuerzas aplicadas . . . . .	58
3.8.3. Análisis de cargas con método analítico. . . . .	60
3.8.4. Análisis de cargas con métodos numéricos . . . . .	61
<b>4. Movimientos</b>	<b>68</b>
4.1. Generación movimiento . . . . .	68
4.1.1. Motores y controladores . . . . .	68
4.1.2. Control de la posición . . . . .	69
4.1.3. Selección . . . . .	70
4.2. Transmisión movimiento . . . . .	71
4.2.1. Alternativas disponibles . . . . .	71
4.2.2. Selección y cálculo . . . . .	74
4.3. Restricción de movimientos . . . . .	78
4.3.1. Alternativas disponibles . . . . .	78
4.3.2. Precarga . . . . .	81
4.3.3. Lubricación . . . . .	81
4.3.4. Montaje . . . . .	82
4.3.5. Selección guías . . . . .	84
<b>5. Sistemas de control</b>	<b>86</b>
5.1. Conceptos . . . . .	86
5.1.1. Estructura de un control CNC . . . . .	86
5.1.2. Tipos de sistemas operativos: . . . . .	86
5.1.3. Código G . . . . .	87
5.2. Alternativas . . . . .	87
5.2.1. Control autónomo . . . . .	87
5.2.2. PC . . . . .	88
5.2.3. Selección . . . . .	88
5.3. Programas CAM . . . . .	90
5.4. Ruido eléctrico . . . . .	90
5.4.1. Definición . . . . .	90
5.4.2. Problemas en equipos CNC . . . . .	90
5.4.3. Medidas . . . . .	91
5.5. Cableado y conexiones . . . . .	91
5.6. Diseño del gabinete . . . . .	92
<b>6. Husillo y ATC</b>	<b>94</b>
6.1. Husillo . . . . .	94
6.1.1. Selección de cono . . . . .	94
6.1.2. Electro-husillo . . . . .	95
6.1.3. Motor-husillo . . . . .	96
6.1.4. Variación de las revoluciones . . . . .	101
6.2. Cambio de herramientas automático . . . . .	102
6.2.1. Almacenamiento de porta-herramientas . . . . .	102
6.2.2. Sujeción porta herramientas a husillo . . . . .	106
6.2.3. Cilindro neumático . . . . .	109

6.3. Probing/sondeo . . . . .	112
6.3.1. Palpadores . . . . .	113
6.3.2. Selección y diseño . . . . .	113
<b>7. Mercado</b>	<b>115</b>
7.1. Competencia . . . . .	115
7.2. Costos . . . . .	116
<b>8. Conclusión</b>	<b>118</b>
8.1. Imágenes finales . . . . .	119
<b>A. Parámetros y cálculos mecanizado</b>	<b>122</b>
A.1. Parámetros . . . . .	122
A.2. Ejemplos de mecanizado . . . . .	128
A.2.1. Planeado . . . . .	128
A.2.2. Fresado en escuadra y ranurado . . . . .	131
A.2.3. Taladrado . . . . .	134
<b>B. Herramental</b>	<b>136</b>
B.1. Herramientas de corte . . . . .	136
B.1.1. Insertos . . . . .	136
B.1.2. Herramientas indexables . . . . .	138
B.1.3. Herramientas sólidas . . . . .	138
B.2. Porta herramientas . . . . .	139
B.2.1. Objetivos . . . . .	139
B.2.2. Unión porta herramienta - husillo . . . . .	139
B.2.3. Unión herramienta - Porta herramienta . . . . .	143
<b>C. Planimetría</b>	<b>147</b>
C.1. Codificación de planos . . . . .	147
C.1.1. Sistema adoptado . . . . .	147
C.2. Presentación planos . . . . .	148

# Capítulo 1

## Introducción

El proyecto consiste en el desarrollo de una máquina herramienta, particularmente una fresadora vertical (con eje de husillo perpendicular a la mesa) con movimientos en tres ejes ortogonales (X,Y,Z) con control numérico computarizado (CNC) cuyas principales características son:

- Costo inicial y de mantenimiento reducido comparado con alternativas industriales. Apuntado a pequeñas, medianas empresas y emprendedores.
- Prestaciones adecuadas para el mecanizado de materiales no ferrosos y ferrosos de baja dureza.
- Tamaño compacto para permitir su instalación en espacios limitados.
- Volumen de mecanizado 500 mm x 400 mm x 300 mm aproximadamente (en X,Y,Z respectivamente).
- Capacidad de lograr tolerancias simétricas de mecanizado de 0.01 mm.
- Posibilidad de selección de dos tipos de husillos. Un electro husillo para altas RPM o un conjunto motor husillo para bajas y medias RPM.
- Componentes estándares con buena disponibilidad en el país.

Además de los objetivos principales, hay otros aspectos buscados que, si bien no son imprescindibles, son de relevancia ya que en su conjunto mejoran la usabilidad del equipo. Ellos son:

- Implementar un sistema de lubricación por inundación, con filtro y bomba de lubricante y recipiente colector de virutas.
- Sistema de cambio de herramientas automático (ATC - Automatic tool changer).
- Diseño con cerramiento que contenga tanto las virutas como las salpicaduras de lubricante en su interior.
- Diseño de un 4to eje que se pueda fijar a la mesa. Posibilita trabajar 4 ejes en simultaneo o 3 + 1.

La máquina posee tanto piezas estándares como diseñadas a medida. Estas últimas son mayormente aquellas que conforman la estructura, de las cuales se realizarán los cálculos para dimensionar adecuadamente según las cargas aplicadas en ellas y deflexiones toleradas. Las primeras, como motores, guías lineales, tornillería, etc, son seleccionadas de los catálogos de los fabricantes ayudándose en guías y fórmulas que estos proveen para así satisfacer los requerimientos que la máquina demanda.

En el presente trabajo se convergerá a un diseño determinado luego de haber evaluado las diferentes alternativas comerciales existentes, sus ventajas, desventajas y al hacer un balance entre costos y el nivel de cumplimiento de las características previamente mencionadas. Lo cual estará desarrollado y fundamentado en los siguientes capítulos.

En las imágenes inferiores se presenta el equipo al cual se llegó con el cerramiento en transparencia para que se pueda observar su interior. En la conclusión del trabajo se pueden ver mas imágenes del equipo finalizado.

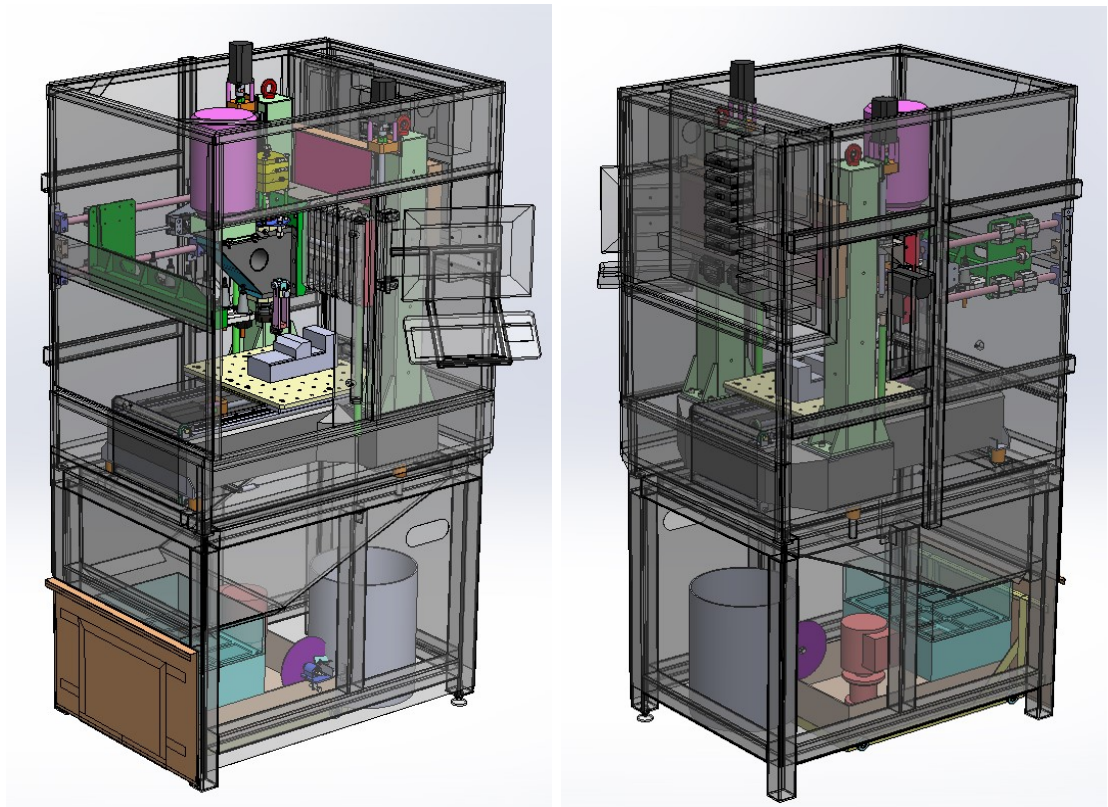


Figura 1.1: Vistas de máquina completa

# Capítulo 2

## Mecanizado

En el presente capítulo se exponen múltiples conceptos acerca del mecanizado por arranque de viruta que afectan indirectamente a la fresadora del proyecto ya son de gran importancia para comprender la función y uso de ella. Con ellos adquirimos criterios de diseño necesarios para el desarrollo de la misma. Además, lo que se explicará servirá para entender las ventajas de las máquinas CNC por sobre las convencionales o manuales.

La fabricación de piezas se inicia desde macizo (materia prima) al cual se le quita material hasta llegar a la forma deseada, contrario a la manufactura aditiva en la que se va generando la pieza a partir de la adición de material, generalmente de a capas (impresión 3d).

Podemos separar las maquinas sustractivas en dos tipos de procesos:

- **Torneado - Herramienta fija y pieza rotativa.**  
Utilizado para generar piezas de revolución.
- **Fresado y taladrado - Herramienta rotativa y pieza fija.**  
Usado para la fabricación de piezas de múltiples geometrías.

En este trabajo se expondrá el último proceso porque la máquina desarrollada no es capaz de hacer el primero, aunque muchos de los conceptos mencionados son validos para ambos tipos.

### 2.1. Proceso de mecanizado

Desde que se obtiene la pieza a fabricar en CAD, hasta su concepción, hay una sucesión de pasos o etapas que están enunciados a continuación:

1. **Componente:** En esta etapa se estudia la pieza a elaborar en tres aspectos:
  - i) Geometría: Se toma nota si posee ranuras, paredes finas, superficies planas, cavidades profundas, etc.
  - ii) Material: ISO clasifica los materiales de la pieza en seis tipos y cada uno se divide en diferentes grupos, por ejemplo, el tipo P posee 6 grupos diferenciados por el porcentaje de carbono. Pero hay que tener en cuenta que para diferentes fabricantes, un mismo material puede estar en un grupo distinto.



ISO <b>P</b>	Acero	ISO <b>M</b>	Acero inoxidable	ISO <b>K</b>	Fundición
					
ISO <b>N</b>	No ferrosos	ISO <b>S</b>	Superalaciones termorresistentes	ISO <b>H</b>	Acero templado
					

Figura 2.1: Clasificación ISO de materiales

material group	description	content	tensile strength RM (MPa)*	hardness (HB)	hardness (HRC)	material number
<b>P0</b>	Low-Carbon Steels, Long Chipping	C < 0,25%	< 530	< 125	–	–
<b>P1</b>	Low-Carbon Steels, Short Chipping, Free Machining	C < 0,25%	< 530	< 125	–	C15, Ck22, ST37-2, S235JR, 9SMnPb28, GS38
<b>P2</b>	Medium- and High-Carbon Steels	C > 0,25%	> 530	< 220	< 25	ST52, S355JR, C35, GS60, Cf53
<b>P3</b>	Alloy Steels and Tool Steels	C > 0,25%	600–850	< 330	< 35	16MnCr5, Ck45, 21CrMoV5-7, 38SMn28
<b>P4</b>	Alloy Steels and Tool Steels	C > 0,25%	850–1400	340–450	35–48	100Cr6, 30CrNiMo8, 42CrMo4, C70W2, S6525, X120Mn12
<b>P5</b>	Ferritic, Martensitic, and PH Stainless Steels	–	600–900	< 330	< 35	100Cr6, 30CrNiMo8, 42CrMo4, C70W2, S6525, X120Mn12
<b>P6</b>	High-Strength Ferritic, Martensitic, and PH Stainless Steels	–	900–1350	350–450	35–48	X102CrMo17, G-X120Cr29

Figura 2.2: Grupos de materiales ISO P según Kennametal

Cada uno posee diferentes características que afectarán a la maquinabilidad de la pieza.

III) Tolerancias: Tipo y rango de las tolerancias geométricas y dimensionales necesarias en la pieza. Además de los acabados superficiales.

2. **Máquina** Se toman en consideración diferentes aspectos como la potencia disponible, número de ejes (3, 4 o 5), tipos de sujeción, estado, etc.
3. **Herramienta** Se estudian las operaciones a realizar y se selecciona el herramienta apropiado o se adaptan las operaciones de la manera más eficiente para el herramienta disponible.
4. **Aplicación** Selección de parámetros como el paso de la fresa, geometría positiva o negativa de los insertos, etc.

Mencionados todos estos factores, se puede decir que el mecanizado de una pieza no es una ciencia exacta, sino que requiere de múltiples conocimientos y de experiencia.

## 2.2. Sujeción de la pieza

Hay infinitas posibilidades de fijar una pieza, el desafío radica en encontrar la de mayor rigidez, menor costo y más fácil de emplear. En esta sección mencionaremos

las mas comunes empleadas en torneado y fresado, pero se le dará mas relevancia a las últimas. En caso de que este aspecto sea deficiente, se generan problemas como:

- Malas calidades en los acabados superficiales debido a vibraciones.
- Desplazamientos de la pieza a mecanizar.
- Liberación inesperada de la pieza.
- Distorsión de la pieza a mecanizar por excesivas fuerzas de sujeción.

### 2.2.1. Sujeción en torneado

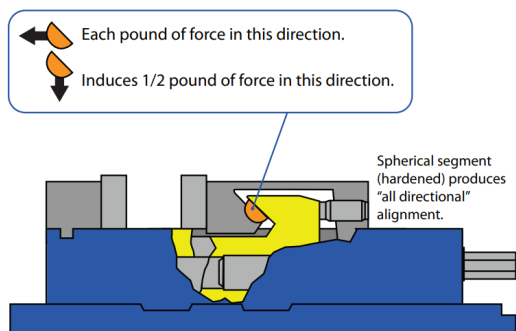
Se busca fijar la pieza al husillo giratorio. Estos métodos son también empleados al usar un cuarto eje rotativo en el fresado y los mas utilizados son:

- **Plato con mordazas:** Las mordazas pueden ser auto-centrantes o ajustables (para mecanizar superficies de revolución excéntricas). Los hay con tres mordazas, para piezas con sección transversal circular o hexagonal, cuatro mordazas, para sección transversal cuadrada o mordazas blandas, para piezas con geometrías complejas y poseen mordazas que se mecanizan para obtener el negativo de la pieza.
- **Boquillas:** Buena concentricidad y repetibilidad, pero rango de apriete acotado.
- **Mecanizado entre centros**

### 2.2.2. Sujeción en fresado

Debido a que la geometría de las piezas fresadas es mas variada que la de torneado, hay mayor cantidad de posibilidades.

- **Prensas:** Poseen un par de mordazas paralelas, una fija y otra que se desplaza por la acción de un tornillo generando la fuerza de apriete. La forma de estas puede variar para sostener distintas geometrías de piezas. Hay distintos tipos de prensas, cada una con sus ventajas y desventajas.



(a): Milling vise



(b): Toolmaker vise

Figura 2.3: Tipos de prensas

- **Vacío:** Requiere que la pieza tenga superficies planas donde pueda apoyarse en la base y sellar los bordes del área de contacto para aplicar el vacío y generar la fuerza de sujeción.
- **Pegamento:** Ideal para situaciones donde se requiere que no haya elementos de sujeción en las paredes laterales del macizo o el material es muy fino.
- **Directo a la mesa:** Se utiliza unos tornillos de los cuales un extremo va roscado en agujero de la mesa en caso de usar “fixture plates” o en ranuras T y el otro aprieta la pieza directamente o con un apoyo.



(a): Ranura en T



(b): Fixture plate

Figura 2.4: Sujeciones a mesa

- **Otros:** Si la geometría de la pieza es lo suficientemente compleja o la operación de mecanizado debe realizarse en alguna posición o lugar intrincado de la pieza, se deberá idear una solución específica para la situación.

### Sistemas de pallet:

Utilizados para poder separar un sistema de sujeción de una pieza de la maquina herramienta sin desarmarlo y manteniendo la posición del sistema de coordenadas, lo que reduce drásticamente el tiempo entre cambios de tipos de piezas (setups). Estos cuentan con un sistema de sujeción con cuñas o resortes cuyo accionamiento puede ser neumático, hidráulico o eléctrico y normalmente son normal cerrado, es decir, que al querer retirar el pallet se acciona uno de estos mecanismos para poder abrir la unión. También tienen una serie de espigas, esferas o algún elemento para alineamiento.



Figura 2.5: Sistema de pallet de cambio rápido con accesorios

## 2.3. Técnicas de fresado

Un término que está mencionado muchas veces en esta tesis es “técnicas de fresado convencionales o tradicionales” y se entiende por ello a aquellas que se pueden realizar moviendo manualmente los ejes de la fresadora. Por lo que las trayectorias desarrolladas por la herramienta son en su mayoría de traslación o rotación de a un eje a la vez. El control de las velocidades de desplazamiento es muchas veces manual aunque hay otras donde el movimiento es generado mediante un motor eléctrico (avance automático) pero su exactitud no se compara con la alcanzada en las máquinas CNC.

En esta sección se mencionaran diferentes conceptos y técnicas de mecanizado empleadas en las fresadoras CNC, con sus ventajas, desventajas y restricciones según la geometría a obtener. Algunas son catalogadas como fresado de alta eficiencia (HEM-High efficiency milling), lo que sería el antónimo de los métodos convencionales, es decir, utilizar altas velocidades de traslación con bajas profundidades radiales de corte, aprovechando las prestaciones de las máquinas al máximo para obtener la mejor calidad o mayor remoción material en el menor tiempo posible.

Las trayectorias de estas últimas son generadas en programas CAM (“Computer-Aided Manufacturing”) ya que su programación manual sería imposible debido a su complejidad. Estas controlan múltiples parámetros como mantener un ángulo de inmersión radial constante, para que no haya sobrecargas sobre la herramienta y así evitar su rotura o utilizar el menor espesor de viruta posible.

### 1. Fresado hacia abajo (Climb) o hacia arriba (convencional)

Se refiere al sentido de rotación de la herramienta de corte respecto a la dirección de avance. En el fresado hacia abajo, en concordancia o “climb” (figura 2.5(b)) tanto la pieza como el filo de la herramienta al cortar el material van en el mismo sentido, generando un espesor de viruta que se reduce a lo largo del corte. En el convencional, hacia arriba o contraposición (figura 2.5(a)) las fuerzas van en sentidos opuestos obteniendo un espesor que crece a medida que se desarrolla el corte.

Las máquinas manuales o convencionales poseen normalmente un juego mayor que las CNC entre el tornillo y tuerca que desplaza cada uno de sus ejes. El fresado hacia arriba es el que se utiliza en estos casos porque al oponerse la fuerza generada por la acción de corte a la dirección del movimiento, se mantiene el contacto entre los dos elementos de la transmisión (figura 2.5(c)). De usarse el fresado hacia abajo, la fuerza de corte separa el contacto entre los flancos de ambas roscas intermitentemente, dando lugar a vibraciones que dejan un mal acabado superficial.

Con la excepción de situaciones como la mencionada en el párrafo anterior no se recomienda utilizar el fresado en contraposición debido a las siguientes desventajas:

- Es necesario forzar la entrada del filo en el corte y esto crea un efecto de roce o bruñido debido a la fricción, altas temperaturas e incluso contacto con una superficie endurecida por el filo anterior. Todo esto reduce la vida útil de la herramienta.
- Las virutas de mayor espesor y el incremento de la temperatura al salir del corte provocarán grandes cargas que reducirán la vida útil de la herramienta y, a menudo, provocarán un fallo prematuro de la misma.
- Adherencia de las virutas al filo por las altas temperaturas.

Las múltiples ventajas del fresado en concordancia son:

- Virutas removidas hacia atrás lo que reduce la posibilidad de volver a cortarlas desgastando los filos.
- Plano de corte más limpio lo que reduce la fricción entre pieza y herramienta.
- Al iniciar el corte con un gran espesor de viruta se va más calor a ella que a la pieza comparando con la formación de viruta de fina a gruesa. Esto es beneficioso porque no se genera endurecimiento de la pieza.

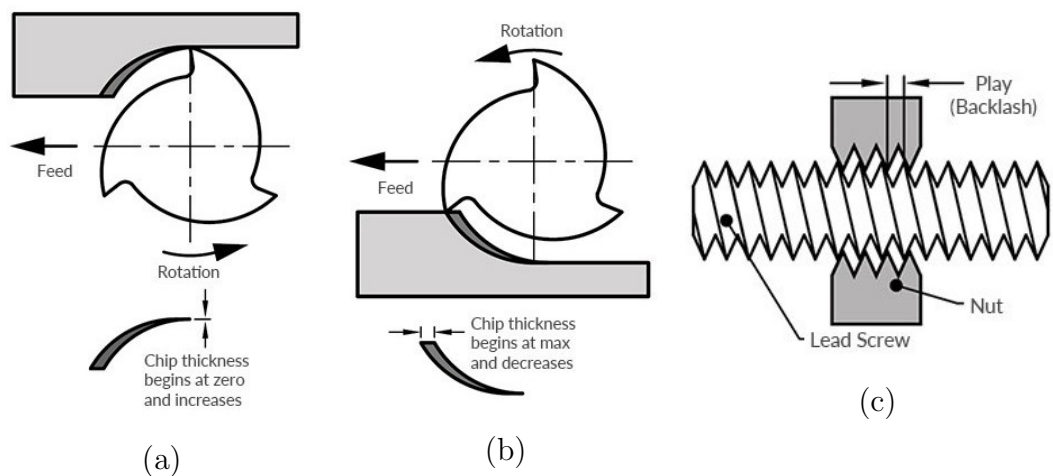


Figura 2.6: a) Fresado hacia arriba ; b) Fresado hacia abajo ; c) Juego

El espesor de la viruta es variable, y si utilizamos el fresado convencional esta se cortará desde su menor espesor al mayor, en el otro método es lo contrario.

## 2. Peel milling

Es una técnica de contorneado que utiliza altas  $V_C$ , pequeños  $a_e$  (cercaos al 10 % del  $D_C$ ) y grandes  $a_p$ . Esto último es para que el desgaste sea parejo a lo largo de toda la longitud del filo. Además de que se reduce debido a que el calor generado se distribuye en una mayor superficie lo que facilita su disipación y disminuye la temperatura de la herramienta durante la operación de corte.

## 3. Trocoidal

La trayectoria de la herramienta sigue la forma de un trocoide, que es una curva del plano, determinada por la trayectoria de un punto fijo de una circunferencia (generatriz) que gira mientras que el centro se desplaza paralelamente a una recta (directriz).

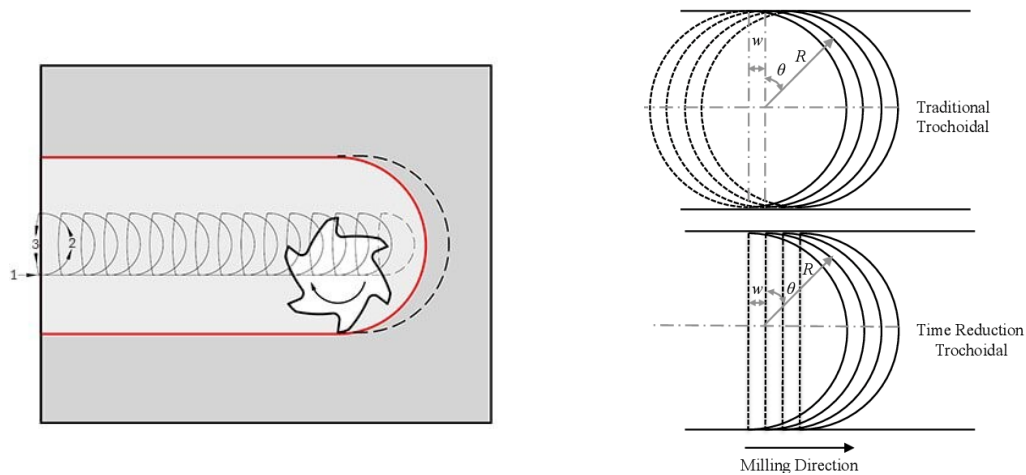


Figura 2.7: Trayectorias trocoidales

Se usa para la generación de ranuras de ancho mayor al diámetro de la herramienta, lo usualmente utilizado es un  $D_C$  entre 50 y 70 % el ancho de la ranura, para  $D_C$  menores se puede utilizar pero las trayectorias pasan a tener un tramo recto como las de la figura 2.8.

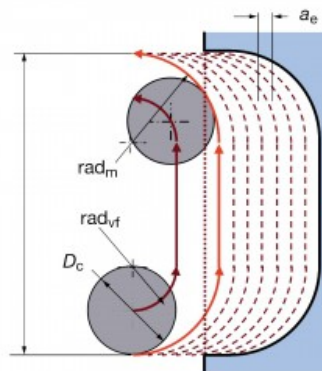


Figura 2.8: Trayectorias para ranuras  $> 2xD_C$

Algunas de sus ventajas son:

- Reducción de las fuerzas de corte, por el menor espesor de viruta.

- Menos calor generado, lo que aumenta la vida de la herramienta.
- Aunque las trayectorias trocoidales son consideradas operaciones de desbaste, estas poseen mayor exactitud que el ranurado convencional, ya que al ser menores las fuerzas, también lo son las deflexiones de la herramienta y máquina.
- Menores tiempos de mecanizado (mayor MRR) porque si bien la profundidad de corte radial  $a_e$  se reduce, la axial  $a_p$  se eleva junto con  $v_f$ .
- Se puede usar una única herramienta para ranuras de distintos tamaños.
- Mayor facilidad para evacuar las virutas.

Las dificultades de aplicar este método se dan principalmente por las prestaciones del equipo, ya que este necesita tener buenas velocidades de traslación y aceleraciones. También se necesita un programa que sea capaz de generar las trayectorias, pero aunque esto era una complicación 20 años atrás, actualmente no lo es.

#### 4. Fresado de esquinas

Múltiples pasadas eliminan sucesivamente el material asegurando un ángulo de inmersión radial bajo reduciendo las fuerzas de corte. La cantidad de pasadas dependerá tanto del diámetro de la herramienta como del radio de la esquina.

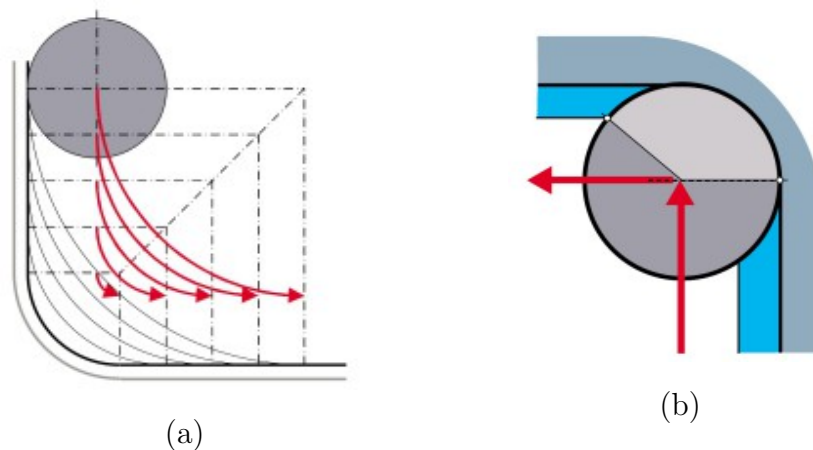


Figura 2.9: Fresado de esquinas convencional (a) y slicing (b)

#### 5. Plunge milling

Es cuando el corte se da con los filos del extremo inferior de la herramienta (como el taladrado) y no con la periferia. Esto cambia el sentido de las fuerzas, de radiales a axiales.

Es ideal para desbastar esquinas con ángulos menores a  $60^\circ$  debido al gran ángulo de inmersión radial que se genera al fresar con la periferia de la herramienta en estas situaciones.

## 2.4. Fuerzas en el mecanizado

Cuando queremos remover material de una pieza necesitamos realizar una determinada fuerza sobre la herramienta para que el filo avance y separe pedazos de esta llamados virutas. Estas fuerzas varían según gran cantidad de parámetros, entre los que se encuentran las propiedades de los materiales de la pieza, geometría de la su herramienta, etc.

Para el caso del presente trabajo se debe utilizar un método válido para fresado, en donde la herramienta rota y el corte no es ortogonal, por lo que resulta mas difícil de modelar que en situaciones como el torneado, o en el uso de limadoras o cepillos. No podemos utilizar métodos como el círculo de Merchant, la ecuación de Taylor, ya que nos arrojarían resultados erróneos, pero sí otros que se enuncian en la sección 2.4.2.

### 2.4.1. Componentes

El vector de fuerzas resultante posee componentes en los tres ejes ortogonales X, Z e Y. Para fresado vertical para el cual está destinada la maquina de este proyecto, y considerando el plano XY paralelo a la superficie a mecanizar y el eje Z el de rotación del husillo, estas fuerzas son:

- Fuerza tangencial: Es la que podemos obtener mediante la fórmula de momento torsor (sección A.1 inciso 6) y se genera en el plano XY. Representa un 70 % de la fuerza total de corte.
- Fuerza axial: Representa un 10 % de la fuerza total. Es coincidente con el eje del husillo. Son aquellas que intentan alejar o aumentar la penetración de la herramienta en la pieza. Su intensidad dependerá del ángulo de la hélice de la herramienta como se ve en la fig B.3.
- Fuerza de avance: Representa un 20 % de la fuerza total.

### 2.4.2. Determinación

Las alternativas que podemos utilizar son las siguientes:

#### 1. Dinamómetro

Son instrumentos con los que obtenemos los resultados realizando las operaciones que pueden medir las fuerzas ( $F_x, F_y, F_z$ ) y los momentos respecto a los tres ejes coordenados ( $M_x, M_y, M_z$ ) siendo estos últimos calculados matemáticamente con las fuerzas y las distancias entre los sensores, que pueden ser del tipo piezoeléctrico o galgas extensométricas (strain gauge). Los hay tanto estáticos o estacionarios, donde el instrumento está fijo en la mesa y a el se sujeta la pieza a mecanizar, y dinámicos o rotativos, que son como un porta herramientas. Estos instrumentos son utilizados para diagnosticar soluciones para problemas en el mecanizado como malos acabados superficiales o desgaste prematuro de la herramienta en situaciones donde los sentidos del operador (vista y oído) no pueden hacerlo.



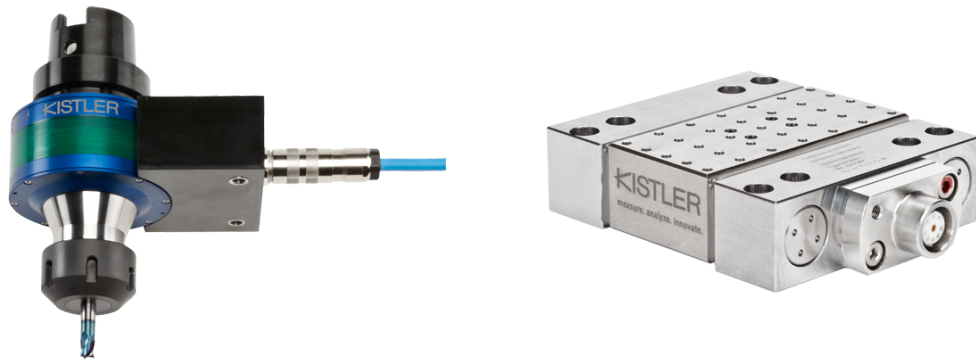


Figura 2.10: Dinamómetro dinámico (izq) y estático (der)

A continuación se presentarán imágenes con resultados de mediciones de diferentes procesos y las variables que se pueden medir en cada uno de ellos según el dinamómetro empleado:

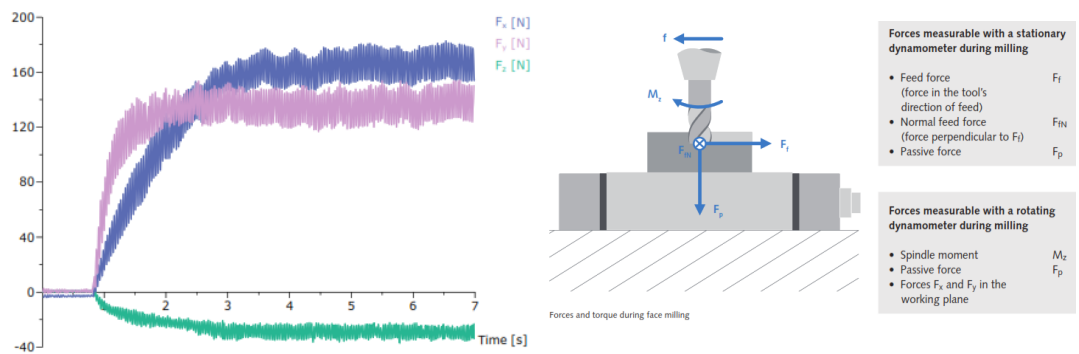


Figura 2.11: Medición fuerzas (izq) y variables (der) en fresado

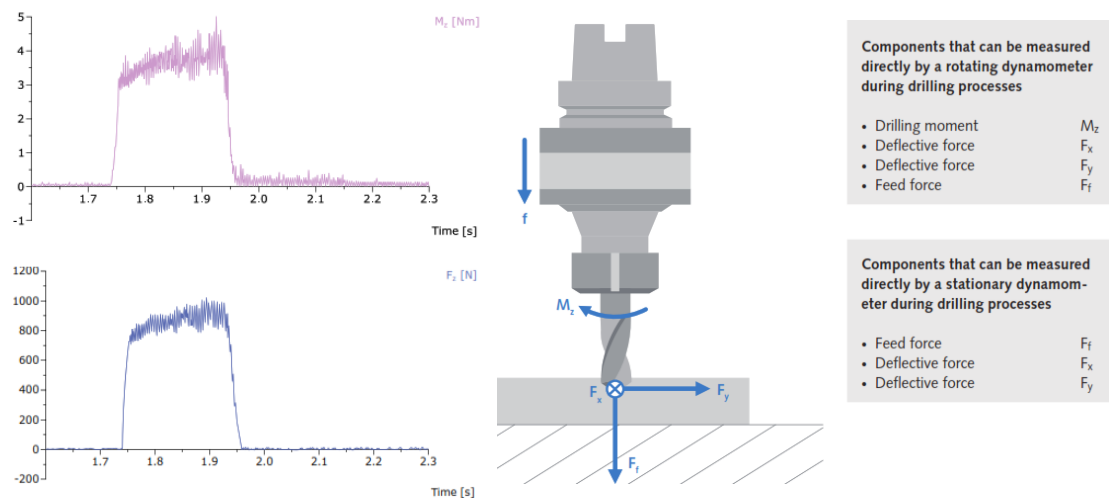


Figura 2.12: Medición fuerzas (izq) y variables (der) en taladrado

2. **Modelizaciones** Análisis o modelos matemáticos que han sido el objetivo de muchas investigaciones, con los cuales podemos calcular los valores de

las fuerzas de las operaciones sin realizarlas físicamente. Estos pueden ser clasificadas dentro de dos grupos diferentes según el método aplicado:

- a) Analítico: Establece relaciones matemáticas entre la fuerza de corte y múltiples variables, como ser la geometría de la herramienta, parámetros del proceso, propiedades de los materiales, etc.

Un ejemplo de esto es la formula de Kienzle:

$$F = K_{S11} \times b \times h^{1-Z}$$

- F es la fuerza de mecanizado
- $K_{S11}$ : Fuerza de corte específica.
- b: Altura de la viruta (proporcional a la profundidad de corte)
- h: Ancho de viruta (proporcional a la velocidad de avance).
- Z: Constante del material.

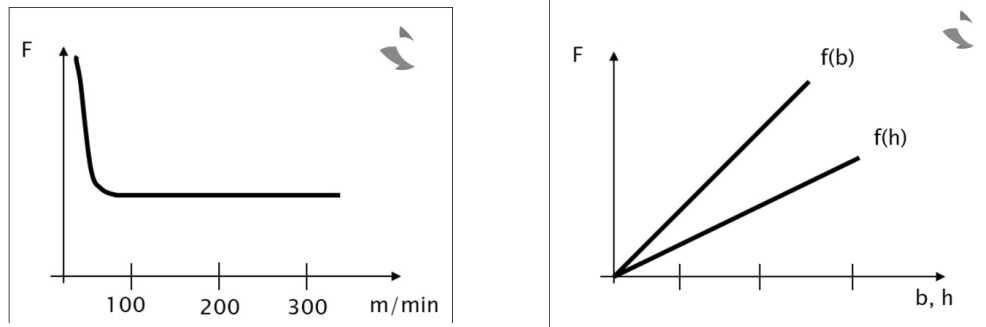


Figura 2.13: Relación F-veloc y F-b,h

- b) Numéricos: Mediante el uso de elementos finitos en simulaciones por computadora.

### 3. Fórmulas de mecanizado

Se usan las fórmulas presentadas en el apéndice A.1. Se utilizará el momento generado en el proceso de corte para obtener la fuerza tangencial, que sabemos que se aproxima a un 70% del total, pudiendo suponer el resto. Los datos que se utilizan vienen de la operación de corte, material a mecanizar y herramienta.

Para este proyecto por simplicidad se utiliza el tercer método. Esto es debido a que el de las modelizaciones resulta muy complejo y los dinamómetros son instrumentos de muy alto costo por lo que no podemos disponer de uno.

#### 2.4.3. Ejemplos de aplicación

Al calcular diferentes operaciones de mecanizado a la que estará sometida la máquina se adaptan los parámetros que se definen en la programación como  $a_p$ ,  $a_e$ ,  $V_f$  y RPM, para utilizar toda la potencia que nos entrega el husillo al mecanizar un material determinado que posee un valor de  $K_C$ . Es decir, se verá de que es capaz la fresadora en cuanto a los parámetros del mecanizado, pero no de las tolerancias en las piezas ya que eso lo define la rigidez de la estructura.

Se seleccionarán herramientas aptas para cada tipo de operación, esto se puede ver en guías de aplicación de los catálogos de fabricantes. En este caso se utilizarán dos del fabricante Sandvik (ediciones 2020) uno llamado “Herramientas rotativas de metal duro integral” donde hay herramientas sólidas, y el otro “Herramientas rotativas”, donde se presentan herramientas indexables.

Los pasos a seguir son:

1. **Definir material con clasificación ISO:** Según figura 2.1. El fabricante Sandvik usa una modificación de esta para poder especificar con mejor detalle el material a mecanizar. Esta es llamada clasificación MC (Materiales Coromant).
2. Seleccionar tipos de operaciones a realizar dentro de las de la figura inferior.



Figura 2.14: Símbolos de aplicaciones según Sandvik

3. **Versatilidad de la herramienta:** Las hay versátiles, que se adapten a diferentes aplicaciones, optimizada, que esta especialmente diseñada para un acotado rango de aplicación y hechas a medida por el fabricante, pero esto último es para situaciones muy específicas.
4. **Tipo de herramienta:** Sea solida o indexable con su respectivo inserto. Se contempla la geometría a mecanizar y tolerancias requeridas.
5. **Datos de corte:** Los obtenemos de catalogo con la herramienta o inserto seleccionado, considerando la operación y el material definidos en los primeros dos pasos.
6. **Parámetros faltantes:** Los calculamos utilizando las formulas descriptas en la sección A.1.

Se emplearan los datos y procedimientos dados en el catalogo del fabricante Sandvik. También se verificaron los resultados mediante la calculadora CoroPlus tool guide del sitio web del mismo fabricante.

**Resultados** Debido a su longitud, para que no entorpezca la lectura del proyecto, los ejemplos realizados se encuentran en el apéndice I “Parámetros y cálculos de mecanizado” y en el siguiente cuadro se resumen las fuerzas tangenciales calculadas:

	Planeado	Escuadra	Ranurado conv	Ranurado troc.
Acero 1045	31	9.1	10.6	4.7
Aluminio 6061	19	5.9	4.8	4

**Conclusiones** Se observa que las operaciones realizadas con fresas rectas toleran fuerzas mucho menores que las que se hacen con las arañas, esto es debido a que de aplicarse las fuerzas de planeado sobre fresas rectas las deformaciones de la herramienta serian excesivas, afectando tanto la vida útil de la fresa como las tolerancias y acabados de la pieza mecanizada. Esto se comprueba al ver la figura 3.50.

Además se nota una diferencia considerable entre el uso de un ranurado convencional y otro empleando técnicas avanzadas como las trayectorias trocoidales explicadas en la sección 2.3, lo que demuestra las ventajas de utilizar una maquina CNC contra una convencional.

Las fuerzas calculadas son aproximadas ya que mediante las fórmulas empleadas no contemplamos diversos factores como por ejemplo:

- Fresado es convencional o en concordancia
- Adelgazamiento de viruta
- $a_e$  óptimo para la formación de viruta

Los resultados obtenidos son menores que las estimaciones que se encontraron en diversos foros y páginas en internet. Estos sugieren una fuerza de 50 Kgf para un husillo de 2.2 KW. Debido a la gran incertidumbre en los cálculos para determinación de fuerzas en el proceso de mecanizado decidimos adoptar el valor de 50 que además nos da un margen de seguridad para asegurarnos que las deformaciones en la peor situación de mecanizado posible no superan un valor que nos afecte notablemente las tolerancias geométricas y dimensionales.

# Capítulo 3

## Estructura

La estructura es el conjunto de piezas que son encargadas de transmitir las fuerzas de reacción a las que se originan en el mecanizado. En ellas se fijan diferentes elementos como las guías lineales, motores, etc.

Esta debe estar diseñada de manera tal que la deformación ocurrida al ser afectada por estas fuerzas esté dentro de ciertos límites que son definidos por las tolerancias geométricas y dimensionales que queremos garantizar en la pieza.

La idoneidad de una estructura dependerá no solo de las propiedades físicas de los materiales empleados, sino también de la forma que esta toma.

Las principales cualidades que debe cumplir son:

- Rigidez suficiente para minimizar las deformaciones generadas por las fuerzas del mecanizado para de esta manera evitar que las dimensiones de la pieza estén fuera del margen de tolerancia deseado.
- Buena capacidad de absorber las vibraciones generadas por el proceso de mecanizado.
- Estabilidad dimensional para que la variación de temperatura de ella, ya sea aportada por el ambiente, piezas propias de la máquina como los motores o la acción de corte no genere grandes dilataciones que afecten las dimensiones de la pieza fresada.
- Resiliencia (energía máxima que puede absorber un material dentro de su fase elástica) suficiente para que las tensiones a la que está sometida la estructura nunca sean superiores a las de proporcionalidad, generando deformaciones permanentes.
- Geometría adecuada para evitar concentraciones de tensiones y fallas por fatiga.

### 3.1. Materiales

A continuación se nombrarán y describirán los diferentes materiales con los que podemos fabricar la estructura de una máquina herramienta, brindando ventajas y desventajas de cada uno.

### 3.1.1. Fundición

Fundición es el proceso mediante el cual las piezas se fabrican al verter el metal líquido en un molde y se pueden obtener piezas de geometrías de difícil generación con otro método.

Los materiales aplicables en este proceso son todos aquellos que se pueden fundir o pasar a su estado líquido para luego solidificarse en el molde, como por ejemplo gran cantidad de metales. La que detallaremos principalmente la fundición de hierro que es la utilizada para la fabricación de estructuras de maquinas herramientas.

Si bien la fundición de acero posee mayor resistencia a la tracción y a los impactos que la de hierro, esta no se utiliza para estructuras por diferentes motivos, como su mayor dificultad (por lo tanto costo) para su obtención, es más difícil de mecanizar, menor fluidez en los moldes, menor absorción de vibraciones, etc.

Los diferentes tipos de fundición de hierro son la gris, nodular o dúctil, maleable y la aleada.

Las dos primeras son las que se emplean en la fabricación de máquinas herramientas debido a sus propiedades como una buena absorción de las vibraciones, son fáciles de mecanizar, relativamente duras y resistentes a la corrosión. Como contra tienen que no se pueden soldar, son frágiles y no son dúctiles ni maleables.

### 3.1.2. Perfiles de aluminio

Son perfiles extruídos que poseen distintas secciones aunque la mayoría son derivadas y por lo tanto compatibles con el perfil del fabricante Bosch Rexroth (ver fig 3.1). También poseen gran cantidad de accesorios (tuercas, esquinas, soportes, etc) que permiten unirlos entre ellos y con otras piezas, lo que simplifica el diseño, su ensamblaje y la fabricación de la estructura ya que solo se necesitan herramientas convencionales

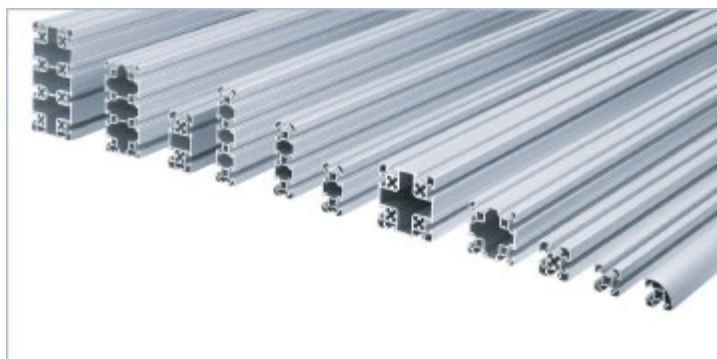


Figura 3.1: Perfiles tipo Bosch

Estos son principalmente usados para la fabricación de líneas de montaje o máquinas no seriadas por su gran versatilidad, y en el campo de las máquinas herramientas, en routers o fresadoras para maderas o no ferrosos, pero no se utilizan en equipos de mayores prestaciones porque su rigidez y masa no es la adecuada, además del que su coeficiente lineal de expansión térmica es el doble de los aceros ( $24 \times 10^{-6}/K$ ). Podemos encontrarlos en grandes secciones, con buen momento de área, pero su costo es muy alto.

### 3.1.3. Perfiles y chapa de acero

El acero que se utiliza en ellos es de bajo carbono, 1020 o llamado para el caso de chapa como “negra” y pueden estar fabricados mediante diferentes procesos:

- Chapa plegada y soldada.
- Caños sin costura.
- Perfiles laminados en caliente: Como por ejemplo los perfiles IPN, UPN, etc.

Estos poseen la ventaja que se pueden cortar, soldar, tratar térmicamente y posteriormente mecanizar las superficies críticas, pudiendo obtener la geometría buscada además de que material base posee buenas propiedades mecánicas.

Algunas desventajas son que por el material y al ser huecos no poseen buena absorción de las vibraciones generadas en el proceso de mecanizado, también que para llegar a la pieza final se requieren de los procesos previamente mencionados, lo cual eleva los costos y tiempos de fabricación.

### 3.1.4. Concreto

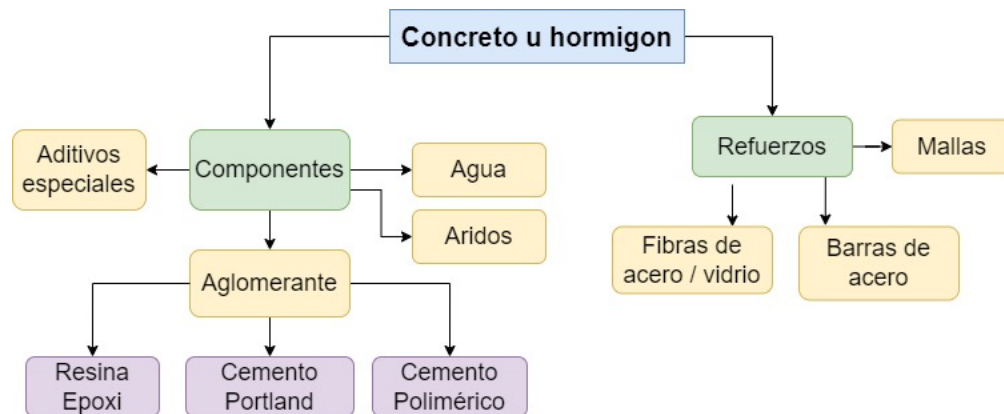


Figura 3.2: Componentes del concreto

El concreto u hormigón es un material compuesto que, según lo que se ve en la imagen superior, resulta de la mezcla de los siguientes componentes:

- Aglomerante: Sirven para unir los demás componentes, dando cohesión al conjunto.
  - Portland: Conglomerante formado por una mezcla de caliza y arcilla, calcinadas y molidas llamada clinker que en combinación con agua, forma una pasta que tiene una serie de propiedades en estado fresco y luego endurece (fraguado) gracias a una serie de complejas reacciones químicas y proceso de hidratación. Una vez endurecido, conserva su resistencia y estabilidad incluso bajo el agua.
  - Polimérico: Estos reemplazan el aglutinante del tipo portland o en algunos casos se combinan. Su costo es mayor pero según el polímero utilizado este le aporta mejores propiedades al concreto como una mucho mayor resistencia a la tracción, un poco mayor a la compresión, mejor resistencia química, menores tiempos de curado, etc.

- **Epoxi:** Es una resina de consistencia viscosa que para endurecerla debe mezclarse con un catalizador que activa el proceso químico de curado. Al igual que el cemento Portland y el polimérico, se mezcla con áridos, dando un material compuesto con muy buenas propiedades como estabilidad dimensional, amortiguación de vibraciones y resistencia mecánica. Algunas desventajas son que puede ser difícil trabajarla y su costo relativamente elevado.
- **Áridos:** Clasificados según su tamaño en orden decreciente como grava, grava y arena. Algunas de las funciones que poseen son la disminución de la contracción de la estructura al fraguar, reducen costo (son de relleno), etc.
- **Aditivos:** Se agregan a la mezcla y algunas de las funciones que poseen son la de reducir la cantidad de agua sin modificar la consistencia, retardan o aceleran el tiempo de fraguado, etc.
- **Agua:** Solo en el caso de usar cemento como aglomerante, no epoxi. Es la encargada de hidratar las partículas de cemento y formar cristales.

Otro término que no se debe confundir es el de mortero, que es una mezcla de cemento y arena, normalmente utilizada en construcción para unir ladrillos.

### Curado del cemento

La resistencia final del cemento va a estar dada, además de su composición, por el proceso de curado, en donde se producen las reacciones de hidratación. Que tan bien se produzca esta reacción va a estar dado por factores como la relación agua cemento ( $a/c$ ), tiempo y tipo de curado, que se pueden observar en la figura 3.3.

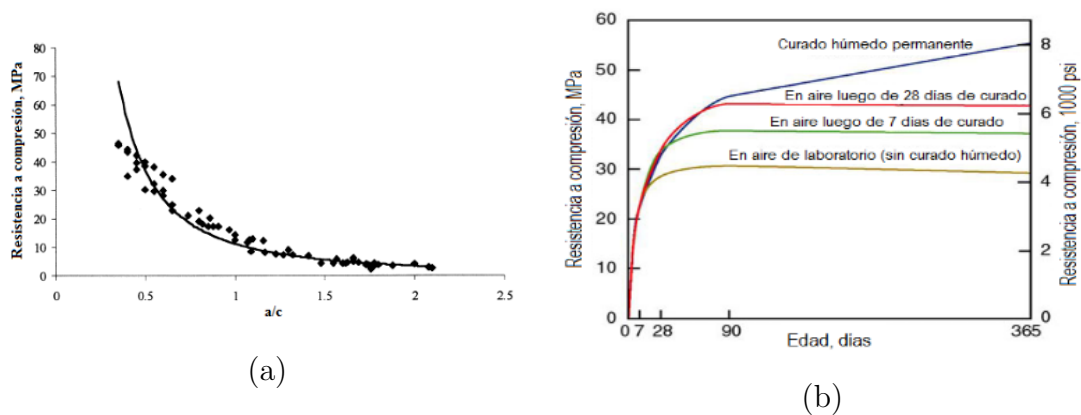


Figura 3.3: a) Resistencia en función de  $a/c$  ; b) Resistencia en función de la edad y tipo de curado

La resistencia de un cemento a compresión se calcula con la norma IRAM 1546, al ensayar un mortero cuya relación  $a/c=0,50$  y cemento-arena de 1:3 en masa, curado en condiciones normales. Según como sean los valores obtenidos en función del tiempo de curado se clasifican los cementos como se ve en la tabla inferior (3.4).



Categoría	Resistencia a la compresión (MPa)			
	2 d	7 d	28 d	
CP 30	-	mín. 16	mín. 30	máx. 50
CP 40	mín. 10	-	mín. 40	máx. 60
CP 50	mín. 20	-	mín. 50	-

Figura 3.4: Resistencia de los cementos

Para el curado con agua el hormigón se debe mantener permanentemente húmedo, al adicionar agua mediante diferentes maneras, como una inmersión total o riego y su temperatura debe ser mayor a 10°C. Esto se debe dar mínimamente durante el período establecido en la imagen inferior, pero preferentemente un tiempo de 90 días ya que, como se ve en la figura 3.3(b), posterior a ese tiempo de curado no se notan incrementos considerables en la resistencia.

Edad de diseño del hormigón	Cemento		Tiempo mínimo de curado
	Tipo	Categoría	
7 días	CPx (ARI)	50	3 días
28 días	CPN CPF CPC CPE CPP	40 - 50	5 días
	CPN CPF CPC CPE CPP	30	8 días
28 días	CAH	30 - 40 - 50	8 días

Figura 3.5: Tiempos de curado

El agua se debe adicionar sobre la superficie del hormigón y en permanente estado saturado para mantener la humedad el tiempo mínimo establecido

### Tipos de cemento

Están definidos en Argentina por las siguientes normas:

- IRAM 50000: Cementos para uso general.

Son aquellos aptos para todo tipo de hormigones en aplicaciones estructurales, donde no se requieran propiedades especiales.

Tipo de cemento	Nomenclatura	Composición (g/100 g)			
		Clínker + sulfato de calcio	Puzolana (P)	Escoria (E)	"Filler" calcáreo (F)
Cemento pórtland normal	CPN	100-90		0-10	
Cemento pórtland con "filler" calcáreo	CPF	99-80			1-20
Cemento pórtland con escoria	CPE	89-65		11-35	
Cemento pórtland compuesto	CPC	98-65	dos ó más, con P + E + F ≤ 35		
Cemento pórtland puzolánico	CPP	85-50	15-50		
Cemento de alto horno	CAH	65-25		35-75	

Figura 3.6: Tipos de cementos y composición según norma IRAM 50000

Esta norma también define las propiedades mecánicas, físicas y químicas de los cementos pero no entraremos en detalles.

- IRAM 50001: Cementos con propiedades especiales.

Define ciertos cementos que corresponden a los tipos y categorías de resistencia definidos en la Norma IRAM 50000 los que, aparte de cumplir los requisitos de composición, químicos y físico-químicos establecidos en esa Norma, poseen características especiales que les confieren ventajas para ciertas aplicaciones específicas.

Denominación del Cemento	
<b>ARI</b>	de Alta Resistencia Inicial
<b>MRS</b>	Moderadamente Resistente a los Sulfatos
<b>ARS</b>	Altamente Resistente a los Sulfatos
<b>BCH</b>	de Bajo Calor de Hidratación
<b>RRAA</b>	Resistente a la Reacción Alkali-Agregado
<b>B</b>	Blanco

Figura 3.7: Tipos de cementos especiales

La designación de los cementos esta compuesta por:

- Tres letras que indican su composición.
- Dos dígitos para su resistencia a la compresión en MPa.
- Tres letras que indican su propiedad especial.

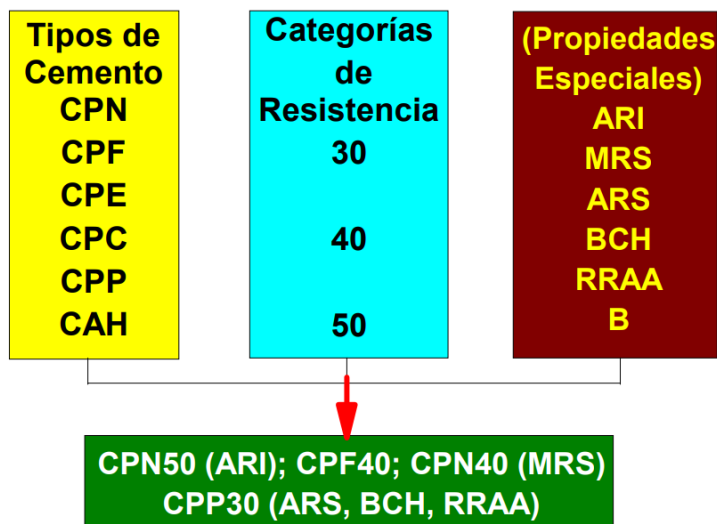


Figura 3.8: Designación cementos según IRAM 50000 y 50001

### Tipos de hormigones y dosificación

Clase de hormigón	Resistencia especificada a compresión $f'_c$ (MPa)	A utilizar en hormigones
H - 15	15	simples (sin armar)
H - 20	20	simples y armados
H - 25	25	Simples, armados y pretensados
H - 30	30	
H - 35	35	
H - 40	40	
H - 45	45	
H - 50	50	
H - 60	60	

Figura 3.9: Hormigones según su resistencia según CIRSOC 201

Resist. Mpa	Cemento kg	Gravilla kg	Arena kg	Agua lt
	127,5	1010	980	195
H5	170	1025	910	195
H10	230	1055	835	195
H15	275	1070	800	195
H20	340	1095	715	200
H25	380	1120	645	200
H30	440	1145	585	200

Figura 3.10: Dosificación hormigón por  $m^3$

### Refuerzos

Como el cemento, al compararlo con el acero, posee una buena resistencia a la compresión pero una baja resistencia a la tracción, por lo que se le añaden distintos materiales formando un material compuesto con diferentes propiedades. Los refuerzos son en forma de barras, mallas o fibras. Estas últimas se subdividen en micro y macro fibras según su diámetro, la longitud de ambos tipos puede rondar entre 15 y 75mm.

Los diferentes tipos de refuerzos que se pueden adicionar los podemos separar en dos grupos:

**1. Barras nervadas o mallas electro soldadas:**

El hormigón que emplea este tipo de refuerzo se lo conoce como hormigón armado. Es el método de refuerzo tradicional. Aportan resistencia a la tracción en un plano o dirección.

**2. Fibras:**

Las podemos clasificar por su tamaño en:

- Micro fibras: Su tamaño es  $< 12\text{mm}$  y se utilizan para evitar la formación de grietas en el concreto fresco (hasta 6 horas).

- Macro fibras: Su longitud es  $> 12\text{mm}$ , son de materiales sólidos como plástico, acero, vidrio. Como estos elementos poseen un mayor modulo de elasticidad que el cemento, aumentan la resistencia a la tracción del material compuesto y como se distribuyen homogéneamente en un volumen, se genera isotropía en sus propiedades. También contienen la formación de fisuras y evitan su propagación.

Los diferentes materiales de las fibras que se utilizan solas o combinados son:

- Fibra de vidrio: Son resistentes a la corrosión pero su resistencia a la tracción es limitada. Se utiliza para reforzar paneles prefabricados donde los espesores son pequeños por lo que el acero podría estar expuesto a humedad.
- Sintéticas: Comprende materiales como polipropileno o nylon. Sus aplicaciones son similares a las de vidrio. Se dosifican normalmente en proporciones de 1 a 2 % en volumen, aunque hay casos en los que se utilizan desde 0.1 a 8 %.
- Naturales: Usadas antiguamente, van desde cabello de animales hasta fibras vegetales.
- Metálicas: Al poseer el acero una resistencia a la tracción considerablemente mayor que el cemento, el resultado de la combinación genera un compuesto con una muy buena tenacidad.

### Compactación del concreto

La presencia de aire en el concreto es indeseable ya que reduce su resistencia, adherencia a los refuerzos, acabado y aumenta su permeabilidad. Al usar relaciones agua/cemento bajas es más difícil que el cemento se auto compacte, para ello se utilizan métodos mecánicos como el apisonado o el vibrado.

En este caso utilizaremos el vibrado del molde mediante un peso excéntrico en un eje de un motor eléctrico fijado al molde.

### Plastificantes

Como se vio en la figura 3.3, a menor contenido de agua en la mezcla, mayor será la resistencia del concreto. Pero esto tiene la contra de que la mezcla es mas dura con lo que resulta más complicada de manipular y que copie bien la forma del molde sin que queden burbujas de aire en su interior. Para solucionar esto se utilizan compuestos llamados plastificantes o superfluidificantes. Para nuestro caso no se necesitarían porque la cantidad de mezcla utilizada es poca y la geometría del molde es sencilla.

## 3.2. Vibraciones

Como se menciona al principio del capítulo, las vibraciones que se generan en el proceso de mecanizado son un problema de gran importancia, por lo que en la presente sección se desarrollara sobre el tema para tener criterios adecuados en el diseño de la estructura.

Por definición una vibración es un fenómeno mecánico en el cual ocurren oscilaciones respecto a un punto de equilibrio. En las máquinas herramientas provocan el desplazamiento relativo entre la trayectoria real y la teórica. Esto provoca diversos problemas como malos acabados superficiales (conocido en inglés como “chatter”) y desgaste o rotura prematura de la herramienta.

Hay dos tipos de fuerzas que interactúan con el movimiento oscilatorio:

1. **Fuerza resistiva:** Genera un efecto de amortiguamiento ya que está siempre en oposición respecto a la dirección del movimiento, reduciendo la amplitud. Son las reacciones a la vibración por parte de la estructura, que absorben la energía de la vibración disipándola como calor.
2. **Fuerza motriz:** Están siempre en igual dirección que el movimiento, aumentando la amplitud.

Todo sistema posee una frecuencia en la que vibra posterior a la aplicación de una fuerza y se llama frecuencia natural del cuerpo. Si se aplica la fuerza motriz a una frecuencia igual a la natural, se dice que el sistema entró en resonancia, por lo que la energía aportada se añade a la que tiene el sistema, aumentando amplitud del movimiento periódico lo que agravará las consecuencias negativas. Esto también puede suceder cuando la carga se aplica en frecuencias lo suficientemente cercanas a la de resonancia.

La segunda fuerza es la que queremos disminuir ya que son las que las originan y amplifican a las vibraciones. Hay diferentes tipos de estas vibraciones:

- **Libres o transitorias:** Como lo dice su nombre, se extinguen en el tiempo. Producen deflexiones en la estructura que oscila en su frecuencia natural hasta que su energía se disipa por amortiguamiento. Estas son generadas de diferentes maneras:
  - Impulsos transmitidos desde el ambiente, a través de los cimientos.
  - Movimiento recíproco de las masas móviles, como la mesa o el carro del eje X.
  - Contacto de los filos de la herramienta en la pieza.
- **Forzadas:** Se dan durante todo el proceso de mecanizado. Resultantes de fuerzas periódicas en el sistema, como desbalances en las masas rotativas, el contacto intermitente entre el filo de la herramienta y la pieza en el fresado (esto último no se da en el torneado por ejemplo) o de máquinas cercanas transmitidas por los cimientos.

La máquina oscilará a la frecuencia de la carga forzada mientras esta este aplicada (si se deja de aplicar cualquier carga lo hará en su frecuencia natural), y si esta es igual a la natural el sistema entrará en resonancia.

- **Auto excitadas:** Son resultantes de la inestabilidad dinámica del proceso de corte ya que el espesor de la viruta depende también de la posición relativa entre la herramienta y la pieza, que varía entre cada vez que cada filo corta el material, variando la carga y originando lo que se conoce en inglés como chatter.

La primera fuerza, la resistiva, es la que intentamos generar para que neutralice a las vibraciones lo máximo posible y lo mas próximo a su generación para evitar sus consecuencias negativas. Las acciones que podemos realizar para maximizar estas fuerzas resistivas son:

- Maximizar la rigidez de la herramienta (por ejemplo al usar la mas corta posible), el método de sujeción y la máquina.
- Usar herramientas de paso variable o con tecnología activa de amortiguación (como las Silent Tools de Sandvik).

En este proyecto se estudia los efectos de este fenómeno ya que condiciona el diseño y operación de la maquina en los siguientes aspectos:

- Geometría de la estructura ya que esta define la frecuencia natural.
- Posición y cantidad de masa a agregar para extinguir las vibraciones que disipará su energía cinética mediante la fricción entre las moléculas.
- Tolerancias adecuadas en las partes rotativas (Husillo y tornillos de bolas) para que las vibraciones obtenidas por las excentricidades de ellas sean lo suficientemente pequeñas y no originen problemas.
- Seleccionar la velocidad del husillo y número de dientes de la herramienta que generen vibraciones cuya frecuencia esté lo más alejada de la natural del sistema.

### 3.2.1. Amortiguamiento de vibraciones

El amortiguamiento o (fricción interna) es el fenómeno por el cual se disipa energía mecánica en un sistema en forma de calor. La magnitud del amortiguamiento determina la amplitud de la vibración en la resonancia y el tiempo de persistencia de la vibración después que culmina la excitación.

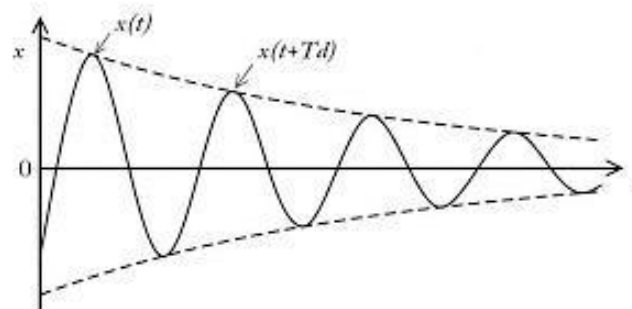


Figura 3.11: Caída de amplitud en movimiento amortiguado

Los diferentes factores que contribuyen a la reducción de las vibraciones son:

1. **Material:** Los materiales disipan energía cinética a través de micro movimientos entre sus moléculas. Las cavidades se pueden rellenar con arena o esferas metálicas, pero es preferible usar materiales sólidos de relleno como el concreto ya que además de amortiguar las vibraciones, aumenta la rigidez.

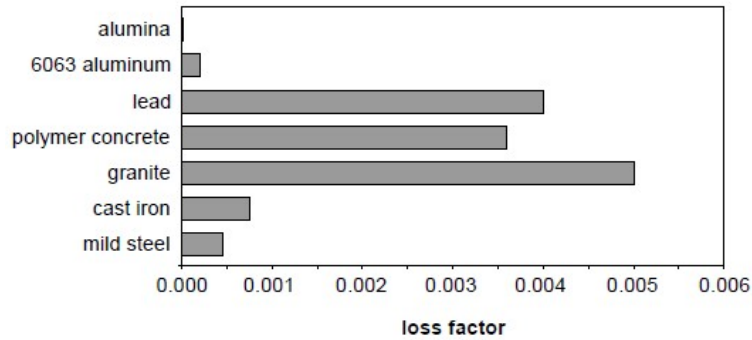


Figura 3.12: Coeficiente de pérdidas según el material

2. **Uniones:** Los micro movimientos entre las uniones atornilladas y los rodamientos o guías lineales engrasados también disipan la energía de las vibraciones.

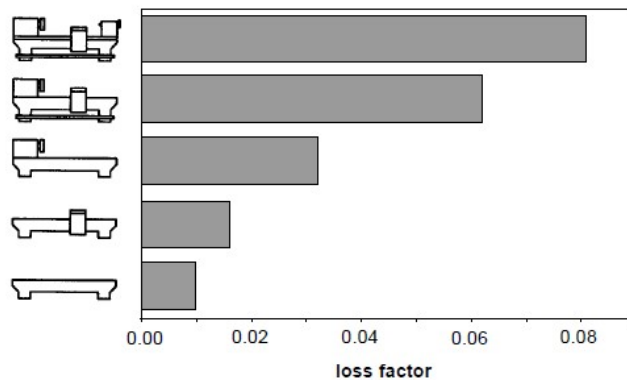


Figura 3.13: Coeficiente de pérdidas según cantidad de uniones

3. **Constrained layer (CLD):**

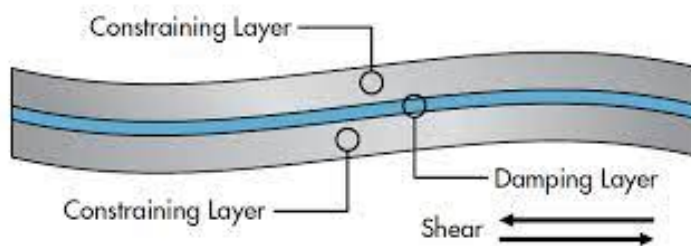


Figura 3.14: Sección con la capa viscoelástica y las que la restringen

Es un método mediante el cual se añade una capa de material viscoelástico entre la unión de dos piezas. Cuando las vibraciones se transmiten entre las piezas, pasan por esta capa generando esfuerzos de corte y disipándose como calor.

Para nuestro caso, en donde las uniones entre los diferentes subconjuntos posee algún tipo de regulación para el escuadrado final (ver en sección 3.7.3), el espacio entre ellos se rellenará utilizando una resina epoxi con polvo metálico que hará de material viscoelástico y contribuirá a la disipación de las vibraciones.

### 3.3. Estabilidad dimensional

Una máquina herramienta debe tener repetibilidad, para esto su geometría debe ser invariable, pero al estar en funcionamiento por la fricción entre los componentes se produce calor, el cual provoca que los cuerpos se dilaten.

Esto tiene como consecuencia que si le indicamos a la máquina que se mueva a una posición determinada, esta no será la misma cuando se comienza a usar y se encuentra a temperatura ambiente, que luego de un tiempo de uso y se llega a una temperatura operativa.

La variación de las dimensiones respecto a su temperatura son cuantificadas mediante el coeficiente de dilatación lineal  $\alpha$ , propio de cada material. Este se encuentra en tablas expresado en  $\mu m/K$  y vincula la variación de longitud con la de temperatura con la ecuación inferior.

$$\frac{(l_f - l_0)}{l_0} = \alpha \times (T_f - T_0)$$

A menor valor de  $\alpha$ , mejor sería su estabilidad dimensional.

- Acero estructural:  $\alpha = 12 \mu m/K$
- Fundición gris:  $\alpha = 11 - 15 \mu m/K$
- Cemento Portland:  $\alpha = 8 - 12 \mu m/K$
- Aluminio:  $\alpha = 24 \mu m/K$

Las diferentes estrategias que podemos ejecutar para solucionar este problema son:

- Refrigerar la estructura y componentes para mantenerlos a una temperatura constante (la del refrigerante).
- Si se conoce como se deforma la estructura, se puede censar la temperatura de la máquina en múltiples puntos y compensar digitalmente la trayectoria en el control CNC.
- Utilizar materiales con un bajo  $\alpha$ .
- Utilizar una geometría con la que se deforme menos ante las dilataciones. Por ejemplo, en una estructura en C se cierra o abre con las variaciones de temperaturas (figura 3.15), generando deformaciones mucho más notorias que en una con un puente, en la que la deformación es simétrica y se contrarresta.



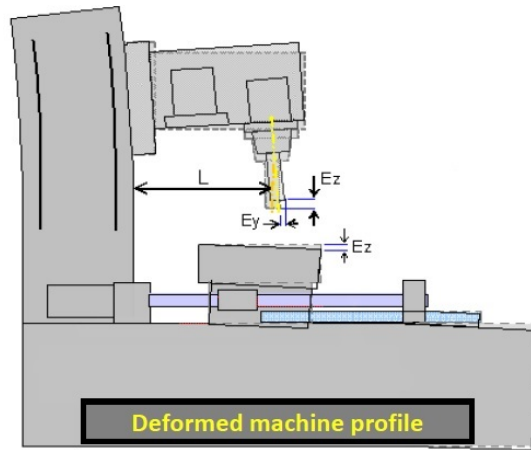


Figura 3.15: Deformación de estructura en C

Para este caso utilizaremos las últimas dos estrategias, utilizando materiales que no tengan un valor alto de  $\alpha$  y aplicando una estructura con un puente. Las dos primeras estrategias son complejas y económicamente inviables para este proyecto.

### 3.4. Cinemática

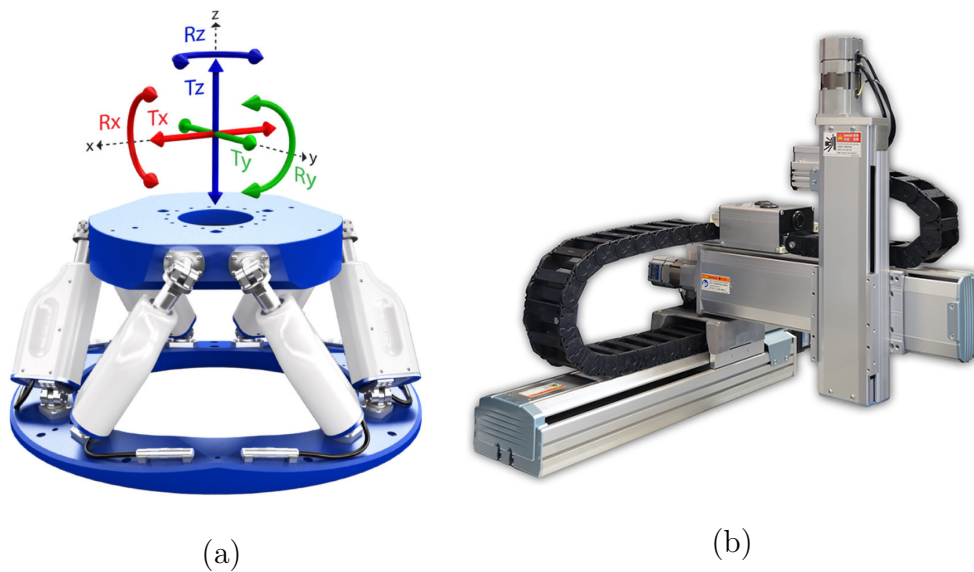


Figura 3.16: a) Hexápodo (6 ejes en paralelo) ; b) Robot cartesiano (3 ejes en serie)

La cinemática es la rama de la física que estudia el movimiento sin importar sus causas, pero para el caso de la máquina herramienta nos referimos a como están ubicados los distintos eslabones (subconjuntos) de la cadena cinemática. Esto es necesario para saber cuanto debe girar cada motor de cada eje para mover a la herramienta dentro del volumen de mecanizado en la trayectoria que programamos.

La disposición de los eslabones puede ser en serie, el inicio de uno está conectado con el fin del otro, como en la figura 3.16(b), o en paralelo, como la figura 3.16(a).

Para el caso de la en serie, cada eslabón debe soportar las cargas impuestas por los eslabones más cercanos a la fuerza externa y el error de posicionamiento es aditivo, ya que un posicionamiento inexacto afecta a los demás eslabones de la cadena.

La otra opción es la cinemática en paralelo donde la carga externa se reparte entre los eslabones y los errores se suman en lugar de promediar pero la desventaja principal es la acotada traslación y rotación del efector, por lo que en las máquinas herramientas se usan una combinación de ambas.

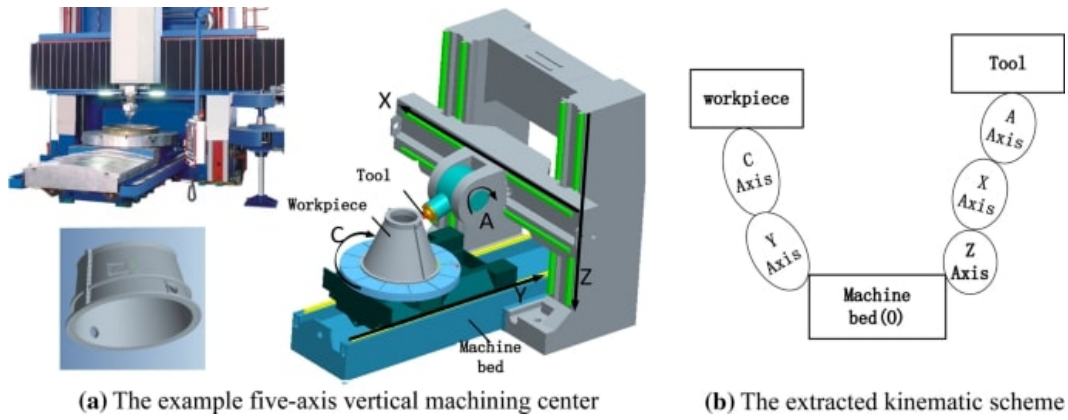


Figura 3.17: Cinemática de fresadora de 5 ejes

### 3.5. Estructura seleccionada

Considerando lo explicado anteriormente, en esta sección se describirá la estructura diseñada, brindando tanto las ventajas, sacrificios necesarios y sus respectivos cálculos y análisis que lo fundamentan.

#### 3.5.1. Geometría de la estructura adoptada

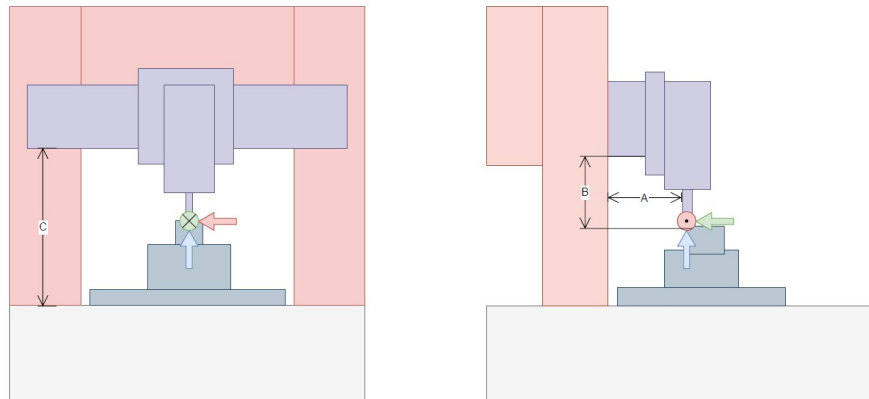


Figura 3.18: Vista lateral y frontal simplificada de la estructura

En la figura 3.18 se puede ver una representación simplificada del diseño de la estructura adoptada, el cual toma inspiración en las máquinas de doble columna que se pueden ver en la figura 3.20(b). En nuestro caso el movimiento en el eje Z (el vertical) es realizado por el puente móvil (en violeta en la fig 3.18), a lo largo del cual se desplaza el husillo en el eje X. Todo esto lo soporta un puente fijo (en rojo), compuesto por dos columnas vinculadas entre si por un travesaño.

El material a mecanizar está fijo a la mesa de trabajo que se desplaza en el eje Y.

Tanto la mesa como el puente fijo se unen a una base que se encuentra elevada a una altura cómoda para el operario mediante un armazón metálico que a la vez sirve de soporte del cerramiento y de la batea colectora de virutas.



(a): Fresadora industrial Hurco



(b): Fresadora liviana Tormach

Figura 3.19: Estructuras en C

Con el diseño monolítico del puente fijo (figura:3.20(a)) obtendríamos ventajas, como mayor rigidez, menos superficies a mecanizar (aquellas que vinculan las piezas), más fácil de instalar y escuadrar. Pero con el diseño del puente móvil, que es poco común, posee más piezas y es más complejo obtenemos las siguientes ventajas si lo comparamos con el de una pieza o un diseño convencional en C (fig: 3.19):

- Se reducen pesos de cuerpos móviles con lo que se puede lograr mayores aceleraciones, como se explica en la sección 3.5.2.
- Aumenta la distancia entre las guías del eje Z, que se encuentran en los pilares y no están limitadas al ancho del carro como en la figura 3.20 (a) o de la columna como en la fig 3.19.
- La garganta (cota A en fig 3.18) no condiciona la carrera del eje Y como en el diseño en C, por lo que podemos minimizarla para reducir el brazo de palanca de las fuerzas de corte sobre las columnas.
- Mientras más alto sea el puente, aumenta la distancia C, por lo que mayor será el momento actuante sobre la unión entre pilares y base. Al desplazarse el puente móvil en el eje Z, este siempre va a estar lo más abajo posible, contrario a cuando se utiliza un puente fijo (fig 3.20(a)) que por su diseño siempre estará a la altura máxima.
- La distancia B es fija y menor que la que se da en el diseño de puente fijo cuando el eje Z está cercano a la mesa.
- Las dimensiones generales de la máquina son menores al compararlas con una con estructura en C de un volumen de trabajo similar.

Mientras que las desventajas que posee son:

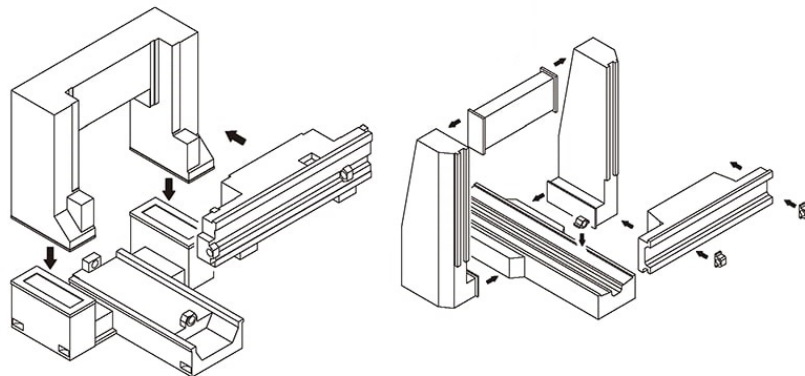
- Se necesita de doble motor y tornillo en el eje Z, lo que eleva los costos y cantidad de piezas.
- Un puente con varias piezas es menos rígido que aquel que es solo una (ver fig: 3.20(c)). Aunque este último requerirá de una máquina mas grande para mecanizar las superficies de vinculación.
- Mayor inercia en el eje Z, lo que implicará menores aceleraciones, pero esto se compensa en parte al tener dos motores como se lo explica en la sección 3.5.2.
- En el caso de utilizar un husillo de gran masa (como un conjunto motor husillo con ATC), el peso de este conjunto afectará al eje Z pero también al eje X, algo que no sucedería si la estructura fuese en C.



(a): Puente fijo



(b): Puente móvil



(c): Puente fijo de una pieza (monolítico) vs múltiples

Figura 3.20: Estructuras de doble columna

### 3.5.2. Cinemática adoptada

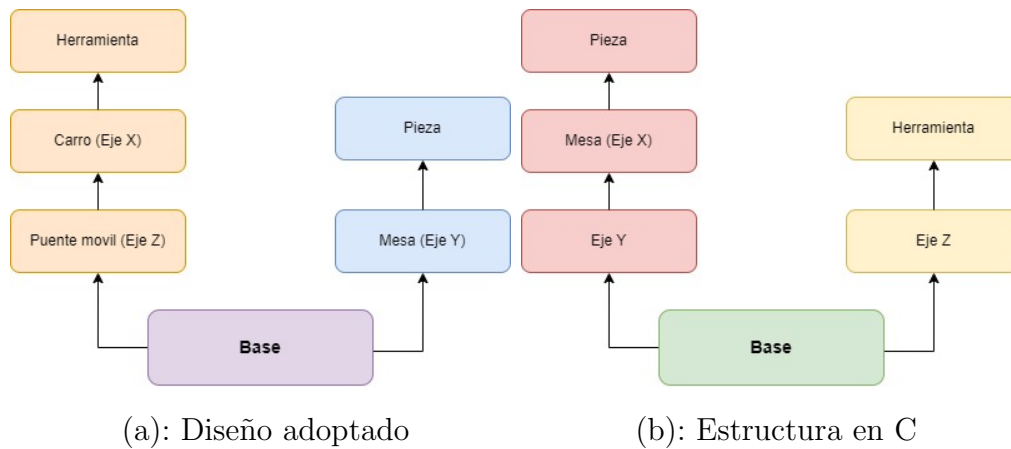


Figura 3.21: Esquemas cinemáticos

En nuestro caso tenemos dos ramas, una con para el CNC el eje Z esta en serie con el X, y el Y esta solo. Ambas ramas están en paralelo.

Se adopto esta disposición ya que los ejes que se deben mover mas rápido son el X y el Y. Esto es debido a que la mayoría de operaciones son 2.5D, mecanizando uno o varios planos paralelos al plano XY, y el eje Z mueve la fresa entre ellos. En el caso de taladrado, donde trabaja solo el eje Z, no se requieren grandes velocidades de avance en Z y si bien los ciclos con retracciones para la rotura y evacuación de viruta serán más lentos, es un sacrificio aceptable.

Con la cinemática adoptada, tanto el eje X como el Y, al ser los últimos eslabones de cada rama, no deben cargar con la masa de otro eje para realizar su movimiento. La contra es que el Z debe mover todo el puente, lo que reduce las aceleraciones y velocidades que puede alcanzar pero como el eje Z está accionado por dos motores, esto no lo afecta tanto.

Como el puente esta constituido de por varias piezas, no se posee tanta rigidez como al tener un puente sólido, pero la distancia entre la recta de acción de las fuerzas actuantes en el plano XY, y el puente es fija e independiente de la carrera en el Z, como se puede ver en la cota B de la figura 3.18.

### 3.5.3. Materiales adoptados

Para la máquina se optó por una estructura compuesta realizada mediante perfiles o piezas realizadas en chapa de acero, normalmente rellenos de hormigón con refuerzos en su interior.

#### Hormigón reforzado con fibras

Se seleccionó el hormigón por diferentes motivos:

- Costos: El costo de tanto el hormigón como el tablero de melamina con el que se hacen los moldes es económico.
- Facilidad de fabricación: El material empleado posibilita la fabricación de las piezas sin la necesidad de recurrir a una fundición. Solo se necesita recipientes

donde realizar la mezcla del hormigón y sierras con la que cortar las maderas que forman los moldes.

- Absorción de vibraciones: Por los motivos explicados en la sección 3.2.1.

Si bien en un principio se pensaba usar fibras de acero, al hablar con conocedores en el tema se llegó a la conclusión de que usar un hormigón de alta resistencia reforzado con fibras de vidrio sería suficiente.

Las fibras de acero para nuestra aplicación las siguientes desventajas.

- No son fáciles de conseguir alternativas comerciales y en la zona no hay gente que las haya usado para tener opiniones al respecto
- Las fibras del mercado son aptas para el uso civil en estructuras grandes, pero para piezas como las de la máquina, cuyas dimensiones son sustancialmente menores y poseen múltiples refuerzos, estas fibras no se distribuirían homogéneamente por lo que no se obtendría un material isótropo como se buscaba.
- Refuerzos como malla electro soldada son mas sencillos de aplicar para nuestro caso.
- La fabricación casera de las fibras posee incertidumbre ya que sus propiedades no están respaldadas por ensayos de laboratorio hechos por empresas especializadas en el tema.

Por el contrario, las de vidrio, si bien su resistencia es menor que las de acero, poseen las siguientes ventajas:

- Son fáciles de conseguir comercialmente y a costos razonables.
- Están disponibles en pequeños tamaños por lo que se pueden mezclar en el hormigón obteniendo una distribución homogénea.
- Ayudan a contener la formación de micro-fisuras durante el curado y durante la puesta en servicio de la pieza.

### Chapas y perfiles de acero

Las partes de acero son mecanizadas para generar las superficies acordes para vincular guías lineales, bloques de tornillos de bolas y los diferentes subconjuntos. Esto debe hacerse para poder obtener las tolerancias geométricas buscadas en la máquina, que afectarán a las de las piezas fabricadas con ella. Además, hay piezas que por sus espesores o volúmenes no pueden o no es necesario hacerlas o rellenarlas con hormigón.

## 3.6. Subconjuntos

En esta sección se mostrará el diseño de algunos de los subconjuntos que se enumeran en la figura inferior y se pueden ver simplificados en la figura 3.47.

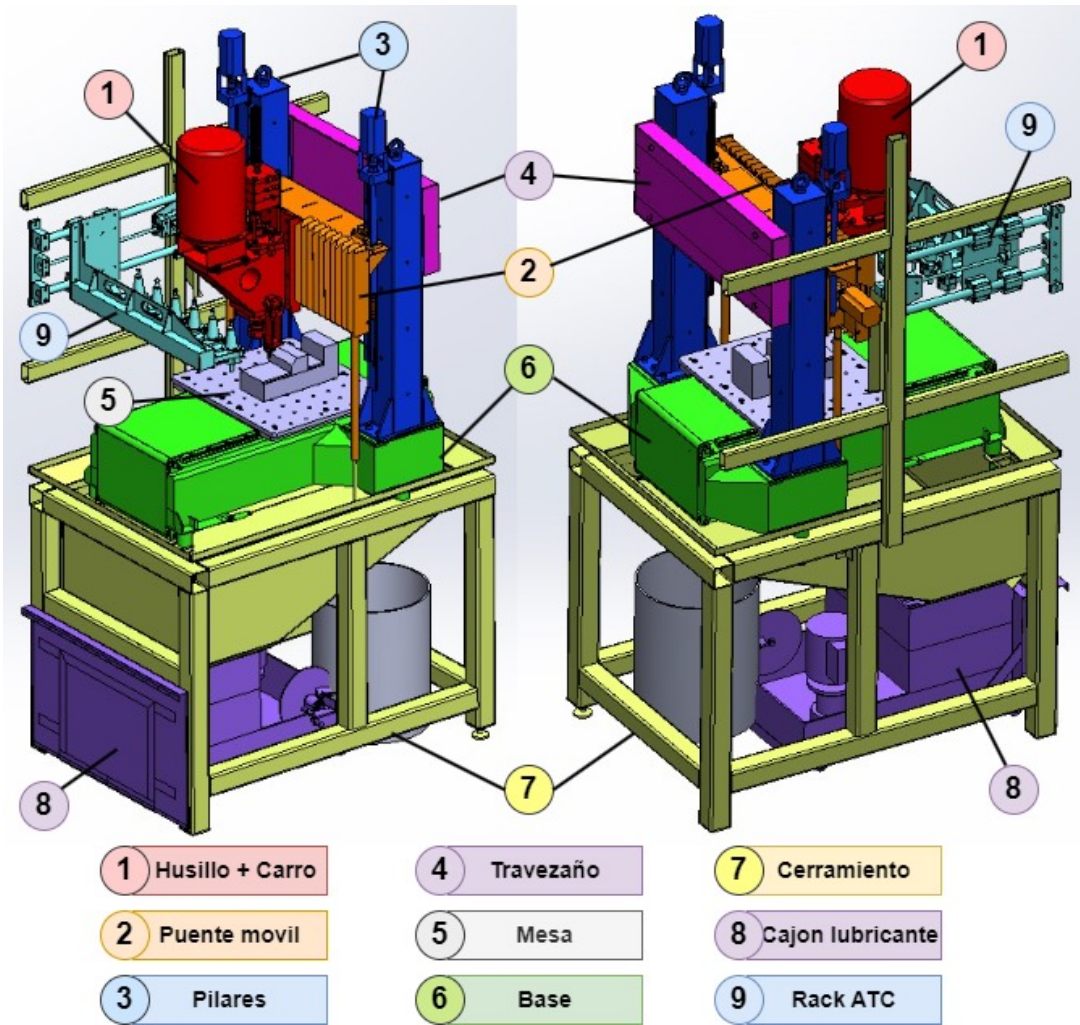


Figura 3.22: Subconjuntos enumerados

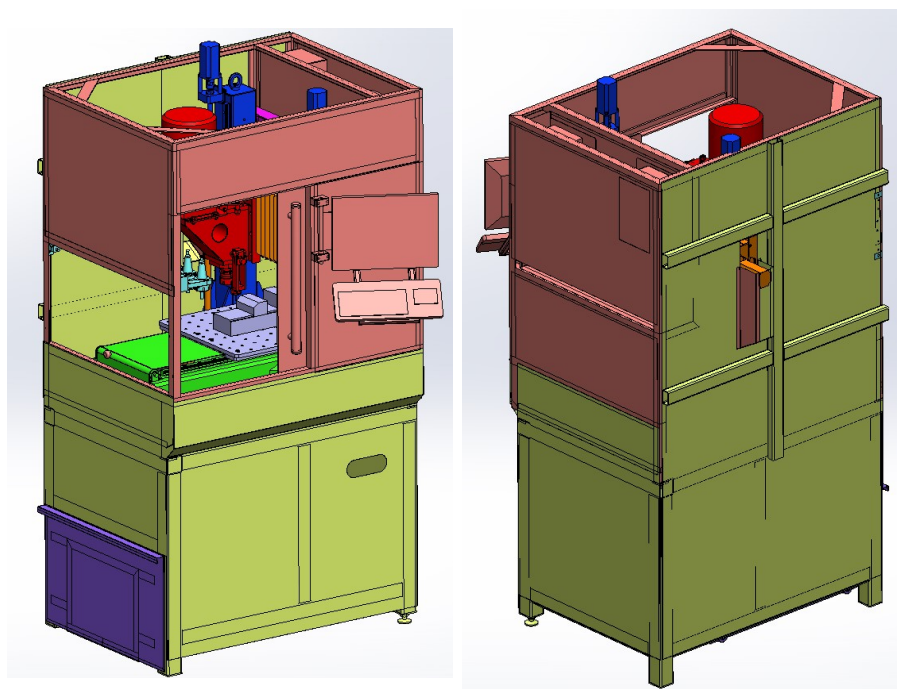


Figura 3.23: Máquina con cerramiento completo



### 3.6.1. Carro

Se encuentra dentro del ítem 1 en la figura 3.22 y es aquel que soporta al husillo, sea un electro husillo o un motor-husillo, ambos explicados en el capítulo 6.

Consiste básicamente en una chapa con unos refuerzos laterales donde se montan los extremos de los fuelles que cubren las guías del eje X para su protección. También posee los agujeros necesarios para el montaje de los patines y el soporte de la tuerca del eje X.

Las fuerzas del mecanizado afectan poco la estructura ya que se transmiten directamente desde los patines a su par cinemático adyacente (el puente móvil).

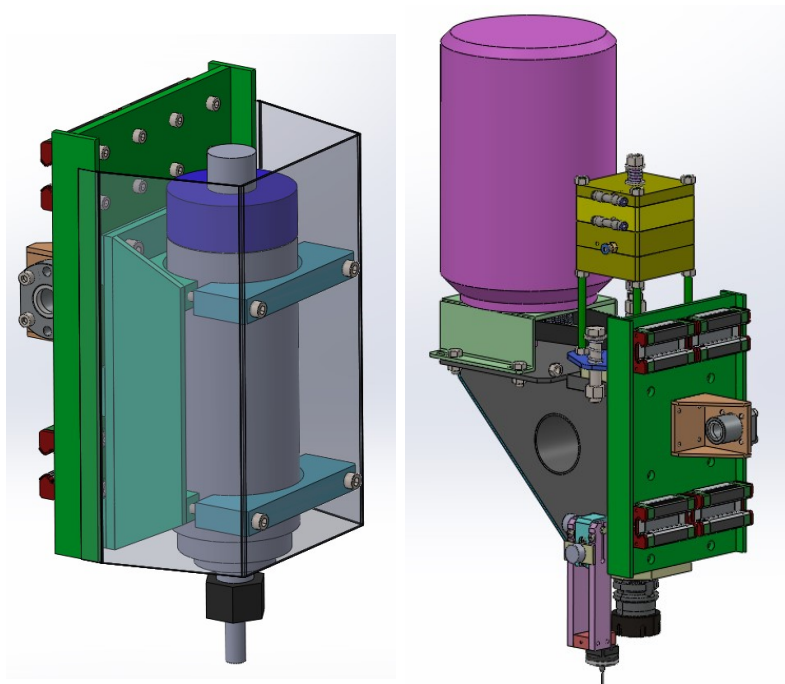


Figura 3.24: Carro con las variantes de husillo

### 3.6.2. Puente móvil

Item 2 en la fig 3.22. Es aquel que contiene al eje X y se eleva y desciende siendo el eje Z.

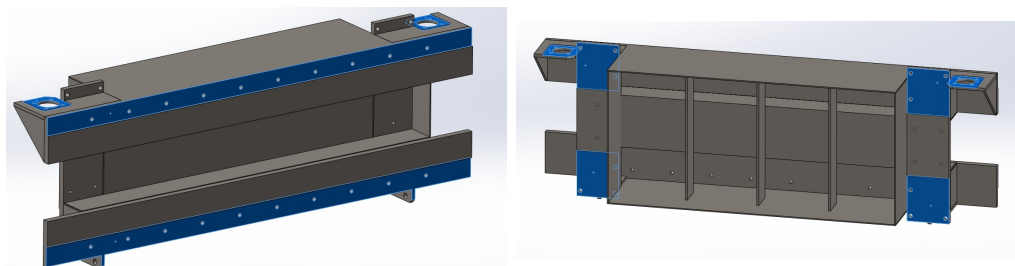


Figura 3.25: Superficies a mecanizar en puente móvil

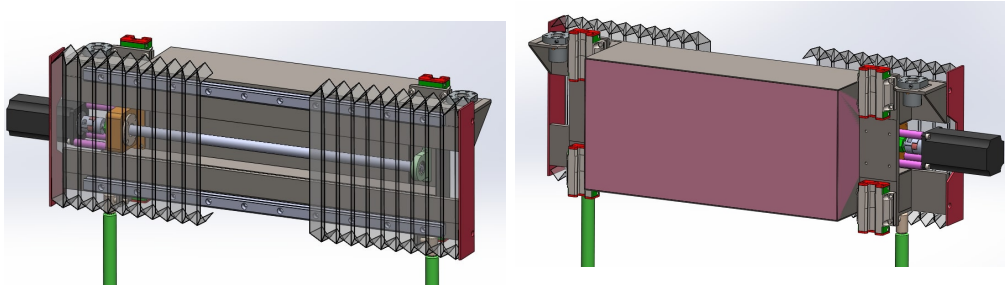


Figura 3.26: Puente móvil con accesorios

Posee sollicitación compuesta de torsión y flexión. La distribución de las cargas, por lo tanto su efecto en la estructura, dependerá de la posición del carro pero solo se analizará con el carro en el centro, la cual es la más crítica.

El movimiento del puente está accionado por los dos motores paso a paso. Pero al ser vertical, y tener el conjunto una gran masa, la gravedad ejerce una fuerza  $F_g = m \times G$  considerable que facilita el movimiento descendente pero se opone al ascendente. Para igualar los esfuerzos que hacen los motores podemos usar dos alternativas:

- Contrapeso: Es un conjunto de masa similar al que se quiere mover y se vinculan con cadenas. La fuerza ejercida por la gravedad en el contrapeso se transmite por la cadena y se opone a la del peso del conjunto a mover, reduciendo la fuerza resultante. En la figura 3.19(a) se puede observar en la parte superior de la columna las cadenas y los piñones que las guían desde la parte frontal a la posterior, donde se encuentra el contrapeso.
- Resortes de gas: Estos ejercen una fuerza prácticamente constante a lo largo de toda su carrera. La fuerza que ejercen está dada por la presión con la que se carga el cilindro, la cual se le pide al proveedor. Los hay de diferentes dimensiones según las cargas a soportar.

Por limitaciones de espacio y para simplificar el diseño se optó por usar dos resortes de gas, fijados en cada extremo del puente y la base como se puede ver en la figura 3.22. Cada uno ejerce una fuerza de 280 N por lo que sumados serían 56 Kg aproximadamente, lo es similar al peso del puente móvil con un husillo de 2,2 Kw (54 Kg) y un poco menor si se usa un un motor husillo con ATC (70 kg). Ambas opciones son explicadas en detalle en el capítulo 6.

### 3.6.3. Puente fijo

Compuesto por los dos pilares (Item 3) y el travesaño que los une (Item 4). Está realizado en múltiples piezas por los motivos explicados en 3.5.1.

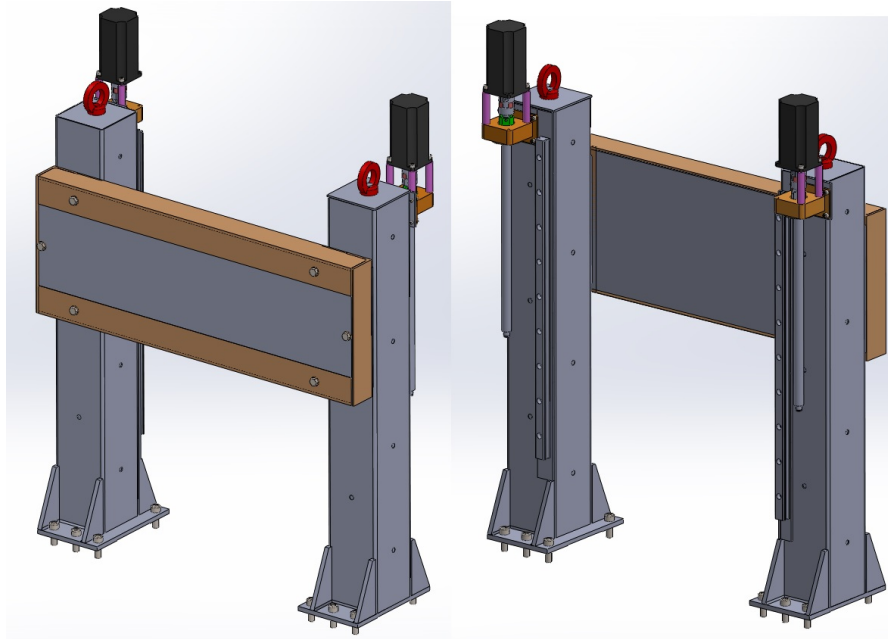


Figura 3.27: Puente fijo

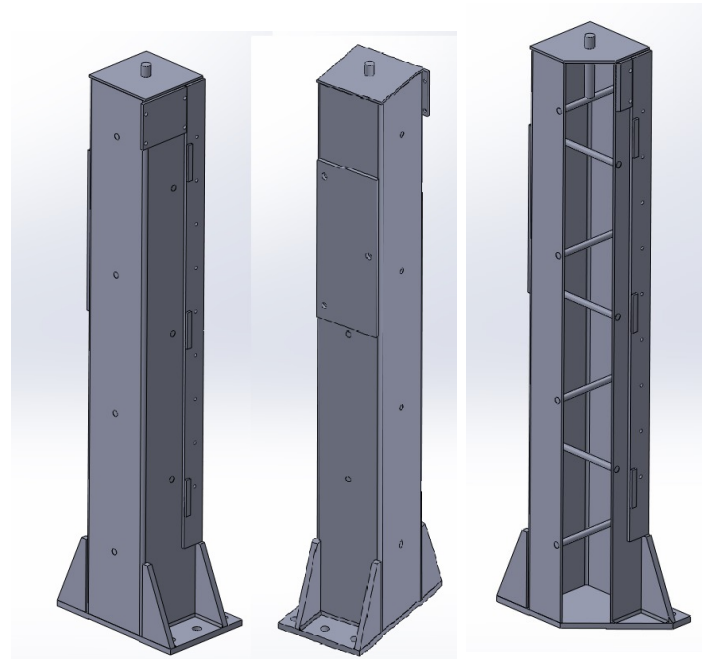
## Pilares

Hay dos pilares, siendo el de la izquierda (extremo negativo eje X) el maestro, es decir, el que determinara la posición del de la derecha, el esclavo. El primero posee un borde de referencia al igual que los demás ejes. Este borde sera mecanizado lo mas perpendicular posible a las caras que fijan al pilar con la base.

El componente estructural principal es un caño cuadrado de 100x100 mm sobre el cual se sueldan chapas y planchuelas para la base con nervios de refuerzo, la tapa superior y las superficies de vinculación con la guía lineal, el travesaño y el bloque fijo.

En su parte interior esta relleno de hormigón lo que aumenta su resistencia y capacidad de absorción de vibraciones. Posee unos refuerzos en su interior, como los de la figura 3.27(b), que generan un hormigón armado.

La secuencia recomendada de mecanizado de las superficies se explica en la sección 3.7.2 y se puede ver en la imagen 3.42.



(a): Caño pilar

(b): Refuerzos interiores

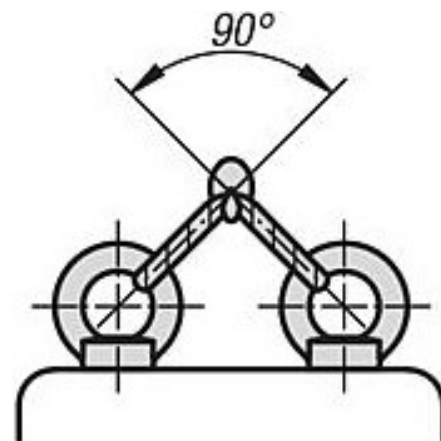
Figura 3.28: Pilar puente

Las superficies a mecanizar son donde se fija el riel para el eje Z, el bloque fijo del tornillo de bolas y el travesaño que vincula ambos pilares.

En la parte superior de cada pilar hay una varilla roscada soldada y anclada en la cual se enrosca un cáncamo hembra definido por la norma DIN 580 (figura 3.28(a)) para poder elevar la máquina para su traslado. Se seleccionaron con rosca M12 que resisten 3400 kg cada uno si la carga es en dirección del eje del tornillo o 2400 Kg para el caso que se ve en la figura 3.28(b), por lo que su resistencia es mas que suficiente para levantar los 650 Kg que pesa aproximadamente la máquina.



(a): Cáncamos din 580 macho y hembra



(b): Fuerzas a 45°

Figura 3.29: Cáncamos

### Travesaño

Es básicamente un prisma relleno de hormigón reforzado con una malla metálica y en su exterior con ángulos de acero donde se mecanizan las superficies de contacto.

Completa el puente fijo al vincular los dos pilares y aumenta su rigidez. Las superficies mecanizadas (azules de figura 3.30) están en un mismo plano, lo cual significa que al vincular ambos pilares las superficies de montaje de las guías también lo estarán.

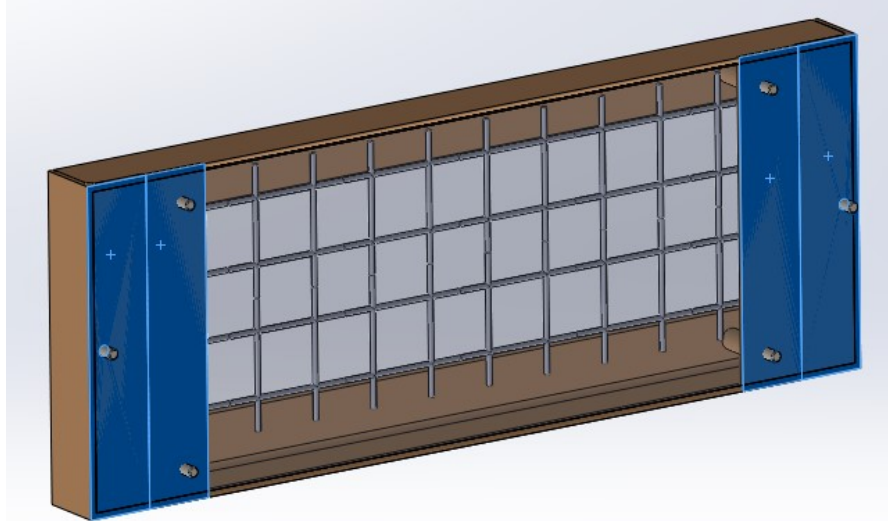


Figura 3.30: Puente fijo

### 3.6.4. Mesa

Corresponde al ítem 5 y cumple la función de fijar la pieza a mecanizar o dispositivo con el que se sostiene la o las piezas. Esto se hace con alguno de los métodos explicados en la sección 2.2.2. Se desplaza en dirección del eje Y.

Se optó por usar una chapa laminada en caliente de 1/2" en acero de bajo carbono. Al igual que la del carro se le mecanizan las superficies de contacto con los patines y el soporte de la tuerca así como los agujeros para su fijación.

Como medio de vinculación de los diferentes accesorios y la pieza en si se optó por usar una matriz de agujeros roscados ("Fixture plate" en figura 2.3(b)) en vez de la tradicional ranura en T (fig: 2.3(a)). Esto es principalmente por facilidad de fabricación y simplicidad en el diseño.

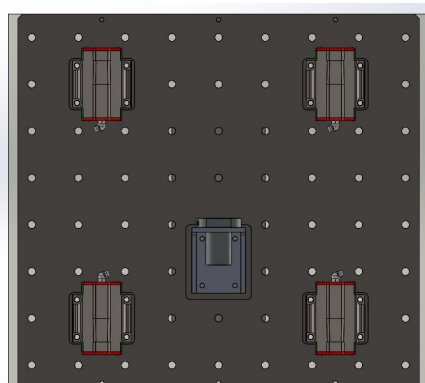


Figura 3.31: Vista inferior de la mesa

### 3.6.5. Base

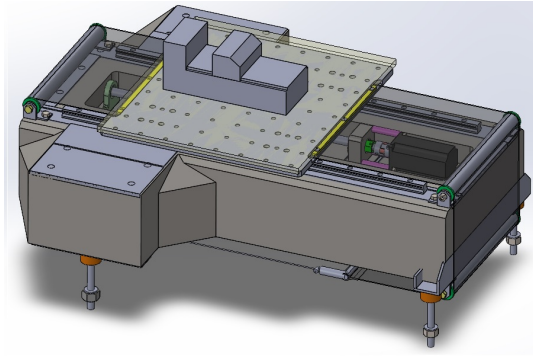
Sería el ítem 6 y es el eslabón de la cadena cinemática con el cual se vinculan las dos ramas que están en paralelo, el eje Y (mesa) con el eje X y Z (Puentes y carro), como se observa en la figura 3.21(a).

Como es estático se le puede agregar masa sin que afecte negativamente al conjunto. Esto aumenta la frecuencia natural de las vibraciones y las disipa mejor. En el nuestro caso llega a los 140 Kg aproximadamente.

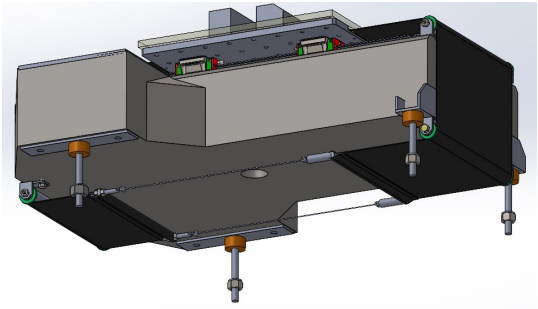
Por las posiciones de montaje al armazón nos permite poner una cinta cobertora de las guías lineales y tornillos en vez de un fuelle. Este último cuando se comprime necesita un espacio que con la cinta no lo usamos, por lo que se reducen las dimensiones de la máquina.

En la imagen 3.32(c) se puede ver el armazón de acero que compone la base con las superficies que se mecanizan luego de curarse el hormigón. Estas deben estar en dos planos paralelos siendo las dos superficies pequeñas centrales los apoyos para el tornillo de bolas mientras que el resto son donde hacen contacto las guías lineales y los pilares.

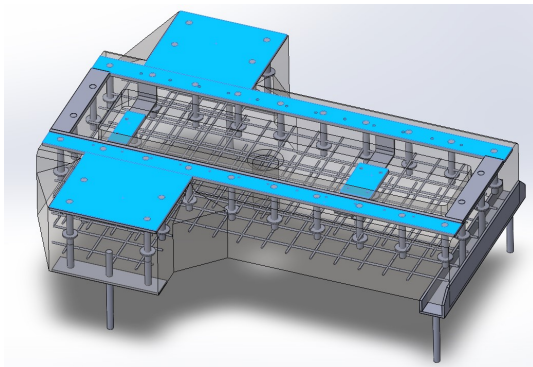
Para darle la forma al cuerpo de hormigón utilizamos un molde como el de la figura 3.32(d). Este está hecho con tablero de MDF revestido con melamina, por donde no puede pasar la humedad y deja buen acabado en las paredes ya que es liso. Las juntas son selladas con silicona para que no pierda agua la mezcla, lo que afecta negativamente su proceso de curado y además el MDF se hincha al tomar contacto con ella.



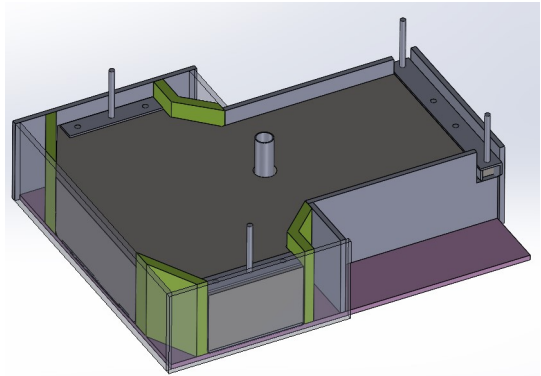
(a): Eje Y - Vista superior



(b): Eje Y - Vista inferior



(c): Armazon base



(d): Molde de cemento para base

Figura 3.32: Subconjunto base y mesa

### Bordes de referencia

En la imagen inferior se ve la base con el riel maestro (ver mas en la sección 4.3) que posee un lateral en contacto con unas protuberancias de la base (en color azul) definiendo la dirección del eje Y. Estas son generadas mediante la adición de material mediante soldadura (luego mecanizado) para no tener que remover mucho material de las planchuelas que sirven de soporte de los rieles.

El riel esclavo no necesita este borde ya que su posición es paralela a la del riel maestro y esta se obtiene al montar la mesa con los patines y desplazarla mientras se ajustan los tornillos de las guías.

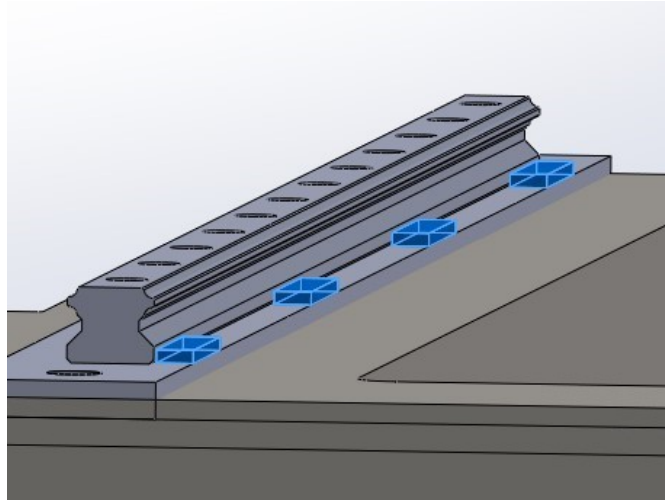


Figura 3.33: Bordes de referencia de los rieles del eje Y

### 3.6.6. Armazón y cerramiento

Para el cerramiento, batea, y gabinete se utilizan chapas galvanizadas porque la chapa negra pintada se le puede salir la pintura y la de inoxidable posee alto costo. En el exterior se pintan con pintura poliuretánica ya que esta es más resistente a los aceites que los esmaltes sintéticos. Además, siendo el interior galvanizado se refleja mejor la luz, mejorando la visibilidad.

Las chapas están agarradas sobre el armazón superior e inferior con remaches y tornillos tipo Parker. Su espesor es de 0.5 mm o calibre 25 y está disponible en hojas de 1220 x 2440 mm (4 pies x 8 pies). Las uniones como la de la batea y el cajón de virutas donde va a haber líquidos se sellan con silicona resistente a los aceites, como por ejemplo Siloc 8500, ya que la protección galvanizada se arruinaría de soldarse.

Podemos separar el conjunto en dos subensamblajes:

#### Conjunto inferior:

La pieza principal es un armazón metálico cuya función principal es la de elevar a la estructura del CNC, pero también sirve de soporte para la tolva que colecta las virutas y las dirige hacia el cajón, cerramiento inferior, balde de refrigerante husillo, etc. Además, en él se fijan las rótulas de los resortes de gas que soportan al puente móvil, ya que por la longitud de estos no se pueden fijar a la base de la fresadora.



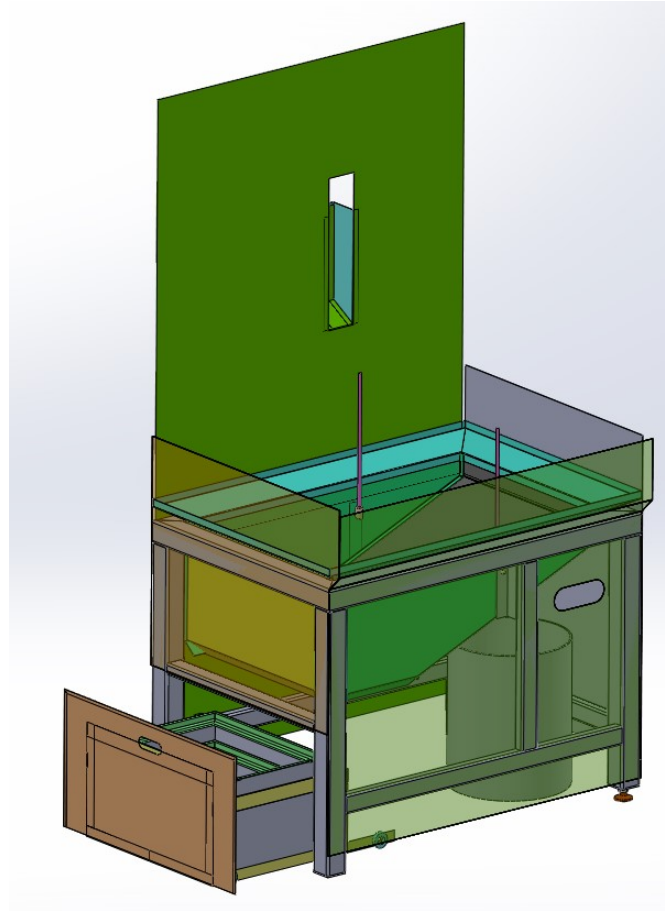


Figura 3.34: Conjunto inferior con cajón de virutas

La estructura de este está hecha de caño cuadrado soldado, sobre el cual se atornillan las chapas del cerramiento y de la batea.

### Conjunto superior:

Se monta por sobre el conjunto inferior y al igual que este último, posee un armazón sobre el cual se montan las chapas del cerramiento, el gabinete de la electrónica, la puerta lateral levadiza, la corrediza frontal y finalmente el soporte con el monitor y teclado. Este se puede observar en la figura 3.36.

Su función, además de la de soporte de las partes mencionada, es la de contener las virutas y lubricante en su interior.

Se plantearon dos diseños, inicialmente se hizo el diseño A (figura 3.35), el cual tomaba como referencia la fresadora Datron Neo que se observa en la figura 3.34(c).

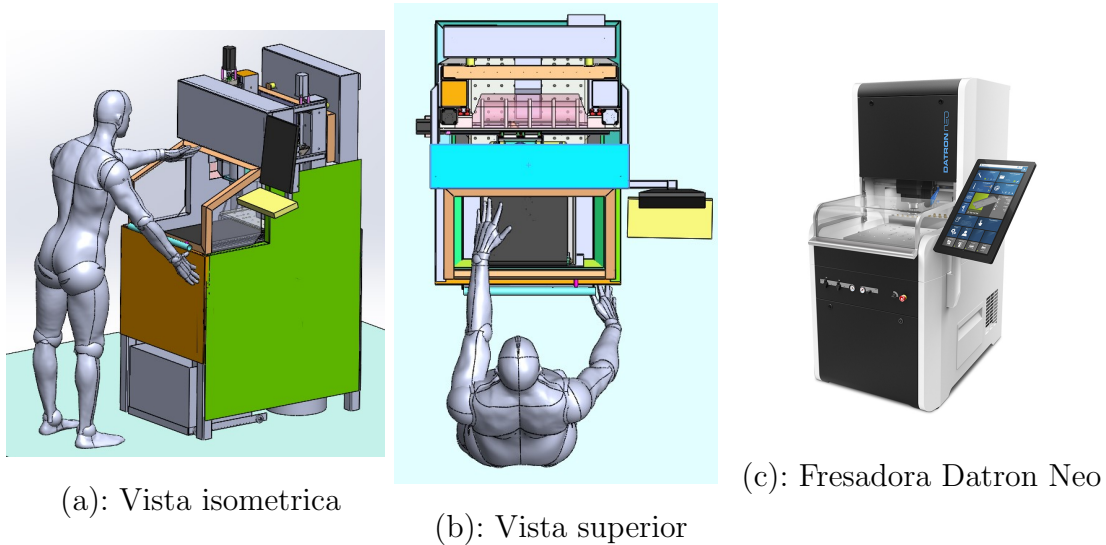
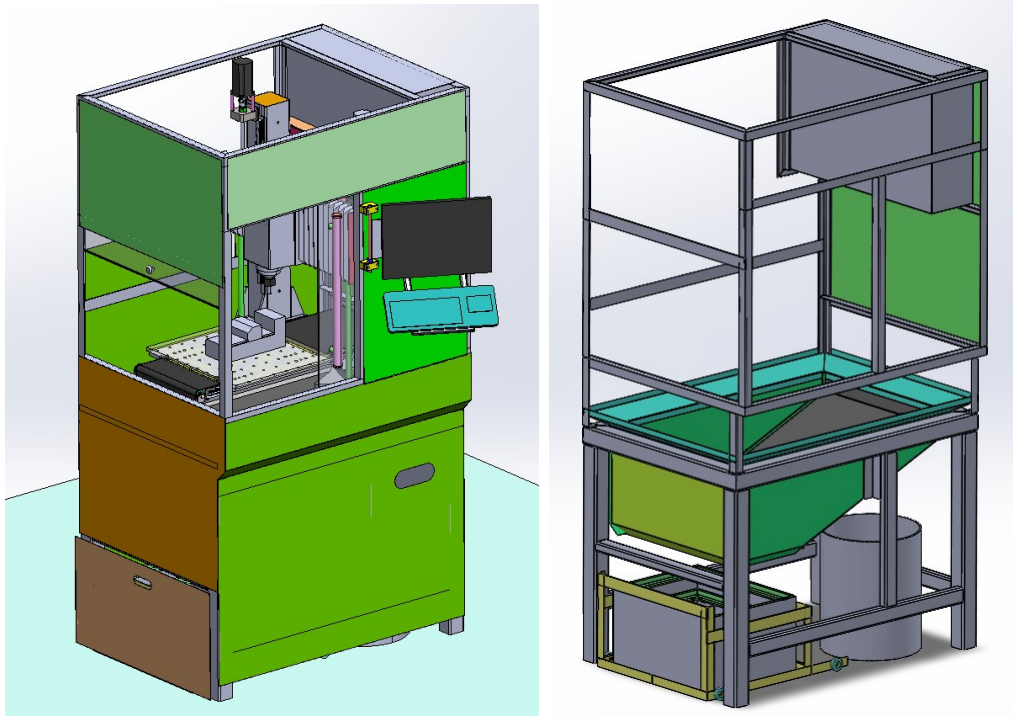


Figura 3.35: Diseño de cerramiento A

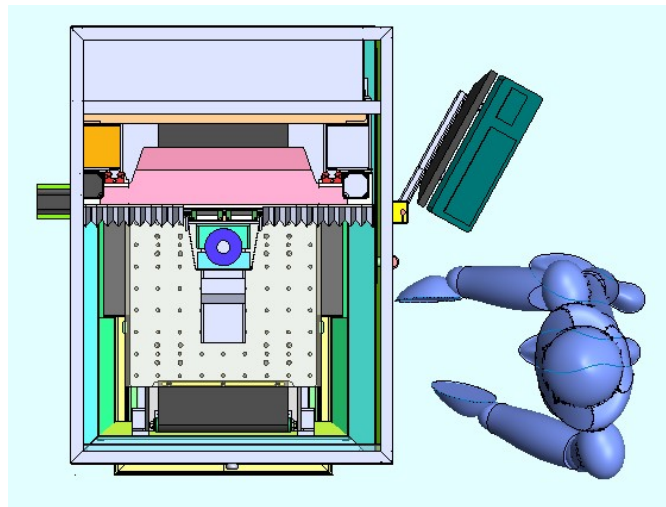
Si bien el diseño A es compacto y cumple muchos de los requerimientos de los subconjuntos planteados arriba, se realizó un segundo diseño B (fig 3.36), en el cual se modifica mayormente el conjunto superior y se realizan diferentes mejoras como ser:

- El gabinete de electrónica posee mejor accesibilidad en el caso que el equipo se posicione adyacente a una pared ya que en el diseño A este se encontraba en la parte trasera y en el B en un lateral.
- Hay espacio libre frente al carro, para poner un motor-husillo en donde el motor se extienda hacia el frente.
- En el caso de situarse al lado de una pared se puede mecanizar piezas de grandes longitudes pasando a través de los dos laterales de la máquina. En uno de ellos hay una ventana levadiza y en el otro un panel removible.
- El monitor con teclado están en una posición más ergonómica y ajustable.
- Resulta mejor estéticamente dando un diseño más sencillo y limpio.



(a): Vista isométrica

(b): Estructura del cerramiento



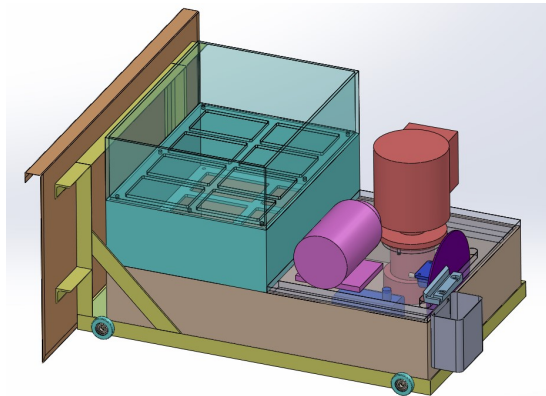
(c): Vista superior

Figura 3.36: Diseño de cerramiento B

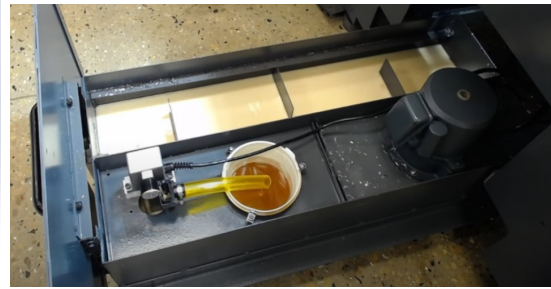
También posee unos paneles de acrílico en los laterales y en una puerta que sirve de contención para el lubricante y las virutas

### 3.6.7. Cajón de virutas

Representado por el ítem numero 8, es aquel donde caen todas las virutas junto con el refrigerante que se utiliza en la máquina. Contiene a la bomba que transporta al lubricante hacia la manguera de lubricante que dirige un chorro hacia la herramienta.



(a): Cajon hidrosoluble



(b): Cajon Tormach

Figura 3.37: Contenedores lubricante

Esta última puede ser una específica para lubricante (figura 3.37(b)) o una de acuario (fig 3.37(a)). Siendo la primera opción la que posee mejores prestaciones pero la última es de un costo considerablemente menor y cumple con el objetivo de llevar el lubricante hacia la herramienta pero con baja presión por lo que el chorro no desalojará viruta.

Para el primero se consideró hacerlo de chapa galvanizada plegada, remachada y sellada en las uniones con silicona resistente a los aceites como en la batea. Pero resulta ser mas simple y económico utilizar contenedores plásticos apilables (ver imagen 3.36(a)), los cuales no tendrán riesgo de corrosión ni perdidas. Además, al ser apilables se puede poner por encima del que contiene el lubricante, otros con agujeros en su parte inferior con mallas para filtrar la viruta.

Se optó por utilizar como cajón el producto de la serie Athena, ofrecido por el fabricante Storage Compat y bomba una de lubricante 1/4 hp del fabricante Ferrari.



(a): Bomba acuario



(b): Bomba para lubricante



(c): Bomba elevadora 0.5hp

Figura 3.38: Bombas

Para poder reutilizar el lubricante y no introducir virutas en la operación de corte, generando desgaste de la herramienta y malos acabados, este se separa de

las virutas previo a ser bombeado con tres tipos de filtros:

- Grueso: Partículas mayores a 1 mm. Es un tejido mosquitero. Retiene las virutas y evita que se tape rápidamente el paño de tela.
- Fino: Partículas menores a 1 mm. Es un paño de tela soportado por una malla metálica gruesa.
- Filtro de tipo cartucho: Se puede observar en la imagen inferior y se utiliza un elemento filtrante de partículas mayores a 50 micrones. Posee un manómetro aguas arriba y otro abajo para poder ver la pérdida de carga y poder saber si hay que reemplazarlo.

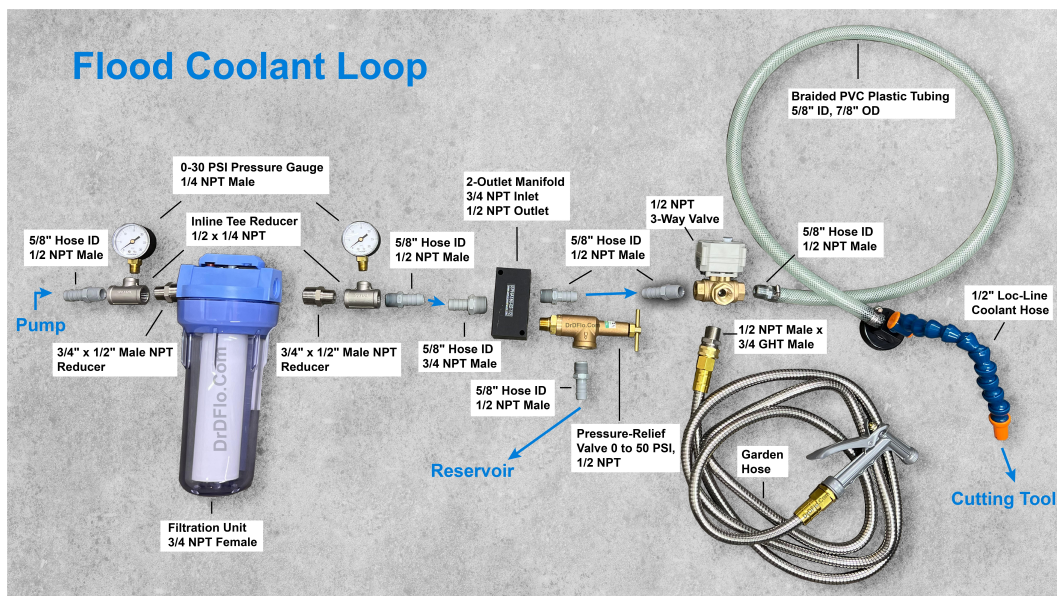
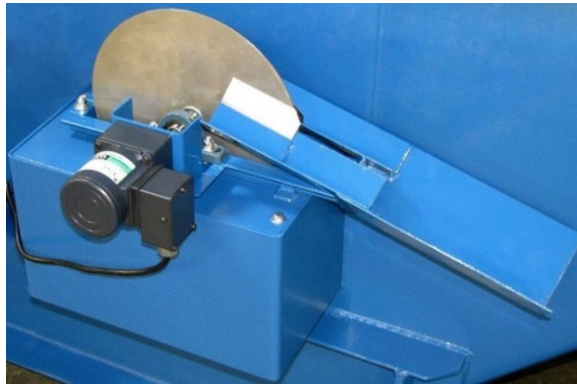


Figura 3.39: Circuito aguas abajo de bomba

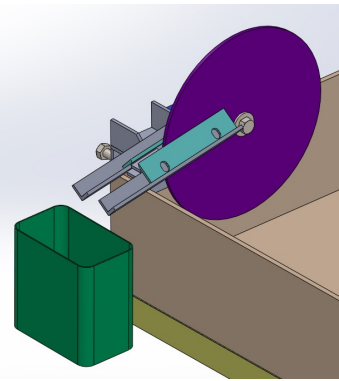
## Remoción del aceite

Desde que se inyecta lubricante hidrosoluble en la pieza hasta que desagota hasta llegar al contenedor, el lubricante se mezcla con aceite proveniente de la lubricación de las guías y tornillos de la máquina, así como también del material que se mecaniza. El problema con esto es que al no mezclarse con el hidrosoluble y al ser más liviano va hacia arriba generando una capa de aceite por sobre el hidrosoluble. Esto promueve el desarrollo de bacterias anaerobias en el hidrosoluble, lo que lo echa a perder en poco tiempo y dando un olor desagradable.

Para solucionar esto se utilizan "skimmers" que remueven el aceite de diferentes maneras, con discos o correas. Estos se utilizan solo unas horas por semana para remover el aceite acumulado en la superficie del lubricante por ese período.



(a): Diseño comercial



(b): Diseño propio

Figura 3.40: Disk skimmers

El principio de funcionamiento consiste en, luego de sumergirse el disco o correa en la mezcla, el aceite se queda adherida al disco o correa mientras que el lubricante se escurece y en la parte superior del dispositivo, mediante raspado, se quita el aceite que quedo en el disco o correa y deposita en un recipiente para su eliminación.

## 3.7. Conjunto general

En la presente sección se mostrarán las relaciones entre los diferentes subconjuntos, las cuales deben darse de tal manera que permita obtener las tolerancias geométricas requeridas en las piezas mecanizadas con el equipo.

### 3.7.1. Montaje

A continuación se mencionaran los pasos para ensamblar la máquina una vez fabricados todos los subconjuntos. El orden no es crucial, pero de respetarlo se facilita el proceso.

1. Comenzamos con el armazón inferior, sin las chapas que forman al cerramiento para mejorar la accesibilidad en los pasos posteriores. Se ajusta el cuarto pie regulable de manera que haga contacto con los otros tres fijos.
2. Se lleva la base a su posición levantándola con una pluma, pasando dos bucles con soga en cada uno de los extremos del conjunto. Se ajustan las cuatro varillas de fijación de manera que el conjunto quede lo mas paralelo al piso posible. El ajuste lo hacemos con tres tornillos y el cuarto se ajusta una vez que se llegó a la posición deseada con los otros tres, sin que haga fuerza sobre el conjunto.
3. Se ensambla el puente fijo sobre la base. Para reducir el peso se monta un pilar, luego el otro y finalmente el travesaño que los conecta. Cada pilar posee una varilla roscada en su parte superior en donde se monta un cáncamo para facilitar su elevación debido a que por su forma es complicado sostener con sogas. Los tornillos se ajustan para mantener los conjuntos unidos pero que permitan su movimiento mediante golpes para su posterior ajuste.

4. Se montan los patines en las guías del eje Z.
5. El puente móvil se vincula con sus patines. Para posicionarlo lo más paralelo posible a la mesa se lo soporta con un taco en el medio y mueve el tornillo de uno de los pilares hasta que la distancia entre puente y mesa sea la misma en ambos extremos. Al tener los dos tornillos independientes este paralelismo se controlará ajustando la posición de los finales de carrera, que habrá dos para el eje Z, uno en cada extremo del puente.
6. Se monta el carro con el husillo en el puente móvil.
7. Ya montados todos los conjuntos se procede con el escuadrado como se describe en la sub-sección inferior.
8. Se monta el armazón superior.
9. Instalación del gabinete electrónica con todos sus componentes.
10. Cableado.
11. Colocación de las chapas cerramiento, puertas, monitor y teclado, etc.

### 3.7.2. Escuadrado

Se refiere al proceso para garantizar que los tres ejes en los que se desplaza la maquina son lo mas ortogonales posible ya que las piezas obtenidas en ella tendrán una perpendicularidad como máximo igual (en un caso ideal) o peor que ella.

La tolerancia de perpendicularidad será, si podemos ajustar los ángulos entre los conjuntos de manera precisa, muy similar a que posee un patrón (escuadra o mármol) y estas están definidas por la norma DIN 875 en diferentes grados como se ve en la imagen 3.43(c).

En la imagen inferior se pueden ver diferentes errores de alineación que se corregirán. El eje Y (desplazamiento de la mesa) se toma como referencia y los otros dos ejes X y Z deben ser perpendicular a este. Los errores son:

- Eje de rotación del husillo (en verde) no perpendicular al plano de la base. Los tres ejes pueden estar ortogonales pero aun así se puede dar este error.
- Puente fijo con rotación respecto al eje Z (figura derecha) ; al eje X (centro) y al eje Y (izquierda)
- Puente móvil, que contiene al eje X, no perpendicular al eje Z (fig izq)

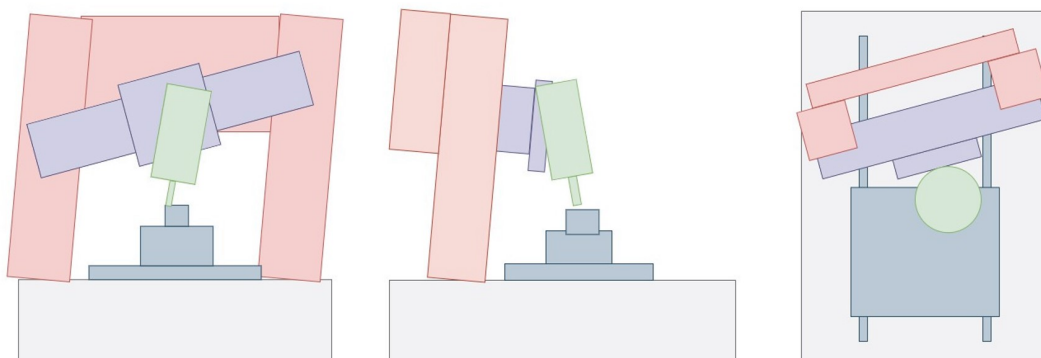


Figura 3.41: Errores de escuadrado en plano XZ (izquierda) ; plano YZ (centro) ; plano XY (derecha)

### Consideraciones previas

Previo al proceso de escuadrado tenemos los conjuntos a escuadrar fabricados que cumplen con lo siguiente:

- **BASE:** Las superficies de contacto de los rieles y la de apoyo de los pilares se encuentran en un mismo plano (en azul en la figura 3.33) .

La tolerancia de planitud dependerá del proceso con el que se generó, pudiendo ser, en orden de peor a mejor las siguientes: Fresado, fresado + rectificado o fresado + rasqueteado (Utilizando en este último un mármol como patrón).

Las superficies que vinculan al bloque fijo y el móvil del tornillo de bolas, se encuentran en otro plano paralelo al mencionado.

- **MESA:** Las superficies de contacto de los patines y el soporte de la tuerca del tornillo del eje Y se encuentran en un mismo plano. Además, el soporte mencionado tiene la superficie de apoyo de la brida perpendicular a la de contacto con la mesa.
- **PUENTE MÓVIL:** Superficies de los rieles se encuentran en un mismo plano que es paralelo a otro que contiene las superficies donde se apoyan los patines del eje Y (en azul en figura 3.25). Estas son perpendiculares a las de apoyo de la brida de las tuercas de los tornillos del eje Z.
- **PUENTE FIJO:** La superficie de la base de los pilares es perpendicular a la de los rieles. Para obtener esto, se realizan los siguientes pasos tomando las referencias de la figura 3.42:

1. Mecanizado superficie B
2. Posiciona superficie B paralela a mesa y se mecaniza D y A
3. Rota pilar 180° posicionando A paralelo a C y se mecaniza E

Posterior al mecanizado se puede ir a un control en un mármol y en caso de obtenerse tolerancias no aceptables, se ajusta el cabezal de la fresadora al rotarlo (tramming head) y se vuelven a mecanizar las superficies.

El proceso de fabricación mencionado hace que las superficies de contacto de los rieles del eje Y se encuentren en un mismo plano una vez ensamblado el puente fijo compuesto por los dos pilares y el travesaño, esto es debido a que las superficies A y B de la figura 3.42 son paralelas y en ambos pilares se encuentran a la misma distancia.

Las superficies de vinculación entre el travesaño y los pilares se encuentran en un mismo plano.



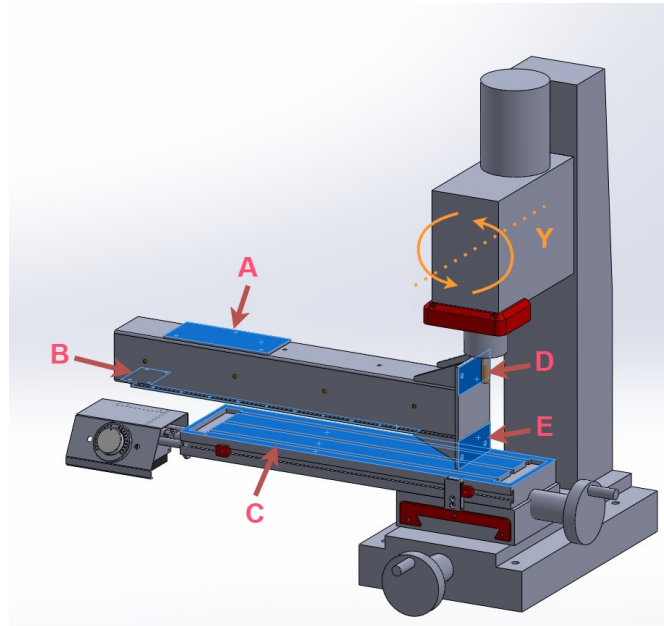


Figura 3.42: Posición fresado pilar

Cabe mencionar que las tolerancias geométricas obtenidas en las superficies de vinculación entre los conjuntos no definirán que tan ortogonales se desplazan los tres ejes de la máquina, ya que el ajuste final se lo da de las maneras explicadas en la subsección inferior llamada regulación pero es importante obtener tolerancias aceptables ya que lo que se puede regular es acotado.

### Pasos a realizar

Se dará una descripción del proceso a realizar para obtener desplazamientos en 3 ejes perpendiculares entre si.

1. **Eje X e Y perpendiculares:** El eje Y, que sería el que se mueve la mesa, se toma como referencia y se ajusta la posición del puente, sobre el que se mueve el carro siendo esto el eje X. Para corroborarlo hacemos lo siguiente:
  - Se posiciona una escuadra sobre la mesa.
  - Fijamos palpador en la base y desplazando la mesa palpamos una cara de la escuadra hasta que este paralela al eje Y.
  - Fijamos la escuadra a la mesa
  - Fijamos palpador en el carro y palpamos la cara perpendicular al eje Y, es decir, paralela al eje X, hasta que no haya variaciones de la aguja en el desplazamiento del carro.
2. **Superficie de mesa paralela al plano XY:** Primero debemos asegurar que el eje X está paralelo al plano de la base, con los tornillos que tienen los patines del eje Y flojos, se ajusta la altura del puente en ambos extremos girando los tornillos manualmente hasta que se apoya el riel inferior con la superficie mecanizada de la base. Los dos espaciadores poseen igual altura. Luego se ajustan los tornillos para fijar la posición.

Posteriormente se mecaniza toda la parte superior de la mesa en la misma máquina obteniendo un plano paralelo al de la base, que a su vez es paralelo al de las superficies de contacto con los patines.

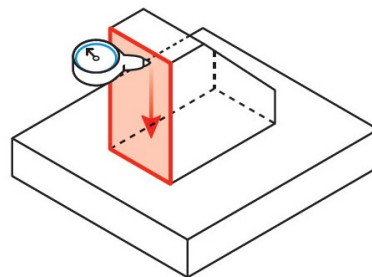
Pero como el eje del husillo no está escuadrado de manera que esté perpendicular al plano XY (Porque no tenemos la superficie de la mesa como referencia) se genera un canal cóncavo donde pasa la herramienta. Para ello reducimos tanto el  $a_e$  como el diámetro de la fresa (no usamos una araña para planear) ya que minimizando estos valores se reduce la profundidad de la concavidad. Una vez realizado el último paso de escuadrar el husillo, se puede dar una pasada final con una fresa de planear para mejorar el acabado.

Previo al mecanizado suponemos que el puente se encuentra relativamente perpendicular en el plano XZ e YZ

3. **Eje Z perpendicular a plano XY:** Se monta un brazo con un comparador o palpador en el puente móvil o carro y se apoya sobre la mesa una escuadra de precisión (fig:3.43(a)). Se desplaza el puente móvil y censa una cara de la escuadra (fig:3.43(b)) y se ajusta el conjunto hasta que no haya variación en la aguja. El proceso lo hacemos palpando una cara paralela con el plano XZ también con el plano YZ.
4. **Eje del husillo perpendicular al plano XY:** Similar al anterior solo que se monta un cilindro en la boquilla del husillo y un palpador fijo a la mesa. Se desplaza el husillo en el eje Z y se ajusta su posición para minimizar la desviación.



(a): Escuadra con sombrero



(b): Palpado de la escuadra

Accuracy grade	00	0	1	2
Tolerance of the angle	$2+L1/100$	$5+L1/50$	$10+L1/20$	$20+L1/10$
L1 (length of the short leg) (mm)	Tolerance accuracy 00 ( $\mu\text{m}$ )	Tolerance accuracy 0 ( $\mu\text{m}$ )	Tolerance accuracy 1 ( $\mu\text{m}$ )	Tolerance accuracy 2 ( $\mu\text{m}$ )
100	3	7	15	30
150	4	8	18	35
200	4	9	20	40
300	5	11	25	50
400	6	13	30	60
500	7	15	35	70
600	8	17	40	80
800	10	21	50	100
1.000	12	25	60	120

(c): Tolerancias DIN 875

Figura 3.43: Norma y uso de escuadra

### Regulación:

Para el ajuste entre los diferentes componentes pueden realizarse tres tipos de acciones:

- **Traslación:** Cuando los planos de las superficies de vinculación de los conjuntos son coincidentes pero hay un desplazamiento entre ellos. La holgura entre los agujeros y los tornillos de fijación de los rieles, patines y diferentes subconjuntos. Por ejemplo, las guías lineales HGR 20 que se utilizan, poseen unos agujeros de diámetro 6 mm para los tornillos recomendados de montaje que son M5 (ver figura 4.20), por lo que hay una holgura de 0.5 mm
- **Rotación:** Las superficies de contacto no son coincidentes y hay un ángulo entre ellas que está generado mediante algún elemento. Esto se puede dar de dos maneras:
  - **Chapas calibradas:** Se halla la holgura que hay entre los conjuntos a regular con una sonda para válvulas. Obtenido el valor se busca la chapa individual mas cercana o combinación de varias. La desventaja es que son difíciles de conseguir por lo que se usa chapa de aluminio de latas cuyo espesor posee una muy buena tolerancia y es de 0.1 mm
  - **Epoxi:** Utilizando un proceso llamado juntas replicadas que se explica con mas detalle en la sección 3.7.3.
- **Modificación:** Cuando se utiliza un patrón para marcar las partes de las superficies de vinculación que se encuentran fuera de tolerancia y posterior a esto extraer material mediante rasqueteado.

En nuestro caso se utilizara epoxi para la unión de los pilares con la base y chapas para holguras en el resto.

### 3.7.3. Juntas replicadas:

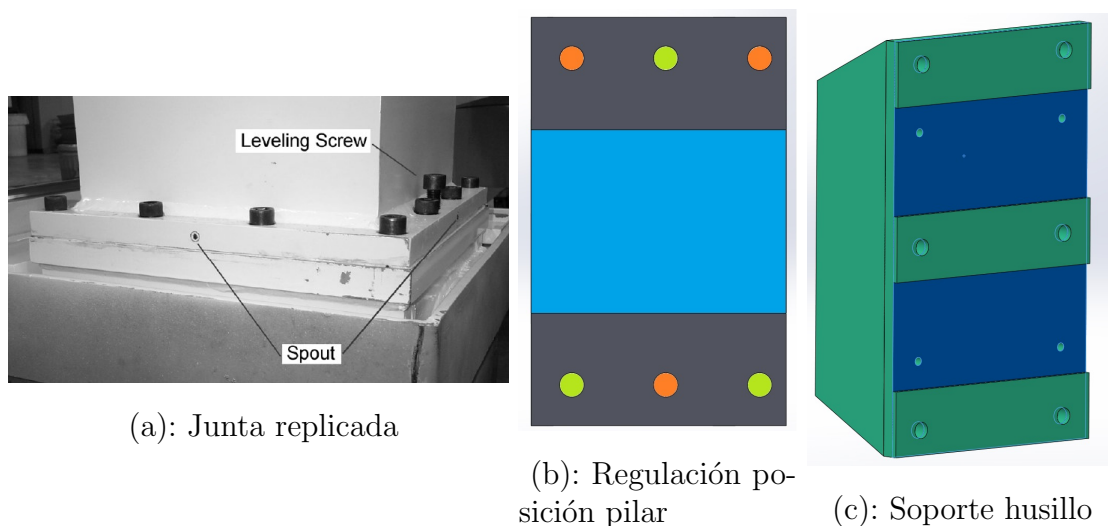


Figura 3.44: Juntas replicadas

Este es un método mediante el cual se utiliza un polímero para llenar holguras entre las superficies de vinculación de los conjuntos a escuadrar. Estas holguras se dan cuando se modifica la posición de los conjuntos al ajustar su posición hasta que mediante los métodos descriptos en los pasos a realizar llegamos a las mismas tolerancias geométricas que el patrón.

Para posibilitar el desarme de la unión, a una de las superficies de contacto se aplican múltiples capas de cera desmoldante para resina siguiendo las instrucciones del fabricante.

Si lo comparamos con el uso de chapas calibradas, obtenemos las siguientes ventajas:

- No son valores discretos que dependen de la combinación de chapas a utilizar sino que es un rango de valores continuos ya que utilizamos tornillos.
- Mayor área de vinculación.
- Amortiguamiento de las vibraciones al hacer un efecto de CLD como se explica en la sección 3.
- Al permitir el ajuste de la posición, se reducen notoriamente las tolerancias geométricas en la fabricación de los sub-ensamblajes, por lo tanto el costo de fabricación.

Y las desventajas son:

- Productos específicos para la aplicación difíciles de conseguir y de alto costo.
- Mayor cantidad de pasos a realizar.
- Incertidumbre en las prestaciones de una junta realizada con un producto no específico.
- Se necesitan idealmente 6 tornillos de ajuste para llevar y mantener las juntas en la posición correcta hasta que se cure la resina.

**Relleno unión** Como se mencionó, la dificultad para obtener un producto específico para la aplicación de ajuste, como la de la figura 3.44(a), nos obliga a usar productos cuyo uso publicitado no es el que se le dará, pero con algunas modificaciones se puede utilizar. Las ventajas de este producto es que el tiempo de curado es largo por lo que el proceso de escuadrado se puede hacer sin prisa, y al curarse totalmente queda muy rígido, debido a las partículas de acero templadas de la mezcla. Localmente tenemos las siguientes alternativas:

- UHU Plus Endfest + polvo de acero (fig 3.44(c)): El pegamento tiene un tiempo de trabajo de 90 minutos aproximadamente y de solidificación de 12 horas. El polvo, también llamado limadura de hierro, se puede conseguir comercialmente.
- Siloc metal liquido (fig 3.44(b)): Adhesivo epoxi que sirve para relleno de superficies metálicas. Tiene un tiempo de trabajo o fijación inicial de 10 min, que es acotado para el proceso de escuadrado, pero después de este tiempo todavía se puede seguir trabajando y de curado total de dos horas.

- Weicon fast metal minute: Adhesivo epoxi con alta carga de solidos, que desarrolla una alta dureza.

La opción seleccionada es la tercera, ya que al curarse desarrolla gran dureza y se encuentran las especificaciones completas del fabricante en las que nos dice que posee alto contenido metálico, sirve de relleno hasta separaciones de 4 mm.

Suponiendo una altura máxima de separación de 1 mm entre las superficies, con dos recipientes de 24 ml podemos cubrir un área de aproximadamente  $50.000 \text{ mm}^2$ , lo que nos alcanza para cubrir las superficies de contacto de los pilares y el husillo que se ven en la figura 3.44 que suman  $35.000 \text{ mm}^2$ .



(a): Diamand DWH



(b): Siloc metal líquido



(c): UHU Plus Endfest



(d): Weicon Fast-Metal Minute

Figura 3.45: Resinas epoxy

**Ajuste** Viendo la figura 3.43(b) podemos observar la base de los pilares. En ella hay un total de 6 agujeros, 3 pasantes de diámetro 12 mm y 3 con rosca M14 (diámetro agujero de 12,5 mm).

En los roscados van tres tornillos M14 que regulan la posición del pilar

- : Van tornillos M10 que fijan los pilares a la base.
- 3 roscados M14: Para el escuadrado del pilar se regula su posición girando tres tornillos M14

donde pasaran los tornillos de fijación M10, todos poseen un poco de holgura respecto al agujero para permitir mover el pilar pero 3 de ellos (color naranja) poseen rosca M14 y en ellos irán tres tornillos que nos permitirán regular la posición del pilar. Hay otros tres que se atornillan en la base para fijar la posición. Posterior al curado del epoxi se fija el pilar con seis tornillos M10

**Preparación superficies** En el centro de la base hay un área azul que no hace contacto y fue rebajada. Esto es debido a que con el método de mecanizado del pilar que se ve en la figura 3.42, mecanizamos las superficies de contacto (grises) con los laterales de una fresa y tenemos limitada la longitud de esta por lo que no podríamos llegar al centro de la base.

Para restringir el flujo de epoxi y asegurar que se cubra toda la superficie gris se hace lo siguiente:

- Esponja que rellene toda la superficie azul
- O-rings en los 6 agujeros de los tornillos para que el epoxi no se filtre por ellos
- Preparar cantidad de epoxi con arena 1.5 veces mayor al necesario para llenar los volúmenes de dos prismas cuyas secciones son las superficies grises y altura de 1 mm.
- Se usa un O-ring lineal para sellar los laterales.
- En algunas esquinas se deja una abertura para que purgue el epoxi sobrante.

En esta maquina utilizaremos esta técnica en:

1. Unión base con pilares: Permitiendo rotación en el plano XZ e YZ
2. Unión husillo con carro: Rotando el husillo en el plano YZ.

### 3.8. Dimensionamiento

En la presente sección se definirá y fundamentará la metodología utilizada para analizar las cargas que afectan a la estructura, el origen de ellas y los resultados de los ensayos realizados.

### 3.8.1. Criterios y limitaciones

Para definir la geometría de las piezas que conforman la estructura estamos condicionados por:

- **Limitaciones geométricas:** Se tienen que poder ubicar todos los elementos necesarios en las posiciones mas convenientes sin que haya interferencias entre los diversos mecanismos durante la operación de la máquina y que esta este contenida dentro de las dimensiones máximas del equipo.
- **Deflecciones:** Afectarán las tolerancias dimensionales y geométricas de las piezas mecanizadas. Estas son generadas por:
  - Fuerzas del mecanizado: Explicadas en la sección 2.4
  - Fuerzas del movimiento: Aquellas que se producen al mover cualquiera de los ejes. Desarrollado en sección 3.8.2

Para el dimensionamiento en elementos de máquinas podemos utilizar dos enfoques:

- Por resistencia: Donde buscamos que las tensiones no superen a las de fluencia del material.
- Por deformación: El objetivo es que la distorsión sea menor que un determinado valor que afectaría su funcionalidad.

Para nuestro caso se utiliza el segundo enfoque ya que el diseño puede llegar a ser deficiente mucho antes de que se rompa la pieza debido a una deformación excesiva, esto se podrá ver en los ensayos realizados mas adelante en la sección 3.8.4, en donde las tensiones son sustancialmente inferiores a las de fluencia de la pieza, incluso en los puntos de concentración de tensiones.

Otro aspecto que se notara al analizar los ensayos mencionados es que algunas piezas poseen una deformación muy pequeña, por lo que se podría decir que están muy sobredimensionadas, pero como se explicó en la sección 3.2.1, el aumentar la masa contribuye a la reducción de las vibraciones, por lo que esto se hará en tanto no afecte sustancialmente a los costos o la funcionalidad del equipo.

### 3.8.2. Fuerzas aplicadas

Para simplificar el análisis se estableció que las fuerzas del mecanizado se utilizan para dimensionar la estructura y las fuerzas del movimiento, explicadas a continuación, son para dimensionar los motores y los tornillos de bolas de manera que puedan mover a los ejes a las velocidades y aceleraciones deseadas.

#### Fuerzas del movimiento

Estas se dan cuando se realizan los movimientos de los diferentes ejes, sean en G0 (desplazamiento) o en G1 (mecanizando). La fuerza al ser en la dirección del movimiento, pasa por el tornillo y no las guías. El movimiento en los tres ejes coordenados sucede entre los siguientes subconjuntos:

- **Eje X:** Entre carro y puente móvil.

- **Eje Y:** Entre mesa y base.
- **Eje Z:** Entre pilares y base.

**Inercia** Son fuerzas generadas por la aceleración en los movimientos de los ejes, que resultan sencillas de calcular ya que sale de la formula  $F = m.a$ , cuyos parámetros son sencillos de obtener ya que la masa  $m$ , se obtiene pesando el subconjunto, y la aceleración  $a$  se determina una vez ensamblada la maquina, configurando ese parámetro en el control CNC mediante ensayos explicados en la sección 4.1.3.

Los datos del equipo son:

- Aceleración de  $5000 \text{ mm/seg}^2$ .
- Masa de 40 kg (El eje X con el husillo ATC y el carro pesa aproximadamente 38 Kg ; El eje Y con la mesa pesa 40 Kg)
- Velocidad máxima de 10000 mm/min (166,7 mm/seg).
- Velocidad de mecanizado de 2000 (33,3).

Con lo mencionado anteriormente podemos decir lo siguiente:

- La aceleración desarrollará una fuerza:

$$F = 40Kg \times 5m/seg^2 = 200N = 20kgf$$

- El tiempo que tomaría llegar a la velocidad máxima y a la de mecanizado es:

$$t_{max} = \sqrt{\frac{V_{max}}{a}} = \sqrt{\frac{166,6}{5000}} = 0,182seg$$

$$t_{mecan} = \sqrt{\frac{V_{max}}{a}} = \sqrt{\frac{33,3}{5000}} = 0,082seg$$

- Y en ese tiempo recorrería una distancia d:

$$d_{max} = V_i \times t + \frac{a \times t^2}{2} = \frac{166,6 \times 0,182^2}{2} = 2,76mm$$

$$d_{mecan} = V_i \times t + \frac{a \times t^2}{2} = \frac{33,3 \times 0,082^2}{2} = 0,11mm$$

**Fricción** Es la fuerza que se opone al movimiento de cada uno de los ejes. Para nuestro caso, como se explicara con detalle mas adelante en la sección 4.3, se utilizan guías lineales con elementos rodantes, por lo que las fuerzas de fricción son considerablemente menores (hasta 1/50 de una guía tradicional como una cola de milano). Esta fuerza estará generada por cuatro factores:

- Contacto entre los sellos de los bloques y las guías.



- Fricción entre las bolas.
- Esfuerzos de corte en la grasa.
- Carga soportada.

En el catalogo el fabricante de los bloques utilizados (explicados en la sección 4.3.5) nos dice que la resistencia que ejercen los sellos es de 0.16 kg por sello, teniendo 4 patines por eje u 8 sellos, serian 1.28 kg lo cual resulta insignificante.

Pero para poder obtener la fuerza de fricción total, el fabricante nos dice que si la carga aplicada sobre los bloques es menor al 10 %, que es nuestro caso (ver en figura 4.21), la fuerza no depende de la carga, por lo que podríamos hallar el valor al mover un patín sobre un eje tirando de un hilo y midiendo la fuerza con una balanza con un gancho. Esto se hizo y dio un valor de 0.7 Kg por patín, lo que sería de 2,8 kg por eje.

### 3.8.3. Análisis de cargas con método analítico.

En el utilizamos las ecuaciones descriptas en el análisis estructural. Para aplicarlo no podemos utilizar la geometría de la pieza diseñada sino que debemos simplificar al modelo en elementos de viga como se ve en la figura 3.46 (b).

En la figura mencionada se ve una estructura simplificada en 2D (fig b) y otra en CAD (fig A), ambos son isoestáticas por lo que los grados de libertad del cuerpo son los mismos que las condiciones de vinculo. Solo con las ecuaciones de equilibrio podemos hallar las incógnitas.

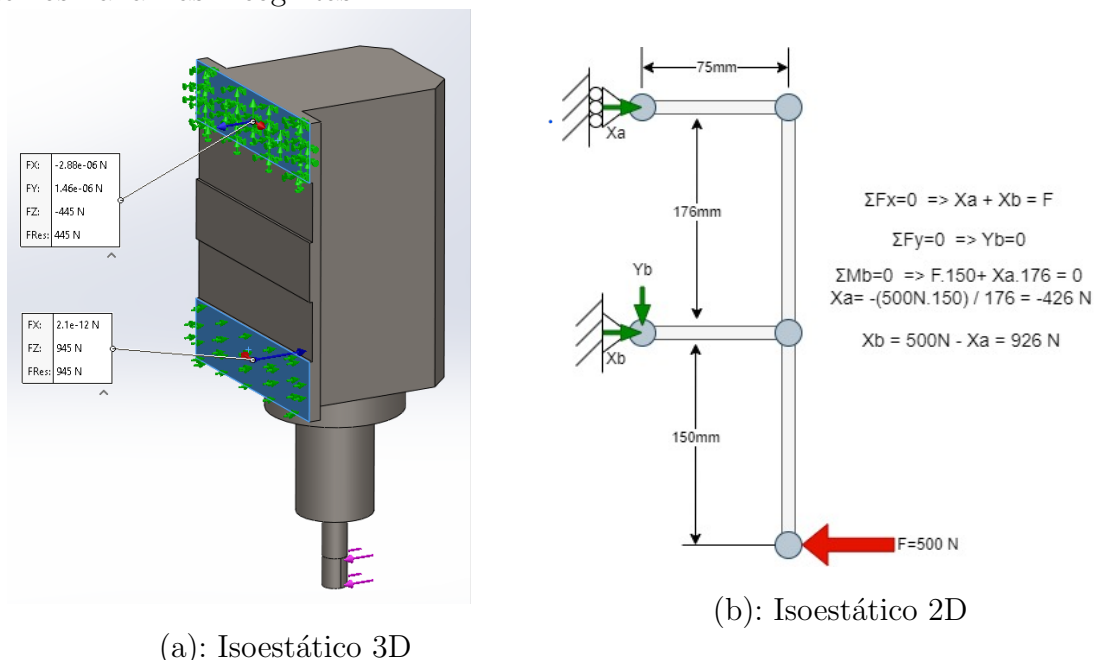


Figura 3.46: Analisis isoestático

Pero en la realidad las estructuras son hiperestáticas, es decir, las condiciones de vinculo son mayores a los grados de libertad, por lo que hay redundancia y debemos usar algún método para obtener otras ecuaciones y poder resolver las demás incógnitas.

Pero por su mayor complejidad, la necesidad de simplificar la estructura en elementos de viga y la facilidad que hay hoy en día de realizar simulaciones en los programas CAD, es mas sencillo y obtenemos unos resultados mas verídicos al usar métodos numéricos explicados en la siguiente sección.

En la figura 3.47 se puede observar las fuerzas de acción y reacción que afectan a cada uno de los subconjuntos que se contrarrestan entre si manteniendo estático el conjunto (1ra ley de Newton).

Las fuerzas se van transmitiendo entre conjuntos a través de los patines con las guías que restringen 5 de los 6 grados de libertad (tres momentos y dos traslaciones) y las tuercas con el tornillo que restringe el restante.

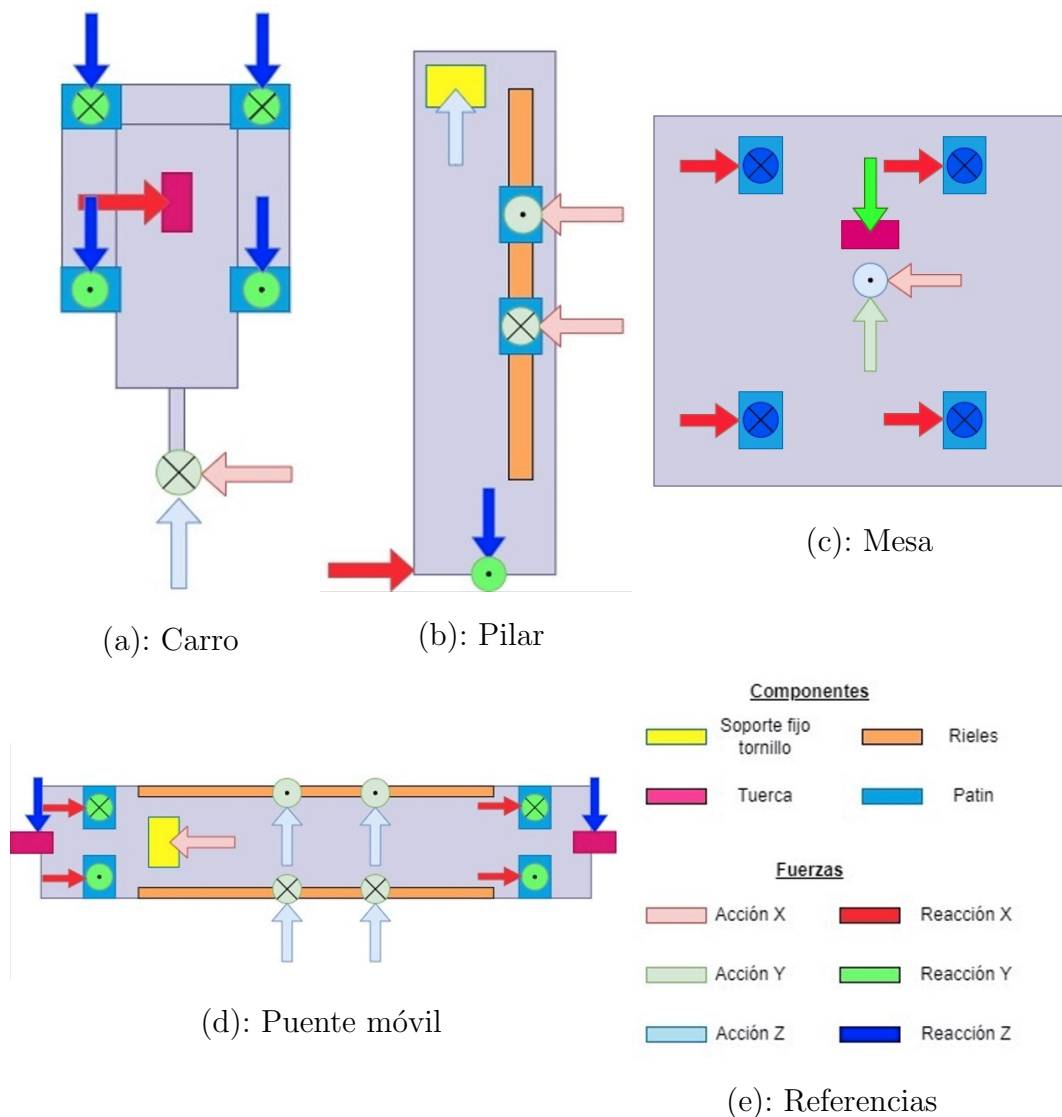


Figura 3.47: Diagrama cuerpo libre de distintos subconjuntos

### 3.8.4. Análisis de cargas con métodos numéricos

Estos análisis se realizan en programas de computadora, para nuestro caso usamos Solidworks Simulation, pero hay otros como Ansys, SimScale, etc.

En el diseño de la estructura se pueden tomar tres caminos, dentro de los cuales

se opto por el ultimo mencionado:

1. Dadas las fuerzas esperadas se dimensiona la estructura.
2. Dada la geometría y material, se definen las fuerzas máximas.
3. Viendo maquinas sometidas a condiciones similares, se diseñan piezas de dimensiones parecidas, adaptándolas a las restricciones geométricas de nuestro proyecto y posteriormente se verifica que las deformaciones estén dentro de un rango aceptable ante unas cargas de un valor definido. En caso que no, se modifican las piezas hasta lograrlo.

Algunas de las simplificaciones que se hicieron para su estudio fueron

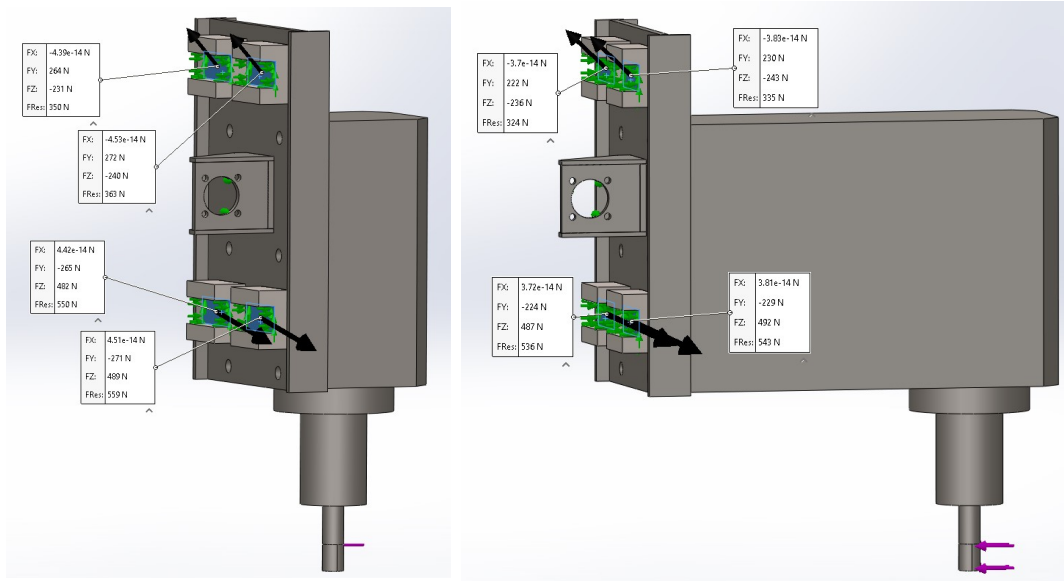
- Uniones soldadas entre chapas como solo solido continuo.
- Contacto entre componentes como las guías y patines a la estructura, así como también el relleno de cemento y los refuerzos metálicos como “bonded”, lo cual lo toma como otro cuerpo fusionado.
- Se desprecian las uniones con tornillos.
- Se desprecia el uso de refuerzos y de fibras en el hormigón, se lo toma como un bloque de hormigón.
- Se modelaron componentes como las guías lineales y los patines manteniendo las dimensiones pero con geometría mas simple, para evitar problemas en el mallado para el análisis y se simplificó la geometría de algunas piezas complejas.

A continuación se muestran imágenes de los diferentes subconjuntos individualmente para una mejor comprensión y finalmente de varios juntos como puente completo así como la base y mesa. Hay dos datos:

- Deformación: Se exhibe mediante una escala de color siendo rojo las partes con mayor deflección y azul las de menos.
- Fuerzas de reacción: Se presentan donde se vincula el subconjunto con su adyacente y es a través de los patines, tuerca de bolas o superficie de contacto

**Husillo y carro:** La carga aplicada es de 500N sobre el extremo de una fresa fijada al husillo.

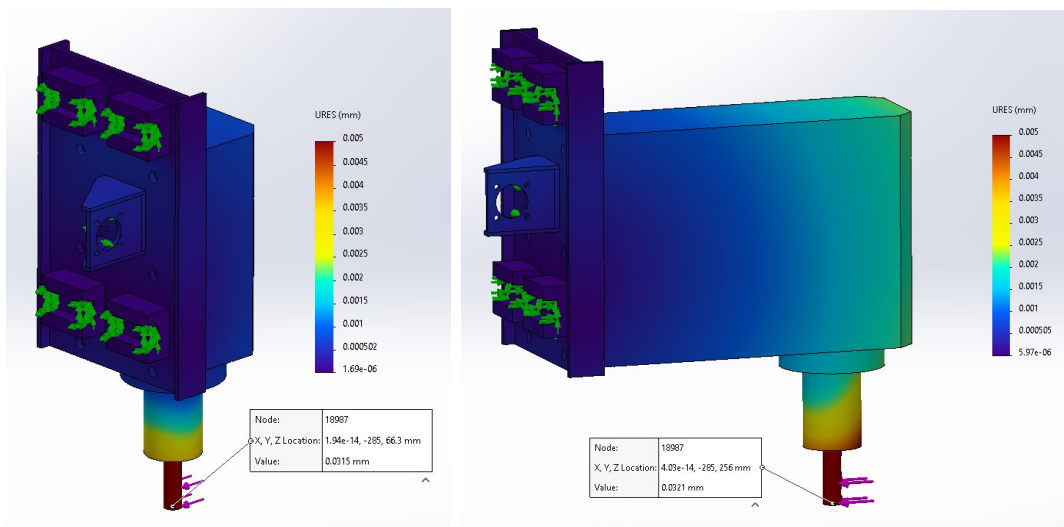
Se extendió la garganta en un estudio para ver la ventaja de tener el eje del husillo lo mas pegado al puente posible, lo cual es una ventaja de este diseño adoptado si se lo compara con un diseño convencional tipo C.



(a): Garganta real

(b): Garganta extendida

Figura 3.48: Reacciones carro a fuerza de mecanizado



(a): Garganta real

(b): Garganta extendida

Figura 3.49: Deformaciones de carro a fuerza de mecanizado

**Fresa:** Como se pudo ver en las imágenes anteriores, la mayor deformación se da en la herramienta, por lo que se aisló y se analizó individualmente con diferentes diámetros. Se le asignó el material de carburo de tungsteno que posee una mayor rigidez que el acero rápido.

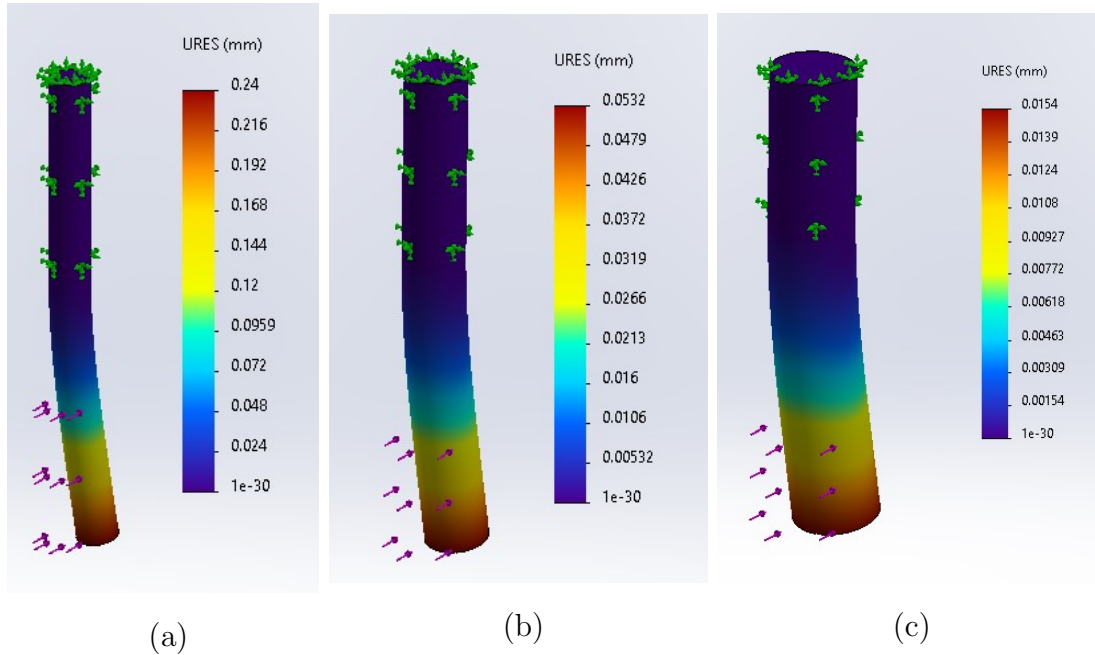


Figura 3.50: Deformaciones en fresa de carburo de diámetro de 5mm (a), 10mm (b) y 15mm (c)

**Puente móvil:** Se simplificó el modelo para evitar problemas en el mallado y se analizó tanto la estructura metálica sola como con el relleno para ver las diferencias en su deformación. Lo que se observó es que esta es aproximadamente 4 veces mayor en la pieza sin relleno (0.016mm contra 0.004mm). Aunque si se quisiera hacer la pieza más liviana, sin relleno, probablemente tendría refuerzos metálicos interiores que reducirían esta diferencia.

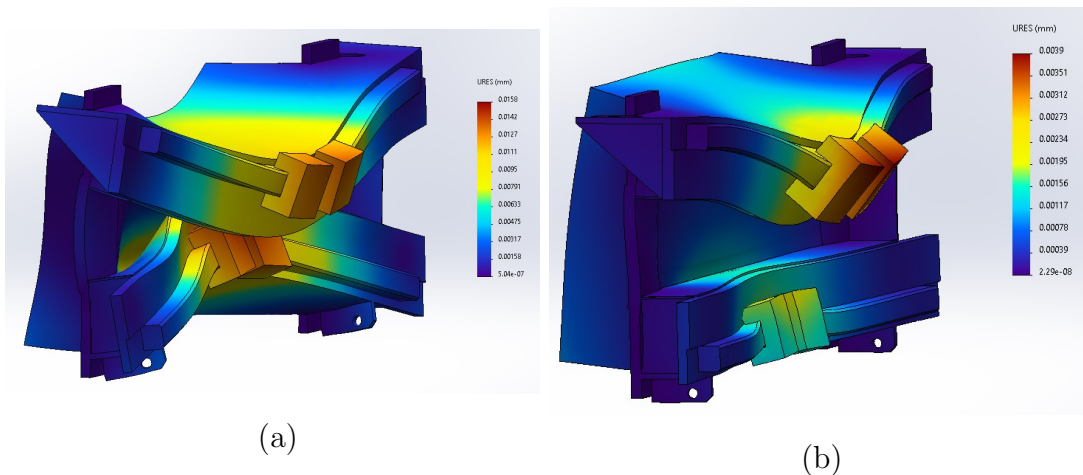


Figura 3.51: Deformaciones de puente con (b) y sin relleno (a)

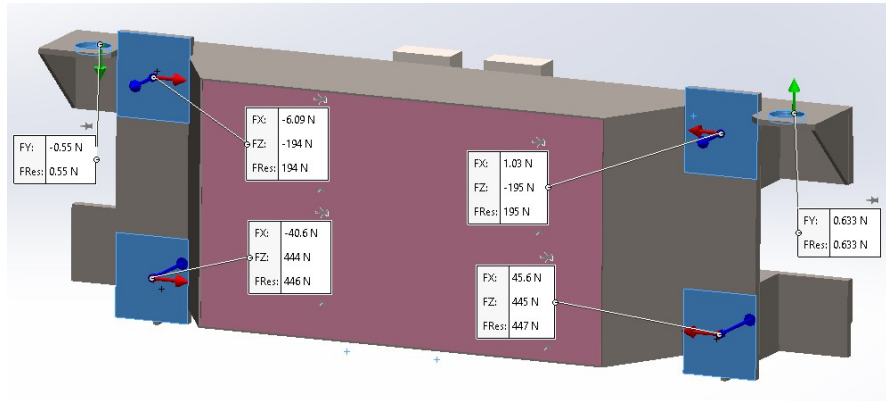


Figura 3.52: Fuerzas de reacción en puente móvil

**Puente fijo:** Al igual que antes, se realizó el análisis con las piezas con y sin relleno, en este caso los pilares obteniendo los valores máximos de 0.02 y 0.033mm.

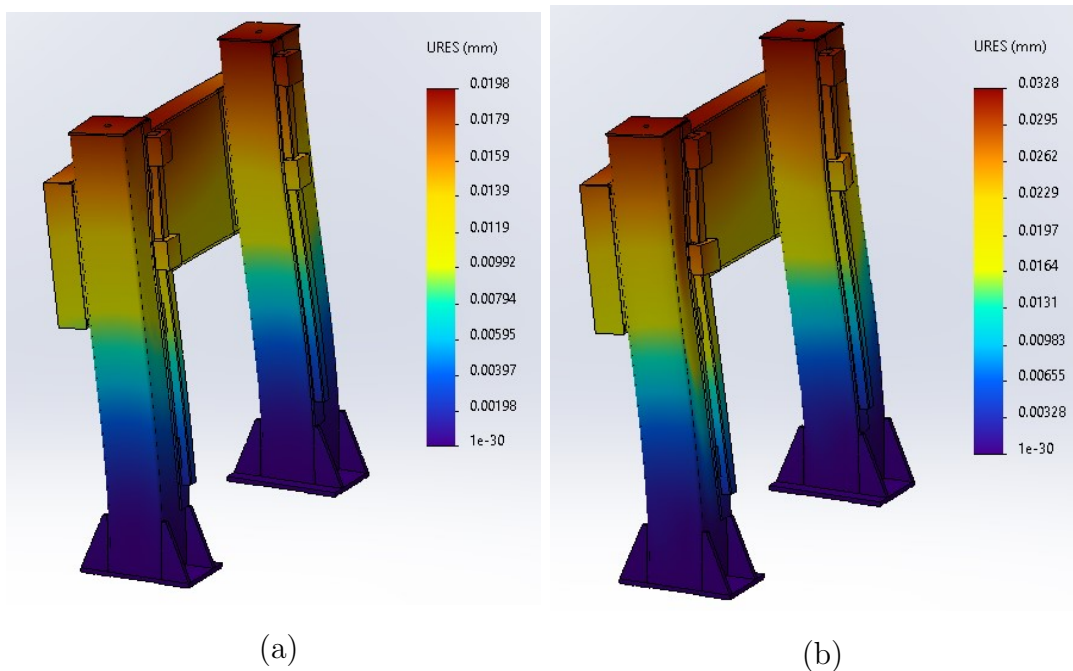


Figura 3.53: Deformaciones de puente con (b) y sin relleno (a)

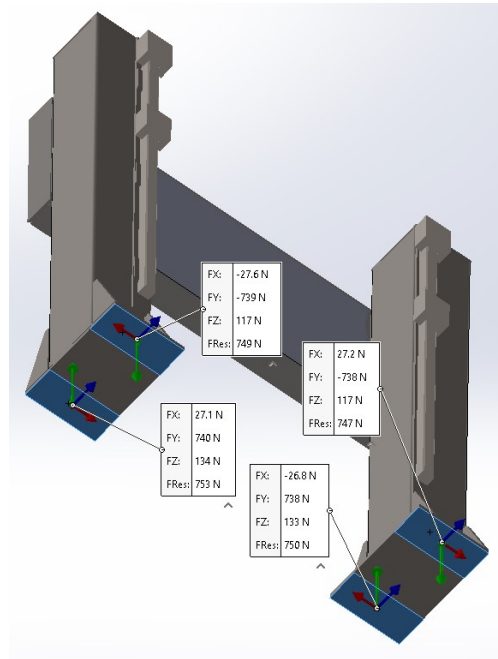


Figura 3.54: Fuerzas de reacción en puente móvil

**Puente completo:** Analizando todo el puente con los pilares y el puente móvil relleno de hormigón se obtiene una deflexión máxima de 3 centésimas.

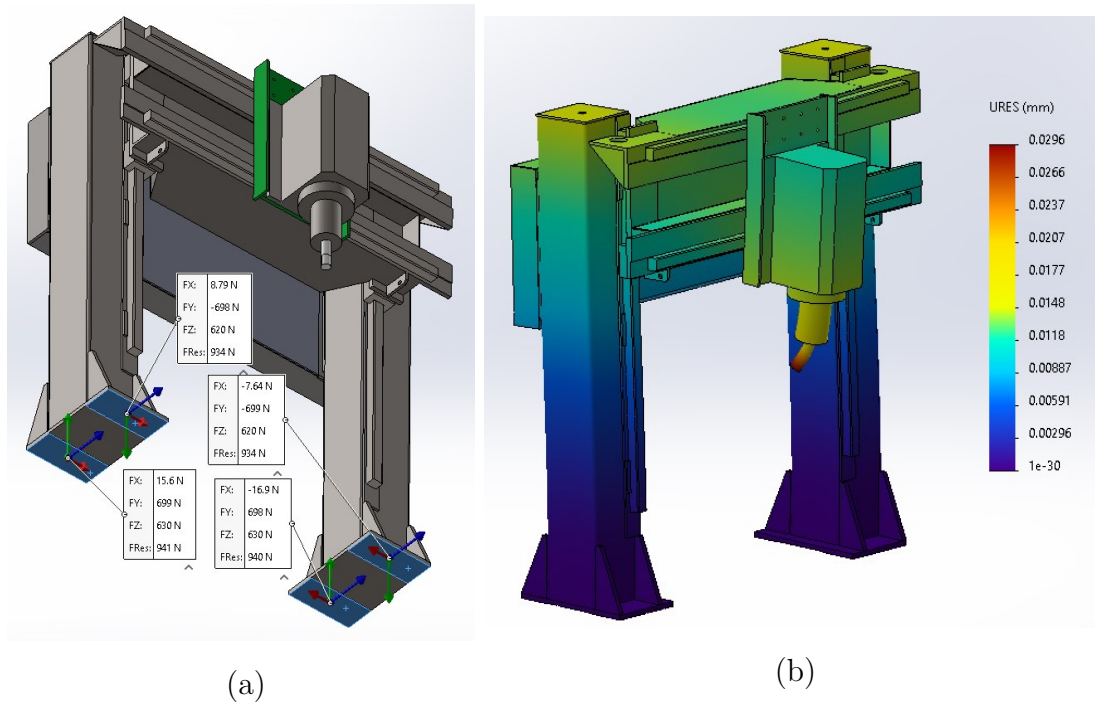


Figura 3.55: Fuerzas de reacción en puente completo (a) y deformación (b)

**Base y mesa:** Tanto el puente fijo mediante sus dos pilares, y la mesa están conectados a la base, siendo esta última el subconjunto que vincula las dos cadenas cinemáticas, por lo que al estar la máquina estática, significa que las fuerzas de una rama se deben neutralizar con la de la otra, dicho de otra manera, el sistema

de fuerzas provenientes de la reacción de la mesa móvil debe ser equivalente y opuesto al que se obtiene de las fuerzas de reacción del puente fijo.

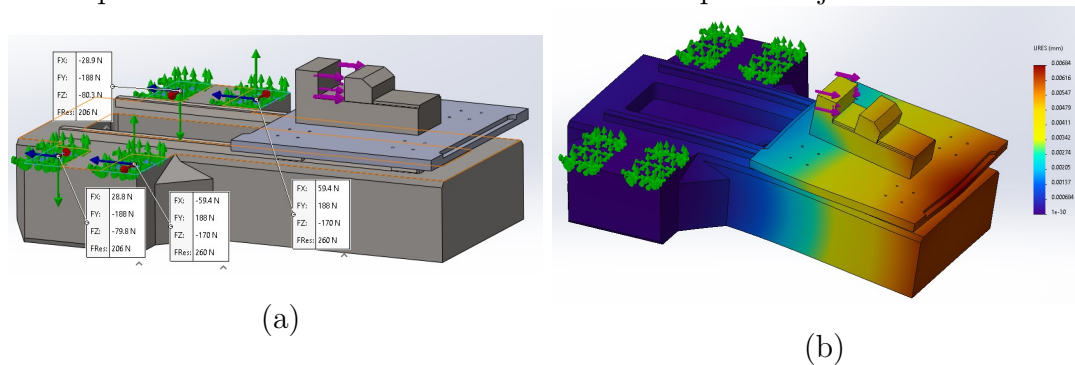


Figura 3.56: Fuerzas de reacción en base con mesa (b) y deformación (a)

Las reacciones de las figuras 3.56 (a) y 3.55 (a) deberían ser opuestas por lo dicho anteriormente, y lo serian si el punto de aplicación de la fuerza (los 500 Newtons) seria el mismo en ambas situaciones. Pero para llevar a la condición extrema se decidió aplicar la carga con el puente en la posición mas alta y la mesa en el extremo mas alejado de los apoyos de los pilares.

### Conclusiones:

Como resultado de los análisis hechos podemos decir lo siguiente:

- En el caso de usar fresas cilíndricas, ante la carga de 500 Newtons aplicada, la mayor deflexión se daría en la herramienta, por lo que para lograr tolerancias acotadas debemos reducir la fuerza usando pasadas de terminación con menores  $a_p$  y  $a_e$ . Distinto es el caso de las fresas de planear tipo araña que por su geometría toleran fuerzas mucho mayores sin una excesiva deformación.
- La deformación en la estructura es muy pequeña, por lo que si queremos aumentar aun mas la rigidez no nos serviría de mucho aumentar las secciones de las piezas que la componen, porque las ganancias serian despreciables, sino que nos convendrá aumentar el grado de precarga (explicado en 4.3.2) de los patines y tornillos de bolas que vinculan los diferentes subconjuntos.
- No se pusieron las imágenes que muestren el estado tensional ya que aún en los puntos donde hay concentración de tensiones (que por cuestiones de diseño no se pudieron evitar), los valores de estas están muy por debajo de las de fluencia del material.
- La estructura de la máquina cumple con los requerimientos planteados en la introducción.



# Capítulo 4

## Movimientos

### 4.1. Generación movimiento

Las maquinas a control numérico, contrario a las manuales, no necesitan de un operario que mueva los diferentes ejes, sino que estos son accionados por motores eléctricos que se mueven en sincronía respetando las instrucciones provistas desde una computadora.

#### 4.1.1. Motores y controladores

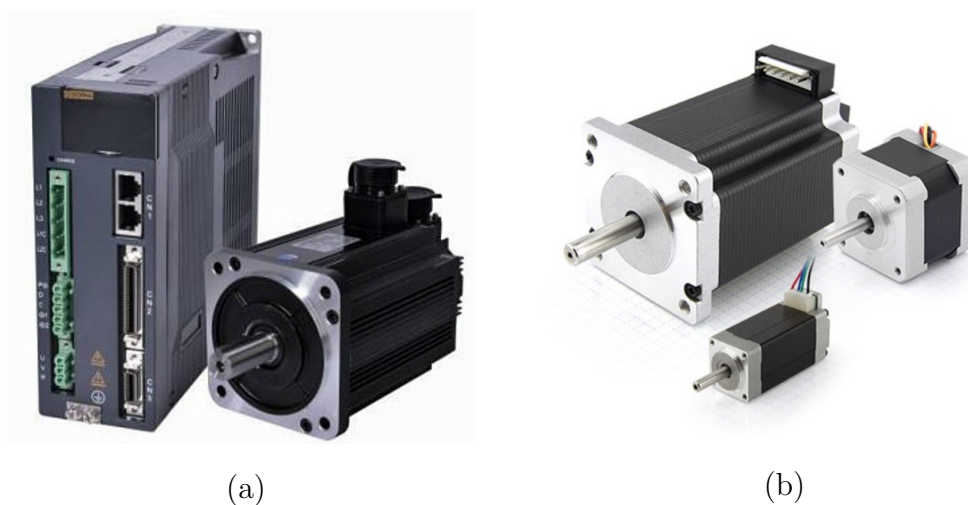


Figura 4.1: Servomotor AC con driver (a) y stepper (b)

Según su funcionamiento los podríamos separar en dos tipos:

- Paso a paso (Stepper): Son buenos para trabajar a bajas revoluciones y tienen la gran ventaja que pueden mantener su posición al energizar las bobinas, de ahí que poseen un torque de sujeción.

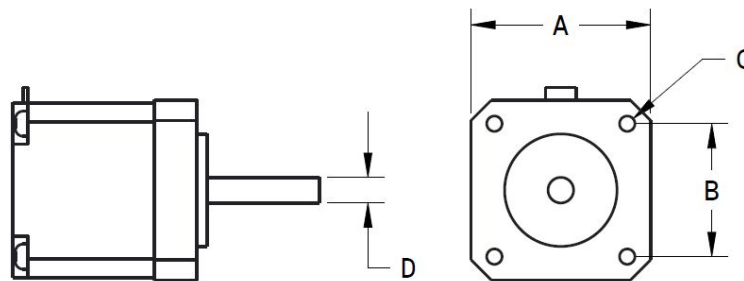
Además estos motores pueden funcionar a lazo abierto, es decir, sin ninguna retroalimentación de la posición, lo cual es un riesgo, ya que ante una sobrecarga puede llegar a perder pasos y que suceda un desfase entre su posición teórica y la real, pero también significa que no requieren de un encoder, son más fáciles de controlar y más económicos.

Cabe mencionar que existen con encoder, conocidos como híbridos, que mejoran las prestaciones de los convencionales y brindan una cuota de seguridad al emitir una alarma si en alguna situación pierden la posición.

- Corriente alterna o corriente continua: Son motores convencionales pero que si o si requieren de un encoder para saber su posición en todo momento y que su controlador module la corriente de cada bobina acordeamente.

Las ventajas son que pueden girar a mayores revoluciones que los paso a paso y si bien su costo es sustancialmente mayor, se obtienen mejores prestaciones.

Los hay de diferentes formas, pero la gran mayoría de ellas respetan estándares como por ejemplo las normas NEMA (National electronic manufacturers association), lo mas común es el diseño de la brida de montaje del motor como se ve en la imagen inferior.



SIZE	A	B	C	D (Dia)
NEMA 11	28.2	23	M2.5 Thread	5
NEMA 14	35.2	26	M3 Thread	5
NEMA 17	42.3	31	M3 Thread	5
NEMA 23	56.4	47.1	5.5 Dia	6.35
NEMA 34	86	69.6	5.5 Dia.	14
NEMA 42	110	89	8.5	19

Figura 4.2: Dimensiones según NEMA

También existen los motores lineales, pero estos últimos son extremadamente costosos y difíciles de conseguir por lo que no son aplicables en esta máquina.

Contrario a los motores convencionales, que se conectan a la alimentación y funcionan, estos necesitan de un dispositivo llamado controlador o driver. Este recibe la alimentación para el motor y también las señales desde la PC y la información desde el encoder.

#### 4.1.2. Control de la posición

Es de vital importancia en una máquina herramienta a control numérico, que la posición donde la herramienta se encuentra en la realidad es la misma que la teórica o dictada por el código G. De no ser así variarían la geometría y tolerancias de la pieza, así como también la generación de posibles roturas de la máquina, herramienta o pieza. El sistema puede ser:

- **Lazo abierto:** Al iniciarse la maquina no sabe donde esta, por lo que debe buscar una referencia de ubicación conocida. Esto lo hace al realizar lo que se conoce como “homing”, que consiste en mover cada uno de los ejes en una dirección determinada hasta que hacen contacto con un final de carrera. De ahí en adelante su posición la sabrá sumando o restando pulsos o “steps” desde ese lugar.
- **Lazo cerrado:** El sistema tiene algún tipo de sensor para saber su posición como los siguientes:
  - Encoder rotativos relativos o absoluto.
  - Resolver.
  - Encoder linear relativo o absoluto

Podemos separar las diferentes alternativas disponibles según las siguientes dos maneras de saber donde se encuentra un punto en un espacio:

- **Posición relativa:** Como lo dice su nombre, la posición es medida respecto a un punto de referencia llamado origen de la máquina.  
Este valor se obtiene cada vez que prende el equipo, haciendo un procedimiento llamado ”homing”, en donde cada uno de los ejes se desplaza hasta hacer contacto con unos sensores (finales de carrera), deteniéndose y estableciendo el origen.
- **Posición absoluta:** Se sabe la posición en cualquier momento sin la necesidad de un punto de referencia.

### 4.1.3. Selección

Principalmente por su menor costo y sencillez para su integración se decidió utilizar motores paso a paso convencionales en vez de servomotores.

En cuanto al tamaño se eligió NEMA 23 (57STH115-4204A) para el movimiento de los tres ejes y un NEMA 17 (42BYGHW804) para el desplazamiento del rack porta herramientas (desarrollado en la sección 6.2.1).

Respecto a los drivers se utilizan los DM556 del fabricante Leadshine que son aptos para motores de hasta 5.5 amperios de consumo (siendo los motores utilizados de 4,2). Estos son digitales, no como por ejemplo los mas antiguos TB6600 de Toshiba que son análogos, lo cual se manifiesta en un mejor desempeño de los motores, funcionamiento mas suave y silencioso.

En la sección siguiente veremos que al acoplar los tornillos de bolas elegidos, estos desarrollan una fuerza suficiente para mover a la maquina a las velocidades y aceleraciones deseadas cuando esta sometida a las fuerzas de su uso (en figura 4.10).

No se utilizo un NEMA 34, que es el tamaño de brida que le sigue, debido a que los espacios donde se alojan los motores en la base y en el puente móvil son acotados, por lo que deberíamos levantar mas la posición de las guías o aumentar la distancia del soporte de la tuerca. Además, si aumenta la corriente por fase a mas de 5.5 amperios, debemos usar drivers mas potentes cuyo costo se eleva radicalmente.

## 4.2. Transmisión movimiento

En esta sección mencionaremos las diferentes maneras con las que convertimos el movimiento rotativo del motor al lineal que necesitamos para mover los tres ejes ortogonales X, Y y Z.

### 4.2.1. Alternativas disponibles

#### ■ Motores lineales

Estos fueron mencionados en la sección anterior (4.1), la transmisión del movimiento se da mediante la fuerza magnética.

#### ■ Polea y correa dentada

Se utilizan diferentes perfiles dentados, que se diferencian en el tamaño y forma de los dientes. A mayor tamaño del diente, más difícil será que ante una carga se salga de su posición en la polea, y se altere la posición. Esto también dependerá del ángulo de contacto que determinará la cantidad de dientes de la correa en contacto polea.

Es económico y sirve para situaciones en donde no hay grandes fuerzas ya que la correa, sobre todo en grandes distancias, se estira.

Una de las ventajas de este método es que se puede disponer de tal manera que genere reducciones como los aparejos, o diferentes cinemáticas como las core XY, HBot, etc.

#### ■ Piñón - cremallera

Es similar al sistema anterior ya que la polea se compara con el piñón y la correa con la cremallera, pero la ventaja de esta última es que es rígida y a longitudes largas de desplazamiento no se deforma.

#### ■ Tornillo - tuerca

Un tornillo es básicamente un plano inclinado enrollado sobre un cilindro. En máquinas herramientas podemos encontrar dos tipos, los de bolas recirculantes o los de rosca trapezoidal. Estos últimos son más fáciles de fabricar, poseen una mayor capacidad de carga que los primeros pero tienen fricción entre los flancos de las roscas. Los de bolas poseen un bajo rozamiento ya que hay rodadura y se pueden precargar eliminar el juego entre tuerca y tornillo sin un aumento excesivo de las pérdidas por fricción. Por esto son usados en aplicaciones donde se requiere precisión.

Esta última es la alternativa que utilizaremos para los tres ejes, por lo que a continuación se desarrollarán más conceptos.

- Tolerancia: El grado de exactitud de los tornillos de bolas puede estar clasificado bajo norma ISO/DIN 3408-3 o JIS B1192 donde se especifican las tolerancias. Los grados van desde 0 a 10 y cada una limita diferentes aspectos como la excentricidad entre tuerca y tornillo, paralelismo entre ellos, o la desviación de la hélice real con la nominal.

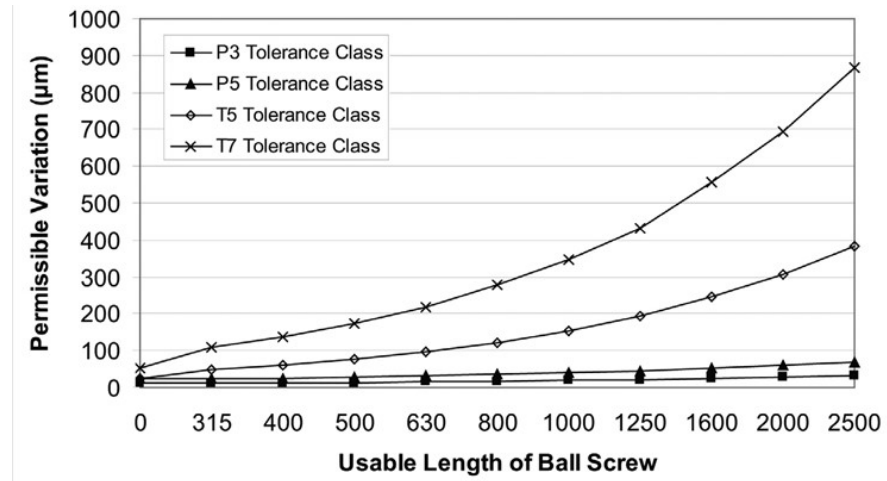


Figura 4.3: Desviación según recorrido y tolerancia

- Relación de transmisión: Esta dada por el **avance por revolución ( $L$ )** del tornillo, resultante del producto del paso  $P$ , generado por el ángulo de la rosca (en mm por revolución o hilos por pulgada) y la cantidad de hilos o ranuras helicoidales que posee el tornillo ( $N_W$ ).

$$L = N_W \times P \text{ [mm/rev]}$$

- Tornillo o tuerca conducida: En la mayoría de los casos el elemento estático es la tuerca y lo que gira es el tornillo (“driven screw” o tornillo conducido), pero en algunos otros donde se corre riesgo de pandeo por tener un tornillo muy largo y/o cargas elevadas, debemos aumentar el diámetro del tornillo con lo que se eleva sustancialmente su inercia, aumentando el momento necesario para acelerarlo, por ello conviene girar la tuerca (“driven nut” o tuerca conducida). También se utiliza el sistema de tuerca conducida cuando se requieren elevadas velocidades de giro que puedan producir vibraciones que generen la resonancia del mismo.

El ensamblaje esta constituido por las partes que se pueden ver en la imagen inferior:

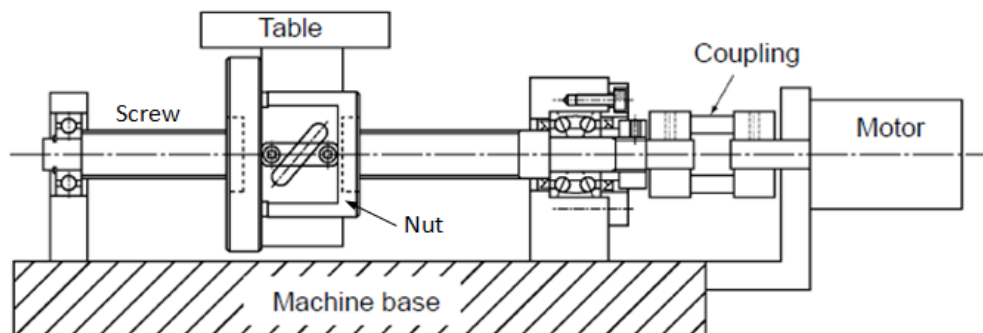


Figura 4.4: Tornillo de bolas con accesorios

1. **Soportes:** Muchas veces no se le da la importancia que corresponden pero su selección afecta considerablemente a la rigidez, velocidad máxima y carga límite de pandeo del conjunto. En la siguiente figura se pueden ver cuatro combinaciones de los soportes, siendo cada una adecuada para una situación particular.

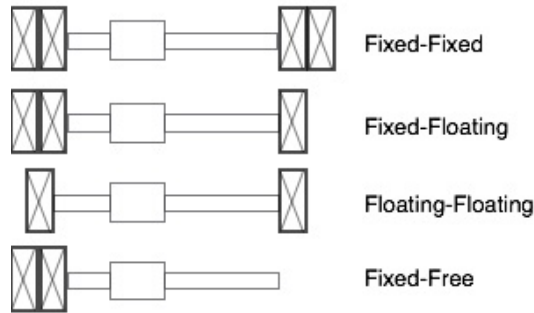


Figura 4.5: Condiciones de fijación de un tornillo

- Fijo-Fijo: Provee la máxima rigidez, no permite dilataciones térmicas del tornillo y este se instala traicionado. Utilizado en sistemas con tuerca conducida (tornillo estático).
- Fijo-Flotante: Configuración mas usada, evita el desplazamiento axial y radial
- Flotante-Flotante: Es el de mayor facilidad en el montaje.
- Fijo-Libre: Facilita el montaje pero se reducen las velocidades máximas de rotación y la carga critica de pandeo.

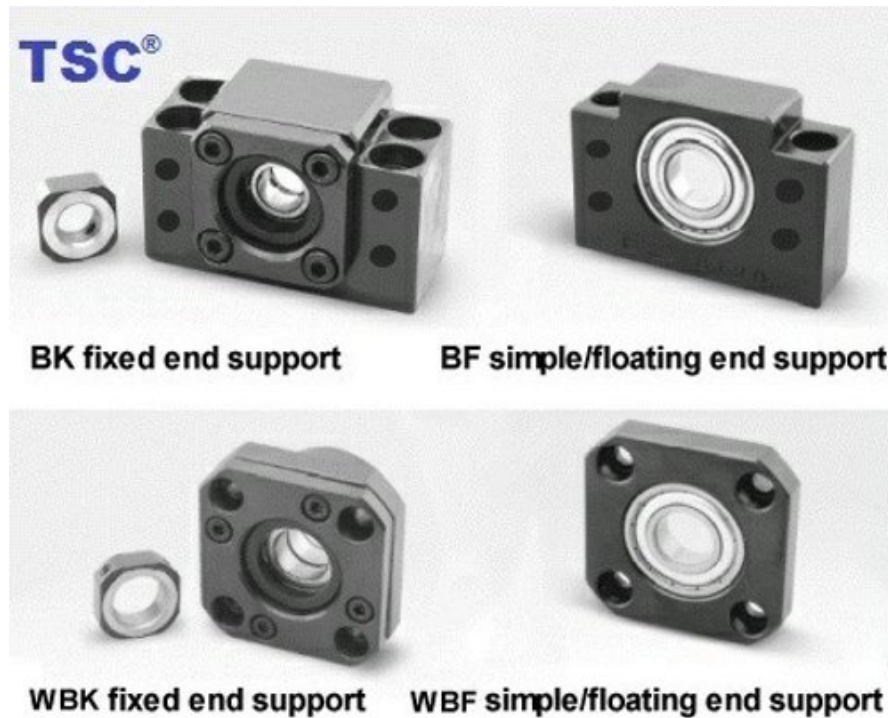


Figura 4.6: Tipos mas comunes de bloques fijos y flotantes

En su interior los bloques fijos poseen generalmente un par de rodamientos de bolas de contacto angular con orientación cara con cara (como

se ve en la figura 4.5), lo que reduce la resistencia a momentos pero es mas permisible el alineamiento del bloque con el eje. El bloque flotante posee solo un rodamiento de bolas radial.

2. **Tornillo:** Para los de bolas sus diferentes grados de tolerancia vienen dados por el método de fabricación. Siendo para los laminados T5-T10, los mecanizados T5-T7 y los rectificados T0-T5.
3. **Tuerca:** Hay con diferentes métodos de recircularon de las bolas, cada uno con sus ventajas y desventajas. Pueden ser simples o dobles según la cantidad de puntos de contacto que tengan las bolas sobre el tornillo. Las primeras utilizan bolas mas grandes que el alojamiento en el tornillo y poseen cuatro puntos de contacto como en la fig 4.7.

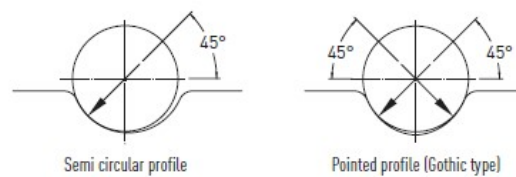


Figura 4.7: Tipos de contacto de las bolas

4. **Acople elástico:** Utilizado para vincular al motor con el tornillo. El objetivo es que permita transmitir el giro del motor con la menor distorsión angular posible pero permitiendo errores de paralelismo y de ángulo entre el eje del motor y el tornillo. Si se usa un acople rígido los rodamientos del motor (que son mas débiles que los del bloque fijo) recibirían las cargas provenientes de las desviaciones, reduciendo su vida útil.

#### 4.2.2. Selección y cálculo

Considerando las opciones descritas anteriormente se optó utilizar para el proyecto tornillos de bolas recirculantes en los tres ejes, debido a su costo acotado, tolerancias acordes y a que el conjunto de la figura 4.4 posee una forma adaptable en el diseño de la máquina del proyecto.

No se utilizan reducciones desde el motor al tornillo ya que las fuerzas obtenidas con los avances por revolución seleccionados son suficientes para mover los ejes a las velocidades y aceleraciones deseadas.

A continuación se desarrollara acerca de los bloques, los tornillos y las tuercas utilizadas.

#### Bloques:

Los tipos de vínculos que definirán los bloques a utilizar son:

- Eje Z Fijo-libre:

No es necesario un soporte flotante ya que las velocidades de rotación son bajas (no se corre riesgo de resonancia) y la fuerza de gravedad actúa como restauradora de la posición estática del tornillo.

Además, los tornillos poseen la suficiente sollicitación axial para que estén afectados por pandeo por las siguientes razones. La primera es que por ser dos, la carga se reparte entre ellos, la segunda es que las cargas originadas durante el mecanizado en el eje Z son pequeñas y la última es que el peso del puente traicionara al tornillo, ya que la tuerca se encuentra por debajo del soporte fijo (Aunque la mayoría de este peso estará contrarrestado por cilindros neumáticos).

- Eje X e Y Fijo-Libre: Necesitamos del soporte flotante porque las velocidades de rotación son moderadas y la gravedad actúa como fuerza perturbadora. Además, las cargas originadas en el mecanizado contenidas en el plano XY son mayores que en el eje Z, por lo que se corre riesgo de pandeo.

Los bloques fijos utilizan un par de rodamientos de contacto angular 7201 aptos para apareamiento universal. Esto último se refiere a que están preparados para ser montados de a par, adyacentes entre sí y obtener un juego C tolerado (4.8), que al ajustarlos entre sí se transformara en precarga, sin la necesidad de usar arandelas calibradas

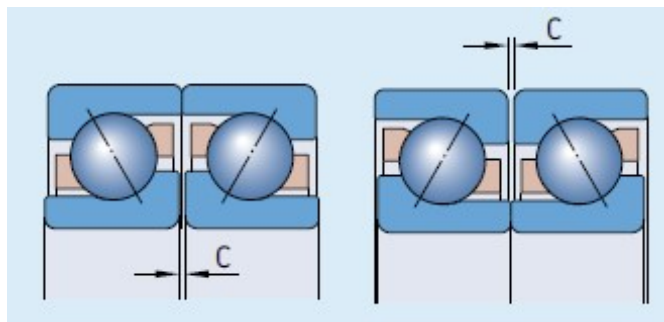
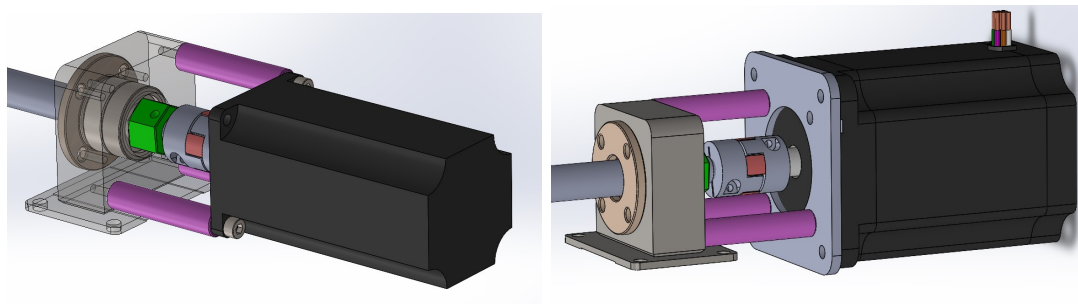


Figura 4.8: Juego axial entre rodamientos apareados cara a cara (izq) o espalda con espalda (derecha)

El diseño del bloque permite su utilización con motores con brida del tipo nema 23, pero también se pueden utilizar motores NEMA 34 mediante el uso de una placa de adaptación. Ambas opciones se ven en la figura inferior.



(a): Bloque con nema 23

(b): Bloque con nema 34

Figura 4.9: Bloques fijos



## Tornillo

- Origen chino, sin marca/genérico, buenos costos por las prestaciones que brindan. Si quisiéramos aumentar las tolerancias, los costos se elevan sustancialmente.
- Laminado: Este proceso implica que no puede obtener una tolerancia mejor que la C7/T7 (definida en la norma JIS B 1192/ISO 3408). Lo que significa que en una distancia máxima de 300mm (Effective thread length) puede tener una desviación de 52um (tolerancia +-50). Lo ideal sería utilizar por lo menos una T5 (desviación 0.23) que son de posicionamiento, no de transporte, pero para nuestra aplicación y fundamentalmente presupuesto, el tornillo seleccionado resulta acorde. Además, una baja tolerancia es mas permisiva en la instalación con alineamiento entre las guías lineales, tuerca y tornillo y soporte, ya que una mala alineación afecta a la distribución de las cargas en la tuerca, reduciendo su vida útil.
- Eje Z: Dos tornillos de diámetro 16mm, avance 4 mm (1604), longitud total 400 mm.
- Eje X e Y: Un tornillo para cada eje, diámetro 16mm y avance 10 mm (1610), longitud total 550 mm.
- Mecanizados en extremos para bloques fijos y móviles ya realizados con medidas estándares. Superficies rectificadas garantizando concentricidad, algo que sería difícil de igualar comprando el tornillo por metro y realizando las operaciones solo en torno.

A continuación se describirán las diferentes verificaciones realizadas a los tornillos seleccionados:

- Fuerza axial:  
Los tornillos los podemos dividir en dos según su aplicación, de unión y de potencia. Estos últimos son los que convierten un movimiento angular en otro lineal y a continuación utilizaremos las ecuaciones de estos para hallar la fuerza lineal que puede transmitir el tornillo seleccionado al utilizar el motor paso a paso seleccionado en la sección 4.1.3, con un torque determinado.

De las siguientes formulas se despeja F para poder hallar la fuerza axial. La primera (A) no contempla el ángulo de la rosca  $\theta$  y la segunda (B) si.

$$A) \quad P = \frac{F \times (\text{sen}(\alpha) + \mu \times \text{cos}(\alpha))}{\text{cos}(\alpha) - \mu \times \text{sen}(\alpha)}$$

$$B) \quad T = \frac{F \times d_m}{2} \times \frac{p + \pi \times \mu \times d_m \times \text{sec}(\theta)}{\pi \times d_m - \mu \times p \times \text{sec}(\theta)}$$

Dato	Simbolo	Valor	
Angulo de la rosca [° // rad ]	$\theta$	45	0,785375
Avance tornillo (paso x n hilos)	$p$	10	
Diametro primitivo/medio [mm]	$D_p$	15,00	
Torque motor [kg x cm]	$T$	30,00	
Coefficiente de rozamiento tornillo	$\mu$	0,01	
Coefficiente de rozamiento collarin / BK	$\mu_c$	0,00	

Unidades derivadas:			
Fuerza momento [kgf]	$P$	40,00	
Angulo de helice [ RAD // grados]	$\alpha$	0,21	11,98151008
Fuerza normal a hilo	$N$	184,02	
Torque collarin / bloque fijo BK	$T_c$	0,00	

Incognita			
Cargas axiales maximas sobre tornillo [Kgf]	$F$	179,63	Con formula A
Cargas axiales maximas sobre tornillo [Kgf]	$F$	176,10	Con formula B

Figura 4.10: Parámetros y resultados para calculo de fuerza axial

■ Resistencia al pandeo:

Podemos obtener la carga máxima de pandeo del diagrama de la figura 4.11 o también mediante formulas. De la figura se obtiene que las cargas criticas para los tornillos usados están por encima de los 2000 kg, muy por encima de los 180 kg que puede mover el motor, por lo que son inalcanzables.

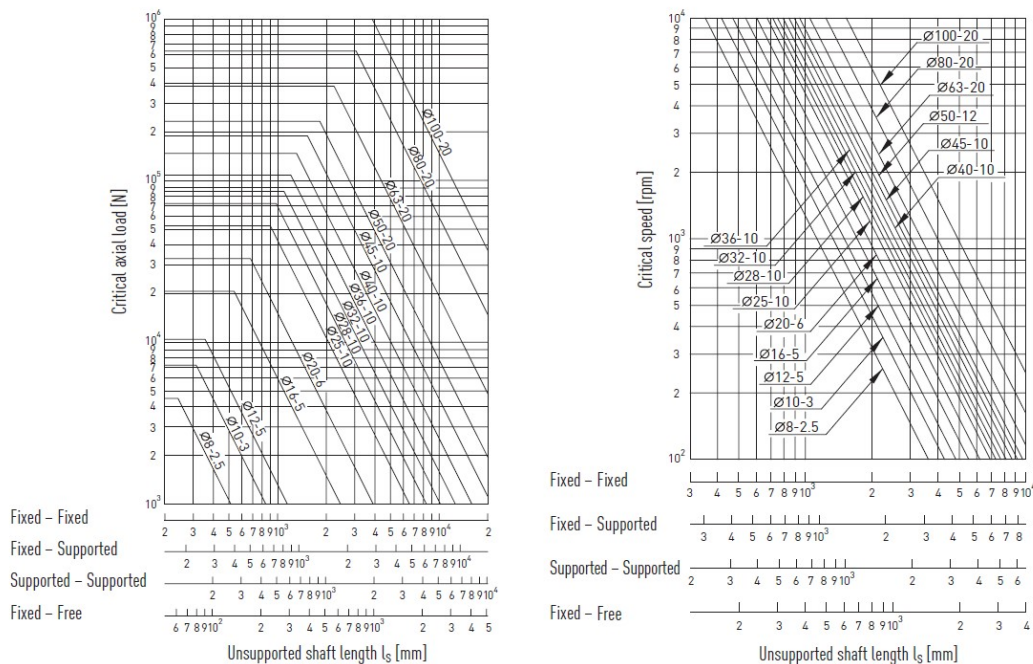


Figura 4.11: Carga limite de pandeo (izq) y velocidad critica (der)

- Velocidad crítica: Es la menor velocidad en rpm con la que el tornillo entra en resonancia.

Este valor se puede hallar tanto con formulas como con ábacos o diagramas. Siendo este ultimo el método mas sencillo, utilizamos la figura 4.11. Tomando un tornillo de diámetro 16, longitud 500mm y con un soporte fijo y otro flotante (para los ejes X e Y), obteniendo una velocidad critica de 1600 rpm.

El valor hallado es mucho mas alto que las revoluciones a las que llega el motor paso a paso, ya que cerca de 600 rpm solo posee suficiente torque para girar en vacío, diferente seria el caso de servomotores DC o AC, que llegan a velocidades mucho mayores.

#### **Tuercas:**

Corresponden al diámetro del tornillo (16mm) y paso de su tornillo y son simples con bolas sobredimensionadas que generan 4 puntos de contacto sobre el doble arco gótico del perfil del tornillo.

### **4.3. Restricción de movimientos**

El movimiento entre la pieza a mecanizar y la herramienta de corte se da en tres ejes ortogonales (X,Y,Z). Cada eje surge del movimiento entre dos subconjuntos, por ejemplo:

- EJE X: Puente móvil y carro.
- EJE Y: Mesa y base.
- EJE Z: Puente móvil y puente fijo.

Cada subconjunto en el espacio tiene 6 grados de libertad, tres rotaciones y tres traslaciones. Pero al vincularlo con el que tendrá movimiento relativo se deben restringir las tres rotaciones y dos de las traslaciones, quedando solo una traslación que seria la dirección del eje.

Para lograr esto se utilizan guías lineales, de las cuales hay diferentes tipos, cada uno con sus ventajas y desventajas que las hacen aplicables en situaciones particulares.

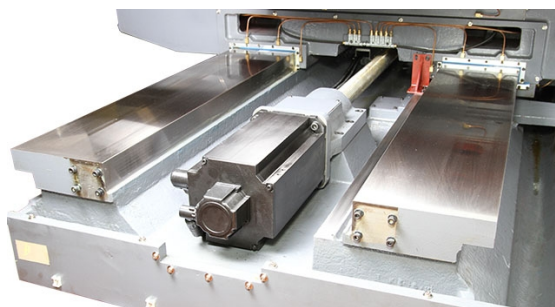
A continuación se hará una breve descripción de las alternativas disponibles, siendo la ultima opción, guías trapezoidales, la seleccionada por lo que se describirá con mayor detalle.

#### **4.3.1. Alternativas disponibles**

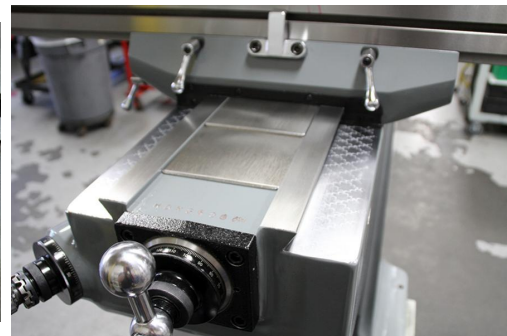
- **Colas de milano y guías cuadradas:** En ambos tipos hay contacto entre las caras de las guías y los bloques, cuya área es mucho mayor si se lo compara con las guías con elementos rodantes, por lo que pueden soportar grandes cargas. Como contra la fricción es alta lo que limita las velocidades y se requiere de gran potencia en los motores para desplazar la maquina. En algunos casos se utiliza una superficie intermedia como turcite para disminuir la fricción.

Las colas de milano son utilizadas en la mayoría de maquinas convencionales mientras que las guías cuadradas, como poseen una mayor superficie de contacto, se usan para muy altas cargas. Su fabricación es muy demandante por las tolerancias necesarias para su apropiado funcionamiento, por lo que su costo es elevado y su uso se reserva para maquinas de gran precisión y prestaciones.

El juego o precarga se ajusta mediante unas piezas en forma de cuña llamadas colizas, las cuales al desplazarlas en la dirección del movimiento de la guía, se mueven perpendicularmente respecto a las superficies en contacto.



(a): Guías cuadradas (Boxed ways)



(b): Cola de milano (Dovetail)

Figura 4.12: Guías por fricción en eje Y de fresadora

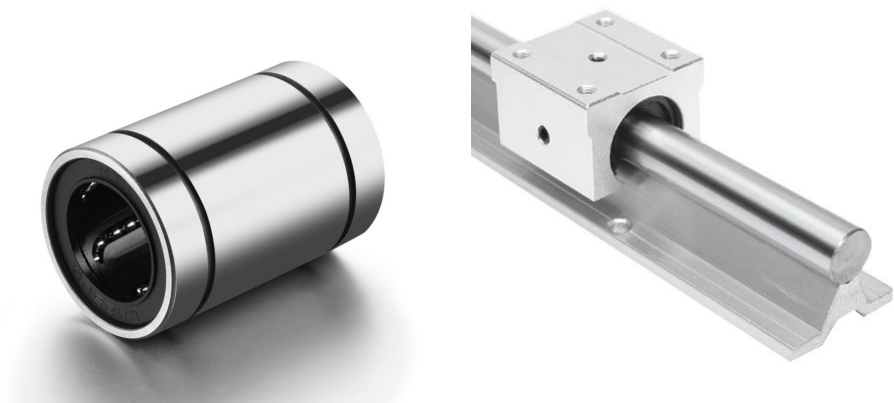
#### ■ Guías con rodadura:

En estos tipos de guías se introduce un elemento rodante entre las superficies de los subconjuntos que se desplazan. Este elemento puede ser una esfera o un cilindro. La diferencia entre ambos es el área de contacto, que en el primero es un círculo y en el segundo un rectángulo cuya área es mayor, resistiendo mayores cargas.

Sus dimensiones están estandarizadas lo que permite una gran intercambiabilidad entre los distintos fabricantes.

El conjunto posee dos elementos, los patines, bloques o rodamientos (fig 4.15) y las guías o rieles por donde estos se desplazan. Los tipos mas comunes son los siguientes:

- Guías cilíndricas: Se pueden utilizar con rodamientos cilíndricos cerrados, para barras con soporte en los extremos, o abiertos, para barras con soporte a lo largo de ellas. Por su geometría simple son mas económicas pero no resisten momentos a no ser que se utilicen de a pares. Son la opción a utilizar cuando solo se puede soportar el riel en los extremos.



(a): Rodamiento lineal cerrado (b): Rodamiento abierto y su guía con soporte

Figura 4.13: Guías de sección circular

- Guías trapezoidales: Las hay de diferentes secciones con dos o mas pistas donde ruedan las bolas o rodillos. En la figura 4.14 se ven las diferentes posiciones que pueden tomar las pistas de rodadura cuando hay cuatro por perfil. En la distribución en O, al igual que en los rodamientos espalda con espalda (fig 4.8, poseen mayor resistencia a los momentos pero requieren menores tolerancias en el montaje, pero como usamos de a pares de rieles para mover un eje, la distancia entre ellos es la que soporta el momento, despreciando la diferencia entre la distribución O y X.

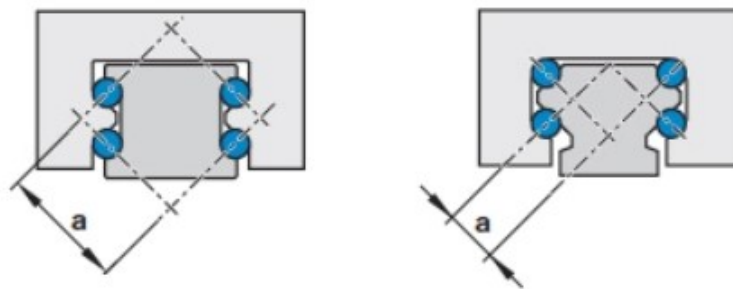
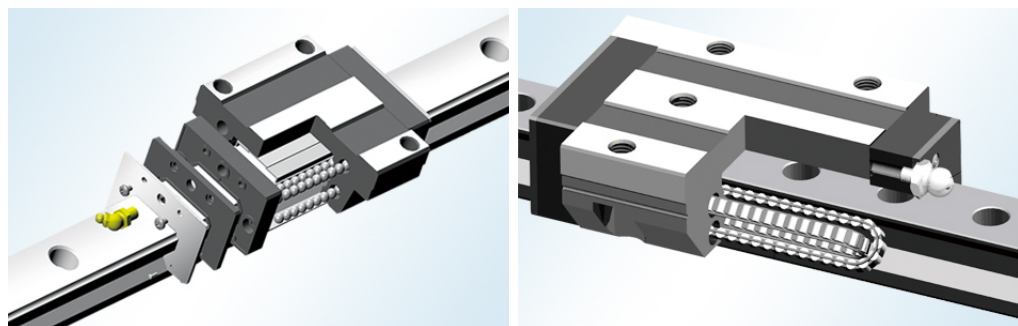


Figura 4.14: Distribución en O / espalda con espalda (izq) y en X o cara a cara (der)



(a): Bloque con bolas (b): Bloque con cilindros

Figura 4.15: Patines para guías lineales trapezoidales

■ Otros:

Hay muchos mas tipos de guías como las hidroestáticas, donde se bombea lubricante a presión que forma una película entre el patín y la guía, ruedas de diferentes formas con perfiles de secciones particulares, etc, pero no son de uso común en las máquinas herramientas como los mencionados anteriormente.

### 4.3.2. Precarga

Para minimizar las deformaciones dentro de la fase elástica que se generan al aplicar una carga necesitamos aumentar la rigidez.

Para realizar esto, además de un dimensionamiento acorde de los componentes como el analizado en la sección 3.8, podemos precargar los patines.

Esto se hace con el uso de bolas sobredimensionadas, generando una interferencia u holgura negativa. En la imagen inferior se ven los diferentes grados que ofrece el fabricante Hiwin, su aplicación y el valor de la precarga (siendo C la carga dinámica del patín).

Esto tiene la desventaja un aumento del rozamiento y reducción de la vida útil del componente por lo que hay que seleccionar la adecuada para la aplicación.

Class	Code	Preload	Condition	Examples of Application
Light Preload	Z0	0~ 0.02C	Certain load direction, low impact, low precision required	Transportation devices, auto-packing machines, X-Y axis for general industrial machines, welding machines, welders
Medium Preload	ZA	0.05C~0.07C	High precision required	Machining centers, Z axis for general industrial machines, EDM, NC lathes, Precision X-Y tables, measuring equipment
Heavy Preload	ZB	0.10C~ 0.12C	High rigidity required, with vibration and impact	Machining centers, grinding machines, NC lathes, horizontal and vertical milling machines, Z axis of machine tools, Heavy cutting machines
Class	Interchangeable Guideway		Non-Interchangeable Guideway	
Preload classes	Z0, ZA		Z0, ZA, ZB	

Figura 4.16: Grados de precarga en guías lineales

### 4.3.3. Lubricación

El tipo de lubricación puede ser con aceite o con grasa, pero si bien el primero reduce el rozamiento, requiere de una reposición mas frecuente.

Cuando la carga aplicada es menor que un 10% de la carga estática básica ( $C_0$ ) la mayoría de la resistencia viene de la fricción entre bolas y la viscosidad del lubricante. Por lo que para aplicaciones donde hay cargas bajas y velocidades altas (mayores a 60m/min) conviene debe utilizar aceite. Caso contrario, como el del presente trabajo, se utiliza grasa gracias a que no es necesario un sistema continuo de lubricación con aceite, sino que se inyecta por el niple engrasador y se chequea cada 100 km o 3 a 6 meses.

La grasa recomendada es de litio, que es catalogada como una de propósito general, posee una gran resistencia a la presión y a las cargas de impacto, lo que la hace ideal para la aplicación.

### 4.3.4. Montaje

A continuación se mencionarán las diferentes consideraciones a tener en cuenta en diferentes aspectos a la hora de diseñar las piezas donde se montaran las guías y el procedimiento para hacerlo.

#### Superficie de montaje

Para el caso de esta maquina se utiliza un par de rieles para cada eje y se requiere que las superficies donde se vincularan cada uno de ellos cumplan con las tolerancias de la imagen inferior.

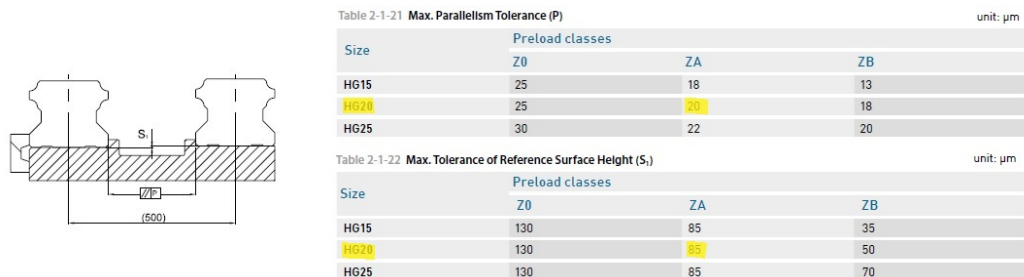


Figura 4.17: Tolerancias de la superficie de montaje

De ser mayores las tolerancias se reduce la vida útil de los elementos y disminuye la suavidad del movimiento.

#### Borde de referencia

En la figura anterior, haciendo contacto con el lateral de las guías, hay unas caras llamadas de referencia que poseen dos funciones:

- Transmiten la reacción de las fuerzas del mecanizado a través de ellos y que no solo sea la fricción estática entre la base del riel y la superficie de montaje.
- Como los ejes no necesariamente son rectos, sobre todo en largas longitudes, se usan cuñas o planchuelas para apretarlos contra el borde de referencia mecanizado.
- Definir la posición de un eje, que es el maestro, con lo que se define la dirección de un eje.

Como la longitud de los rieles es corta y se pudo comprobar que la rectitud es aceptable al ponerlos a la par y viendo la luz entre ellos solo se emplearan los bordes de referencia sin pensar el riel.

La altura del borde debe ser mayor que el radio que posee la arista de la guía para asegurar el contacto entre dos caras paralelas.

Para nuestro caso la altura del borde recomendada por el fabricante Hiwin para los rieles HGR20 en su catalogo es de 3.5 mm y con un radio máximo de 0.5mm.

Además, en el caso que necesitemos mover la pieza para fresarla porque no alcanza el área de mecanizado disponible en la fresadora utilizada, estos bordes nos sirven para poder palpar y alinear.

## Métodos de montaje

Para evitar desplazamientos de los rieles por cargas de impacto o vibraciones podemos utilizar diferentes métodos para fijar el riel a la cara de referencia. Estos son con planchuelas, con tornillos, con una cuña o con tornillo avellanado y un cilindro. Estos se pueden observar en la imagen inferior:

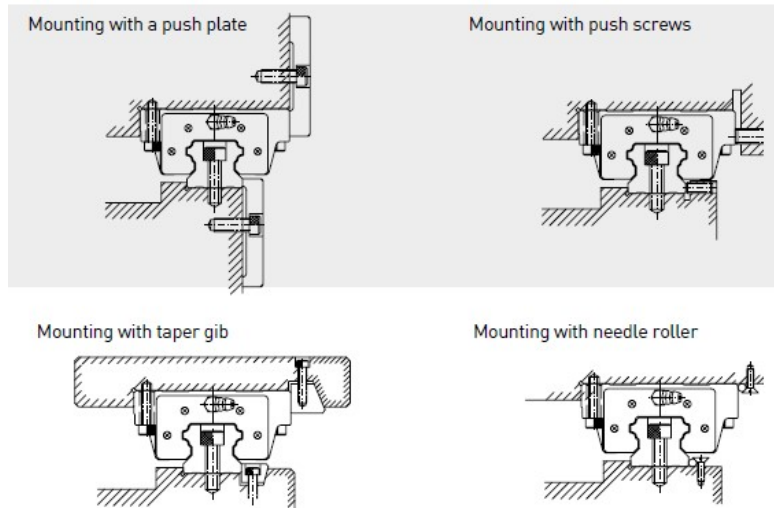
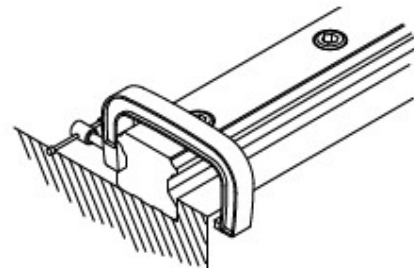


Figura 4.18: Alternativas para fijar un riel o patín



(a): Guías fijadas con planchuela



(b): Prensado del riel con la superficie de referencia

Figura 4.19: Fijación de guías lineales

## Procedimiento

Para instalar el par de guías que corresponden para cada eje el operario debe realizar, según el diseño de fijación adoptado, los siguientes pasos:

1. Limpiar la superficie de vinculación junto con la base de la guía y pasar en ambos una piedra para asentar.
2. Posicionar el primer riel (el maestro) en contra de la superficie de referencia.
3. Instalar todos los tornillos sin ajustarlos.



4. Usar una prensa como la de la figura 4.18(b) para asegurar el contacto del riel con la cara de referencia y ajustar los tornillos con el torque especificado por el fabricante en la imagen.
5. Poner el segundo riel (el esclavo) en su posición correspondiente con los tornillos sin ajustar,
6. Fijar una base magnética con un comparador en un patín que se desplace sobre el riel esclavo.
7. Palpar lateral de guía esclava y modificar su posición hasta que no se registren variaciones.
8. Ajustar los tornillos con el torque correspondiente.
9. Poner los dos patines que corresponden en cada riel.
10. Montar el conjunto que se desplaza fijo a los patines con los tornillos flojos.
11. Fijar los patines del riel fijo con el borde de referencia
12. Ajustar los tornillos de los cuatro patines.

Table 2-1-24 Mounting Torque

Size	Bolt size	Torque N-cm (kgf-cm)		
		Iron	Casting	Aluminum
HG15	M4x0.7Px16L	392 (40)	274 (28)	206 (21)
<b>HG20</b>	<b>M5x0.8Px16L</b>	<b>883 (90)</b>	<b>588 (60)</b>	<b>441 (45)</b>
HG25	M6x1Px20L	1373 (140)	921 (94)	686 (70)

Figura 4.20: Dimensiones tornillos y torque de apriete

### 4.3.5. Selección guías

Se considero el proceso descrito por el fabricante Hiwin en su catalogo, que es similar al de otros fabricantes, pero como los costos y disponibilidad son de gran importancia para este caso, se vieron cuales de las alternativas disponibles responden mejor a las recomendaciones del fabricante.

Por lo mencionado se selecciono la guía con cuatro pistas de rodadura, para bolas con distribución en X denominada HGR-R de 20 mm de ancho. Descomponiendo su nombre, HG es rodamiento de bolas para grandes cargas, R, guía (“rail”) y la ultima R dice que los tornillos de montaje se insertan desde arriba.

Este tipo de guía es el mas utilizado para maquinas herramientas por lo que hay gran disponibilidad y sus costos son menores que otros perfiles.

Model No.	Dimensions of Assembly (mm)			Dimensions of Block (mm)										Dimensions of Rail (mm)						Mounting Bolt for Rail (mm)	Basic Dynamic Load Rating C (kN)	Basic Static Load Rating C <sub>0</sub> (kN)	Static Rated Moment			Weight						
	H	H <sub>1</sub>	N	W	B	B <sub>1</sub>	C	L <sub>1</sub>	L	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	G	MxL	T	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	W <sub>R</sub>	H <sub>R</sub>	D				h	d	P	E	M <sub>x</sub> (kN-m)	M <sub>y</sub> (kN-m)	M <sub>z</sub> (kN-m)	Block (kg)	Rail (kg/m)	
	HGH15CA	28	4.3	9.5	34	26	4	26	39.4	61.4	10	4.85	5.3	M4x5	6	7.95	7.7	15	15	7.5	5.3	4.5	60	20	M4x16	14.7	23.47	0.12	0.10	0.10	0.18	1.45
<b>HGH20CA</b>	<b>30</b>	<b>4.6</b>	<b>12</b>	<b>44</b>	<b>32</b>	<b>6</b>	<b>36</b>	<b>50.5</b>	<b>77.5</b>	<b>12.25</b>	<b>6</b>	<b>12</b>	<b>M5x6</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>20</b>	<b>17.5</b>	<b>9.5</b>	<b>8.5</b>	<b>6</b>	<b>60</b>	<b>20</b>	<b>M5x16</b>	<b>27.1</b>	<b>36.68</b>	<b>0.27</b>	<b>0.20</b>	<b>0.20</b>	<b>0.30</b>	<b>2.21</b>	
HGH20HA							50	65.2	92.2	12.6															32.7	47.96	0.35	0.35	0.35	0.39		
HGH25CA							35	58	84	15.7																34.9	52.82	0.42	0.33	0.33	0.51	
HGH25HA	40	5.5	12.5	48	35	6.5	50	78.6	104.6	18.5	6	12	M6x8	8	10	9	23	22	11	9	7	60	20	M6x20	42.2	69.07	0.56	0.57	0.57	0.69	3.21	

Figura 4.21: Dimensiones y cargas en bloques

La distribución es en X es ya que se utilizan de a pares de rieles por lo que no necesitamos la distribución en O. Esto, junto con el perfil circular de las pistas de rodadura nos permite mayores desalineaciones en el montaje sin cargar demasiado las bolas.

Los patines o bloques que van en la guía seleccionada son HGH20-CA 20 y HGW20-CC. La cuarta letra C dice que son para grandes cargas y la ultima letra representa el tipo de montaje, siendo A desde arriba y C desde arriba o abajo. Ambos tipos junto con la sección del riel se pueden ver en las imágenes inferiores.

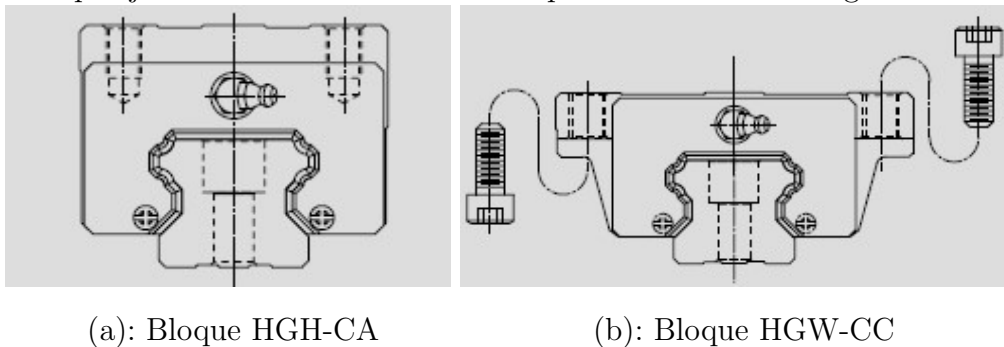


Figura 4.22: Tipos de bloques utilizados

Las guías utilizadas, por cuestiones de costos y disponibilidad, son clones de las originales, con una precarga media.

# Capítulo 5

## Sistemas de control

### 5.1. Conceptos

#### 5.1.1. Estructura de un control CNC

Un control industrial puede dividir su estructura en tres partes:

1. **Interfaz de usuario:** Es aquella mediante la cual el operario se comunica con la maquina. Puede ser solo virtual en un monitor o agregarle diferentes botones y perillas físicos.
2. **Interpretador de código G:** Este analiza el código G línea por línea, decodifica los comandos y extrae información relevante, como la posición de la herramienta, las velocidades, los avances, etc. Luego, genera los comandos de movimiento correspondientes que el “motion controller” puede entender y ejecutar.
3. **Motion controller:** Encargado de generar y ejecutar los comandos de movimiento para controlar los ejes de la máquina CNC. Recibe información de la interfaz de usuario y de los encoders en caso de tenerlos y la utiliza para calcular la trayectoria y las velocidades de los ejes, generando las señales eléctricas como step y dir para los motores paso a paso.

#### 5.1.2. Tipos de sistemas operativos:

- **Multitarea (multitasking):** Cambian dinámicamente entre procesos según los recursos disponibles para garantizarle al usuario la mejor experiencia.
- **De tiempo real (RTOS - Real time operating system):** No son tan flexibles como los anteriores por lo que son desarrollados en conjunto con el hardware en el cual se encuentran. Contrario a los anteriores, son utilizados cuando se tienen que procesar datos dentro de un tiempo estrictamente definido, como es el caso de las operaciones de mecanizado, ya que de no procesarse la información provista por el código G en un tiempo adecuado, la posición, velocidades o aceleraciones escritas en el pueden diferir respecto a las reales, ocasionando problemas.

En resumen la principal diferencia entre ambos es el planificador, un algoritmo que decide cuando ejecutar cada tarea. En un RTOS se utilizan unos llamados de-terministas, que proveen patrones de ejecución predecibles, no como en los sistemas multitarea donde se adaptan según la situación.

### 5.1.3. Código G

El código G es un lenguaje de programación utilizado en el ámbito de las máquinas herramientas, usado para controlar su funcionamiento.

Las funciones del código G son las siguientes:

- **Control de movimiento:** El código G se utiliza para controlar la velocidad, aceleración y dirección de cada uno de los ejes de la máquina.
- **Cambio de herramientas:** Permite cambiar automáticamente entre estas herramientas durante el proceso de mecanizado.
- **Control de las RPM del husillo**
- **Salidas varias:** Actúan sobre solenoides o reles que prenden luces, motores (como la bomba de Refrigerante), etc.
- **Ciclos de mecanizado:** El código G también proporciona ciclos de mecanizado predefinidos que simplifican la programación manual de operaciones comunes, como taladrar agujeros, roscar o fresar superficies, al combinar varios comandos en una sola instrucción.

## 5.2. Alternativas

Los controles poseen un amplio rango de costos, siendo los mas económicos aquellos aptos para usos hogareños y los mas caros para uso industrial. A medida que aumenta el costo, poseen una mayor confiabilidad y mejores prestaciones, como mayor cantidad de pulsos por segundo, mas ejes y mas funciones. Pero esto no siempre es la regla, por lo que se seleccionara un control que con un costo aceptable, cumpla con los requerimientos que necesitamos.

### 5.2.1. Control autónomo

Es un dispositivo que posee un hardware y software específico para comandar una máquina CNC por lo que posee una alta confiabilidad y buenas prestaciones.

Hay de rangos de precios y calidades muy variadas, que van desde las primeras marcas, como Fanuc, Siemens, Heidenhain, etc, hasta fabricantes mas económicos, normalmente asiáticos, como GSK, Weihong, etc, pero aun así, el costo de estos últimos supera notablemente a un control con PC.

La mayoría poseen todo integrado en un mismo paquete, desde el monitor, teclas y la electrónica. Otros como por ejemplo el fabricante Masso, brinda la electrónica a la que el usuario le agrega los periféricos (mouse, teclado, monitor, pendant, MPG Wheel, etc)



(a): Control genérico económico



(b): Control industrial Fanuc

Figura 5.1

### 5.2.2. PC

Contrario a la opción anterior esto utiliza hardware convencional, por lo que su costo es reducido. Respecto al software, hay diferentes alternativas para windows como Mach3/Mach4, Eding, Centroid Acorn, UC CNC, etc y Linux CNC para Linux.

El problema de las PC es que al poseer un sistema operativo multitarea, le puede dar mayor prioridad a otros procesos como actualizaciones de drivers, programas secundarios, etc, lo que puede generar una ruptura del sincronismo entre todos los movimientos de la maquina. Linux CNC, al ser de tiempo real, no tiene esos inconvenientes.

Para solucionar deficiencias en el hardware, como esos posibles retardos en windows, o aumentar la cantidad de pulsos, se utilizan placas que se conectan a la PC via USB, Ethernet o puerto PCI-EXPRESS.

### 5.2.3. Selección

Para el presente trabajo se eligió una PC de escritorio convencional que corra Linux CNC como su sistema operativo, mas una placa externa MESA. Esta combinación cumple con la mayoría de nuestros requerimientos, como ser: sistema operativo en tiempo real, software libre, bajo costo y excelentes prestaciones con la placa externa MESA. Y un punto muy a favor es la gran versatilidad del programa ya que podemos utilizar múltiples cinemáticas, diferentes tipos de porta herramientas y aplicar las diferentes herramientas que posee para personalizarlo en muchos aspectos para la maquina a fabricar.

Para la interacción del operario con la máquina, esta posee un brazo pivotante con un monitor, teclado y botones para diferentes funciones relevantes, como pausar/reanudar programa, detener programa, prender/apagar la bomba de hidrosoluble y parada de emergencia.

Además, se puede agregar un control remoto (llamado “pendant”, ver en figura 5.2.3(a)), con el que con la ayuda de una rueda MPG (“magnetic pulse generator”) y diversas perillas, podemos seleccionar el eje que queremos mover, el avance por cada pulso y generar los pulsos al girar la rueda. Esto nos sirve para que el operario se acerque a la pieza y pueda mover finamente la maquina para definir alguna posición o establecer algún sistema de coordenadas.

La interfaz de usuario que corre en Linux CNC (GUI-“Graphical user interface”) con la que controlamos la máquina es “Probe macros”(ver en el monitor de

la imagen inferior). De las gran variedad que hay esta es la que se encuentra mejor lograda y nos permite un uso más intuitivo.

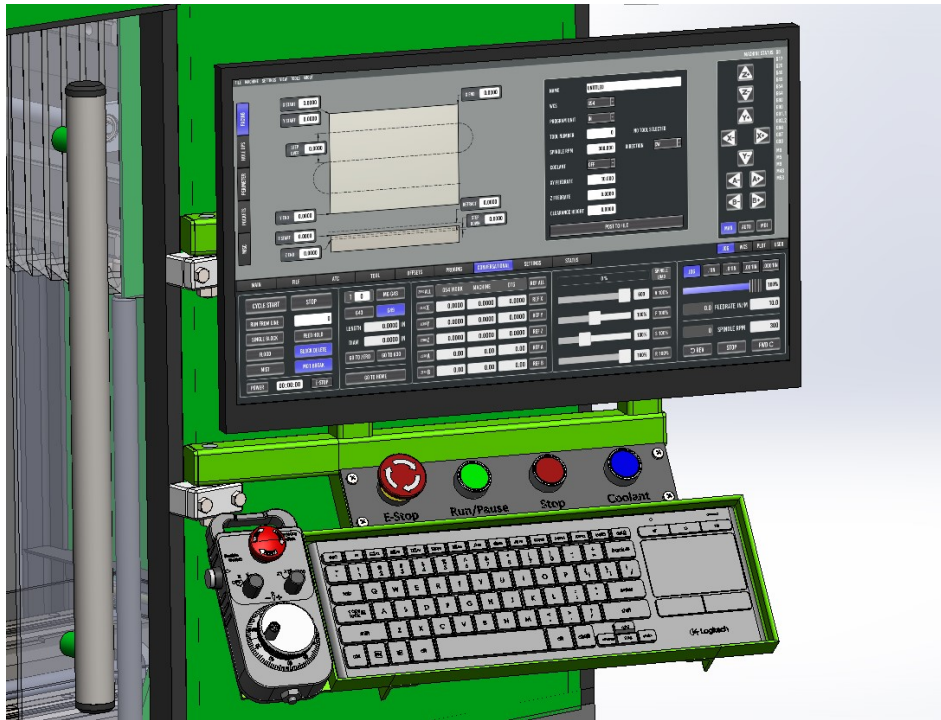
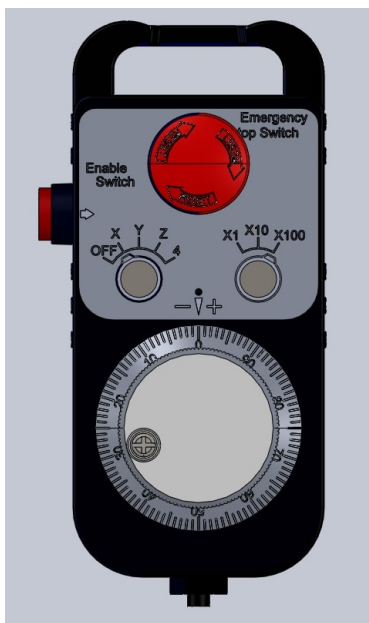


Figura 5.2: Interfaz de control

La placa seleccionada es la MESA 7I75E. Esta posee las siguientes cualidades: control de hasta 5 ejes, 48 pines I/O aislados, interfaz de control de encoder de husillo, posibilidad de expansión a otras placas (“daughterboards”) para añadir funcionalidades, etc, todo a un costo insignificante si se compara con otras alternativas industriales.



(a): Pendant



(b): Placa MESA 7I76E

Figura 5.3

### 5.3. Programas CAM

Para generar operaciones de mecanizado simple se pueden utilizar diferentes ciclos de mecanizado presentes en el control y trabajar con una programación conversacional. El problema de esto es que es muy limitado lo que se puede hacer y para aprovechar las prestaciones de la maquina y obtener geometrías diferentes a las primitivas debemos usar programas CAM que corren en un PC.

Algunos de ellos son: CamWorks, SolidCAM, Solidworks CAM, HSM Works, MasterCAM, etc. Los hay de diferentes costos y prestaciones.

### 5.4. Ruido eléctrico

#### 5.4.1. Definición

El ruido eléctrico se refiere a las perturbaciones no deseadas o interferencias que se generan en un sistema eléctrico. Estas pueden ser causadas por diversos motivos, como fluctuaciones en el suministro de energía, interferencia electromagnética de otros dispositivos, entre otros factores. Este puede manifestarse como variaciones indeseables en la señal eléctrica, distorsiones, interferencias en la transmisión de datos o mal funcionamiento de los equipos eléctricos y electrónicos.

Para evitar o reducir el ruido eléctrico, se deben implementar técnicas de filtrado, apantallamiento, puesta a tierra adecuada y uso de componentes de calidad para mantener la integridad de las señales y garantizar el correcto funcionamiento del sistema.

#### 5.4.2. Problemas en equipos CNC

- **Interferencias en las señales:** Se da en las señales de control y retroalimentación, lo que puede resultar en errores en el posicionamiento, movimientos incorrectos o imprecisos.
- **Mal funcionamiento de los componentes electrónicos:** El ruido eléctrico puede causar daños o mal funcionamiento en los componentes electrónicos sensibles de los equipos CNC, como los controladores, sensores, motores y circuitos integrados. Esto puede llevar a fallas prematuras de los componentes y a un rendimiento general deficiente de la máquina.
- **Pérdida de datos y corrupción de programas:** Las interferencias electromagnéticas causadas por el ruido eléctrico pueden corromper o alterar los datos y programas almacenados en los sistemas CNC. Esto puede resultar en la pérdida de programas de mecanizado, errores en las instrucciones de corte o variación de los parámetros de la máquina.
- **Inestabilidad del sistema:** Son comportamientos erráticos o impredecibles de la máquina, como pausas no programadas, reinicios inesperados o incluso paradas completas de la máquina.

### 5.4.3. Medidas

Algunas de las cosas que se pueden realizar para reducir o eliminar los problemas mencionados anteriormente son:

1. Cables aislados: Poseen una lamina o malla rodeando los conductores que se encuentra conectada a tierra.
2. Par de cables trenzados: Reducen el traspaso de señales entre un cable a otro (“crosstalk”) y eliminan los efectos de las interferencias externas usando señal diferencial (como el protocolo RS485). Comercialmente se consiguen dos tipos según sean o no aislados, STP (“Shielded twisted pair”) y UTP (“Unshielded twisted pair”).
3. Filtros: Pueden ser filtros pasa bajos o ferritas que evitan el paso de cierto rango de frecuencias a través de un conductor. Es decir, ayudan a suprimir el ruido de alta frecuencia generado por algunos componentes como motores, variadores, fuentes de alimentación, etc, para que este no se propague por los demás cables y afecte a otros componentes
4. Jaula de Faraday para VFD: Como el variador genera gran cantidad de interferencias, es recomendado instalarlo en un gabinete aparte o aislarlo del resto de la electrónica rodeándolo de algún conductor (caja de chapa) y conectar este a tierra.
5. Usar componentes de calidad: Algo que se recorta en los productos de baja calidad es la capacidad de resistir el ruido eléctrico o reducir el emitido. Como por ejemplo las fuentes de alimentación económicas, que si bien cumplen con el poder que pueden proporcionar, generan gran cantidad de ruido en la linea.

## 5.5. Cableado y conexiones

Para facilitar el manejo de los cables se utilizan conectores entre ellos y el elemento a alimentar o transmitir datos. Para las conexiones a elementos donde se tenga que transmitir potencia usamos los conectores de la serie GX, los cuales están disponibles en diferentes tamaños (amperaje) y numero de pines. En el caso de las señales de control usamos conectores de la serie SM de JST.

Los extremos de los cables poseen terminales tiff, pala, ojales, etc, para garantizar el buen contacto y durabilidad de la unión.

La denominación del cable se encuentra impreso en termocontraibles para una fácil identificación y tanto en la tapa del gabinete, como en un manual donde hay un esquema con el conexionado de todos los componentes. A cada cable se le asigna un nombre que respeta el formato AA-BBB, siendo AA lo que identifica a un grupo o subconjunto y BBB números correlativos.



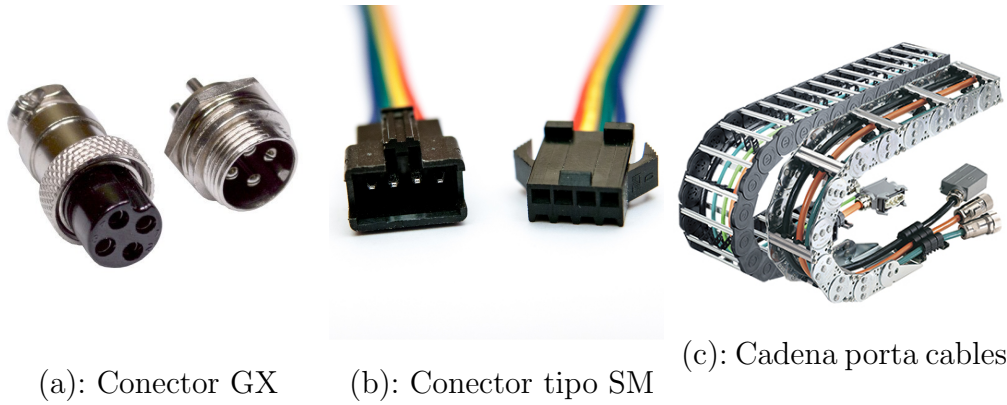


Figura 5.4

## 5.6. Diseño del gabinete

Los diversos componentes electrónicos se montan en un gabinete que se encuentra integrado en el cerramiento de la máquina, con lo que podemos situarlo en una posición relativamente ergonómica, reducimos las longitudes de los cables y no añade volumen a la máquina.

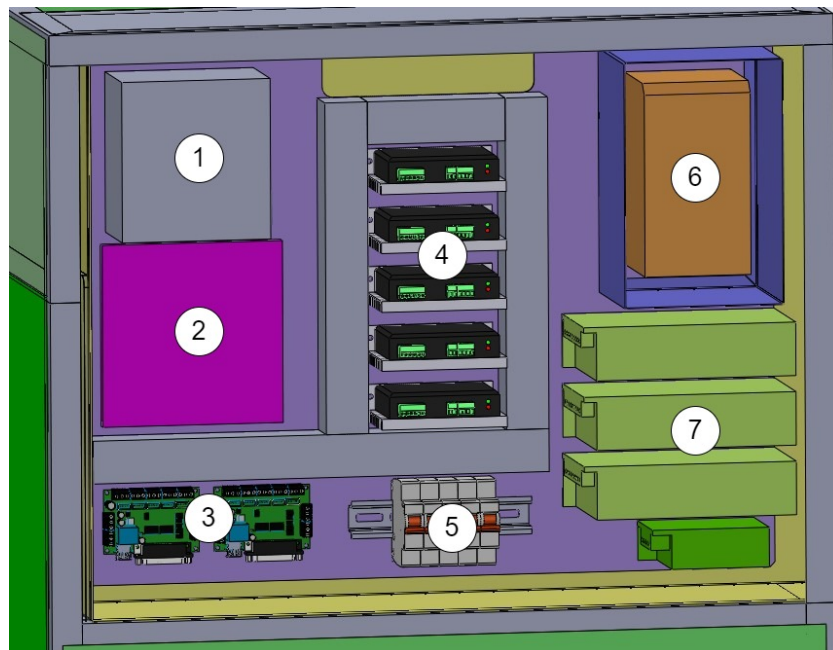


Figura 5.5: Gabinete electrónica

En la imagen superior se ve la distribución de los componentes que se encuentran enumerados:

1. Fuente de PC.
2. Placa madre de PC.
3. Placa de control Mesa.
4. Drivers de motores paso a paso (uno para X, uno para Y, dos para Z y uno para ATC)

5. Riel DIN con borneras, llaves termomagnéticas, etc.
6. Variador de frecuencia con chapa cobertora.
7. Fuentes de alimentación DC.

Este posee un falso fondo para poder armar el tablero cómodamente fuera de la maquina. En el se fijan los rieles DIN, donde se instalan los componentes pequeños y medianos, y cablecanales ranurados que sirven de guías para los cables y dividen el panel en diferentes sectores, como ser:

- **Alto voltaje:** Es en donde llega la alimentación de la maquina, sea monofásica o trifásica. Aquí se encuentra las llaves termomagnéticas, una general y otras para elementos particulares como ser:
  - Variador del husillo.
  - Fuentes 48VDC para drivers de los motores paso a paso.
  - Fuentes 12VDC y 5VDC para placas control y sensores
  - Relé bomba refrigeración husillo
  - Relé bomba lubricante
  - Fuente PC control.
  - Luces cerramiento.

Para definir el amperaje por encima del cual actuara el bimetálico que detectara una sobrecarga, se seleccionan valores un 25 % por encima del consumo máximo al que estará sometido (contemplando el aumento en el arranque de motores eléctricos). También se encuentra un banco de relés, comandados por señales de 5VDC desde la placa de control, que actúan elementos que trabajan a 220v, como las bombas, luces, etc.

- **Control:** En este sector se encuentra la PC con su fuente, la placa de control (breakout board) o placa MESA, fuentes de 12VDC y 5VDC para la parte lógica y el solenoide para la actuación del cilindro neumático del sistema ATC (explicado en el siguiente capítulo).
- **Drivers motores paso a paso**
- **Variador husillo:** Este se encuentra separado del resto por una chapa conectada a tierra, que hace de jaula de Faraday y contiene gran parte de la interferencia electromagnética que genera el VFD y afecta a los demás dispositivos de control.

El gabinete posee refrigeración por aire mediante ventiladores tanto de entrada como de salida de aire, que generan una corriente que disipa el calor de los diferentes componentes. En la entrada se ponen unos filtros antipolvo para reducir el ingreso del mismo.

# Capítulo 6

## Husillo y ATC

En este capítulo se expondrá lo relacionado a los dos tipos de husillos que se utilizarán, un electro-husillo y un motor-husillo. Se explicarán las ventajas y desventajas de cada uno, alternativas comerciales disponibles en el mercado y aplicación de cada uno.

También se desarrollará sobre los diferentes tipos de sistemas de cambio automático de herramientas (ATC-“automatic tool change”).

Finalmente, por un lado se mostrarán las opciones comerciales adecuadas para el electro-husillo y por el otro, el diseño y cálculos realizados para el motor-husillo y su sistema ATC.

### 6.1. Husillo

Un husillo es básicamente un árbol corto, es decir, un elemento de máquina que esta sometido a flexión y torsión, ya que transmite la potencia de un motor eléctrico hasta la herramienta que la consume por la acción de corte.

La máquina actual se planteo para usar dos tipos diferentes de husillos que se montan en el carro descrito en la sección 3.6.1. Ellos son un electro-husillo, para trabajar principalmente materiales no ferrosos a altas velocidades de corte (como se ve en figura A.1) y un motor-husillo, para mecanizar ferrosos a bajas velocidades de corte.

#### 6.1.1. Selección de cono

Dados los diferentes portas y conos explicados en el anexo Herramental, analizando sus características, ventajas y desventajas, se definieron los conos a utilizar para las dos posibles opciones de husillo, cuya principal diferencia es el rango de revoluciones al que pueden trabajar.

En motor-husillo: Se utiliza un cono BT30 por los siguientes motivos:

- Es de auto liberación, lo que resulta imprescindible si lo empleamos en un sistema de cambio automático de herramienta.
- Porta herramientas asequibles y de gran variedad de formatos que nos permiten utilizar todo tipo de herramientas.
- Adecuado para las fuerzas de corte y las RPM del husillo.

En electro-husillo: Debido a que no se fabricaría, sino que se obtendría comercialmente, se observaron las diferentes alternativas que nos ofrece el mercado. Tenemos dos opciones:

- Sin ATC: El cual no tiene porta herramientas, por lo tanto no tiene un cono sino que la herramienta esta fija mediante boquillas, normalmente del tipo ER. Esta opción es significativamente mas económica pero la contra es que perdemos una característica fundamental que es el cambio de herramientas automático.
- Con ATC: Al ser de altas RPM normalmente están disponibles en conos ISO 20 y HSK para herramientas de poco diámetro. Si bien HSK tiene muy buenas prestaciones, su costo es muy elevado, por lo que se utilizaría ISO 20.

### 6.1.2. Electro-husillo

Son aquellos en los que el rotor del motor eléctrico es el árbol del husillo. Poseen mayores velocidades de rotación y menos pérdidas ya que la transmisión de potencia es directa, es decir, sin correas o engranajes que conecten al motor con el husillo.

Los hay con o sin sistema ATC, refrigerados por agua o por aire, como se ve en la imagen inferior.

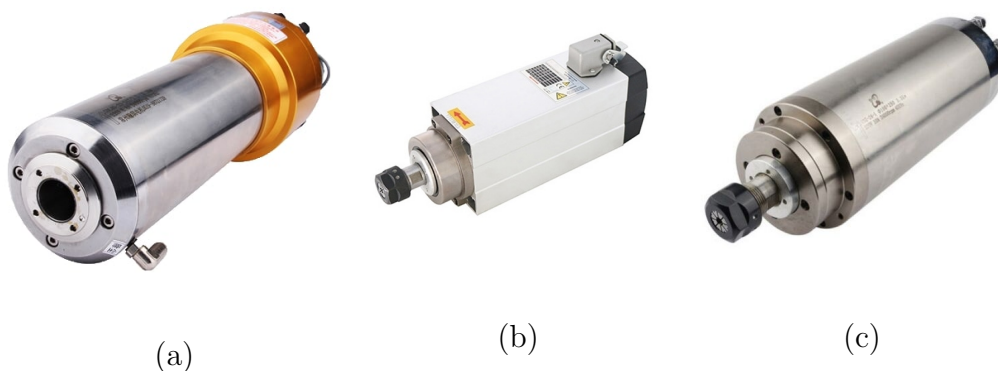


Figura 6.1: Husillo ATC (a); Husillo refrigerado por aire (b); Husillo refrigerado por agua

Algunos son para altas revoluciones, comúnmente por encima de las 20.000 rpm, lo que los hace buenos para mecanizar materiales como aluminio con herramientas de diámetro reducido.

Estos no están diseñados para ser alimentados directamente desde la red, sino que se utiliza un variador de frecuencia, que permite aumentar la frecuencia desde los 50 Hz, hasta 400, con lo que pueden llegar a las altas revoluciones que son capaces.

### 6.1.3. Motor-husillo

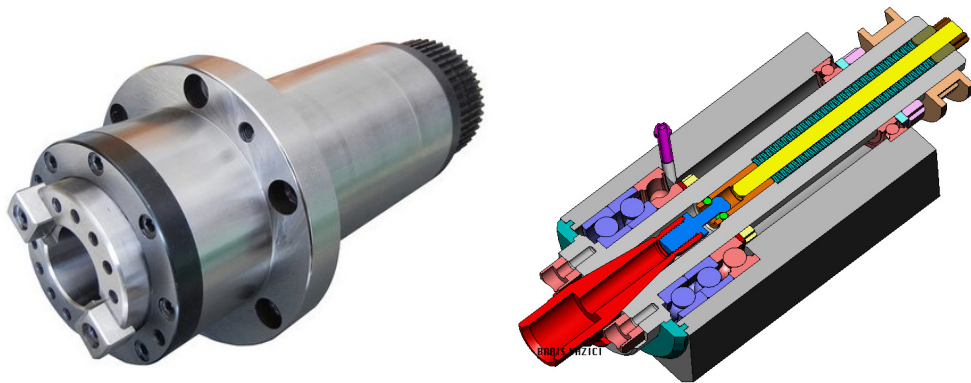


Figura 6.2: Husillo comercial BT30 con rodamientos de contacto angular

Poseen un motor eléctrico que se encuentra separado al husillo y se lo conecta normalmente con correas y poleas (dentadas o multi-v) aplicando una o varias relaciones de transmisión entre la polea conductora a la conducida. También en algunos casos se utilizan acoples elásticos para una una relación 1:1.

Hay alternativas comerciales como el de la figura 6.2, que debe insertarse dentro de una estructura que lo aloje y si bien esta preparado para funcionar con ATC, no tiene cilindro incluido como el de la figura 6.1.2(a). Principalmente por reducción de costos se decidió diseñar uno con sistema ATC que se observa en las imágenes inferiores.

Se puede ver el motor eléctrico (en lila), acoplado mediante poleas multi-v al husillo (en rojo). Por encima de este último se encuentra el cilindro neumático responsable de liberar el porta herramientas, pero esto se desarrollara en su respectiva sección. Los diversos componentes se encuentran montados sobre estructura soldada (en gris).

En las siguientes sub-secciones se desarrollara más acerca del diseño adoptado.

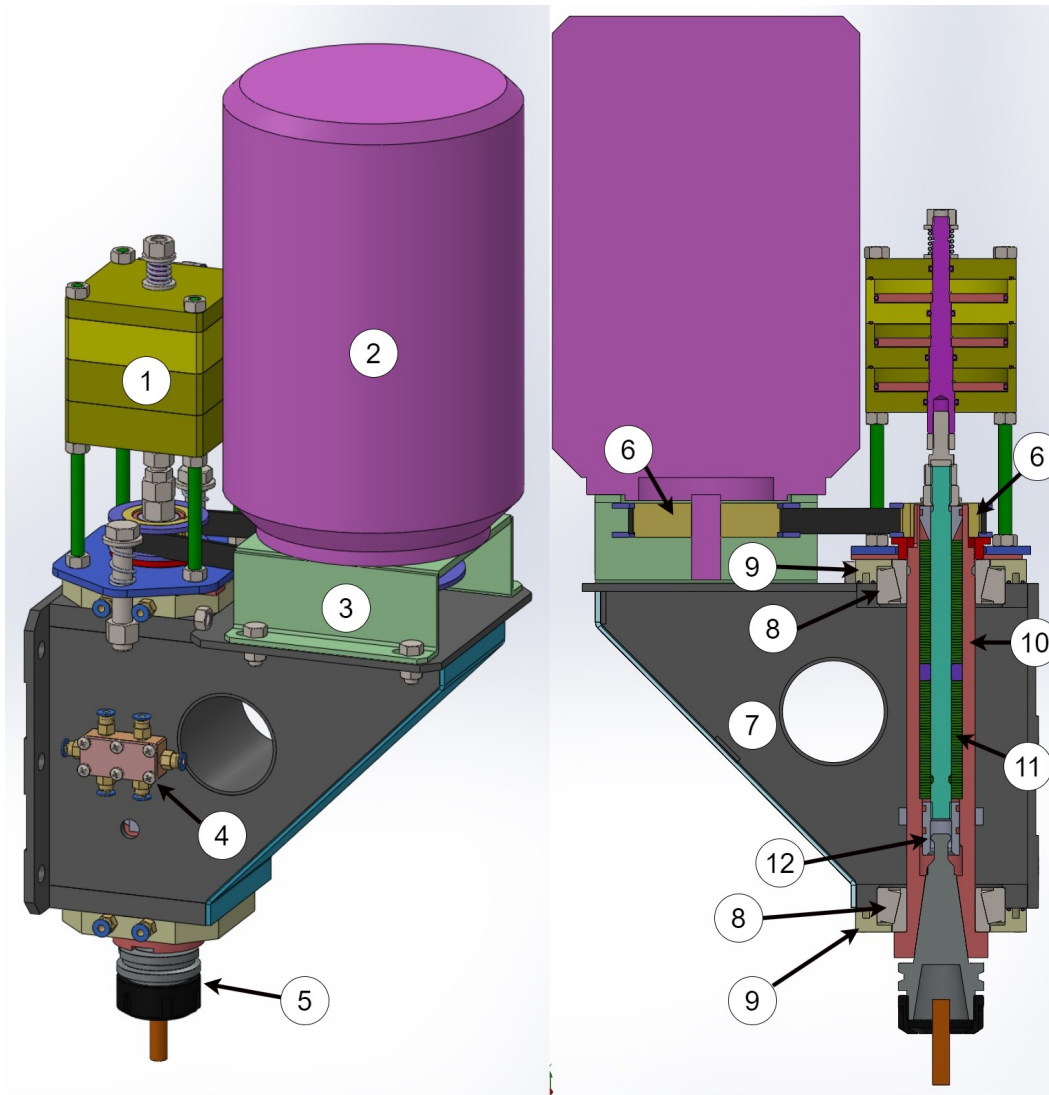


Figura 6.3: Husillo ATC completo

1. Cilindro neumático.
2. Motor eléctrico.
3. Soporte tensor motor.
4. Múltiple lubricante.
5. Porta herramienta.
6. Poleas
7. Carcasa husillo.
8. Rodamiento cónico.
9. Cobertor rodamiento.
10. Husillo.
11. Paquete arandelas
12. Pinza tirador

## Transmisión con correas

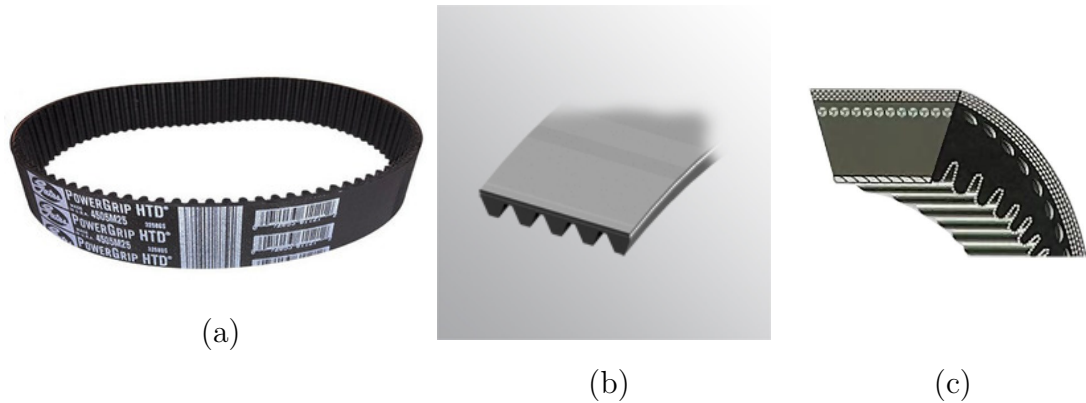


Figura 6.4: Tipos de correas

Tenemos tres alternativas que podemos utilizar:

- Correas sincronicas/dentadas (figura a)
- Correas poly-V / multi-V / multicanal (figura b)
- Correas trapezoidales / en V (figura c)

Se descarto el uso de las en V ya que estas no son recomendados para radios de poleas pequeños debido a la altura de su sección.

Se eligió utilizar multicanal por sobre una dentada por los siguientes motivos:

- Ruido: El engrane de los dientes de la correa sincrónica con la polea, sobre todo a altas revoluciones, genera ruidos molestos para el operario.
- Poleas: Son mas fáciles de mecanizar que las poleas dentadas, y no requieren de bridas.
- No hay necesidad de sincronismo perfecto: Ya que la maquina no esta pensada para roscado rígido y además, al poseer un encoder en el husillo y no en el motor, se elimina ese problema.
- Potencia a transmitir reducida: Si bien las correas dentadas pueden transmitir una potencia considerablemente mayor que las multicanal, ya que no requieren de fricción, sino del engrane entre los dientes, la potencia que posee el motor del husillo no lo requiere.

Una desventaja sería que la tensión de la correa debe ser mayor en la multicanal que en la dentada.

Para la selección se siguió el procedimiento descripto por el fabricante Optibelt en su catalogo. En el cual se ve el perfil necesario para transmitir la potencia del motor contemplando diferentes coeficientes, longitudes disponibles, etc.

Se llego a que se necesita la correa cuya denominación es: 8 PJ 559 Lb. Además, los cálculos del manual fueron contrastados con la calculadora Optibelt CAP, verificando los resultados.

## Dimensionamiento de la chaveta

A continuación se determinara las dimensiones de la chaveta a utilizar para evitar la rotación entre la polea conducida y el husillo. La chaveta entre la polea conducida y el motor ya esta definida por el fabricante del motor en la ranura del eje.

Se decide utilizar una chaveta de sección rectangular para disminuir la profundidad de la ranura en el husillo, ya que estamos condicionados por el espesor de la pared y reducimos la concentración de tensiones.

Aunque como regla general se debe utilizar un material de chaveta mas blando que las piezas a vincular, en este caso se utilizara acero SAE 1020 que es mas rígido que el aluminio de la polea.

Los datos que tenemos son los siguientes:

- Potencia a transmitir: 1.5 kw hp a 2885 rpm
- Momento torsor polea conductora (motor): 5 N.m
- Relación de transmisión: Multiplicación 2:1
- Momento torsor polea conducida (husillo): 2.5 N.m
- Material árbol (husillo): SAE 1045
- Material polea: Aluminio 6061 T6
- Diámetro árbol: 35mm
- Altura polea: 20mm

Como el motor está controlado con un variador, con el que que definimos la aceleración y desaceleración, podemos usar un coeficiente de cálculo bajo de 2 (choque suave).

La geometría de chavetas esta definida por la norma DIN 6885, pero se puede comprar barra cuadrada de acero SAE 1045 de la sección correspondiente y cortarla o mecanizarla a la medida adecuada.

Se utilizo el procedimiento de la cátedra elementos de maquinas, en el cual se utiliza la sección recomendada en el libro Faires para un diámetro de eje, y se selecciona la longitud y material para que verifique su resistencia bajo aplastamiento y corte.

Utilizando una chaveta plana de sección 7,9 mm x 6,4 mm y 20 mm de largo, hecha de SAE 1020, se puede transmitir la potencia del motor al eje sin ningún problema.

## Discusión del diseño:

El diseño planteado consta de un par de rodamientos cónicos, denominación 33108, en vez de bolas de contacto angular porque aunque estos últimos son aptos para que el husillo gire a altas revoluciones (mas de 8000), los primeros poseen las siguientes ventajas:

- Menor costo.
- Menor sensibilidad a la precarga.



- Se prefirió aplicar un husillo de altas revoluciones si en su gran mayoría se trabaja con herramientas pequeñas en materiales como aluminio, donde se permiten velocidades de corte altas, y otro de bajas revoluciones y mayor torque para uso general y mecanizados de aceros.
- Diseño adoptado se puede montar directamente sobre el carro, no como el diseño tipo cartucho de la figura 6.2.

Para poder elevar el rango útil de revoluciones del husillo, se utilizan unos cobertores de los rodamientos (ítem 9 en figura 6.3) por los cuales recircula hidrosoluble como refrigerante. Además, estas piezas sirven para evitar que entre contaminación del exterior a los rodamientos.

El cuerpo del husillo (ítem 7) es de acero soldado, en el cual se mecanizan los alojamientos de los rodamientos cónicos, respetando las tolerancias recomendadas por el fabricante, y la superficie de vinculación con el cabezal, siendo esta lo mas paralela posible al eje del husillo.

## Motor

Para el conjunto motor-husillo seleccionamos un motor eléctrico que cumpla con las siguientes características:

- Potencia de 2.2 kW (3hp).
- Trifásico.
- Brida B14.
- Cuerpo en fundición de aluminio (menor peso).
- RPM sincrónicas: 3000.

El motor posee una brida B14, con la que se fija a una platina (ítem 3 en figura 6.3) que se puede desplazar respecto a la posición del husillo, para así poder tensar la correa. Esto se hace mediante unos tornillos que empujan la placa móvil hasta llegar a la tensión adecuada.

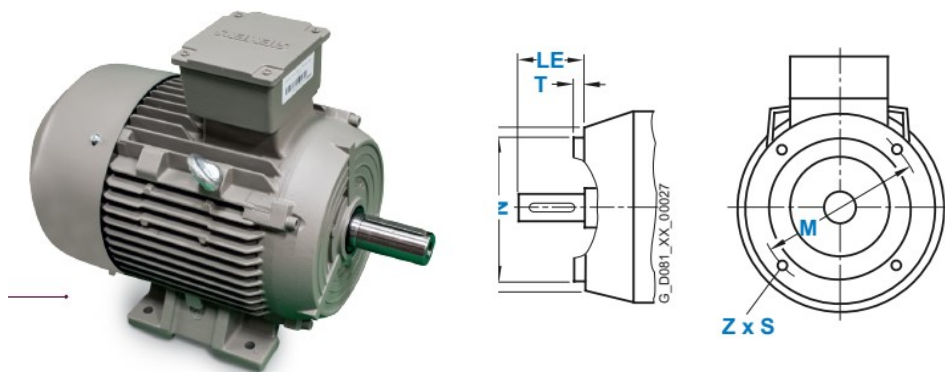


Figura 6.5: Motor eléctrico con brida utilizada

Hay disponible alternativas de diversos fabricantes en el país, como ser WEG, Czerweny, etc y todos poseen características similares. Se seleccionó el modelo 1LE0141-0EA46-4AA4 de Siemens que cumple con lo definido anteriormente.

### 6.1.4. Variación de las revoluciones



Figura 6.6: Variador de frecuencia y resistencia de frenado

Según diferentes factores como el diámetro y material de la herramienta, material de la pieza, tipo de operación, etc, se necesitan diferentes velocidades de corte, y esto lo logramos modificando las RPM.

Para realizarlo en fresadoras convencionales se utilizan cajas de engranajes o diferentes diámetros de poleas y correas para reducir o aumentar las revoluciones del husillo, respecto a las del motor.

En maquinas CNC se utilizan variadores de frecuencia para modificar directamente las revoluciones del motor, habiendo una relación de transmisión fija entre este y el husillo. La variación de las revoluciones la hacen, como lo dice su nombre, al variar la frecuencia, que comúnmente están en el rango de 0 a 400 hz.

Número sincrónico de revoluciones:

$$n_s = \frac{120 \times f}{p} \quad [RPM]$$

Siendo:

- $f$ : Frecuencia del voltaje de entrada en Hertz
- $p$ : Número de polos del motor.

Al momento de programar el variador, como hay múltiples cargas que pueden afectar al husillo en un mismo valor de RPM, usamos un método de control vectorial. Caso contrario, como en bombas o ventiladores, se puede usar un método mas sencillo llamado V/hz.

Para reducir los tiempos de frenado del husillo y acelerar los cambios de herramientas se puede utilizar una resistencia externa al equipo, que disipa la energía producida durante este proceso. Si programamos un valor de desaceleración excesivo en el variador, este nos arrojará un error de sobre corriente. Con esta resistencia podemos aumentar la desaceleración sin que nos surja este error.

## Alternativa adoptada

En este diseño, aunque se considero usar dos relaciones de transmisión, una para mecanizar no ferrosos a altas RPM y otra para aceros o fresas de planear de gran diámetro, por simplicidad e inconveniencia al momento de realizar el movimiento de la correa se decidió utilizar solo una, la cual es de multiplicación de 2:1. Esto lo logramos al utilizar una polea de  $\varnothing$  90 mm en el motor y de  $\varnothing$  45 mm en el husillo.

## 6.2. Cambio de herramientas automático

El sistema ATC (Automatic tool change) elimina la intervención del operario para realizar el cambio del porta herramienta cuando el programa lo demande. Esto es de gran importancia ya que permite dejar a la máquina trabajando por largos períodos sin la necesidad de que una persona este presente, lo que reduce el costo de mano de obra sustancialmente.

### 6.2.1. Almacenamiento de porta-herramientas

Para cambiar las herramientas sin intervención del operario debe haber dos o mas porta herramientas, estos se deben guardar en la máquina de alguna manera que permita quitar el que esta presente en el husillo y reemplazarlo por otro guardado.

## Alternativas disponibles

Los diferentes sistemas con los que se pueden quitar los portas del husillo y almacenarlos son los siguientes:

- **Brazo doble:** Este posee un brazo en el que en un extremo se toma el porta de husillo y en el otro el que esta guardado. Se minimiza el tiempo de cambio de herramienta ya que el porta que se extrae puede ir en cualquier posición de almacenamiento. La contra es la complejidad, por lo tanto costo del mecanismo que lo hace inviable para maquinas accesibles.

Podemos diferenciar dos sistemas para guardar los portas, uno circular llamado carrusel, que es el mas sencillo, cuya capacidad de herramientas dependerá de su diámetro y otro con una cadena que puede adoptar diferentes formas y se utiliza cuando se necesita almacenar una gran cantidad de herramientas.

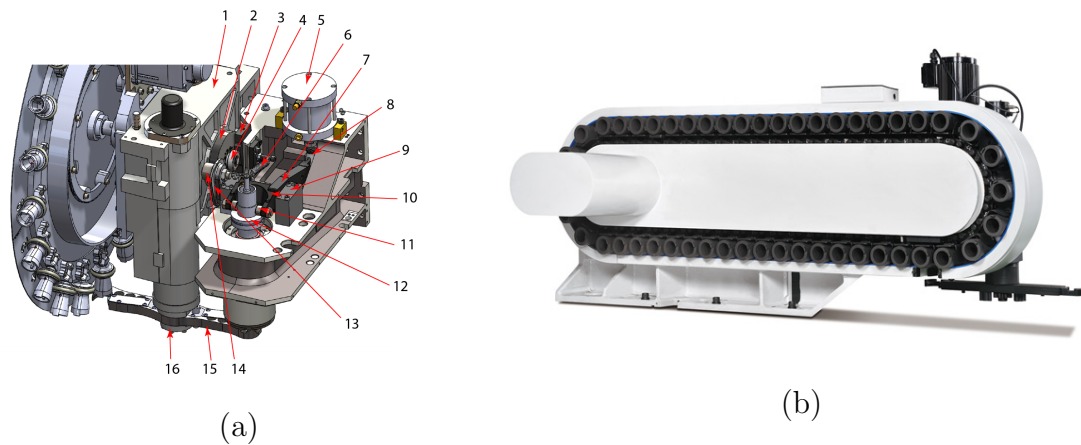


Figura 6.7: Sistemas con doble brazo: a) Carrusel ; b) Cadena

- **Paraguas/Umbrella:** Es un diseño sencillo que normalmente se ve en las máquinas mas económicas. Como contra posee capacidad de porta-herramientas está limitada por el diámetro máximo del paraguas y es considerablemente mas lento que el brazo doble.

La secuencia que se realiza durante un cambio de herramientas es la siguiente:

1. Movimiento del husillo a la posición de cambio de herramientas.
2. Posicionamiento del paraguas debajo del husillo.
3. Liberación del porta herramientas del husillo.
4. Retracción del paraguas.
5. Rotación del paraguas hacia la posición del porta-herramientas nuevo.
6. Posicionamiento del paraguas debajo del husillo.
7. Retener el nuevo porta herramientas en el husillo.
8. Retraer el paraguas.

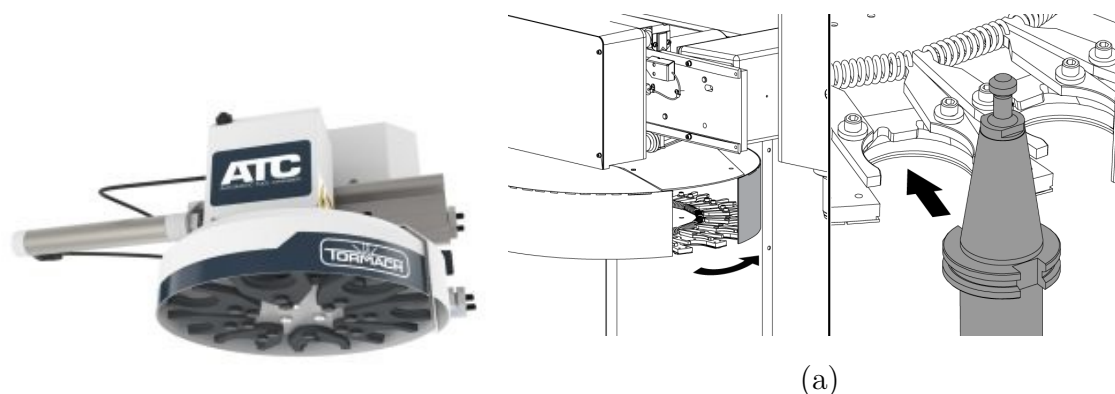


Figura 6.8: Paraguas para 8 herramientas con accionamiento neumático y cobertor

- **Robodrill:** Es un sistema que se ve en máquinas llamadas drill-tap como por ejemplo las Robodrill de Fanuc o Speedio de Brother. Posee una gran velocidad de cambio pero requiere un diseño de husillo específico.



Figura 6.9: Paraguas para 8 herramientas

- **Estante:** En el caso de la figura inferior, el estante es fijo, es decir, los porta herramientas no se mueven en ninguna dirección respecto a la mesa de la maquina. Pero también se puede retraer mediante un motor o cilindro neumático, para liberar el espacio en la mesa y no reducir el área de mecanizado.

La ventaja de este método es su simplicidad, mas aun si se usa un estante fijo, en donde no se requiere de ningún actuador adicional para aplicarlo. Lo único que hay que hacer es programar las trayectorias a realizar cada vez que se llama a un cambio de herramienta en el código G.

La desventaja es que la cantidad de herramientas esta limitada a la carrera del husillo en el eje X en nuestro caso.



Figura 6.10: Estante fijo para porta-herramientas

### Diseño realizado

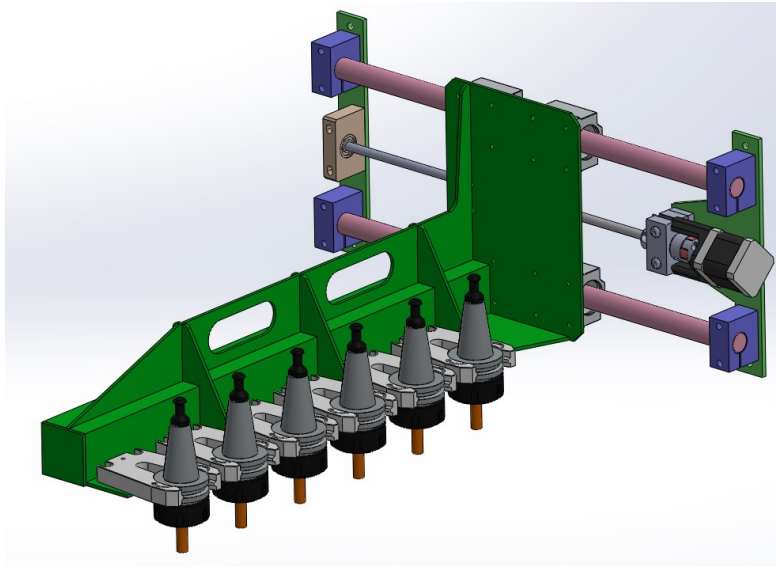
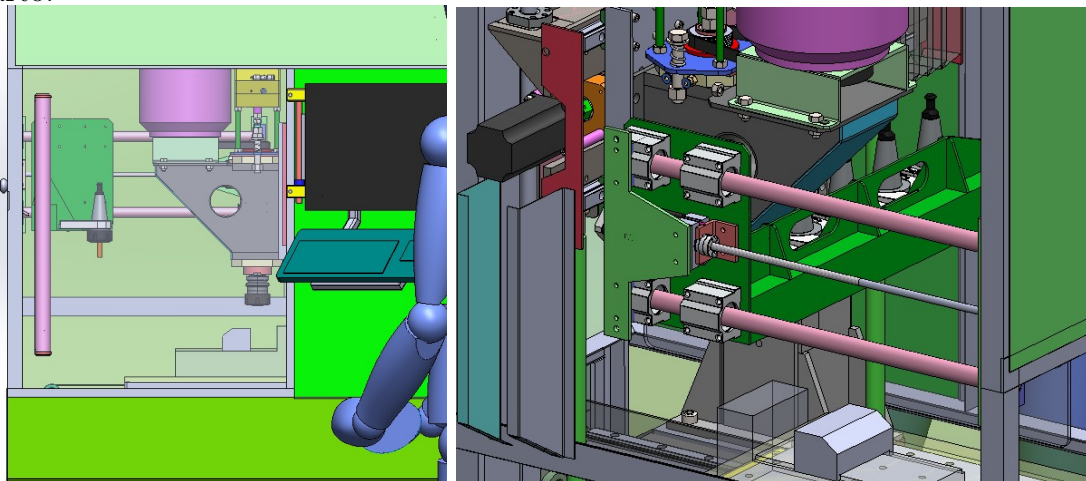


Figura 6.11: Estante móvil diseñado para porta herramientas

La opción que se tomo es un estante que se desplaza respecto al cerramiento, con lo cual, al compararlo con uno fijo a la mesa no se reduce el área de mecanizado, no complica la accesibilidad a la pieza mecanizada, ni tenemos mas peso en el eje Y. Además, al estar en la posición máxima del eje Z, esta alejado y protegido de las virutas.

El movimiento del estante puede darse mediante un cilindro neumático o un motor eléctrico, pero se utilizo el ultimo para poder mover el carro no solo entre los extremos de la carrera sino a puntos medios y así reducir el tiempo del ciclo de cambio de herramienta.

Posee espacio para 6 porta herramientas, por lo que, si bien no podremos guardar todas las herramientas disponibles, es suficiente para realizar el mecanizado de la gran mayoría de las piezas ininterrumpidamente. Se evaluó hacer uno del tipo paraguas, pero debido a limitaciones de espacio y mayor complejidad mecánica, se descartó.



(a)

(b)

Figura 6.12: Vistas del estante en el conjunto

En las figuras superiores se pueden ver donde se ubica el “rack” o estante dentro de la máquina en las dos posiciones que toma. En la figura (a) esta retraído y se puede verificar lo sencillo que le resulta al operario acceder a los porta herramientas para cambiarlos. Y en la figura (b) esta en la posición de cambio de herramienta en la cual se controla que no haya interferencias. Para poder apreciar mejor su posición en la maquina se puede ver la imagen 3.22.

### 6.2.2. Sujeción porta herramientas a husillo

Hay múltiples maneras de fijar un porta herramientas, la fuerza que mantiene fijo el cono del porta dentro del cono del husillo, puede darse de dos maneras:

- Rosca: Como tienen las maquinas convencionales, en donde el extremo inferior de la barra se rosca en la parte superior del porta y el extremo superior de la barra tiene una cabeza normalmente hexagonal para ser girado con una llave y se apoya en la parte superior del husillo.
- Resorte: Para evitar la acción manual de girar la barra, la fuerza la hace un resorte el cual debemos comprimir para liberar el porta herramientas.

La fuerza puede ser provista de distintas maneras pero siempre se da a través de un “drawbar” o barra de clampeo que se puede observar en las figuras 6.13. Esta conecta el extremo del porta herramientas con lo que ejerce la fuerza de sujeción y varia según el tipo de sistema que se utiliza:

- Maquinas convencionales: Tienen un tornillo largo cuya cabeza esta en la parte superior del husillo y el extremo roscado va en el extremo de menor sección del cono del porta. Este fija el porta roscándolo con una llave manual o neumática.

Pero también se puede usar un cilindro neumático que libera al porta herramientas de la fuerza de un resorte, normalmente hecho con arandelas Belleville debido a que se necesitan grandes fuerzas, poco recorrido y tamaño compacto. Esto se ve en la figura 6.13.

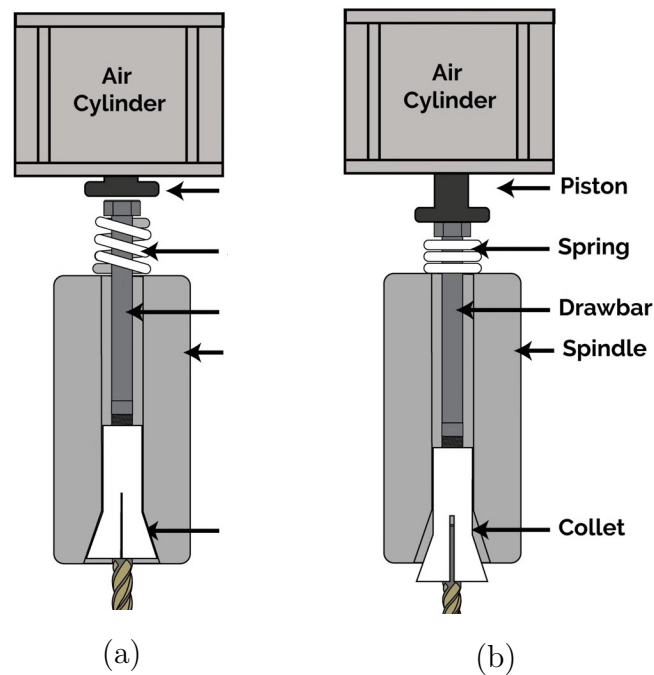


Figura 6.13: Boquilla cerrada (a) y abierta (b)

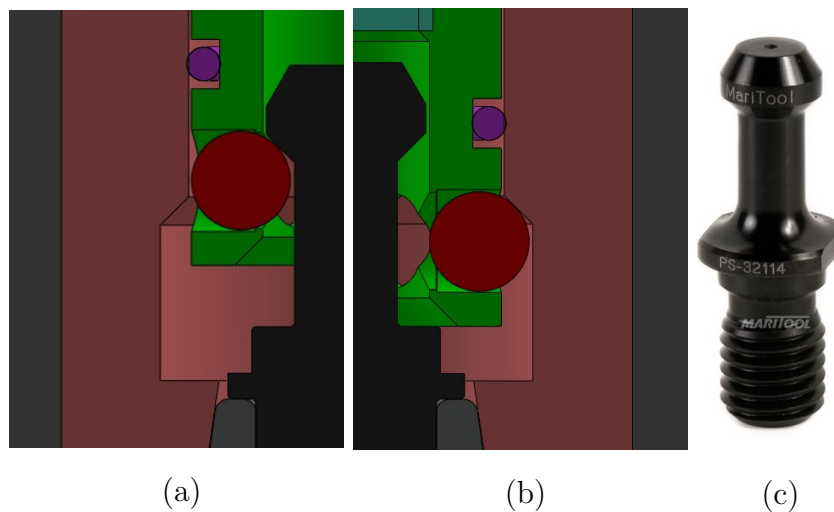


Figura 6.14: Porta herramientas fijado al cono(a) y liberado (b); Tirador (c)

- Maquinas CNC: Poseen un sistema mayormente actuado por un cilindro neumático, que desplaza unas bolas (fig 6.15(c)) o una pinza (fig 6.15(a)) y estas agarran al porta herramienta por un tirador o “pull stud”(6.13(c)).

También hay maquinas del fabricante Tormach que utilizan un sistema como el de la imagen 6.13 que agarran un porta como el de la figura B.8.



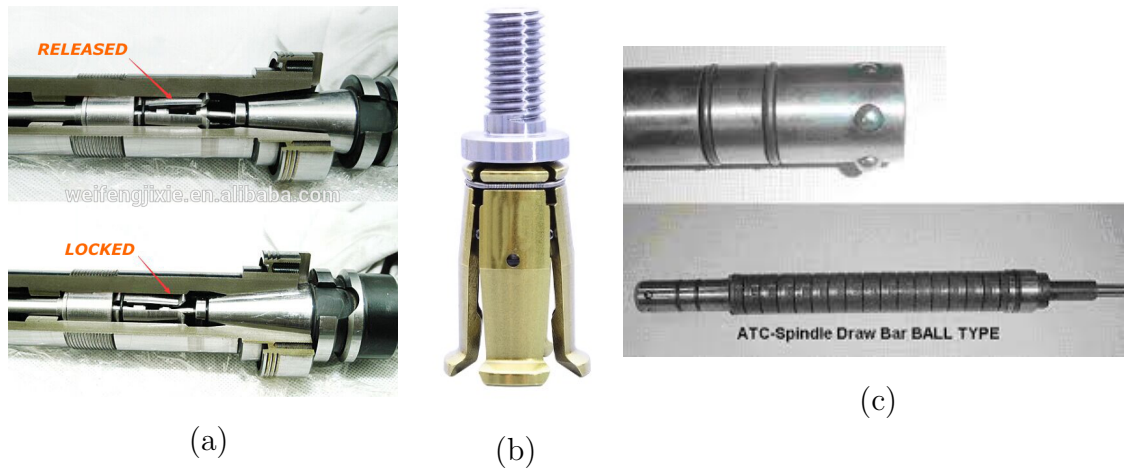


Figura 6.15: barra de clampeo con pinza (a); pinza (b); barra con bolas (c)

**Alternativa adoptada** La barra de clampeo posee una tuerca que precarga un paquete de arandelas obteniendo la fuerza recomendada para mantener al porta herramientas en el husillo. El fabricante Haas recomienda una fuerza entre 415 y 650 Kgf para el caso de un husillo para porta herramientas ISO 30 y menos de 10.000 RPM.

Estas arandelas vienen de diferentes dimensiones y para este caso se utilizo una cuyas dimensiones son 25mm exterior, 12.2mm interior y 1.5 interior. Tiene una altura de 2.05mm sin carga, 1.64mm con una carga de 300kg y se comprime totalmente ( $h=1,5mm$ ) con una carga de 385kg. Estos valores fueron extraídos de catálogos y se corresponden a los hallados mediante formulas.

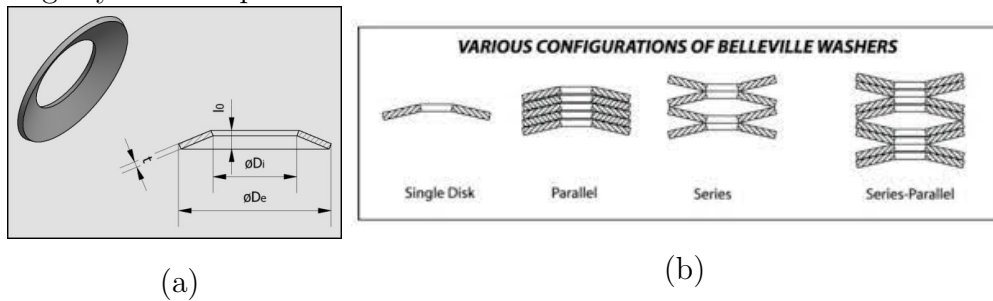


Figura 6.16: Arandelas Belleville, dimensiones y disposiciones

La disposición adoptada con la arandela seleccionada es serie-paralelo (ver fig superior):

- 2 arandelas en paralelo: Multiplico la fuerza por dos, por lo que con una altura comprimida de 1.7 obtenemos una fuerza de  $250 \times 2 = 500kg$  y para comprimirla totalmente necesitamos  $385 \times 2 = 770kg$
- 23 pares de arandelas en serie: Mantenemos la fuerza necesaria para deformar la arandela pero multiplicamos la deformación total del conjunto 23 veces, por lo que seria  $(1,7 - 1,5) \times 23 = 4,6mm$ . Con esta carrera se puede realizar propiamente la retención y liberación del tirador.

En la mitad del conjunto de arandelas se pone un espaciador cuyo diámetro interior esta mejor tolerado respecto al tirador que las arandelas y reduce el riesgo de pandeo del conjunto.

Respecto a la sujeción del tirador, lo hacemos con 5 bolas de acero templadas de 7 mm de diámetro.

La precarga de las arandelas, es decir, comprimirlas hasta que llega a la carga con la que sostiene al porta (500kg), se realiza apretando una tuerca en el extremo de la barra de clampeo. Utilizamos la siguiente formula para determinar el torque de apriete de la tuerca:

$$T = K \times F \times D \times (1 - L/100) = 0,18 \times 500 \times 0,012 \times (1 - 40/100) = 0,65Kg.m$$

Siendo:

- T: Torque de apriete en  $Kg.m$
- K: Constante dependiente del diámetro rosca y material -  $K=0.18$  Poco lubricado.
- F: Fuerza axial [kg]
- d: Diámetro nominal del tornillo - 0.012 m
- l: Factor de lubricación - Grasa 40

Una vez que se obtuvo el torque apropiado, usamos una contratuerca para fijar la posición de la primera y que no se afloje con las vibraciones.

Tambien podemos ver la distancia que se tiene que comprimir y ajustamos hasta que se da

### 6.2.3. Cilindro neumático

El objetivo de este es el de liberar el porta herramientas del husillo.

El diámetro del pistón es en función de la fuerza que debe realizar, que es la que se necesita para comprimir totalmente las arandelas (770 kg) y la presión de aire, para la cual suponemos una que se utiliza en la red de la mayoría de las industrias que es de  $6 Kg/cm^2$ .

$$A = \frac{F}{P} = \frac{800Kgf}{6Kgf/cm^2} = 133,3cm^2$$

El diámetro del embolo para obtener el área necesaria seria:

$$D_1 = \sqrt{\frac{A \times 4}{\pi}} = \sqrt{\frac{133,3 \times 4}{\pi}} = 13cm$$

Pero como la carrera necesaria para liberar el sistema de retención del cono es corta, podemos utilizar cilindros en serie para reducir el diámetro del cilindro y poder acercar el motor lo máximo posible al husillo, reduciendo el voladizo frontal del cabezal.

Si utilizamos uno de dos etapas, el área de cada etapa  $A_e = A/2 = 66,65$ .

$$D_2 = \sqrt{\frac{A_e \times 4}{\pi}} = \sqrt{\frac{66,65 \times 4}{\pi}} = 9,2cm$$

Si utilizamos uno de tres etapas, el área de cada etapa  $A_e = A/3 = 44,4$ .

$$D_3 = \sqrt{\frac{A_e \times 4}{\pi}} = \sqrt{\frac{44,4 \times 4}{\pi}} = 7,5 \text{ cm}$$

Otra opción sería usar un mecanismo de palanca para multiplicar la fuerza del cilindro, pero este método es mecánicamente más complejo por lo que se lo descarto.

Como no son cilindros tan comunes, no hay tanta disponibilidad, su costo es alto y su fabricación no es compleja, se optó por diseñar y fabricar uno a medida.

La carrera necesaria la obtenemos al ver el funcionamiento del sistema de retención del tirador con bolas. Se diseñó el mecanismo y se corrobora el funcionamiento adecuado mediante un estudio de movimiento en el software CAD. Se determinó que una carrera de 7 mm es suficiente para que las bolas puedan retener al tirador y liberarlo al aplicar la presión del cilindro.

También se necesita que el vástago se retraiga cuando se deja de accionar el cilindro, así se evita el contacto de este con el husillo mientras gira. Para ello en la etapa superior se hace el vástago pasante y que contenga un resorte de compresión. Solo se necesita vencer el peso de los vástagos con los pistones, que es muy poco por lo que la constante  $k$  del resorte es pequeña. Con este método nos evitamos el usar una válvula 5/3 para convertir el cilindro a doble efecto.

A continuación se muestran unas fotos del cilindro multi-etapa, que consiste en tres etapas mecanizadas de bloques de aluminio y vinculadas mediante varillas roscadas. Los tres pistones están unidos mediante un eje escalonado y cada uno se soporta sobre un rebaje cuando se aplica la presión al cilindro. El desplazamiento de los cilindros hacia arriba respecto al eje se evita con el uso de unos seeger. En el extremo inferior del eje hay un tornillo para una regulación fina de la luz con el husillo.

Todas las uniones poseen O-rings, cuyos alojamientos se dimensionaron según las recomendaciones del fabricante Parker. Todas las cavidades superiores se someten a la presión del aire de  $6 \text{ kg/cm}^2$  y las inferiores poseen un venteo a la atmósfera.

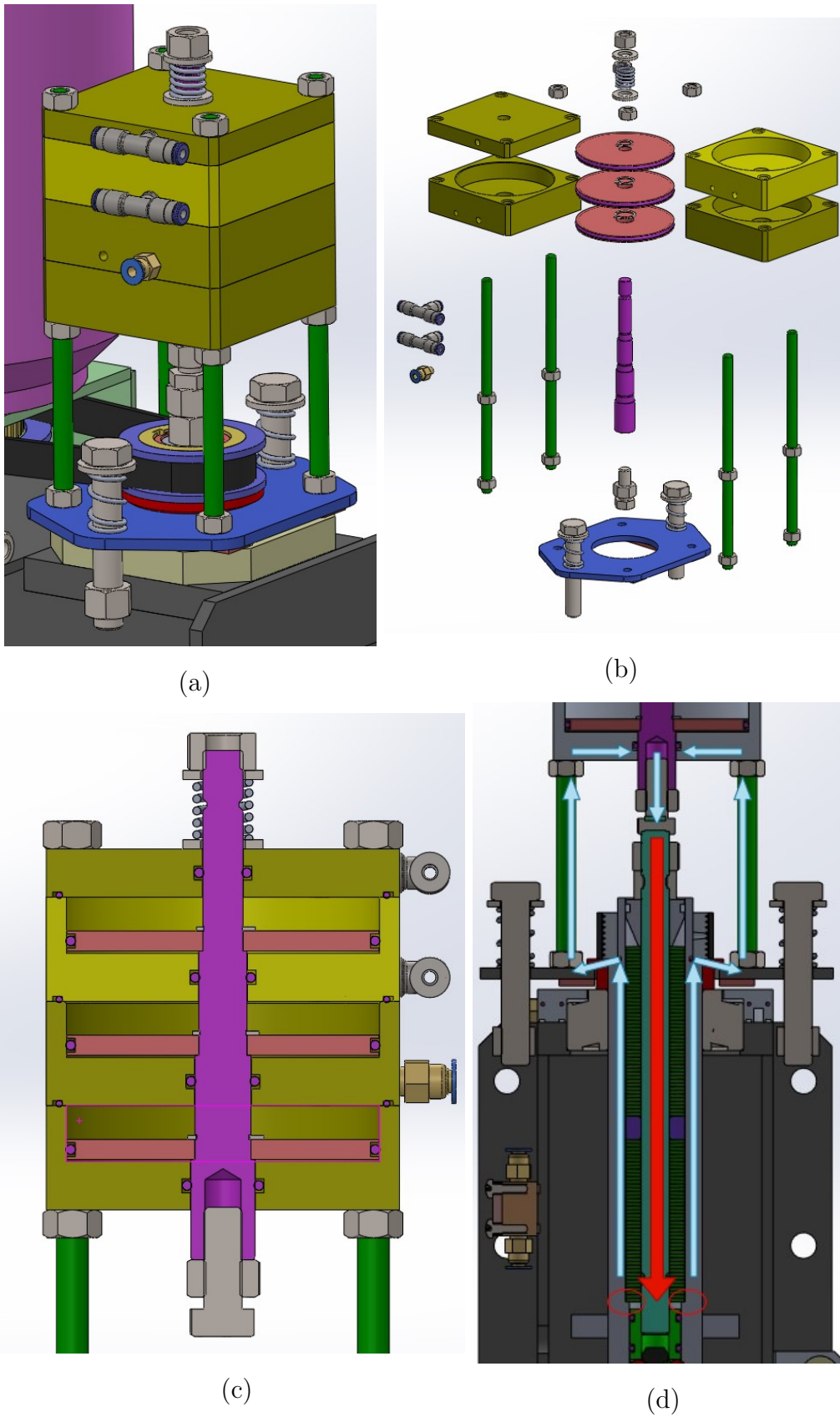


Figura 6.17: Vista isométrica(a); Vista explosionada (b); Sección transversal (c); Recorrido fuerzas (d).

En la parte inferior del cilindro se ve una placa azul (llamada “lifting plate”),

esta sirve para desviar la carga aplicada por el cilindro de los rodamientos hacia el husillo como se ve en la figura (d). Esta placa no esta en contacto cuando no se acciona el cilindro ya que mediante unos resortes y el peso propio mantienen una distancia mínima (1mm) de una tuerca bridada (color rojo en la imagen 6.16(a)), solidaria al husillo. Pero cuando se realiza un cambio de herramientas, con el husillo sin rotar, se acciona el cilindro y cuando el vástago hace contacto con el drawbar, se vencen las dos fuerzas mencionadas y la tuerca hace contacto con la placa, transmitiéndose el esfuerzo a través de ellas.

### 6.3. Probing/sondeo

Al iniciar una fresadora CNC que no tiene un sistema absoluto de posición (siempre sabe donde esta), sino uno relativo, debemos hacer el “homing” y para definir el cero de maquina.

Cuando se programan operaciones para una maquina CNC, sea en CAM, conversacionalmente o manualmente, siempre hay que definir un punto cuyas coordenadas son 0;0;0 (X,Y,Z) llamado cero de trabajo y utilizamos el código G54. Este punto normalmente se posiciona en alguna parte de la pieza o macizo a mecanizar donde se pueda palpar, como una esquina o el centro de un agujero.

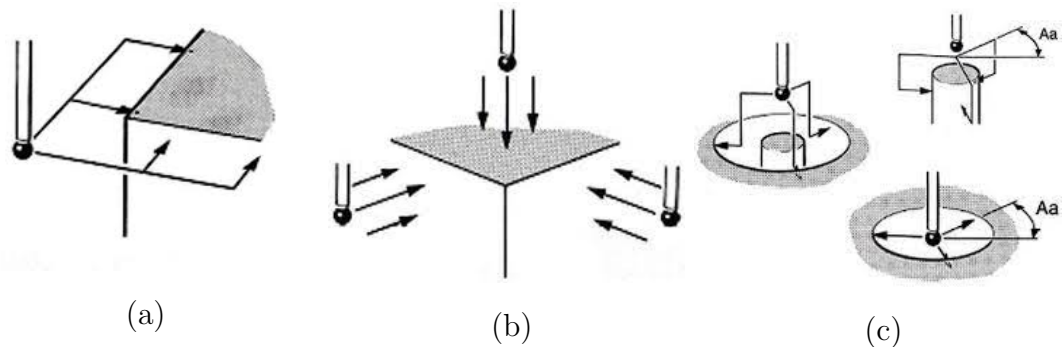


Figura 6.18: Ciclos de palpado

El objetivo del palpado o sondeo es de establecer el cero de trabajo en la maquina física y que este en la posición establecida en el programa CAM, de manera que lo virtual se corresponda con lo real.

El sondeo lo podemos dividir en dos partes:

#### Posición macizo/pieza a mecanizar

El palpador 3D se mueve junto con el husillo y puede estar en un porta herramientas, en un brazo o sistema retráctil que esta a una distancia conocida del eje del husillo.

Sirve para determinar la posición del cero de trabajo la pieza respecto al cero de maquina.

#### Posición punta herramienta

Como la posición de la punta del palpador es diferente a la punta de la herramienta, debemos montar la herramienta que se utilizará y usar un palpador de ajuste de herramienta (“tool setter”).

Con este obtenemos la distancia de la punta de la herramienta a la parte inferior del husillo.

### 6.3.1. Palpadores

Su mecanismo de detección del contacto de la punta con un objeto puede ser mecánico o electrónicos y la transmisión de datos al control puede ser por cable o inalámbrica (óptica o radio).



(a)



(b)

Figura 6.19: Palpador 3D y Toolsetter (a); Palpador en brazo pivotante (b)

### 6.3.2. Selección y diseño

Para nuestro caso, por cuestiones de costo se utilizan palpadores con cable del tipo mecánico, los cuales tienen una repetibilidad y precisión acordes al proyecto.

El “tool setter” se puede conseguir comercial pero también se puede realizar con un vástago cuyo movimiento sea limitado por unos bujes y al apoyarse la herramienta active un final de carrera. Para el caso del palpador 3D se consiguen comercialmente a un precio acorde y no se justifica fabricar uno.

Como utilizamos uno con cable, no podemos montarlo en un porta herramientas y que este guardado en el rack del ATC, por lo que debemos diseñar un mecanismo que mueva el palpador a una posición determinada al momento de palpar y lo mueva a otra donde no estorbe el proceso de mecanizado. El sistema puede ser lineal o pivotante, manual o automático, pero por simplicidad y confiabilidad se decidió utilizar un brazo que manualmente se lo mueve al momento de realizar la rutina de palpado ya que para nuestro caso el operador siempre va a estar presente cuando esto se realice, es decir, al inicio del proceso de mecanizado. Lo clave en el mecanismo es garantizar la repetibilidad cada vez que el brazo se sube y baja.

#### Descripción

El diseño consiste en un par de planchuelas de aluminio que pivotan sobre un eje, que a su vez gira sobre un buje plástico. Para fijar la posición de palpado el brazo hace tope sobre una superficie mecanizada y se aprieta con una perilla. Al

subirlo, para que mantenga la posición se ajusta otra perilla en el eje pivot. El sistema esta en una posición muy accesible para que el operador pueda acceder a las perillas y mover el brazo.

A continuación se ven unas imágenes del sistema:

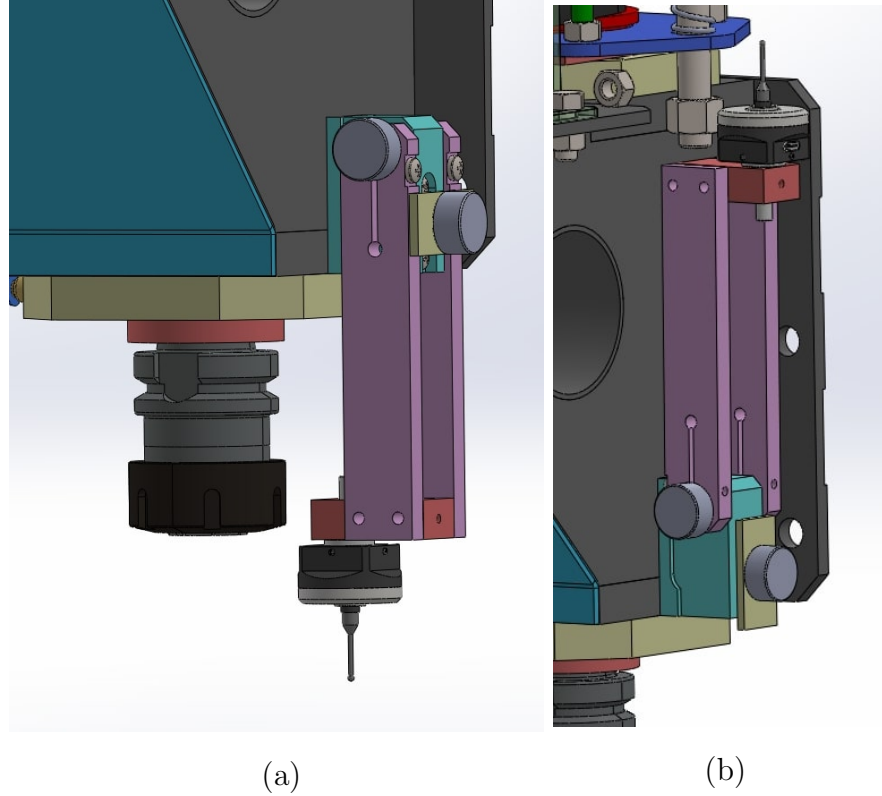


Figura 6.20: Brazo palpador extendido y retraído

# Capítulo 7

## Mercado

En este capítulo se desarrollarán aspectos relacionados a la venta del producto y la rentabilidad del proyecto, contemplando los costos necesarios para su fabricación y su precio estimado de venta al analizar las diferentes alternativas comerciales disponibles.

### 7.1. Competencia

La máquina no posee una marcada competencia en el mercado nacional ya que en el segmento donde se encuentra ubicada, entre un centro de mecanizado vertical industrial y un pequeño router fuerte, hay muy pocas alternativas que tengan características similares a las de este proyecto (enunciadas en el capítulo Introducción), tanto de fabricación nacional como aquellas que traigan importadores.



Figura 7.1: Alternativas al producto diseñado

Algo cercano en precio y prestaciones son los “retrofit”, que consiste en convertir una máquina manual a CNC o actualizar el control, toda la electrónica y restaurar la parte mecánica a máquinas CNC antiguas.

La principal contra de la primera opción es que obtendríamos un diseño menos logrado que si se diseña desde su concepción para ser controlado por computadora (ejemplo en figura 7.1 (a)). Además, esta alternativa posee una mayor viabilidad económica si se tiene una máquina usada, con piezas como las guías, tornillos, etc



que tengan desgaste, ya que estas se reemplazarán, pero si se compra una máquina convencional nueva para transformarla implica cambiar piezas sin desgaste y no utilizar diferentes mecanismos como el de bajada del husillo con manivela, la caja de engranajes, las perillas para movimiento manual, etc los cuales se pagaron al comprar la máquina.

## 7.2. Costos

Por la situación actual del país resulta muy difícil realizar cualquier análisis de costos debido a la gran inestabilidad monetaria. Pero a continuación se hará un análisis para corroborar la viabilidad económica del proyecto. Los valores están en pesos y en dólares (Cotización blue de aproximadamente 1000 pesos por dolar).

Para reducir costos, hay muchos componentes que se pueden conseguir comercialmente, como el husillo ATC, el cilindro neumático, los soportes de los tornillos de bolas, etc, pero se optó por un diseño propio, lo cual implica que su costo está compuesto por el tiempo de fabricación medido en horas y el costo de los materiales utilizados.

El precio de venta de cualquier producto no está regido por los costos sino por lo que dice el mercado, y considerando los valores de los equipos con prestaciones similares, se definieron los siguientes precios para las tres variantes de husillo:

- Electro-husillo sin ATC: \$15.000.000 (USD 15.000)
  
- Electro-husillo con ATC: \$17.000.000 (USD 17.000)
  
- Motor-husillo con ATC: \$17.000.000 (USD 17.000)

En la tabla inferior se verá la sumatoria de los costos para la versión que posee el electro husillo sin ATC. Los componentes están separados en cuatro categorías. Las cantidades de los perfiles son en barras de 6 metros, las chapas en hojas de 1220x2440 mm, los tornillos y guías lineales en metros.

Para simplificar, algunos componentes de bajo costo, consumibles y el costo de amortización de los equipos utilizados para la fabricación no se tuvieron en cuenta. Y aun estimando valores elevados de ellos, la diferencia entre el costo total y el precio de venta sigue siendo suficiente para asegurar la viabilidad económica del proyecto, por lo que podría competir en el mercado nacional.

Categoría	Denominación	Precio unitario		Cantidad	Precio total	
		Pesos	Dólar blue		Pesos	Dólar blue
Electrónica	PC	220000	220	1	220000,0	220,0
	Monitor	70000	70	1	70000,0	70,0
	Drivers DM556	55000	55	4	220000,0	220,0
	Nema 23	65000	65	4	260000,0	260,0
	Acoples elasticos	8000	8	4	32000,0	32,0
	Variador 2.2Kw	330000	330	1	330000,0	330,0
	Cables aislados	35000	35	1	35000,0	35,0
	Cables varios	15000	15	1	15000,0	15,0
	Final de carrera	12000	12	4	48000,0	48,0
	Placa mesa 7I76E	210000	210	1	210000,0	210,0
	Fuente 24v 10a	19000	19	4	76000,0	76,0
	Coolers gabinete	7300	7,3	8	58400,0	58,4
					1574400,0	1574,4
Estructura	Chapa Cal25	32000	32	4	128000,0	128,0
	Hierro angulo 2x1/8	16000	16	3	48000,0	48,0
	Caño cuadrado 60	19000	19	2	38000,0	38,0
	Caño cuadrado 100	38000	38	0,3	11400,0	11,4
	Planchuelas varias	30000	30	1	30000,0	30,0
	Chapa mesa	35000	35	1	35000,0	35,0
	Aluminio sop.tonillos	25000	25	1	25000,0	25,0
	Hormigón	35000	35	1	35000,0	35,0
					350400,0	350,4
Motion	Guía HGR20	75000	75	3,72	279000,0	279,0
	Patin HGW20CA	48000	48	4	192000,0	192,0
	Patin HGW20CC	42000	42	8	336000,0	336,0
	Tornillo 1610	79000	79	1,10	86900,0	86,9
	Tornillo 1606	46000	46	0,8	36800,0	36,8
	Tuerca 1610	50000	50	2	100000,0	100,0
	Tuerca 1605	29000	29	2	58000,0	58,0
					1088700,0	1088,7
Otros	Horas hombre	4500	4,5	540	2430000,0	2430,0
	Tornilleria	25000	25	1	25000,0	25,0
	Husillo 2.2kw	750000	750	1	750000,0	750,0
<b>Total costos</b>					<b>6218500,0</b>	<b>6218,5</b>
<b>Precio de venta</b>					<b>15000000,0</b>	<b>15000,0</b>
<b>Ganancia</b>					<b>8781500,0</b>	<b>8781,5</b>

Figura 7.2: Tabla de costos

Por su dificultad para analizarlos, no se contemplaron algunos aspectos como:

- Costo del desarrollo: Comprendido por el tiempo en horas hombre, prototipos y ensayos utilizados para desarrollar el proyecto. Si se aplica para un solo equipo, probablemente lo haría inviable, pero su valor se licua a medida que aumentan las unidades vendidas.
- Volumen de compras: Los precios de los componentes son de compras minoristas, en caso de que se realice una producción seriada, estos podrían ser mejorados al comprar en mayores cantidades.

# Capítulo 8

## Conclusión

En el presente trabajo se ha abordado de manera integral el diseño de una fresadora CNC, desde el diseño de su estructura, husillo y múltiples subconjuntos, selección de componentes estándares, sistema de control, técnicas para su fabricación, proceso de ensamblaje y calibración o puesta a punto. Todo esto teniendo en cuenta las limitaciones técnicas y económicas que una PyME puede tener al abordar su fabricación.

Se puede decir que el resultado obtenido es una máquina que cumple con todos los requerimientos planteados en la introducción y que posee diversas ventajas respecto a las que se pueden encontrar en el mercado a niveles de precios similares, lo que la hace comercialmente atractiva y permite que compita localmente.

En materia personal se termina el informe con la satisfacción de haber desarrollado un producto relativamente complejo, con cierto grado de innovación y que posee buenas prestaciones en relación a su costo. Esto fue posible gracias a los diferentes conocimientos adquiridos tanto en la universidad, como en diferentes proyectos personales que aborde en paralelo.

Finalmente concluyo agradeciendo a familia, amigos y profesores que de diversas maneras me ayudaron durante el desarrollo del proyecto y a lo largo carrera de ingeniería mecánica.

## 8.1. Imágenes finales

A continuación, se añadirán diversas imágenes de la fresadora completa.

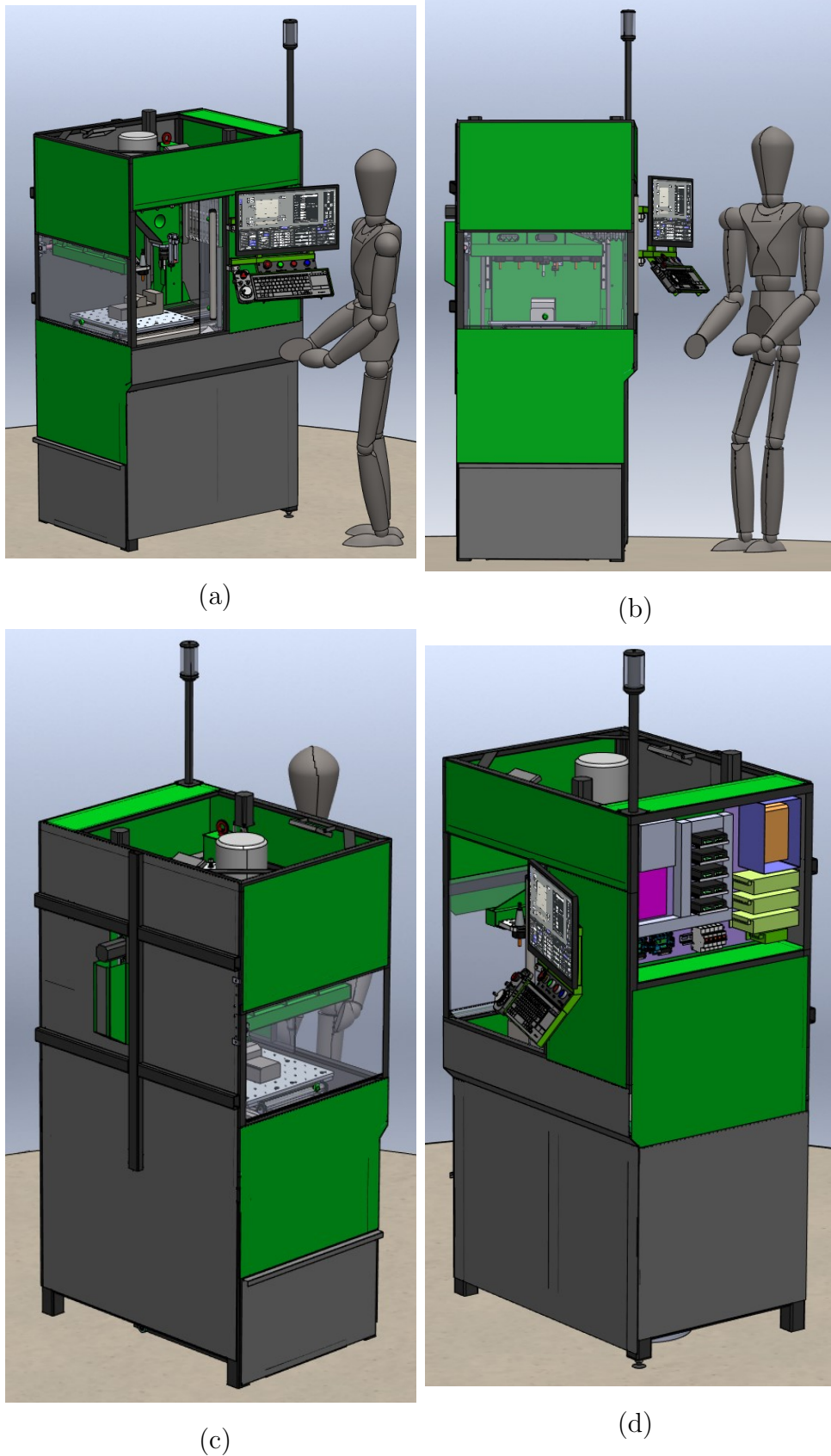
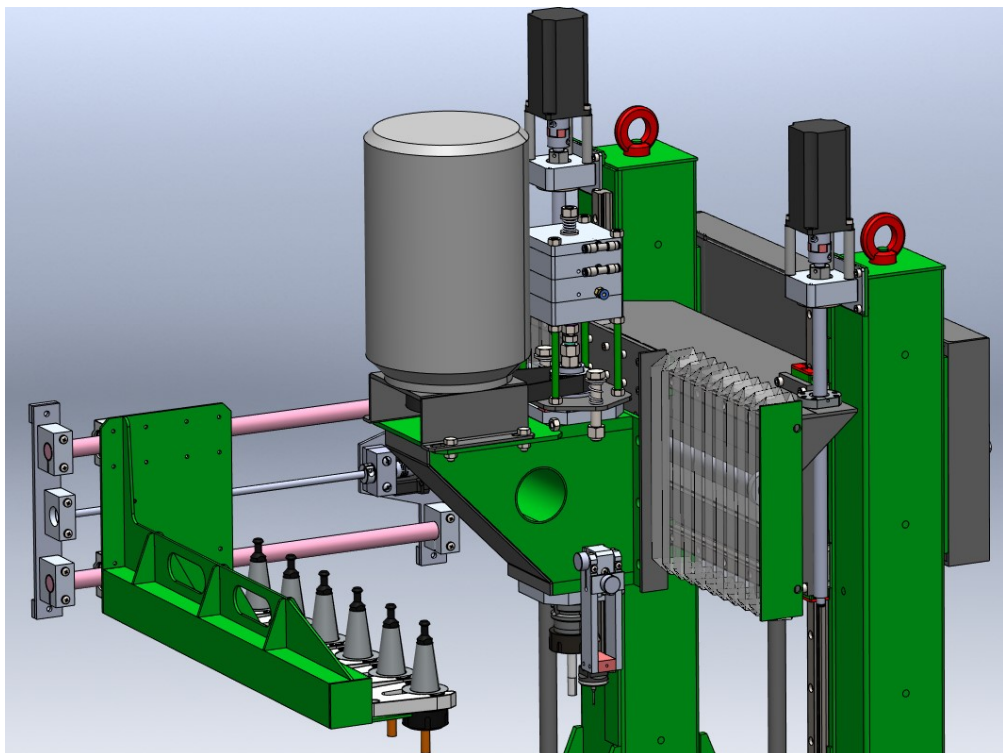
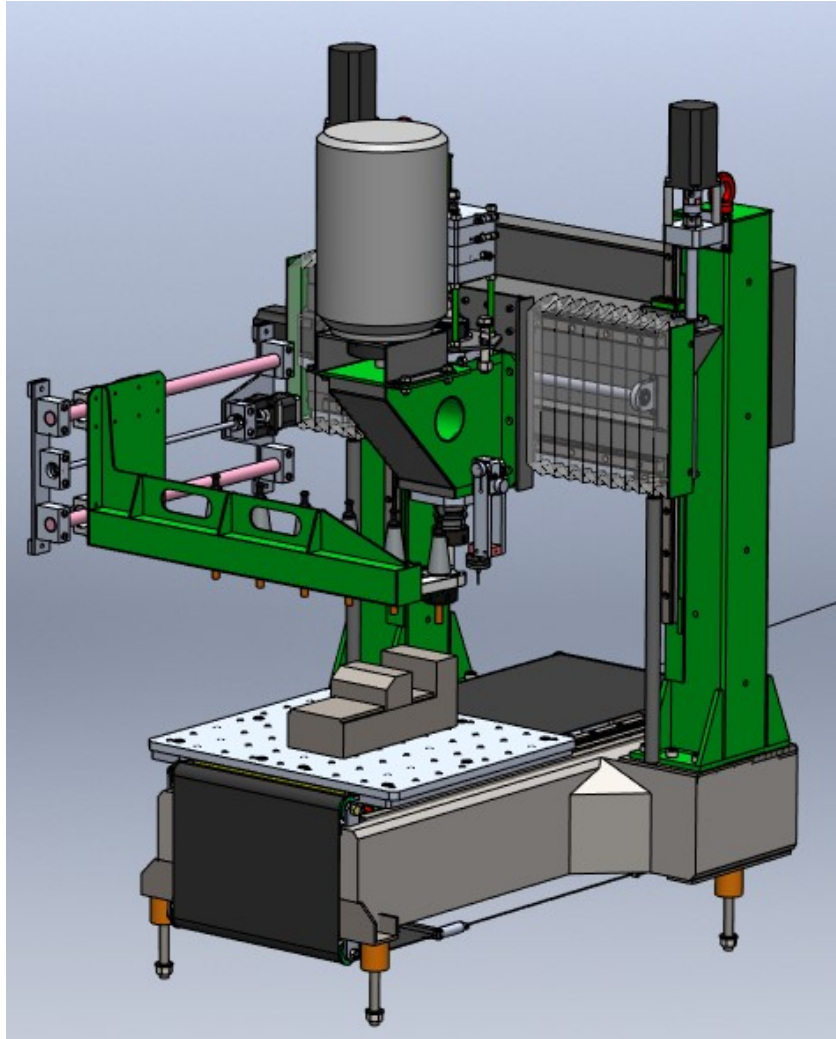
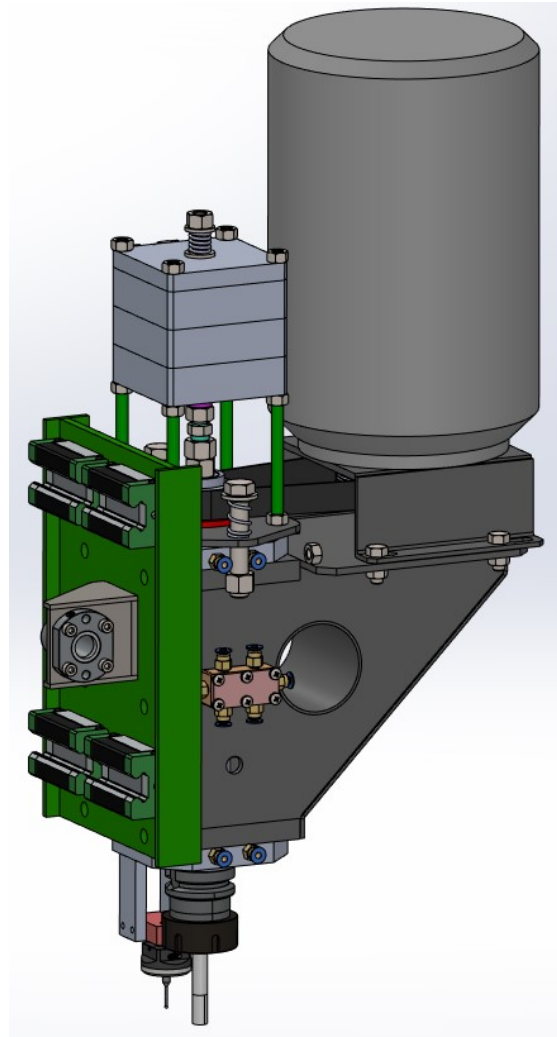
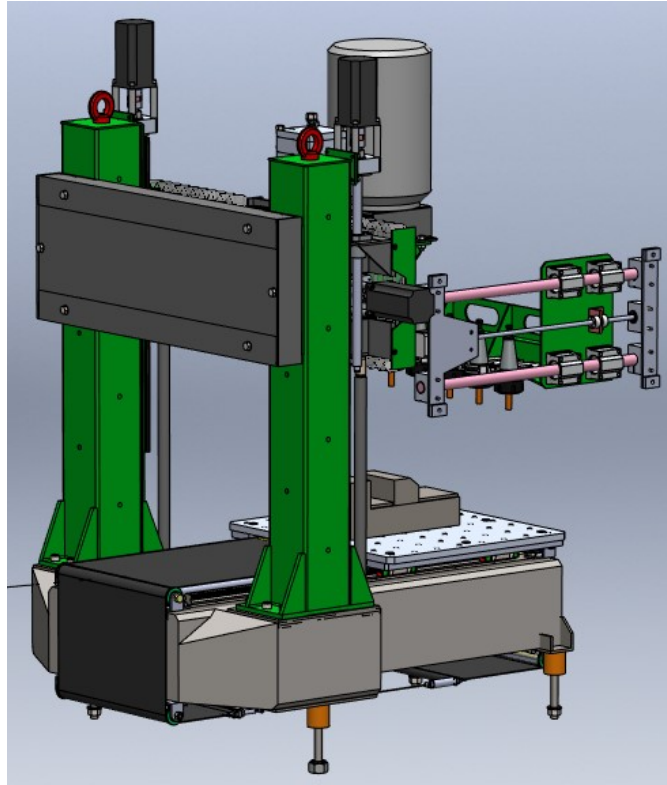


Figura 8.1: Vistas estructura completa





# Apéndice A

## Parámetros y cálculos mecanizado

En la primer sección de este apéndice explicaran cada uno de los parámetros que definen una operación de arranque de viruta, como se relacionan entre si y las fórmulas con las que se obtienen.

Luego, en la sección siguiente (A.2), se plantearan diferentes situaciones de posible aplicación del equipo y con las formulas desarrolladas se calculará la fuerza necesaria para realizar cada una de ellas.

En la sección 2.4.3 presentamos todos los resultados de los ejemplos de aplicación y las conclusiones a las que se lleo.

### A.1. Parámetros

. Estos serán empleados en la sección 2.4.3.

#### 1. Velocidad de corte - $V_C$ [m/min ó sfm (surface feet/min)]

Depende de los materiales de la herramienta o inserto utilizado. El fabricante de la herramienta da un rango de velocidades adecuado para el material a mecanizar. No dan un valor exacto ya que hay aspectos que pueden variar, como las composiciones de los materiales, el desgaste de la herramienta, la rigidez del agarre de la pieza, etc.

Material	Cutting Speed, $\frac{m}{min}$				
	Turning		Drilling	Milling	
	HSS	Carbide	HSS	HSS	Carbide
Mild steel	20-35	90-135	20-30	20-35	75-130
Aluminum	150-180	335-365	30-120	150-180	335-365
Free machining brass	90-105	180-200	50-55	90-105	180-200
Other brass & bronze	60-75	150-165	35-40	60-75	150-165
Copper & phospher bronze	30-35	60-65	20	30-35	60-65
Wood & plastic	60-150	150-450	20-90	120	180-450
Unhardened stainless steel	20-35	70-120	15-25	15-30	60-115
Class 20 cast iron	35	135	30	130	30

Figura A.1:  $V_C$  según proceso, material de la herramienta y de la pieza

Anteriormente se determinaba la velocidad de corte solo con saber el material de la herramienta y el que se mecanizaba como se puede ver en la tabla A.1, pero en la actualidad con en empleo de distintos tipos de recubrimientos

se modifican drásticamente las prestaciones, por lo que tenemos que ir al catálogo del fabricante.

Si bien este parámetro no aparece en el código G (más detalle en sección 5.1.3) que utiliza la máquina para realizar el mecanizado, este es necesario para determinar las revoluciones de husillo que son necesarias y está explicado en el segundo parámetro.

Material Group	Side Milling (A) and Slotting (B)		KCPM15		Recommended feed per tooth (fz = mm/th) for side milling (A). For slotting (B), reduce fz by 20%.														
	A		B		Cutting Speed – vc m/min		D1 – Diameter												
	ap	ae	ap		min	max	mm	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0	14,0	16,0	18,0	20,0	25,0	
P	0	1,5 x D	0,5 x D	1 x D	150	200	fz	0,028	0,036	0,044	0,060	0,072	0,083	0,092	0,101	0,108	0,114	0,124	
	1	1,5 x D	0,5 x D	1 x D	150	200	fz	0,028	0,036	0,044	0,060	0,072	0,083	0,092	0,101	0,108	0,114	0,124	
	2	1,5 x D	0,5 x D	1 x D	140	190	fz	0,028	0,036	0,044	0,060	0,072	0,083	0,092	0,101	0,108	0,114	0,124	
	3	1,5 x D	0,5 x D	1 x D	120	160	fz	0,023	0,030	0,036	0,050	0,061	0,070	0,079	0,087	0,095	0,101	0,114	
	4	1,5 x D	0,5 x D	0,75 x D	90	150	fz	0,021	0,027	0,033	0,045	0,054	0,062	0,070	0,077	0,083	0,088	0,098	
	5	1,5 x D	0,5 x D	1 x D	60	100	fz	0,019	0,024	0,029	0,040	0,048	0,056	0,063	0,070	0,076	0,081	0,091	
M	1	1,5 x D	0,5 x D	1 x D	90	115	fz	0,023	0,030	0,036	0,050	0,061	0,070	0,079	0,087	0,095	0,101	0,114	
	2	1,5 x D	0,5 x D	1 x D	60	80	fz	0,019	0,024	0,029	0,040	0,048	0,056	0,063	0,070	0,076	0,081	0,091	
	3	1,5 x D	0,5 x D	1 x D	60	70	fz	0,016	0,020	0,025	0,034	0,040	0,047	0,052	0,057	0,061	0,065	0,071	
K	1	1,5 x D	0,5 x D	1 x D	120	150	fz	0,028	0,036	0,044	0,060	0,072	0,083	0,092	0,101	0,108	0,114	0,124	
	2	1,5 x D	0,5 x D	1 x D	110	140	fz	0,023	0,030	0,036	0,050	0,061	0,070	0,079	0,087	0,095	0,101	0,114	
	3	1,5 x D	0,5 x D	1 x D	110	130	fz	0,019	0,024	0,029	0,040	0,048	0,056	0,063	0,070	0,076	0,081	0,091	
S	1	1,5 x D	0,3 x D	0,3 x D	-	-	fz	0,023	0,030	0,036	0,050	0,061	0,070	0,079	0,087	0,095	0,101	0,114	
	2	1,5 x D	0,3 x D	0,3 x D	-	-	fz	0,013	0,016	0,019	0,026	0,032	0,037	0,042	0,046	0,050	0,054	0,061	
	3	1,5 x D	0,3 x D	0,3 x D	-	-	fz	0,013	0,016	0,019	0,026	0,032	0,037	0,042	0,046	0,050	0,054	0,061	
	4	1,5 x D	0,5 x D	1 x D	-	-	fz	0,016	0,021	0,026	0,037	0,045	0,052	0,058	0,064	0,069	0,074	0,084	
H	1	1,5 x D	0,5 x D	0,75 x D	80	140	fz	0,021	0,027	0,033	0,045	0,054	0,062	0,070	0,077	0,083	0,088	0,098	

Figura A.2: Datos de herramienta del catálogo de Kennametal

*Determinación de  $V_c$ :*

Se selecciona la herramienta del catalogo del fabricante según:

- Geometría a mecanizar: Condiciona la forma (Punta redonda, plana, en V, etc) y dimensiones de la herramienta.
- Tipos de operaciones que realizaremos (ej, planeado, ranurado, etc).
- Material a mecanizar: Con la clasificación según ISO (ver la figura 2.1) y grupo establecido por el fabricante (ver bajo material group en fig A.2. Esto determinará los recubrimientos adecuados.

Con esto tenemos como dato la  $V_c$  máxima y mínima. Idealmente seleccionaríamos el mayor valor posible, pero tenemos limitaciones que se explican en la sección 2.4.3

**2. Revoluciones del husillo/herramienta -  $n$**

Se obtiene de la formula inferior, siendo  $D_C$  el diámetro de corte de la herramienta utilizada y  $V_c$  determinado de los catálogos como se explicó arriba. El 1000 es para convertir la  $V_c$  que es dada en m/min, a mm/min, para que se anule con los mm de el  $D_C$ .

$$n = \frac{V_C \times 1000}{\pi \times D_C} \quad [rpm]$$



Si la herramienta de corte no posee diámetro constante, es decir, tiene un ángulo, lo que se hace es utilizar un  $D_C$  efectivo que es el promedio entre el diámetro mayor y el menor.

Si el valor obtenido es mayor al número máximo de revoluciones del husillo seleccionamos una  $V_c$  inferior, pero siempre dentro del rango que nos indicó el fabricante de la herramienta. Y si aún así, las rpm del husillo no nos alcanzan, tendremos que cambiar la herramienta por una de un mayor  $D_C$  u otra que permita  $V_c$  menores.

### 3. Profundidad de corte - [mm] - fig A.3(a)

- Radial -  $a_e$
- Axial -  $a_p$

En los catálogos dan los valores máximos de  $a_p$  para el caso de operaciones de ranurado (donde  $a_e = D_C$ ) y, para fresado lateral, dan los de  $a_p$  y  $a_e$ . Algunos fabricantes los dan en función de si la operación es de desbaste o acabado.

Estos valores son solo las limitaciones de la herramienta, pero también tenemos que considerar las de la máquina utilizada, ya que las profundidades de corte afectarán a la potencia necesaria del husillo, la cual no debemos superar.

### 4. Velocidad de avance - $V_f$ - fig A.3(b)

Velocidad entre la pieza a mecanizar, fija a la mesa, y la herramienta de corte.

$$V_f = (f_z \times Z_C) \times n = f_n \times Z_C \quad [mm/min]$$

Donde:

- **Avance por diente - Feed per tooth (FPT) -  $f_z$  [mm/diente]**

Es un valor recomendado por el fabricante del inserto o herramienta de corte en los catálogos (ver en tabla A.2). Este representa la distancia que se mueve la herramienta cada vez que un filo toma contacto con el material.

El valor de FPT difiere del espesor medio de la viruta (“actual chip” en figura A.3) que se puede obtener midiéndola con un calibre.

Al igual que el caso de las profundidades de corte, los catálogos dan distintos valores según si se realiza un fresado lateral o ranurado.

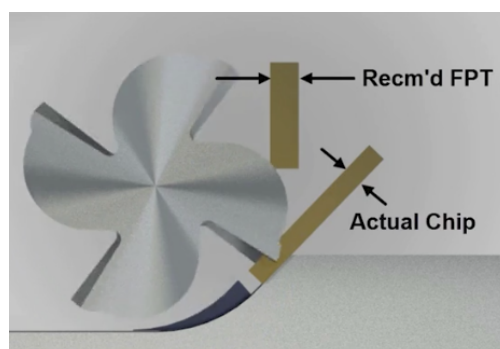


Figura A.3: Avance por diente (FPT) y espesor medio de viruta

- **Avance por revolución** -  $f_n = f_z \times Z_C$  [mm/rev]  
Nos informa de la capacidad de acabado de una fresa. A menor avance, mayor terminación.
- **Número de dientes efectivo de la fresa** -  $Z_C$

El valor obtenido debe ser menor a la velocidad máxima posible por la fresadora. Esto casi siempre se da ya que las velocidades de avance durante el mecanizado (movimientos código G1) son menores a las de traslación (movimientos código G0), que se realizan cuando no se esta mecanizando, sino que solo se desplaza la herramienta.

En caso de darse que  $V_f$  es mayor a la de la máquina, solo se podrán bajar las revoluciones del husillo, ya que tanto  $Z_C$  como  $f_z$  son función de la herramienta utilizada. Sin embargo, no podemos reducir  $n$  indiscriminadamente ya que trabajaríamos a velocidades de corte inferiores a las recomendadas por el fabricante.

Además, en algunos husillos su potencia máxima (no su torque que es mayormente constante) se obtiene a altas RPM y al darse la situación planteada, reducimos  $n$  pero aunque la  $V_C$  esté dentro del rango, no tenemos la potencia necesaria calculada en la sección siguiente. En el capítulo 6 se desarrollará más sobre el tema.

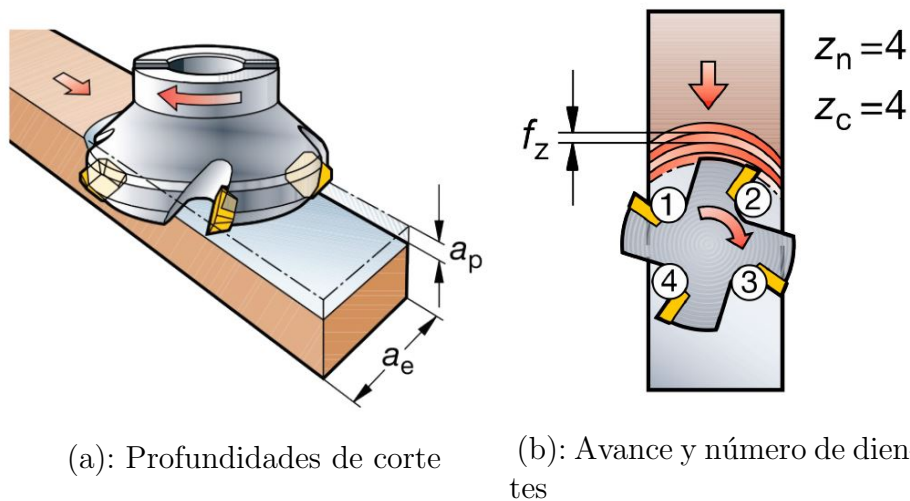


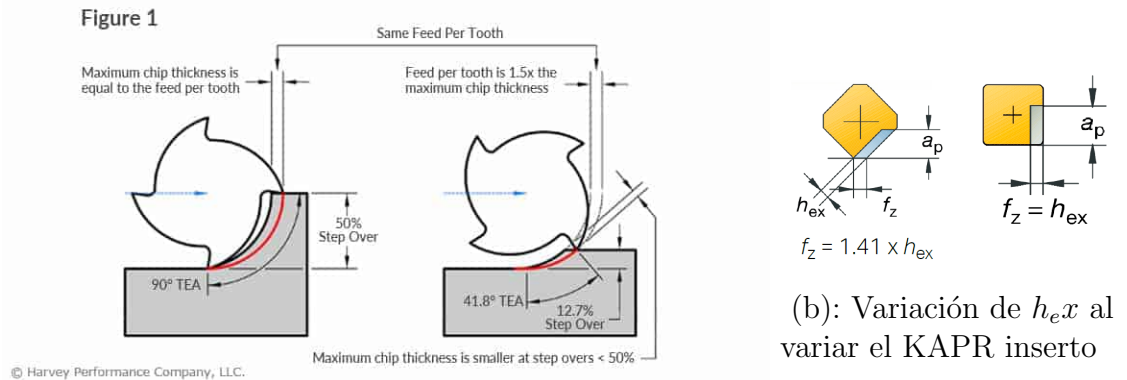
Figura A.4: Parámetros en el mecanizado

##### 5. Máximo espesor de viruta / Maximum chip load - $h_{ex}$ - [mm]

Es el espesor de la viruta cuando se comienza a formar, es decir, ante el contacto del filo de la herramienta con el material a mecanizar, como se puede apreciar en la figura inferior.

$h_{ex}$  es igual a  $f_z$  solo cuando  $a_e = 0,5.D_C$ . Al disminuir la profundidad radial de mecanizado, también lo hace  $h_{ex}$ , mientras que  $f_z$  permanece siempre constante.

Lo que se intenta es llevar el espesor de la viruta al mínimo posible, para poder cortar la viruta con la menor fuerza posible. Para esto se pueden modificar parámetros anteriormente mencionados como  $f_z$  y  $a_e$ , reduciéndolos.



(a): Variación de  $h_{ex}$  al variar el  $a_e$

Figura A.5: Reducción del espesor de viruta

En la figura A.4(a) se puede ver a la izquierda un fresado con gran  $a_e$  y pequeño  $a_p$ , algo que se hace en las máquinas convencionales, pero a la derecha se invierten estos valores aumentando  $a_p$  y reduciendo  $a_e$ , siendo esto último conocido como adelgazamiento de viruta o “Chip thinning”. Aunque el área de corte se reduzca un poco, esto es compensado al poder elevar sustancialmente  $V_f$  debido a que, como se puede notar en la figura derecha, se reduce  $h_{ex}$  por lo que para mantenerla al mismo espesor que a la izquierda debemos elevar  $V_f$ . Esto significa que obtendremos un mayor tasa de remoción de material (MRR), lo que se traduce en menores tiempos de mecanizado.

El mismo fenómeno se puede realizar con la variación del ángulo de entrada (KAPR) del inserto como se observa en la figura A.4(b).

Por lo mencionado se puede entender que hay un espesor de viruta óptimo que debemos mantener, si obtenemos grandes valores se generan consecuencias negativas como:

- Aumento del desgaste.
- Fallo prematuro de la herramienta.
- Se eleva el consumo de potencia por la elevada fuerza necesaria para que el filo corte y desplace el material formando una viruta.
- Malos acabados superficiales.

Por el contrario, si la viruta posee un espesor demasiado fino aparecen dificultades como:

- Vibraciones
- Aumento del desgaste debido a la fricción
- Aumento de la temperatura: Al no desarrollarse bien la viruta y poder eliminarla (es responsable de eliminar un 70 % del calor generado).

## 6. Potencias - $P_N$ y $P_C$

Si bien con los parámetros mencionados podemos definir la operación de mecanizado, tenemos la limitación de la potencia que nos entrega el husillo ( $P_N$ ). Por lo que se debe verificar que esta última sea mayor que la potencia consumida por la operación ( $P_C$ ), es decir, que la máquina debe poder suministrar a los filos la potencia necesaria para impulsar la acción de corte. Se debe verificar:

$$P_C \leq P_N$$

Para calcular la potencia consumida usamos la siguiente fórmula:

$$P_C = \frac{a_p \times a_e \times V_f \times k_C}{60 \times 10^6} \text{ [kW]}$$

Donde:

- Fuerza de corte específica -  $k_C$  [ $N/mm^2$ ]  
Utilizamos  $k_{C1}$  que está disponible en tablas y nos dice la fuerza necesaria por  $mm^2$  de sección de viruta, para cortar una de 1 mm de grosor medio de un determinado material. Los valores dentro de los grupos de materiales ISO son los siguientes:
  - Acero - P: 1500-3100
  - Acero inoxidable - M: 1800-2850
  - Fundición K: 790-1350
  - Aluminio N: 350-1350
  - Superaleaciones termorresistentes S: 2400-3100
  - Acero templado H: 2550-4870

Hay que considerar que la potencia disponible en la máquina no es la del motor del husillo ( $P_M$ ) ya que hay pérdidas en el motor y en la transmisión por lo que debemos afectar por la eficiencia ( $\eta$ ) de la máquina para saber lo disponible para la operación de mecanizado.

$$P_N = P_M \times \eta \text{ [kW]}$$

## 7. Torque - $M_C$

Momento torsor producido por la herramienta durante la acción de corte.

$$M_C = \frac{P_C \times 30 \times 10^3}{\pi \times n} \text{ [N} \times \text{m]}$$

Nos sirve ya que lo podemos convertir en una fuerza aplicada a una determinada distancia, siendo la última el radio de la herramienta de corte. La fuerza obtenida nos genera una deflexión de la estructura ya que se aplica perpendicularmente al eje del husillo. Esto se explica con detalle en la sección 2.4.

## 8. Régimen/caudal de arranque de viruta / Material removal rate

$$Q = MRR = a_p \times a_e \times V_f \quad [cm^3/min]$$

Es el volumen de viruta removida por unidad de tiempo, y aunque no es un parámetro necesario para poder realizar el mecanizado, sirve calcularlo porque es de utilidad para comparar el desempeño de diferentes herramientas y como pueden ser optimizados los tiempos.

## A.2. Ejemplos de mecanizado

Se calcularán cuatro operaciones comunes como ser planeado, fresado en escuadra, taladrado y ranurado con una potencia de husillo de 3 hp en los siguientes materiales:

- Aluminio 6061: Código MC N 1.3.C.UT;  $k_C1 = 600N/mm^2$
- Acero SAE 1045: Código MC P 1.2.Z.AN;  $k_C1 = 1700N/mm^2$

### A.2.1. Planeado

#### 1. Selección fresa indexable:

Siguiendo las recomendaciones del fabricante, utilizaremos una herramienta con las siguientes características:

- Paso: Amplio, ya que es el adecuado para nuestro caso donde la potencia es limitada.
- Ángulo de posición:  $45^\circ$ , apto para uso general, reparte la fuerza de corte de forma axial como radial y genera un adelgazamiento de la viruta como se ve en la figura A.4(b).
- Geometría de la plaquita: Ángulo del filo positivo o neutro, con lo que perdemos resistencia del filo pero reducimos las fuerzas de corte.

Seleccionamos el tipo CoroMill 245 porque cumple con las recomendaciones mencionadas y no posee refrigeración interna, algo que el husillo que se utilizará no posee (necesita poseer un pasaje de lubricante a través del husillo llamado TSC- Throgh spindle coolant).

### Fresa de planeado CoroMill® 245

En eje

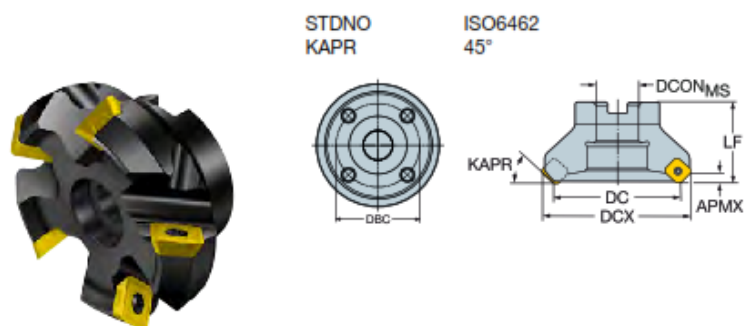


Figura A.6: Tipo de fresa de planeado utilizado

El código de la herramienta seleccionada es R245-080Q27-12L; DC 80; CICT 4; KAPR 45°; DCX 92.5

2. Selección de inserto:

**Plaquita CoroMill® 245 para fresado**

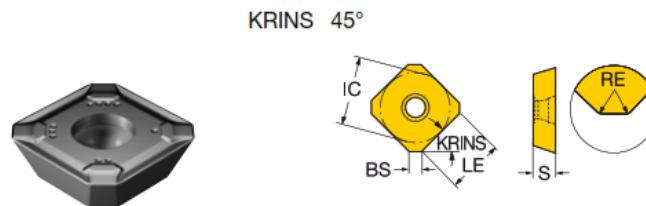


Figura A.7: Tipo de inserto para planeado utilizado

Para la fresa seleccionada seleccionamos insertos con geometría ligera. El MIID (Identificación de la plaquita principal) es R245-12 T3. Dentro de los insertos que contienen esa denominación hay diferentes grupos según para que son ideales (PL, ML, KL y AL)

Segun los dos tipos de materiales a mecanizar que se calcularán usamos:

- Para acero SAE 1045 (ISO P): Calidad 4330 ; R245-12 T3 E-PL
- Para Aluminio 6061 (ISO N): Calidad H10; R245-12 T3 E-AL

3. Velocidades de corte:

En la sección datos de corte, según el material de la pieza, la calidad seleccionada del inserto y para espesores de viruta  $h_{ex}$  de 0.1, 0.2 y 0.3 [mm] obtenemos sus respectivas velocidades de corte:

- Material: P 1.2.Z.AN ; Calidad: GC4330  $\rightarrow V_C = 340-280-230[m/min]$
- Material: N 1.3.C.UT ; Calidad:H10  $\rightarrow V_C = 940 - 870 - 810[m/min]$

4. Avance por diente y espesor de viruta:

En la sección “recomendaciones de avance” obtenemos los  $f_Z$  y sus respectivos espesores de viruta  $h_{ex}$  ( $h_{ex} = f_z \times \sin(KAPR)$ ) para los dos insertos seleccionados:

- R245-12 T3 E-PL (Acero SAE 1045):
  - $f_Z = 0,14$  (Inicial)  $f_Z = 0,08 - 0,21$  (min-max)
  - $h_{ex} = 0,1$  (Inicial)  $h_{ex} = 0,06 - 0,15$  (min-max)
- R245-12 T3 E-AL (Aluminio 6061):  $f_Z = 0,14$  (Inicial)  $f_Z = 0,08 - 0,21$  (min-max)
  - $f_Z = 0,24$  (Inicial)  $f_Z = 0,1 - 0,28$  (min-max)

- $h_{ex} = 0,17$  (Inicial)  $h_{ex} = 0,07 - 0,2$  (min-max)

5. Profundidades de corte:

Elijo unos valores de profundidad axial y radial acordes.

$$a_p = 0,6mm$$

$$a_e = 60mm$$

6. Revoluciones husillo

Con las  $V_C$ , que las obtenemos seleccionando del los valores del paso 3, al que posee el  $h_{ex}$  mas cercano al inicial dado en el paso 4 de hallamos las revoluciones  $n$ :

$$n_{acero} = \frac{V_C \times 1000}{\pi \times D_C} = \frac{340 \times 1000}{\pi \times 80} = 1352RPM$$

$$n_{aluminio} = \frac{V_C \times 1000}{\pi \times D_C} = \frac{900 \times 1000}{\pi \times 80} = 3580RPM$$

7. Con  $f_z$  hallamos  $V_f$ :

$$V_{fAcero} = (f_z \times Z_C) \times n = (0,14 \times 4) \times 1352 = 757mm/min$$

$$V_{fAluminio} = (f_z \times Z_C) \times n = (0,24 \times 4) \times 3580 = 3486mm/min$$

8. Potencia necesaria:

- Acero:

$$P_{CAcero} = \frac{a_p \times a_e \times V_f \times k_C}{60 \times 10^6} = \frac{1 \times 80 \times 757 \times 1700}{60 \times 10^6} = 1,72kW$$

- Aluminio:

$$P_{CAluminio} = \frac{a_p \times a_e \times V_f \times k_C}{60 \times 10^6} = \frac{1 \times 80 \times 3486 \times 600}{60 \times 10^6} = 2,78kW$$

9. Momento torsor:

$$M_{CAcero} = \frac{P_C \times 30 \times 10^3}{\pi \times n_{acero}} = \frac{1,72 \times 30 \times 10^3}{\pi \times 1352} = 12,14N \times m$$

$$M_{CAluminio} = \frac{P_C \times 30 \times 10^3}{\pi \times n_{aluminio}} = \frac{2,78 \times 30 \times 10^3}{\pi \times 3580} = 7,41N \times m$$

10. Fuerza tangencial:

$$F_{tAcero} = \frac{M_{CAcero}}{D_C/2} = \frac{12,14}{0,080/2} = 303N = 30,9kg$$

$$F_{tAluminio} = \frac{M_{CAluminio}}{D_C/2} = \frac{7,41}{0,080/2} = 185N = 18,9kg$$

## A.2.2. Fresado en escuadra y ranurado

Se agrupan los dos procesos porque aunque variaran los parámetros recomendados por el fabricante, para ambas operaciones utilizaremos herramientas solidas de carburo en vez de indexables y el procedimiento de cálculo es similar.

A continuación se describirán los cálculos para los dos materiales mencionados:

### 1. Selección herramienta:

#### Para acero 1045:

Sandvik CoroMill Plura Versatil 1P341-1400-XB 1630 ; DC 14 ; APMX 26 ; ZEPF 4

Sandvik CoroMill Plura Versatil 1P260-0600-XB 1620 ; DC 6 ; APMX 22 ; ZEPF 3

#### Para aluminio 6061:

Sandvik CoroMill Plura Optimizada 2P121-1400-NC ; DC 14 ; APMX 21 ; ZEPF 2

Sandvik CoroMill Plura Optimizada 2P170-0600-NA ; DC 6 ; APMX 24 ; ZEPF 2

### 2. Profundidades de corte:

Buscamos las herramienta seleccionada en la parte de datos de corte y vemos que Sandvik nos recomienda diferentes parámetros según cual situación de la figura A.8 se aproxima mas a la que se realiza.

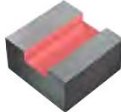


<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
		
$a_e = 1.0 \times DC$	$a_e = 0.5 \times DC$	$a_e = 0.1 \times DC$
$a_p = 0.5 \times DC$	$a_p = 1.0 \times DC$	$a_p = 1.5 \times DC$

Figura A.8: Variación de las profundidades de corte

Las profundidades de la situación A se darían en un ranurado convencional, donde se utiliza todo el ancho de la fresa pero solo parte del alto, mientras que la C de la derecha se aplicaría en un ranurado trocoidal, como se explico en la sección 2.3, y también es para un fresado periférico o “peel milling” que se explico en la sección mencionada y la B para un fresado en escuadra.

#### A) Profundidades con ranurado convencional (Fresa 14mm):

$$a_e = 1 \times 14mm = 14mm$$

$$a_p = 0,5 \times 14mm = 7mm$$

#### B) Profundidades fresado a escuadra (Fresa 14mm):

$$a_e = 0,5 \times 14mm = 7mm$$

$$a_p = 1 \times 14mm = 14mm$$



**C) Profundidades ranurado trocoidal / fresado a escuadra: (con fresa de 6 mm)**

$$a_e = 0,1 \times 6mm = 0,6mm$$

$$a_p = 1,5 \times 6mm = 9mm \text{ (uso 7 para compararlo con fresado convencional)}$$

**3. Velocidades de corte**

Los valores de  $V_C$  no dependen de las dimensiones de la herramienta pero  $f_z$  sí.

**A) Ranurado convencional:**

$$\text{Acero} \rightarrow V_C = 145m/min \quad f_z = 0,07mm/diente$$

$$\text{Aluminio} \rightarrow V_C = 270m/min \quad f_z = 0,18mm/diente$$

**B) Fresado a escuadra:**

$$\text{Acero} \rightarrow V_C = 175m/min \quad f_z = 0,06mm/diente$$

$$\text{Aluminio} \rightarrow V_C = 360m/min \quad f_z = 0,22mm/diente$$

**C) Ranurado trocoidal / fresado periférico:**

$$\text{Acero} \rightarrow V_C = 290m/min \quad f_z = 0,041mm/diente$$

$$\text{Aluminio} \rightarrow V_C = 480m/min \quad f_z = 0,15mm/diente$$

**4. Revoluciones  $n$ :****A) Ranurado convencional:**

$$n_{fe} = \frac{V_C \times 1000}{\pi \times D_C} = \frac{190 \times 1000}{\pi \times 14} = 4320RPM$$

$$n_{al} = \frac{V_C \times 1000}{\pi \times D_C} = \frac{270 \times 1000}{\pi \times 14} = 6139RPM$$

**B) Fresado a escuadra:**

$$n_{fe} = \frac{V_C \times 1000}{\pi \times D_C} = \frac{175 \times 1000}{\pi \times 14} = 3979RPM$$

$$n_{al} = \frac{V_C \times 1000}{\pi \times D_C} = \frac{360 \times 1000}{\pi \times 14} = 8185RPM$$

**C) Ranurado trocoidal / fresado periférico:**

$$n_{fe} = \frac{V_C \times 1000}{\pi \times D_C} = \frac{290 \times 1000}{\pi \times 6} = 15,384RPM$$

$$n_{al} = \frac{V_C \times 1000}{\pi \times D_C} = \frac{480 \times 1000}{\pi \times 6} = 25,464RPM$$

5. Con  $f_z$  hallamos  $V_f$ :

**A) Ranurado convencional:**

$$V_{fFe} = (f_z \times Z_C) \times n = (0,07 \times 4) \times 4320 = 1209 \text{ mm/min}$$

$$V_{fAl} = (f_z \times Z_C) \times n = (0,18 \times 2) \times 6139 = 2210 \text{ mm/min}$$

**B) Fresado a escuadra:**

$$V_{fFe} = (f_z \times Z_C) \times n = (0,06 \times 4) \times 3979 = 954 \text{ mm/min}$$

$$V_{fAl} = (f_z \times Z_C) \times n = (0,22 \times 2) \times 8185 = 3601 \text{ mm/min}$$

**C) Ranurado trocoidal / fresado periférico:**

$$V_{fFe} = (f_z \times Z_C) \times n = (0,04 \times 3) \times 15384 = 1846 \text{ mm/min}$$

$$V_{fAl} = (f_z \times Z_C) \times n = (0,15 \times 2) \times 25464 = 7639 \text{ mm/min}$$

6. Potencia y MRR

**A) Ranurado convencional:**

$$P_{CFe} = \frac{a_p \times a_e \times V_f \times k_C}{60 \times 10^6} = \frac{14 \times 7 \times 1209 \times 1700}{60 \times 10^6} = 3,35 \text{ kW}$$

$$P_{CAI} = \frac{14 \times 7 \times 2210 \times 600}{60 \times 10^6} = 2,16 \text{ kW}$$

**B) Fresado a escuadra:**

$$P_{CFe} = \frac{7 \times 14 \times 955 \times 1700}{60 \times 10^6} = 2,65 \text{ kW}$$

$$P_{CAI} = \frac{7 \times 14 \times 3601 \times 600}{60 \times 10^6} = 3,53 \text{ kW}$$

**C) Ranurado trocoidal / fresado periférico:**

$$P_{CFe} = \frac{0,6 \times 7 \times 1846 \times 1700}{60 \times 10^6} = 0,23 \text{ kW}$$

$$P_{CAI} = \frac{0,6 \times 7 \times 7639 \times 600}{60 \times 10^6} = 0,32 \text{ kW}$$

7. El momento torsor es:

**A) Ranurado convencional:**

$$M_{CFe} = \frac{P_C \times 30 \times 10^3}{\pi \times n} = \frac{3,35 \times 30 \times 10^3}{\pi \times 4320} = 7,4 \text{ N} \times \text{m}$$

$$M_{CAI} = \frac{2,16 \times 30 \times 10^3}{\pi \times 6139} = 3,36 \text{ N} \times \text{m}$$

**B) Fresado a escuadra:**

$$M_{CFe} = \frac{2,65 \times 30 \times 10^3}{\pi \times 3979} = 6,36N \times m$$

$$M_{CAI} = \frac{3,53 \times 30 \times 10^3}{\pi \times 8185} = 4,11N \times m$$

**C) Ranurado trocoidal / fresado periférico:**

$$M_{CFe} = \frac{0,23 \times 30 \times 10^3}{\pi \times 15384} = 0,14N \times m$$

$$M_{CAI} = \frac{0,32 \times 30 \times 10^3}{\pi \times 25464} = 0,12N \times m$$

8. La fuerza tangencial es:

**A) Ranurado convencional:**

$$F_{TFe} = \frac{M_C}{D_C/2} = \frac{7,4}{0,014/2} = 1057N$$

$$F_{TAI} = \frac{3,36}{0,014/2} = 480N$$

**B) Fresado a escuadra:**

$$F_{TFe} = \frac{6,36}{0,014/2} = 908N$$

$$F_{TAI} = \frac{4,11}{0,014/2} = 587N$$

**C) Ranurado trocoidal / fresado periférico:**

$$F_{TFe} = \frac{0,14}{0,006/2} = 46,6N$$

$$F_{TAI} = \frac{0,12}{0,006/2} = 40N$$

**A.2.3. Taladrado**

Para esto podemos utilizar brocas de:

- Metal duro integral.
- Con insertos.
- Acero rápido.

Este tipo de operación es mas sencilla que el fresado, dado que para un diámetro de broca seleccionado solo necesitamos dos parámetros para definir el proceso, estos son la velocidad de corte (con la que hallamos  $n$ ) y el avance por revolución.

Realizaremos cálculos para una broca de 10 mm de metal duro integral. El modelo es Sandvik Coro drill 460 (metal duro). Código 460.1-1000-030A1-XM GC34

En catalogo no se encuentran los datos de corte por lo que usamos la calculadora web del fabricante con la que obtenemos lo siguiente:

- Velocidades de corte:
  - $V_{CAcero} = 109m/min$
  - $V_{CAluminio} = 248m/min$
- Avance por revolución:
  - $f_{nAcero} = 0,33mm/rev$
  - $f_{nAluminio} = 0,33m/min$
- Revoluciones:
  - $n_{Acero} = 3470rev/min$
  - $n_{Aluminio} = 7880rev/min$
- Torque:
  - $n_{Acero} = 11,3$
  - $n_{Aluminio} = 3,03$
- Potencia:
  - $P_{Acero} = 4050W$
  - $P_{Aluminio} = 2500W$
- Fuerza de avance (en eje Z):
  - $f_{nAcero} = 1750N$
  - $f_{nAluminio} = 475N$

# Apéndice B

## Herramental

### B.1. Herramientas de corte

En la presente sección se mencionarán los diferentes tipos de herramientas que se pueden utilizar para fresado.

Los parámetros que definen a una herramienta de corte y a un porta herramienta están especificados bajo la norma ISO 13399. El estándar ofrece información sobre la herramienta de corte en un formato neutro que es independiente de cualquier sistema individual o nomenclatura de una empresa concreta.

#### B.1.1. Insertos

Están hechos de 80 % de carburo de tungsteno y el 20 % restante de una matriz metálica, comúnmente cobalto, que une al carburo. A la mayoría de los insertos se les aplica un recubrimiento que mejora sus cualidades y esto se realiza mediante un proceso químico (CVD) o físico (PVD) de deposición de vapores.

Existen diferencias importantes en cuanto a la geometría y cualidades del inserto según sea su aplicación:

- **Torneado:**

- Filo duradero que pueda trabajar durante largos períodos, en cortes continuos.
- Capacidad de rotura de la viruta.
- Buena resistencia al desgaste y a la deformación plástica.

- **Fresado:**

- Como poseen acción de corte intermitente, el filo debe tener buena resistencia en el núcleo para no romperse.
- Resistencia a las fisuras térmicas generadas por la variación de temperatura debido a la intermitencia del corte.

- **Taladrado:**

- Filo lo suficientemente robusto para soportar velocidades de corte bajas, e incluso cero en el centro de la broca.

- Resistencia a la variación de temperatura debido a la inyección de refrigerante para evacuar la viruta.
- Buena rotura de la viruta para facilitar su salida del agujero a través las ranuras de la herramienta.

Para la selección de la plaquita se deben considerar dos factores:

### 1. Geometría plaquita.

Sandvik la separa en tres tipos:

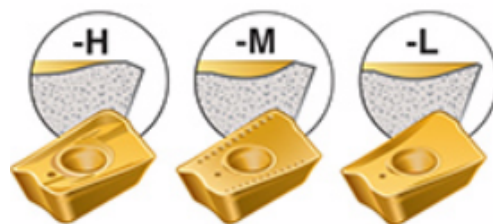


Figura B.1: Tipos de geometrías según Sandvik

- **Ligera (L):**
  - Extra positiva
  - Para mecanizado ligero
  - Fuerzas de corte pequeñas
  - Velocidades de avance reducidas
- **Media (M):**
  - Geometría de primera elección
  - Velocidades de avance intermedias
  - Operaciones de mecanizado medio a desbaste ligero
- **Pesada (H):**
  - Filo reforzado
  - Mecanizado pesado
  - Máxima seguridad del filo
  - Grandes velocidades de avance

También para obtener buena terminación con altos avances se pueden usar insertos tipo wiper que aumentan la longitud del filo que toma contacto con la pieza generando mejores rugosidades y a mayores avances, a costa de aumentar la potencia necesaria y la inestabilidad de la operación.

2. **Calidad** Este término se refiere a las diferentes composiciones del núcleo y los recubrimientos del inserto. Para mejorar las prestaciones y reducir el desgaste de la plaquita hay que seleccionar la calidad en función del material de la pieza.

### B.1.2. Herramientas indexables

Son aquellas que utilizan insertos para sus filos y su selección dependerá de la forma de estos últimos y de la operación a realizar.

La cantidad de insertos que se utiliza determinará el paso de la herramienta y a medida que se reduce este valor, aumenta la productividad pero se necesitan condiciones de corte más estables así como mayor potencia y rigidez de la máquina. Hay algunas herramientas que utilizan un paso diferencial para disminuir el riesgo de vibración y evitar que el sistema entre en resonancia.

También la fresa determina el ángulo de posición del inserto que afecta las magnitudes de las componentes axial y radial de la fuerza de corte, así como también el espesor de la viruta.

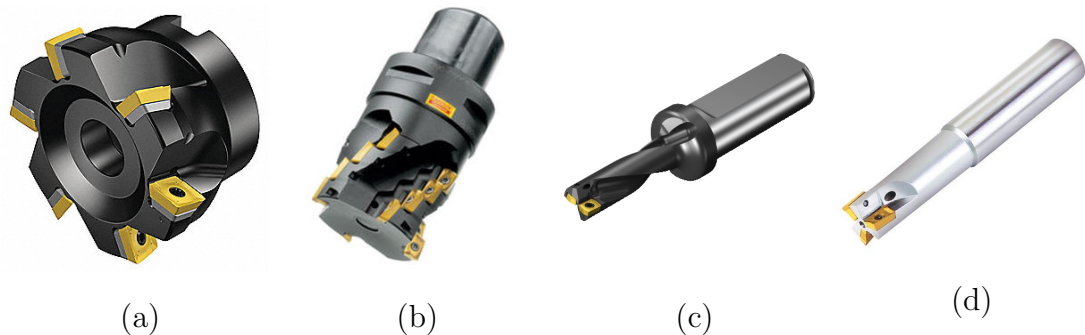


Figura B.2: Fresa para planeado (a); desbaste (b); end mill (d) y broca (c)

### B.1.3. Herramientas sólidas

La herramienta es de un solo material y puede poseer o no recubrimientos superficiales. Esta puede ser de:

- Acero aleado: Se fabrican a partir de una barra de acero de alto carbono con algunos aleantes como por ejemplo el tungsteno, cobalto, etc para mejorar sus propiedades. Se le tallan las ranuras helicoidales y generan los filos de la herramienta y trata térmicamente.
- Carburo de tungsteno: Al igual que los insertos es un producto sinterizado y se pueden obtener preformas cilíndricas que luego se le mecanizan las ranuras y filos o ya se sinteriza con la forma de la herramienta y solo se mecanizan los filos. Por este último método se le pueden realizar conductos internos para conducir refrigerante

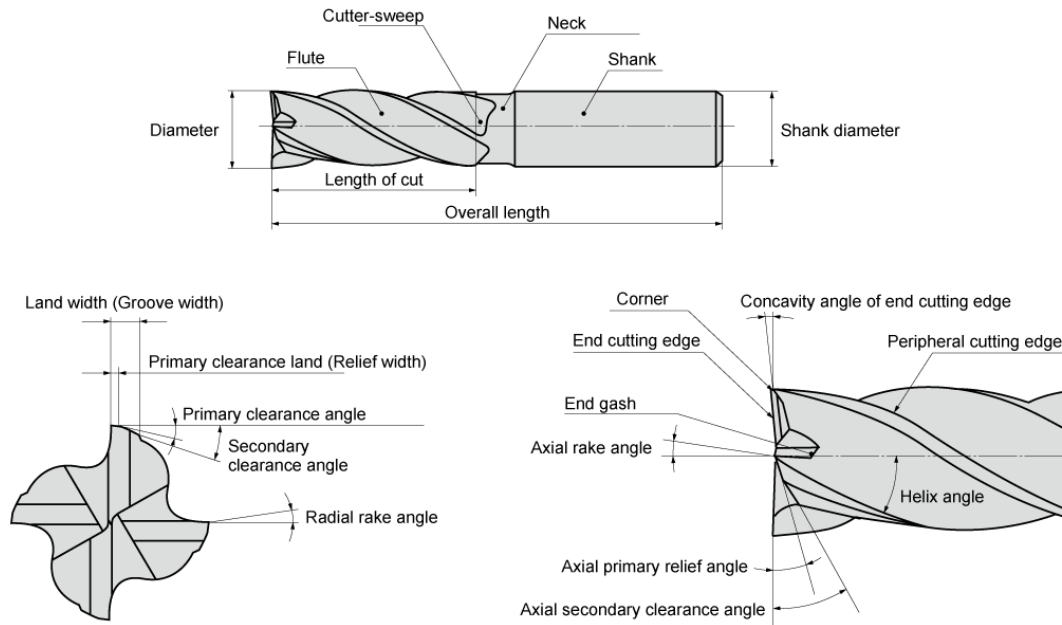


Figura B.3: Terminología fresas sólidas

## B.2. Porta herramientas

En este capítulo se presentaran brevemente los diferentes tipos de porta herramientas que se pueden utilizar en las operaciones de mecanizado, así como los múltiples conos con los que estos se pueden vincular con el husillo.

### B.2.1. Objetivos

Cumple la función de ser el vínculo entre la herramienta de corte y el husillo. Debe permitir un cambio rápido de la herramienta y a la vez ofrecer una conexión robusta. Por lo tanto las cualidades necesarias son:

- **Resistencia a la flexión:** Para la estabilidad del corte principalmente al trabajar con herramientas de voladizos largos o cargas de corte pesadas.
- **Transmisión de par:** Para poder brindarle a la herramienta la potencia necesaria para la operación de corte.
- **Concentricidad:** Entre la herramienta y el husillo. Al incrementarse, la diferencia entre el  $a_e$  de cada filo es mayor, por lo que se reduce la vida útil de la herramienta, aumenta el riesgo de una rotura y disminuye la calidad del acabado superficial.
- **Facilidad para acople y remoción del husillo:** Valido tanto para cambios manuales en máquinas convencionales como para cambios automáticos (ATC) en maquinas de control numérico.

### B.2.2. Unión porta herramienta - husillo

La superficie de contacto entre el porta herramientas y el husillo, por la que se transmiten los esfuerzos, es mayormente un tronco cono (con la excepción del



sistema Capto® de Sandvik) debido a su simplicidad geométrica, bajo costo de fabricación y alta repetibilidad en el acoplamiento de un macho con una hembra. Aunque por la limitada capacidad de transmitir momento, en la mayoría de los casos se agregan unas chavetas o perros de arrastre.

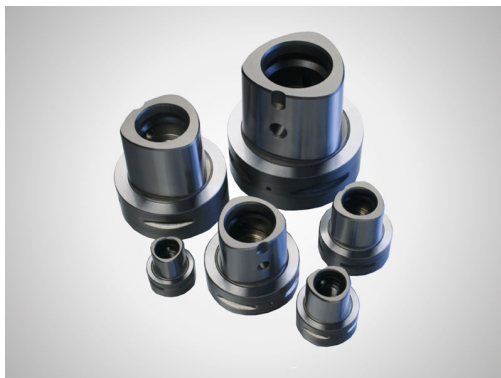
Los conos pueden ser clasificados en :

■ **Auto-sujeción:**

Cuando poseen un ángulo de cono pequeño por lo que cuando se calzan el cono macho con el cono hembra se necesita que se aplique una fuerza para liberarlos que normalmente se hace con una cuña. Cuando se utilizan para fresado, en donde actúan fuerzas laterales se usa

Algunos ejemplos de estos son:

- B (DIN 238)
- Jacobs (JT)
- Morse (MT, norma DIN 228 o ISO 296)
- Capto®



(a)



(b)

Figura B.4: a) Sistema Capto en sus múltiples tamaños ; b) Porta herramienta con cono morse

■ **Auto-liberación:**

Son aquellos que no pueden mantenerse acoplados sin la aplicación de una fuerza de sujeción. Esto tiene como ventaja que al controlar la aplicación de la fuerza, podemos liberar o fijar fácilmente el porta herramientas, lo que es de gran importancia en los sistemas de cambio automático de herramientas. El ángulo del cono es mayor que en los de auto-sujeción y permite que el extremo del porta adyacente a la herramienta tenga un mayor diámetro, lo que aumenta la rigidez de la conexión. Esto último se puede apreciar al comparar las figuras B.3(b) y B.5

Los conos de auto liberación los podemos separar según su ángulo en:

1. **7/24:**

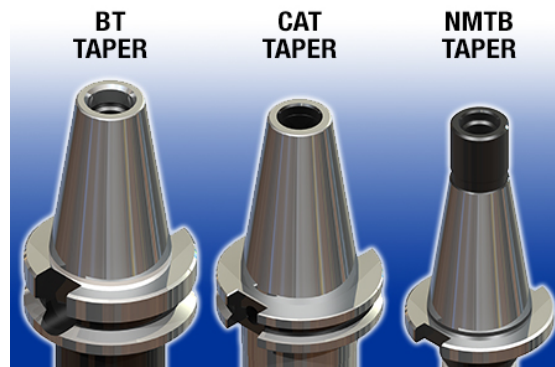


Figura B.5: Diferentes estándares de conos 7/24

Su ángulo cumple con la relación de 3.5 pulgadas en un pie (12 pulgadas) lo que da un ángulo de cono de  $16.26^\circ$ . Puede tener chavetas de arrastre. Al pasar el tiempo diferentes estándares de distintos países generaron diseños de porta herramientas variando las dimensiones de la brida, tipo de rosca y diseño del pull stud, pero manteniendo siempre la relación 7/24 del ángulo del cono. Los más conocidos de ellos son:

- **BT**
- **CAT, CV o V-Flange**
- **NMTB, NMT o NT (National machine tool builders)**
- **SK, JT, DIN, DAT o DV**
- **BIG-PLUS**
- **Cono ISO**

Cabe aclarar que si se dispone de un husillo con cono de tamaño 40, este podrá ser usado con los distintos estándares que tengan este tamaño disponible, como por ej, BT40, ISO40 o NT40, pero deberán hacerse algunas modificaciones, como las chavetas de arrastre del husillo o la forma de los grippers en el ATC.

## 2. HSK:



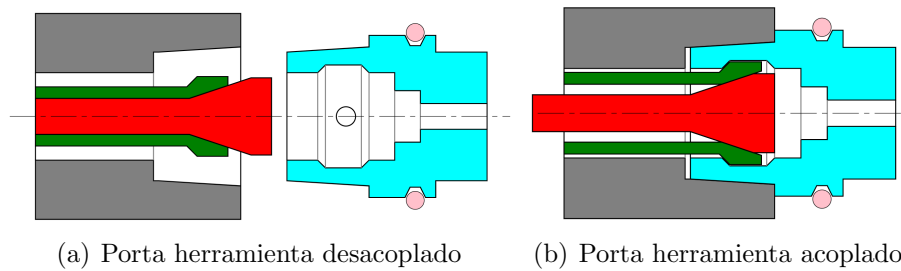
Figura B.6: Porta herramientas HSK A63

Del alemán Hohlschaftkegel (Hollow shank tapers / conos de eje hueco). Posee un ángulo de cono de 1:10 o  $5.71^\circ$ . Esta disponible en seis formas HSK-A, HSK-B, HSK-C, HSK-D, HSK-E, HSK-F, cada una con

ventajas específicas para distintas aplicaciones, y diferentes tamaños definidos por el diámetro de la brida (desde 25 a 160 mm).

Fueron diseñados para solucionar problemas que suceden a altas revoluciones, como por ejemplo:

- El husillo se expande mas que el porta herramientas y para mantener el contacto con el cono, el porta se eleva, alterando la posición en el eje Z de la herramienta. Esto se debe a que el porta herramienta es mas rígido que el husillo, por lo que a altas velocidades la fuerza centrífuga provoca que ultimo se expanda mas que el primero. Con el contacto de la brida se soluciona esto.
- La fuerza centrífuga resta a la fuerza de sujeción de la boquilla o bolas que sostienen al porta herramienta ya que la hacen hacia el eje de rotación. En cambio, el sistema HSK la realiza hacia afuera, por lo que al aumentar las RPM también lo hace la fuerza. En la figura inferior se puede ver un esquema de la boquilla de expansión que fija al porta herramienta.



### 3. R8:

Diseño utilizado en maquinas herramientas convencionales, introducido por el fabricante norteamericano Bridgeport, famoso durante el siglo 20 por lo que muchos fabricantes lo adoptaron.



Figura B.7: Boquilla R8 para herramienta de 3mm de diámetro

### 4. TTS - Tormach tooling system

Diseñado por el fabricante norteamericano Tormach. El vástago (no cono, como en los demás porta herramientas) que se puede ver en la figura B.8 es sostenido por una boquilla R8 descrita anteriormente. Este

sistema posee algunas ventajas como que usa el husillo R8, una buena repetibilidad de la posición en Z y su bajo costo, pero la desventaja es su poca rigidez, por lo que solo se recomienda su uso con husillos de baja potencia (menor a 1.5hp)



Figura B.8: Porta herramienta TTS

### B.2.3. Unión herramienta - Porta herramienta



Figura B.9: Tipos de porta herramientas

Hay diferentes métodos, cada uno con sus ventajas y desventajas, y ellos son:

1. **Boquillas (Collet chuck):** Es una pieza que recibe una fuerza axial, generada por ejemplo por una tuerca, y se desplaza a travez de un cono, achicando su sección y colapsando la boquilla generando una fuerza de apriete sobre la herramienta [ver fig B.9(a)].

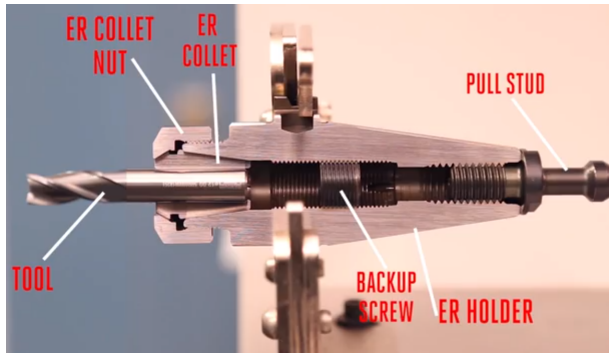
Algunas de sus características son:

- Se pueden utilizar diferentes boquillas y poder alojar herramientas de diferente diámetro en un unico porta herramientas.
- Rango de apertura de aproximadamente 1 mm por lo que si lo comparamos con un mandril, necesitamos un juego de boquillas para cubrir el mismo rango.
- El diámetro que figura en la boquilla la medida máxima, ya que trabajan bajo contracción, no expansión.

- Poseen una buena área de contacto entre la boquilla y la herramienta (al compararse con un mandril), lo que se traduce en una mayor fricción, es decir, fuerza de sujeción de la herramienta.
- Son auto centrantés ya que el apriete se debe al contacto entre dos conos, el de la boquilla y el del alojamiento en el porta herramienta y poseen una buena concentricidad.

Algunas de las mas conocidas son:

Boquillas ER: Están disponibles en 8 tamaños, definidos por el diámetro mayor de la cavidad (el cono interior) del porta herramienta donde se aloja, y ellos son: ER8, 11 (7), 16 (10), 20 (13), 25 (16), 32 (20), 40 (26) y 50 (34) [fig B.9(b)] siendo el número entre paréntesis el diámetro máximo de herramienta que puede alojar.



(a)



(b)

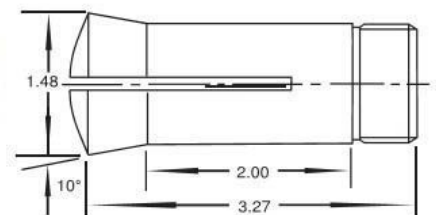
Figura B.10: a) Corte sistema ER ; b) Múltiples tamaños de boquillas.

Boquillas TG/PG: Utilizados para perforado de grandes diámetros y fresado pesado (grandes  $a_p$  y  $a_e$ ). Comparado con los ER, poseen una mayor fuerza de apriete, menor concentricidad, menor rango del diámetro de la herramienta a sostener y mayor costo.

Boquillas tipo C: Hay diferentes tamaños (5C, 16C, 20C, etc) y se utilizan normalmente en el torneado ya que al poseer rosca externa (también pueden tener interna) se pueden fijar al husillo mediante un tubo roscado o “draw-tube” en vez de una barra, lo que permite el pasaje del material a través del husillo.



(a)



(b)

Figura B.11: Plato torno para boquilla (a); Boquilla 5C (b)

2. **End mill/side lock holder:** Consiste en un agujero de precisión, cuyo diámetro es unas centésimas mas grande que el de la fresa a instalar. En el se instalan fresas con chaveta que son fijadas con un tornillo. Algunas de sus ventajas (+) y desventajas (-) son:

- + Bajo costo debido a su simplicidad
- + Firme sujeción de la herramienta
- Mala concentricidad (comparada con otros porta herramientas) de hasta 0.001" o 0.025 mm, generada al fijar la herramienta, sera de la mitad del juego entre esta ultima y el agujero del porta herramientas.
- No estará bien balanceado debido a que tenemos un agujero con el tornillo de ajuste por lo que no recomienda usar a mas de 10000 rpm

3. **Hydraulic toolholder:** La fuerza de sujeción es mediante la presión de un fluido que es generada al apretar un tornillo y reducir el volumen de una cavidad.

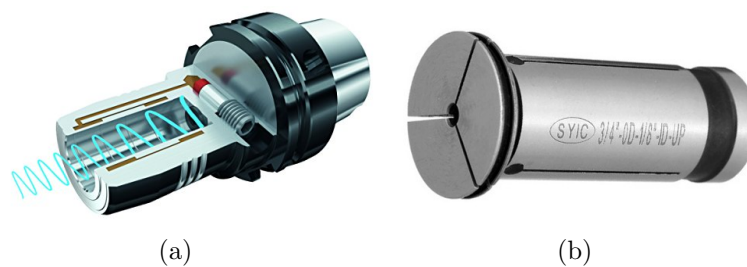


Figura B.12: a) Corte porta herramienta ; b) Boquilla reductora

4. **Milling chuck:** Poseen una gran fuerza de apriete y el exterior del cuerpo del porta herramientas es cónico y hace contacto con una tuerca cónica a través unos rodamientos de aguja [fig B.12(b)].

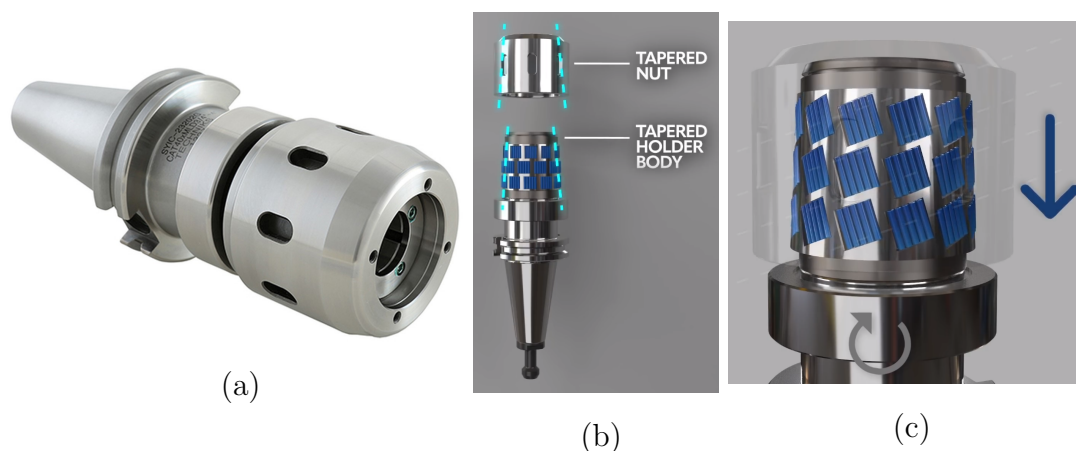


Figura B.13: a) CAT40 Milling chuck ; b) Despiece ; c) Acción de apriete

5. **Shell mill / facemill holder:** Sostiene fresas para planear, mediante uno o varios tornillos y dos chavetas que evitan su rotación.

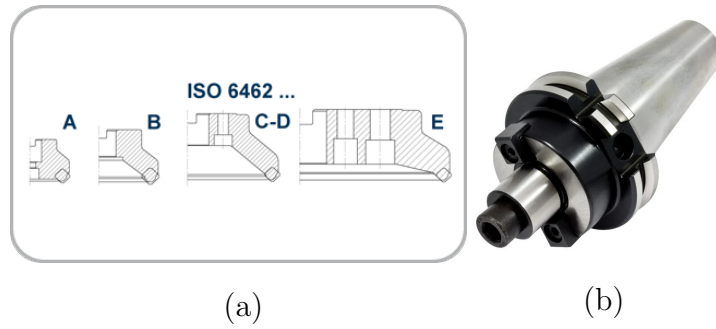


Figura B.14: a) Tamaños de fresas de planear ; b) Porta herramientas

6. **Shrink fit holder:** El agujero de precisión que posee el porta herramientas es de un diámetro menor al de la herramienta, por lo que en frío no se podría insertar la herramienta. Pero calentar el porta herramientas, este se dilata permitiendo que se inserte la fresa. Una vez enfriado se genera una interferencia entre el porta y el vástago de la fresa que genera la fuerza de sujeción.
7. **Mandril:** Utilizados para operaciones de agujereado.

# Apéndice C

## Planimetría

### C.1. Codificación de planos

El definir un sistema de codificación de piezas y ensamblajes es un proceso que debe contemplar diferentes aspectos como el tamaño de la empresa (una oficina técnica o múltiples departamentos), la variedad de los productos, cantidad de piezas por producto, subprocesos, etc. El objetivo principal es el de diferencia claramente una pieza de otra por lo que no puede haber dos con un mismo código.

Se puede definir un código largo y complejo, que contemple todas los posibles tipos de piezas a fabricar y procesos que se le realicen, pero su aplicación sería engorrosa y propenso a romperse ante diferentes imprevistos que sucedan al evolucionar la empresa o proyecto.

Caso contrario, en un sistema sumamente simple, este podría ser sumamente adaptable pero nos daría muy poca información acerca de la pieza.

#### C.1.1. Sistema adoptado

La maquina tiene un ensamblaje principal y luego al menos un nivel CON TODOS sub-ensamblajes Por lo que en lo que tanto el ensamblaje principal y los de 1er nivel son únicos e irrepetibles ya que algunas de las piezas dentro de los sub-ensamblajes se repiten o usan en varios de ellos.

La codificación de las piezas y ensamblajes varían según estas sean piezas estándares (compradas/del almacén) o no estándares (diseñadas y fabricadas en la empresa)

##### 1) No estándares: CDDD-Nombre

- C: Número del ensamblaje de primer nivel (sirve para poder saber un poco la ubicación de la pieza en el ensamblaje )
- DDD es el numero correlativo de piezas, el 000 es el ensamblaje de primer nivel y de 1 a 999 los demás.
- Nombre: va seguido al guión (sin espacio) y para todos los ensamblajes (sin importar el nivel) es todo con MAYÚSCULA, para las piezas es con minúscula



Los archivos de las piezas se guardan en la carpeta de cada proyecto, por lo que no es necesario diferenciarlos de las piezas utilizadas en otras maquinas ya que se encuentran separados, pero para los planos, que al estar impresos se pueden mezclar con los de otras maquinas, deben poseer códigos únicos por lo que además de CDDD, se le agrega AA-BB, dando como formato final AA-BB-CDDD-Nombre, siendo:

**AA:** Tipo de maquina

- 3D: Impresora 3d.
- RT: Router de gran formato
- FR: Fresadora
- PL: Plasma
- ES: Maquina especial

**BB:** Numero correlativo de los diseños dentro de la clasificación AA. De 01 a 99

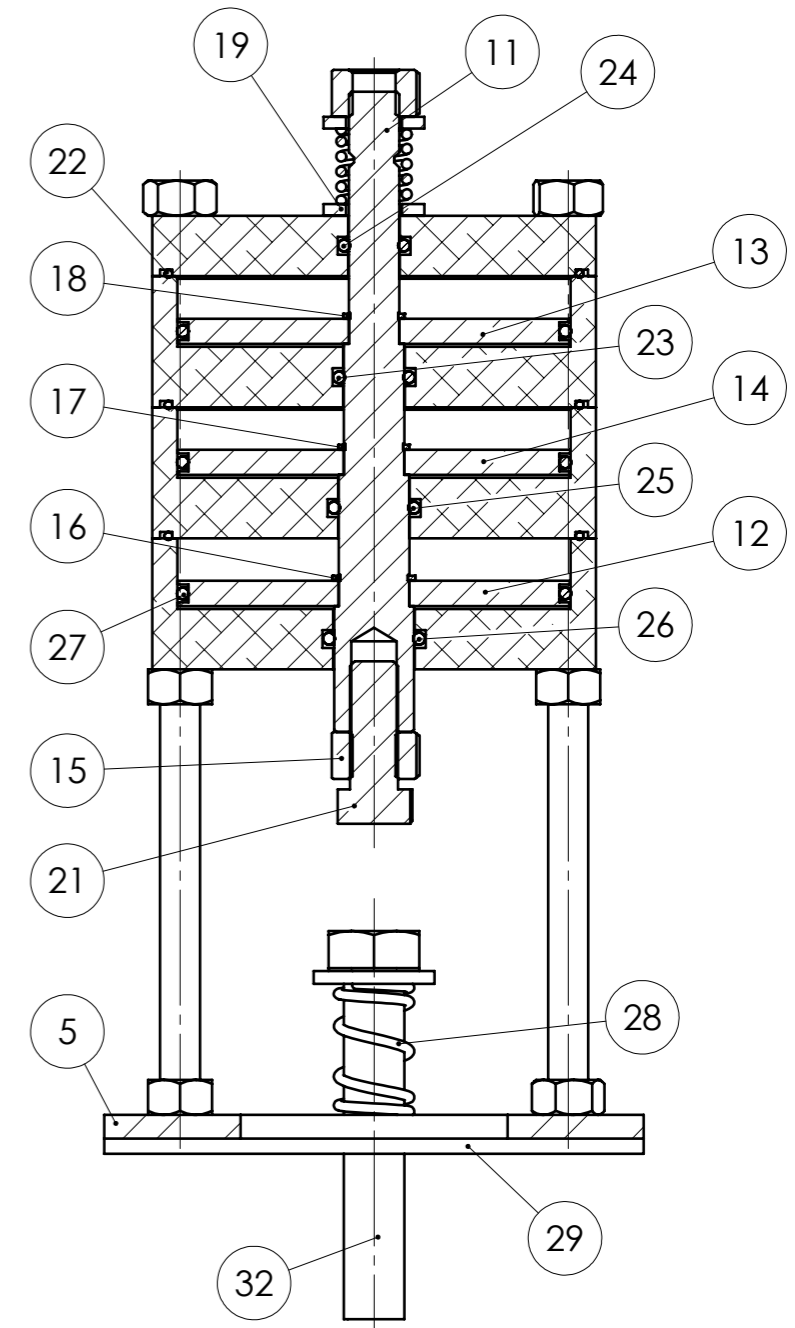
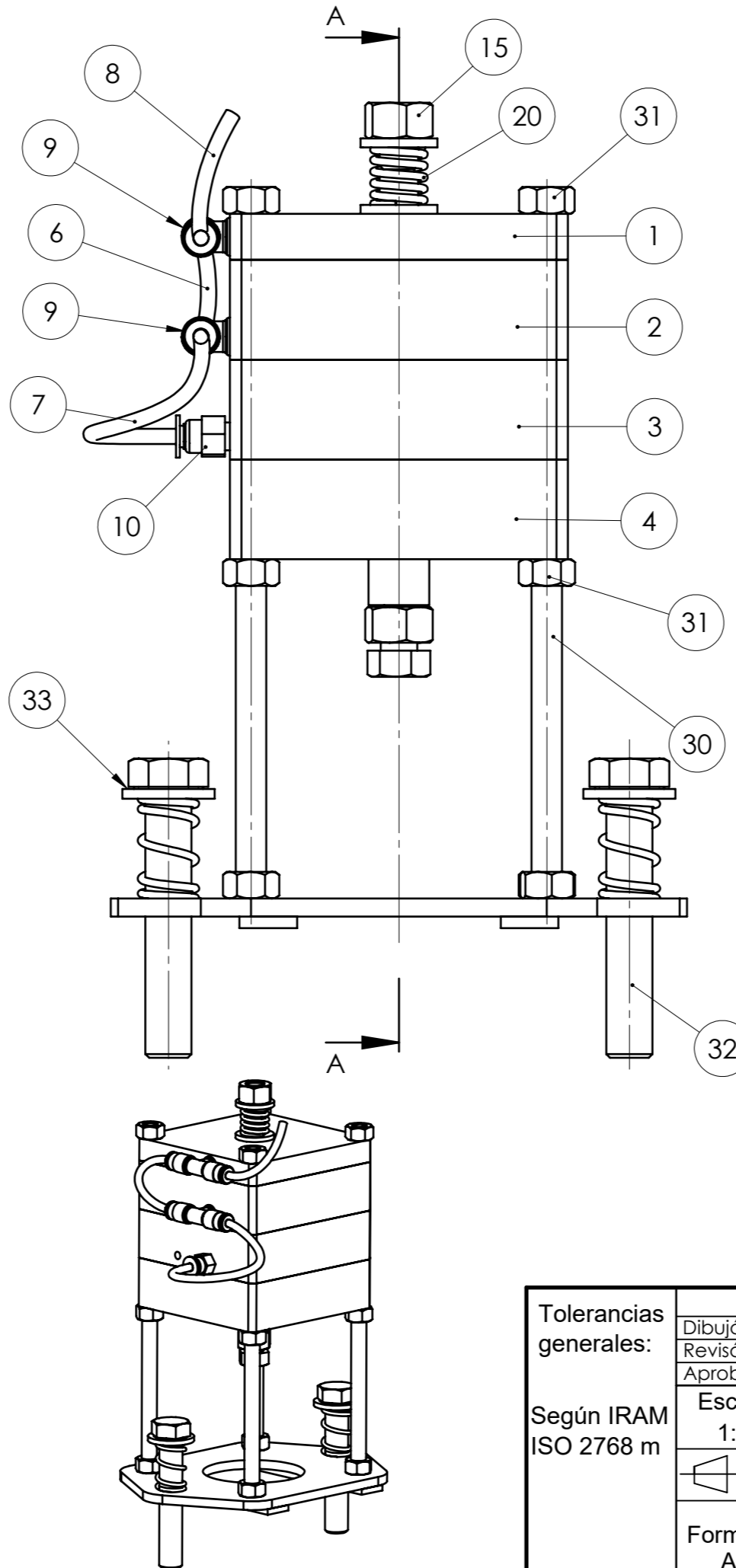
## 2) Estándares: EE-FF-GGGG

- EE: Todas las piezas de almacén llevan la doble letra A en su inicio
- FF: dos o tres letras correspondientes al tipo de insumo. Es para poder diferenciar un poco mas todas las piezas del almacén. Algunos de ellos son
  - MT: Motion
  - MC: Mecanizados - Husillos, herramientas, prensas, etc.
  - NH: Neumática e hidráulica
  - EA: Electrónica
  - ED: Electricidad
  - VA: Varios
  - AC: Accesorios
  - PI: Piping and instruments - Bridas, caños, acoples, bombas,etc.
- GGGG: Numero correlativo. Podrían haber hasta 9999 piezas en cada clasificación FF

## C.2. Presentación planos

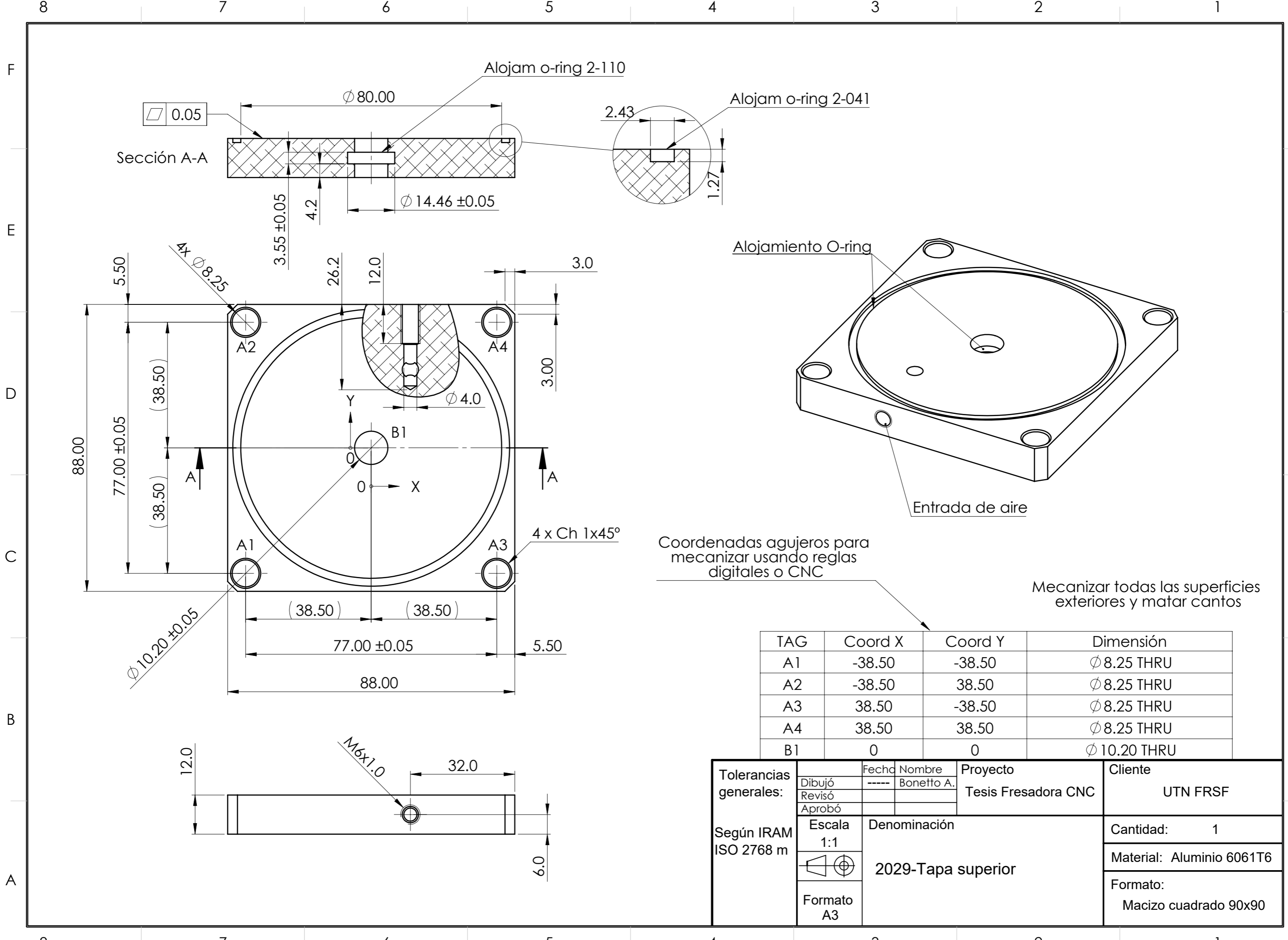
Debido al gran numero de piezas que componen la máquina, no se presentarán los planos de todas las piezas sino que solo de algunos sub-conjuntos, en los cuales se aplican tolerancias geométricas, dimensionales, acotación de soldadura, entre otros aspectos.

Num	Denominación	Descripción	Cant.
1	2029-Tapa superior		1
2	2030-Bloque	Config A	1
3	2030-Bloque		1
4	2030-Bloque		1
5	2031-Placa elevación		1
6	Manguera A		1
7	Manguera B		1
8	Manguera C		1
9	Tee Ø 4		2
10	Acople M6 - Tubo 4mm		1
11	2032-Vástago escalonado		1
12	2033-Émbolo	Config C	1
13	2033-Émbolo	Config A	1
14	2033-Émbolo	Config B	1
15	Tuerca M10x1.5		2
16	Circlip DIN 471 - 14 x 1		1
17	Circlip DIN 471 - 12 x 1		1
18	Circlip DIN 471 - 10 x 1		1
19	Arandela M10		2
20	2034-Resorte superior		1
21	Torn hex M10x1 L=30		1
22	O-Ring	2-041	3
23	O-Ring	2-111	1
24	O-Ring	2-110	1
25	O-Ring	2-112	1
26	O-Ring	2-113	1
27	O-Ring	2-150	3
28	2035-Resorte placa		2
29	2036-Tiras goma apoyo		2
30	2037-Varilla roscada 5-16		4
31	Tuerca 5/16" x 18		12
32	Torn hex M12x1.5 L=70		2
33	Arandela M12		2



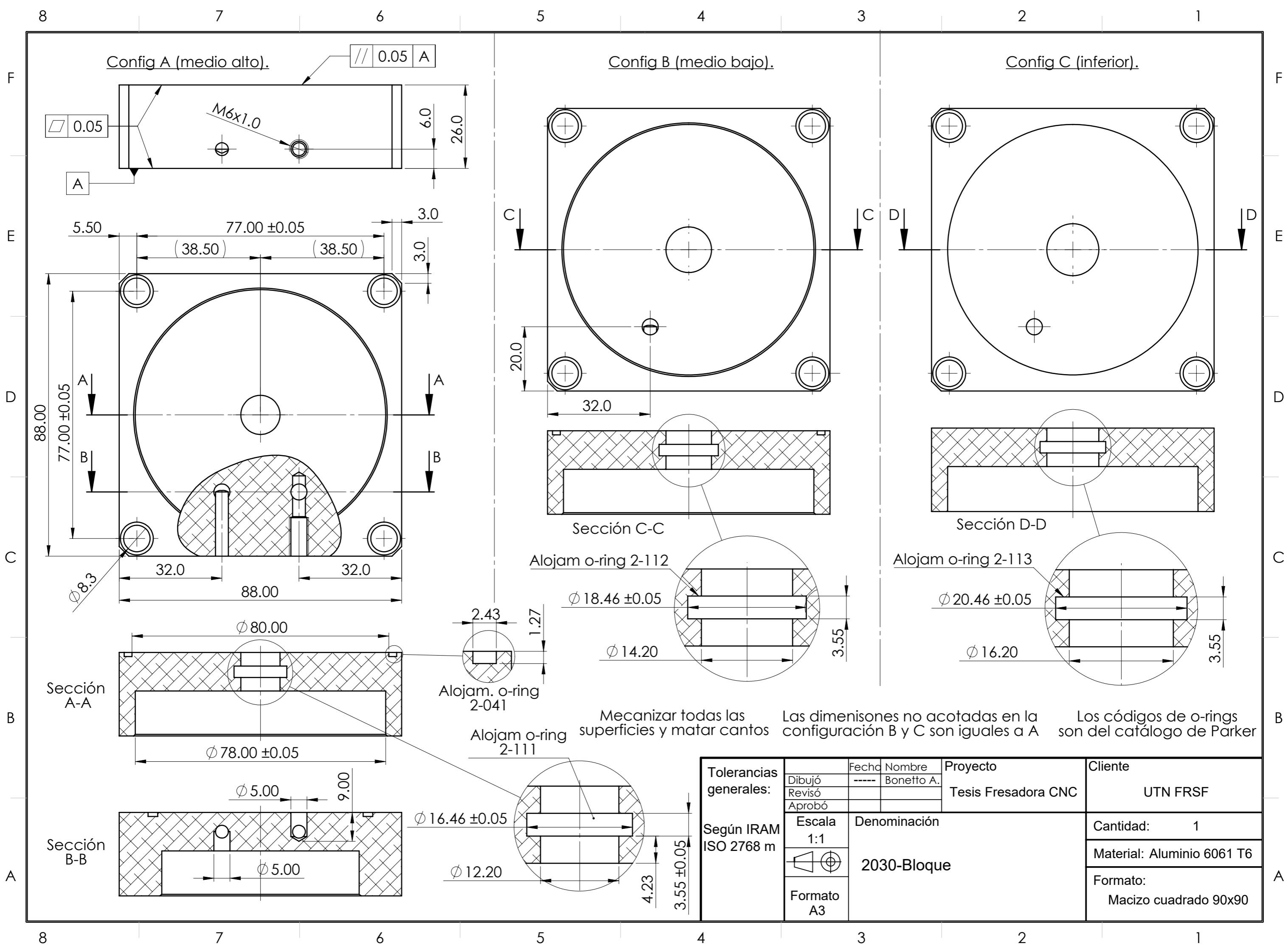
SECTION A-A

Tolerancias generales:	Dibujó	Fecha	Nombre	Proyecto:	Cliente:
	Revisó	-----	Bonetto A.	Tesis fresadora CNC	UTN FRSF
	Aprobó				
Según IRAM ISO 2768 m	Escala	Denominación			Cantidad:
	1:1.5	2017-CILINDRO NEUMÁTICO			1
	Formato A3				Material: -----
					Formato: -----

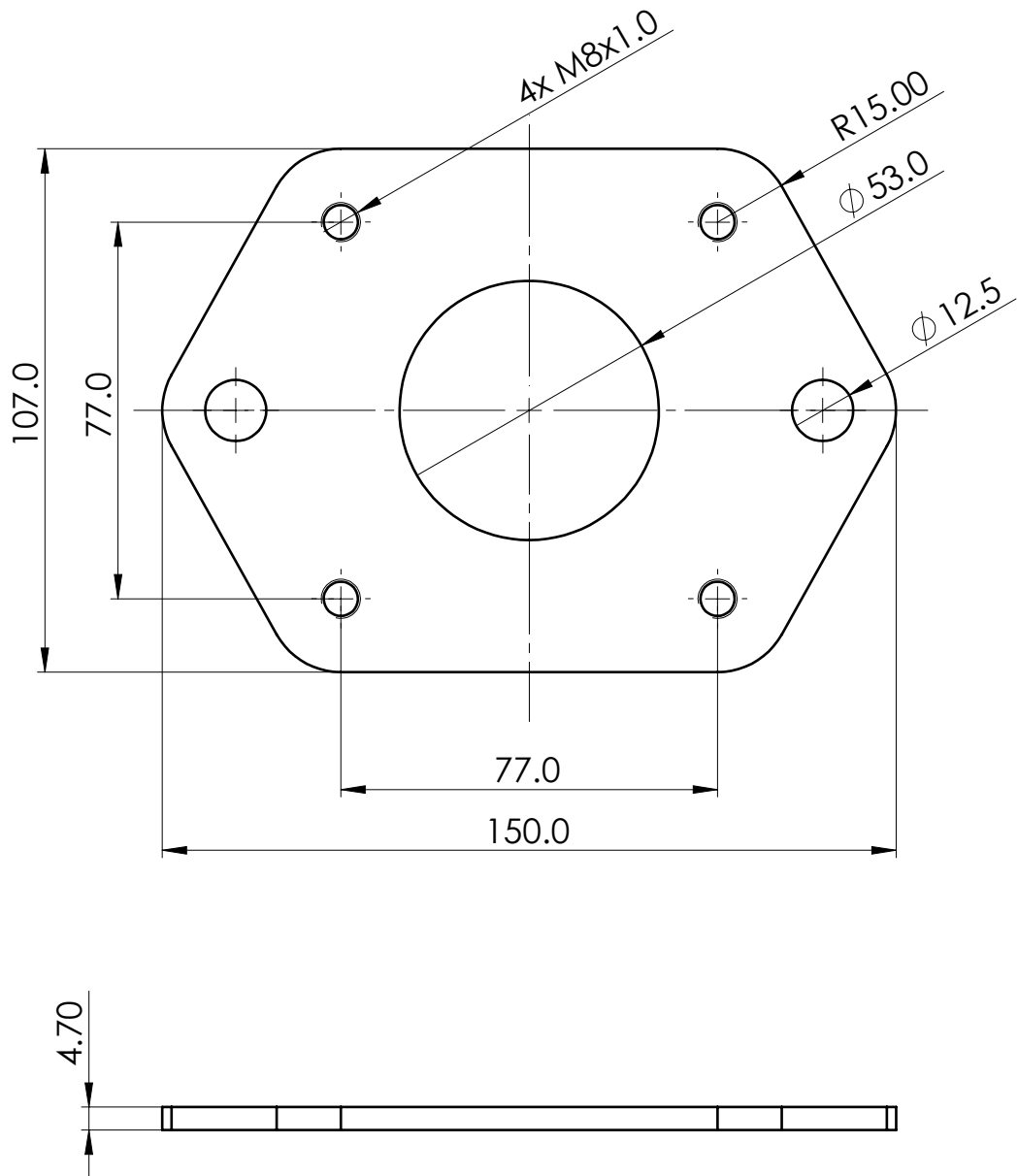


TAG	Coord X	Coord Y	Dimensión
A1	-38.50	-38.50	$\phi 8.25$ THRU
A2	-38.50	38.50	$\phi 8.25$ THRU
A3	38.50	-38.50	$\phi 8.25$ THRU
A4	38.50	38.50	$\phi 8.25$ THRU
B1	0	0	$\phi 10.20$ THRU

Tolerancias generales: Según IRAM ISO 2768 m	Dibujó	Fecha	Nombre	Proyecto	Cliente
	Revisó	----	Bonetto A.	Tesis Fresadora CNC	UTN FRSF
	Aprobó				
	Escala 1:1	Denominación			Cantidad: 1
	Formato A3	2029-Tapa superior			Material: Aluminio 6061T6
					Formato: Macizo cuadrado 90x90



Tolerancias generales:	Dibujó	Fecha	Nombre	Proyecto	Cliente
	Revisó	-----	Bonetto A.	Tesis Fresadora CNC	UTN FRSF
	Aprobó				
Según IRAM ISO 2768 m	Escala	Denominación			Cantidad: 1
	1:1	2030-Bloque			Material: Aluminio 6061 T6
Formato A3				Formato: Macizo cuadrado 90x90	



Pieza realizada en corte laser

Tolerancias generales:	Dibujó	Fecha	Nombre	Proyecto	Cliente		
	Revisó	-----	Bonetto A.			Tesis Fresadora CNC	UTN FRFSF
	Aprobó						
Según IRAM ISO 2768 m	Escala	Denominación			Cantidad:	1	
	1:1.5				2031-Placa elevación		
		Formato	Formato:				
A4							

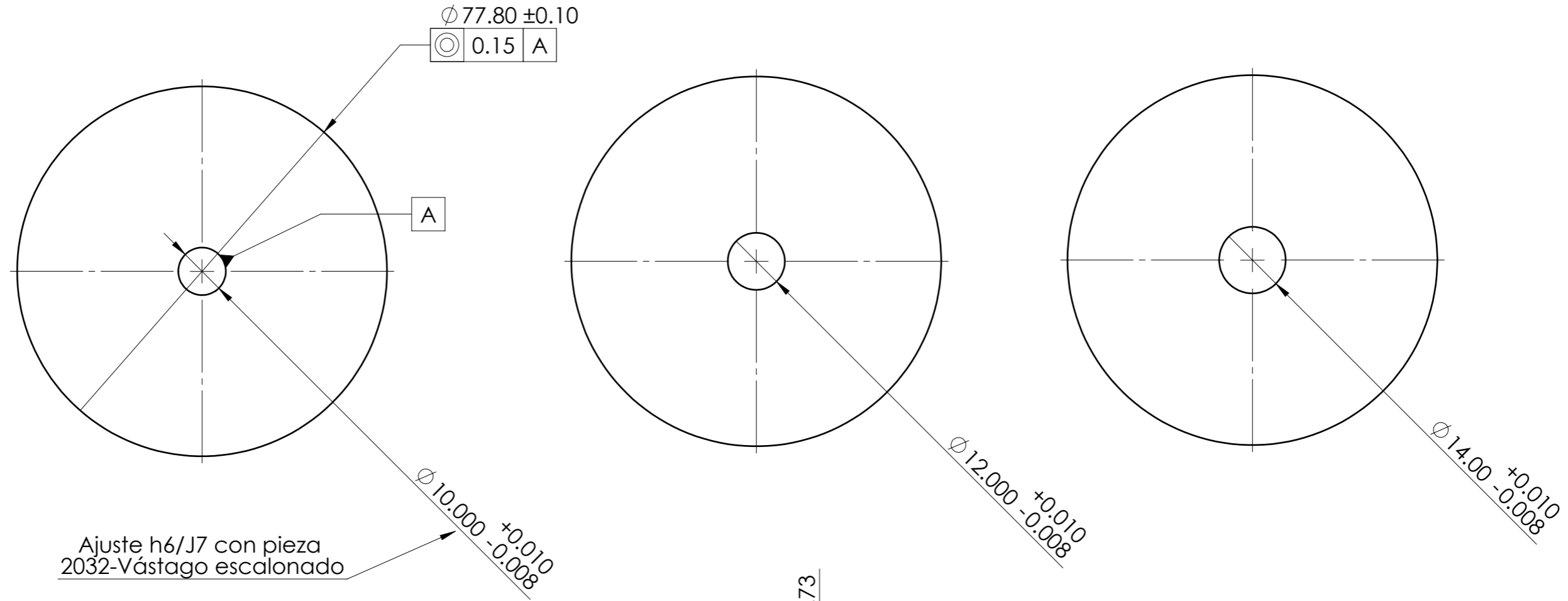
8 7 6 5 4 3 2 1

F E D C B A

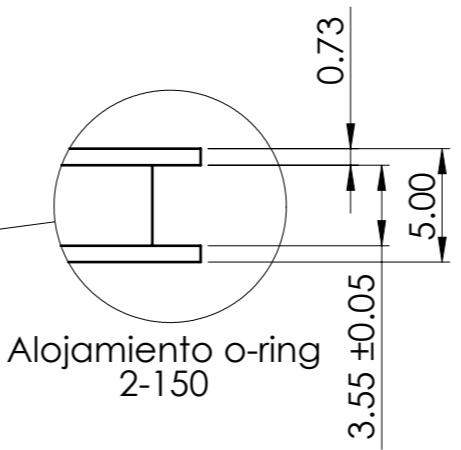
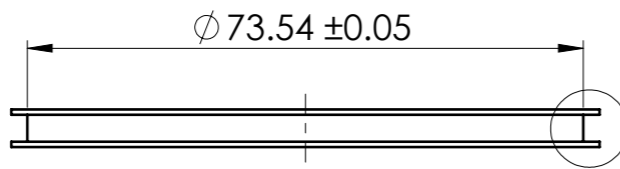
Configuración A:

Configuración B:

Configuración C:



Ajuste h6/J7 con pieza 2032-Vástago escalonado



Alojamiento o-ring 2-150

Matar cantos vivos

Dimensiones y tolerancias de alojamientos para seeger bajo norma DIN 471

Fabricar uno de cada configuración

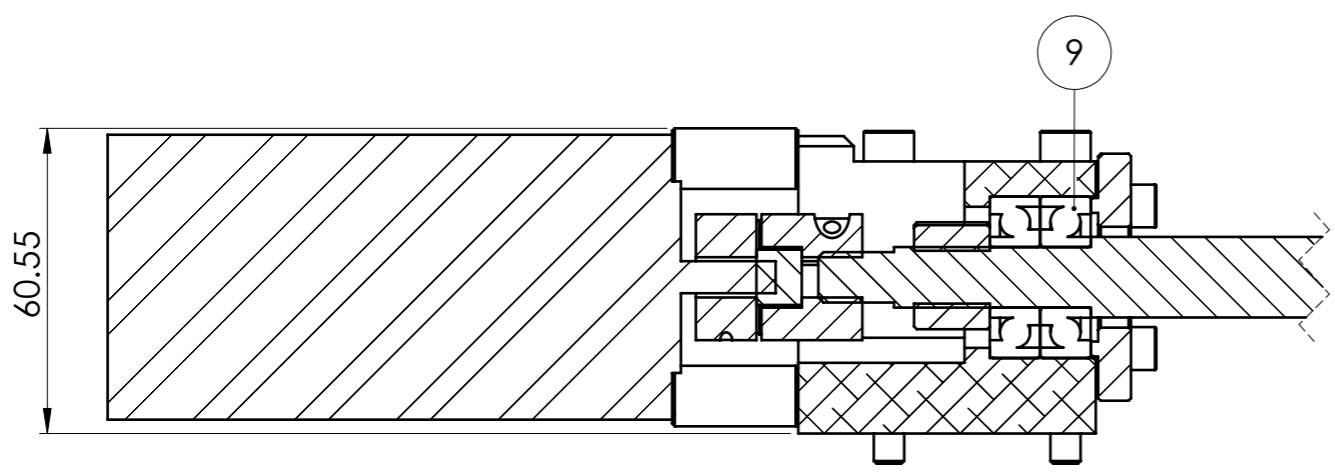
Tolerancias generales:	Dibujó	Fecha	Nombre	Proyecto:	Cliente:
	Revisó	-----	Bonetto A.		
	Aprobó				
Según IRAM ISO 2768 m	Escala	Denominación			Cantidad:
	1:1				2033-Émbolo
	Formato				Material: Aluminio 6061 T6
A3				Formato:	
				Macizo redondo $\phi$ 80 mm	

8 7 6 5 4 3 2 1

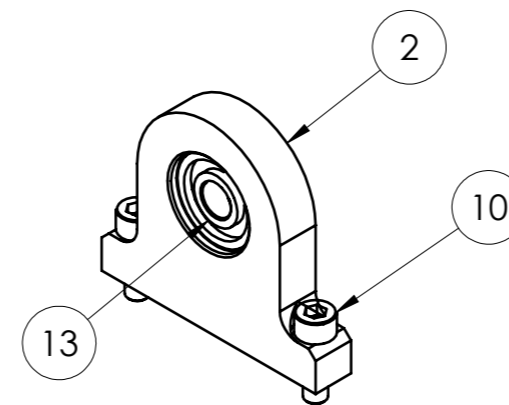
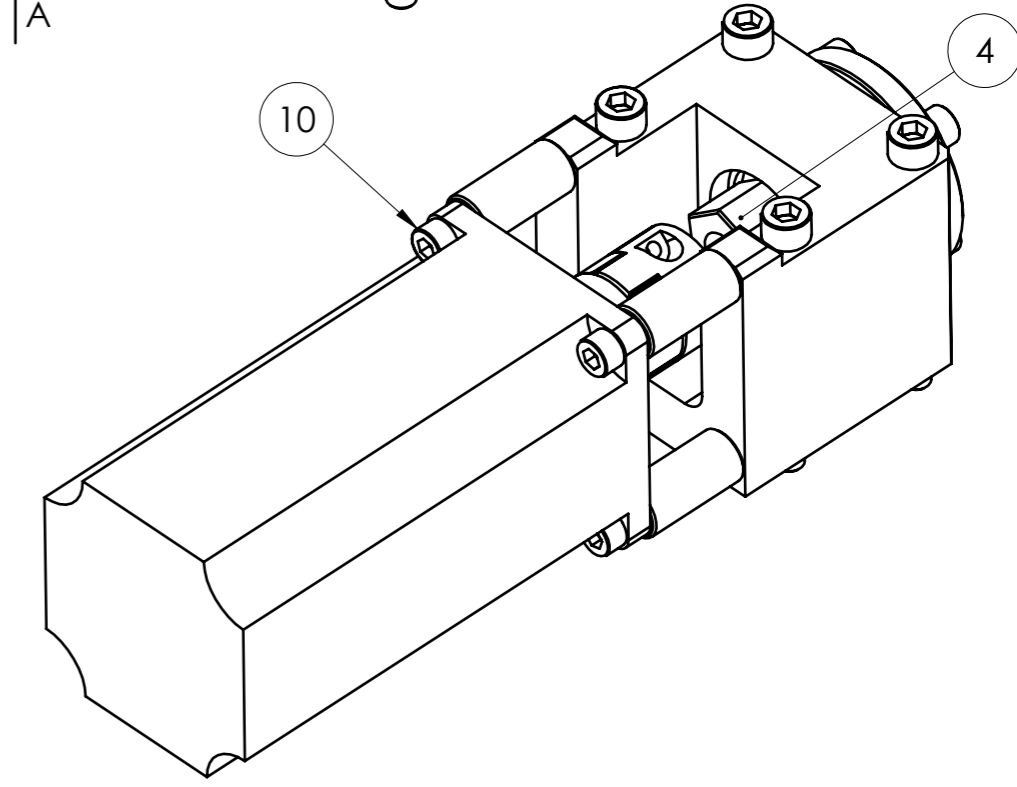
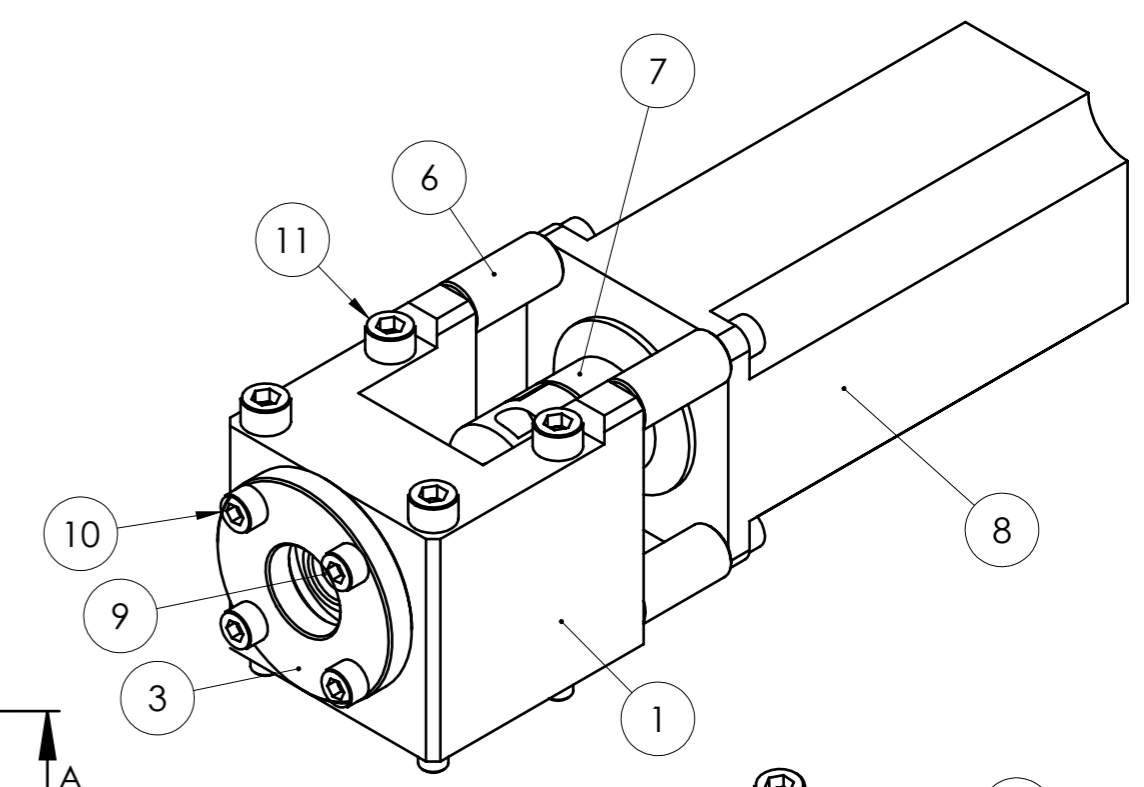
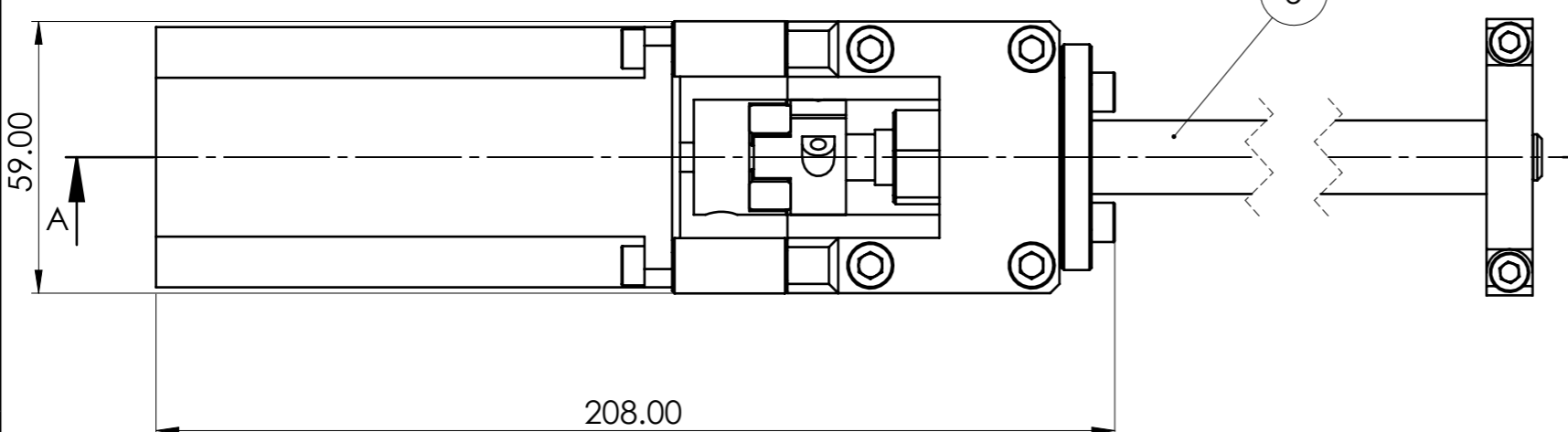
A B C D E F

8 7 6 5 4 3 2 1

F E D C B A



Sección A-A



Num	Designación	Cant
1	MT-Soporte fijo 16 aluminio	1
2	MT-Soporte flotante 16	1
3	MT-Apriete rodamientos	1
4	MT-Tuerca apriete M12x1	1
5	MT-Tornillo bolas 1604-05-10	1
6	MT-Espaciador tref 12mm	4
7	MT-Acople elastico	1
8	MT-Nema 23	1
9	Rodamiento 7201	2
10	Tornillo M5 x 16	9
11	Tornillo M6 x 60	4
12	Tornillo M5 x 40	1
13	Rodamiento 608	1

El conjunto posee 2 configuraciones:  
 - Eje Z: Sin bloque flotante y tonillo 1605 de 400mm  
 - Eje X e Y: Con bloque flotante y tornillo 1610 de 550mm

Tolerancias generales:	Fecha	Nombre	Proyecto:	Cliente:	
	Dibujó	-----	Bonetto A.	Tesis fresadora CNC	UTN FRSF
	Revisó				
Según IRAM ISO 2768 m	Aprobó				
	Escala	Denominación			
	1:1.5	MT-CONJ TORN 16			
Formato A3	Cantidad: 1				
	Material: -----				
Formato: -----					

8 7 6 5 4 3 2 1

A B C D E F

8 7 6 5 4 3 2 1

F F

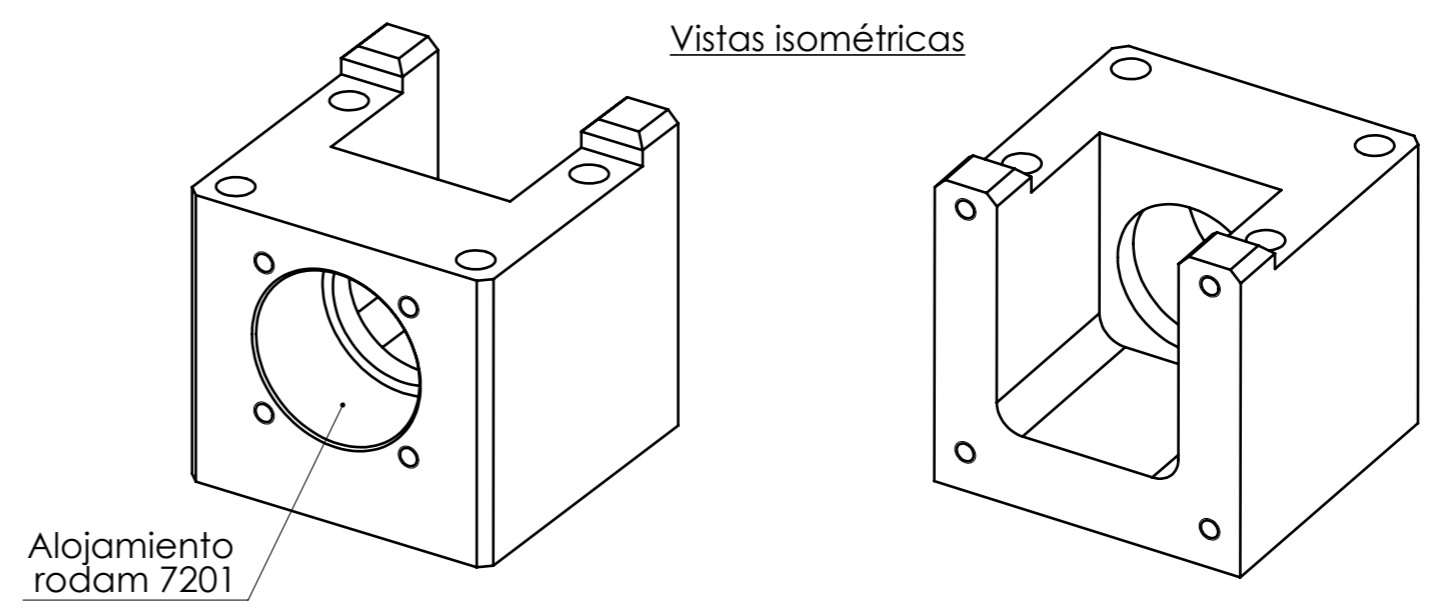
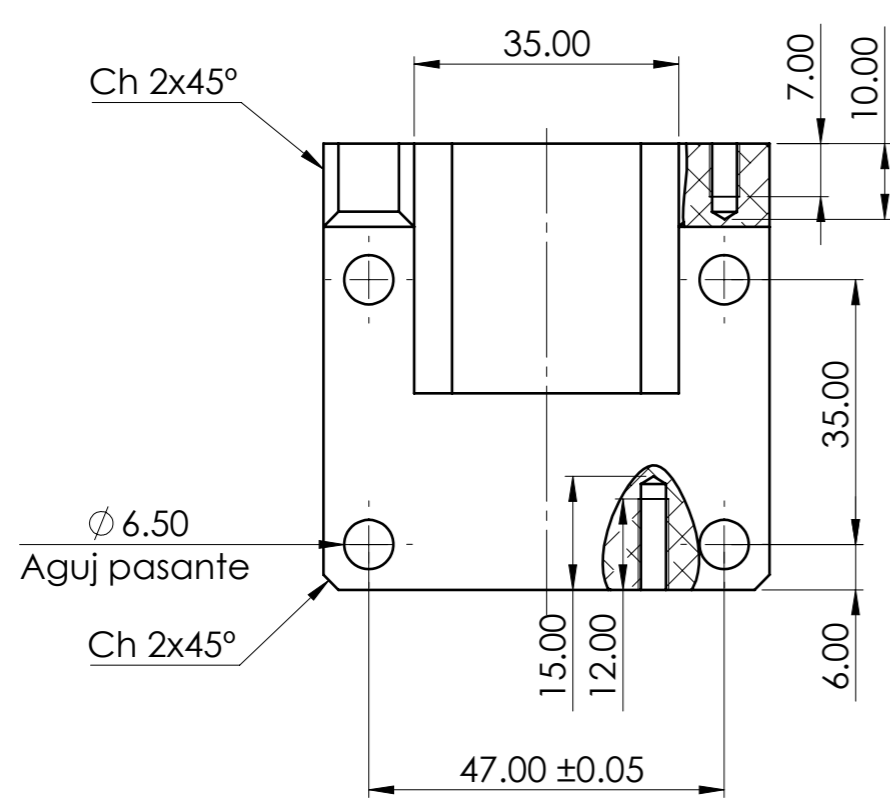
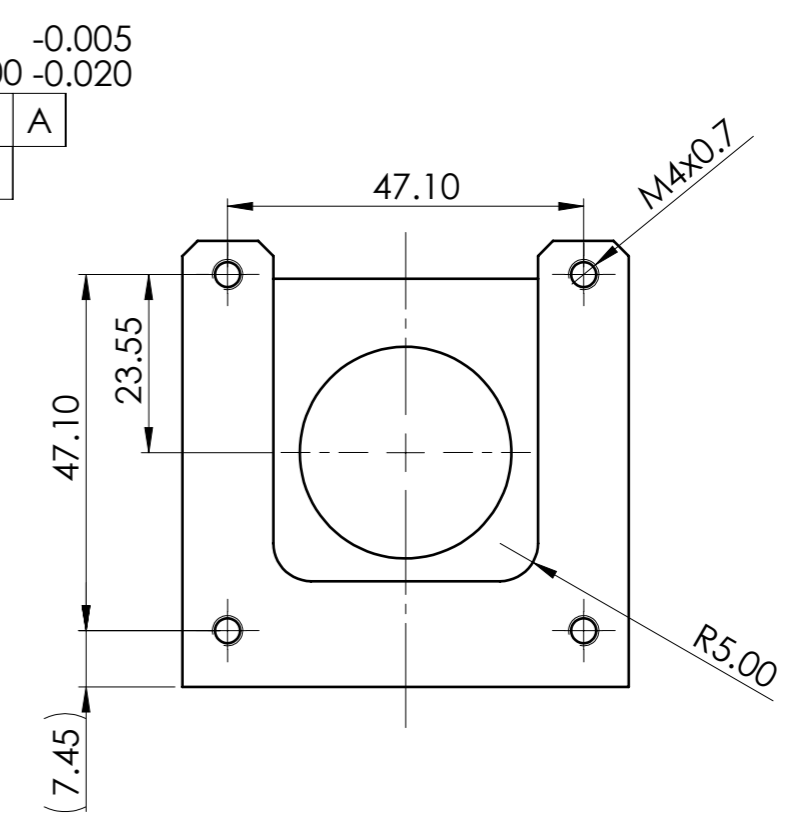
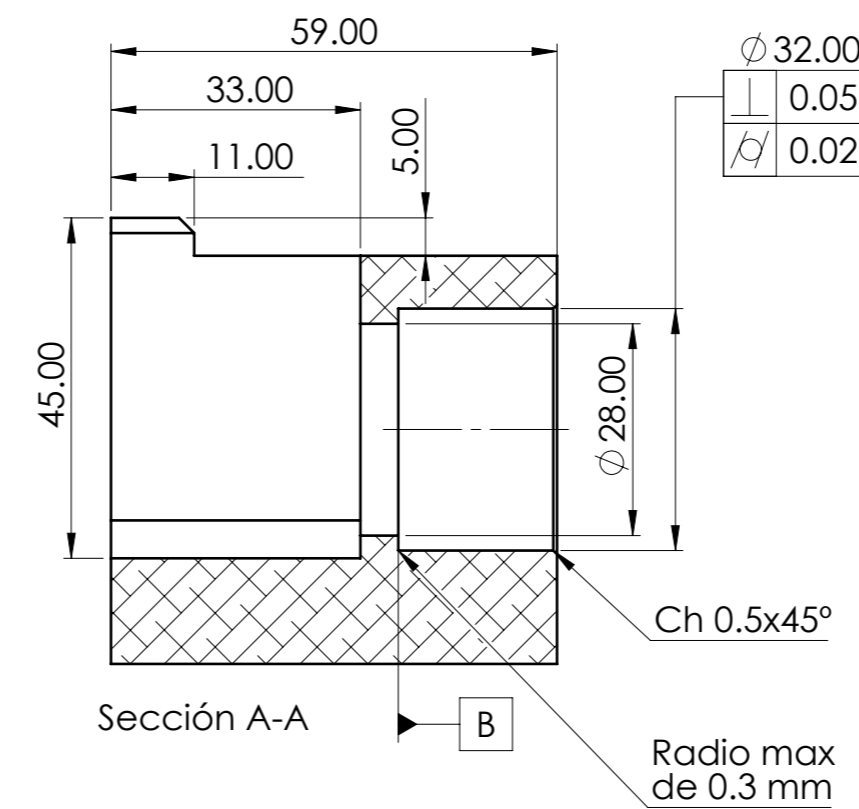
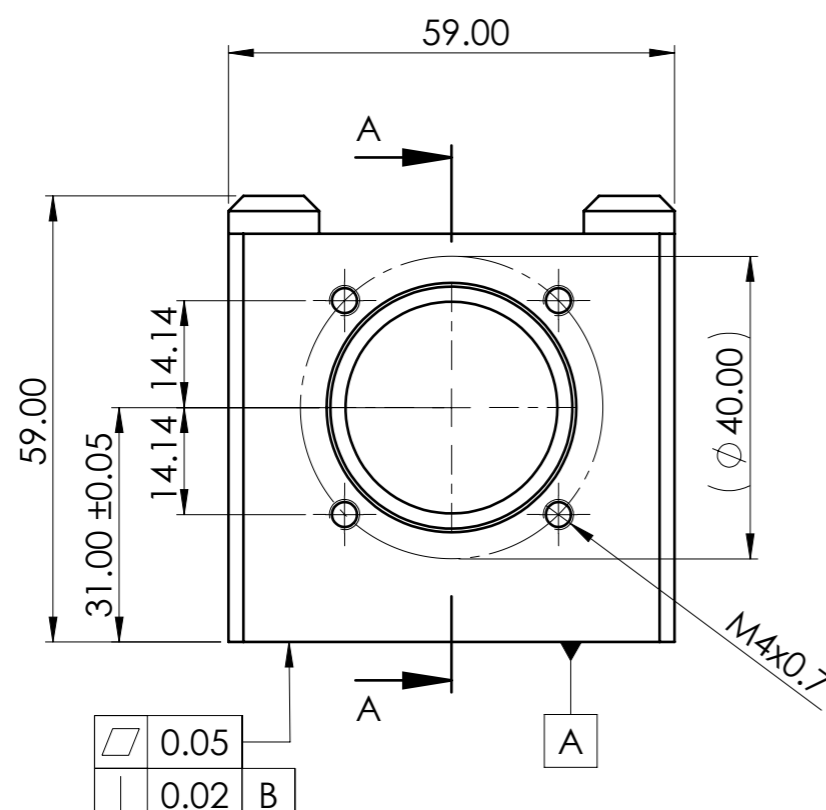
E E

D D

C C

B B

A A

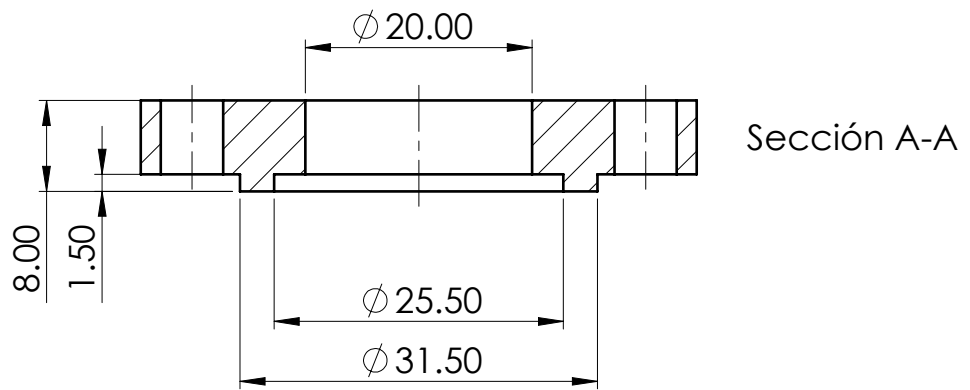
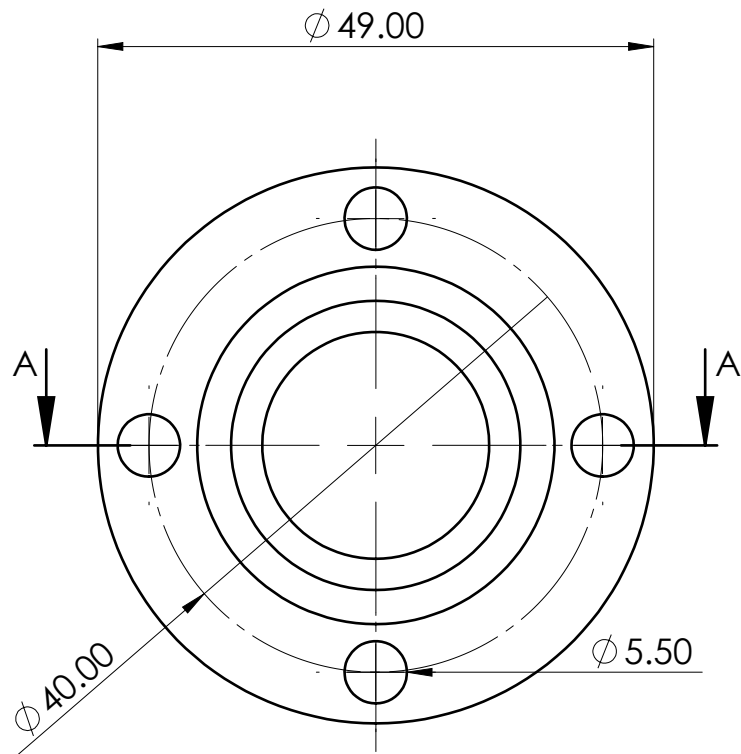


Matar cantos vivos

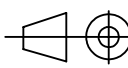
Tolerancias generales:	Dibujó	Fecha	Nombre	Proyecto:	Cliente:
	Revisó	-----	Bonetto A.	Tesis fresadora CNC	UTN FRSF
	Aprobó				
Según IRAM ISO 2768 m	Escala	Denominación			Cantidad:
	1:1	MT-Soporte fijo 16 aluminio			4
	Formato				Material: Aluminio 6061 T6
A3				Formato:	
				Macizo cuadrado 60x60	

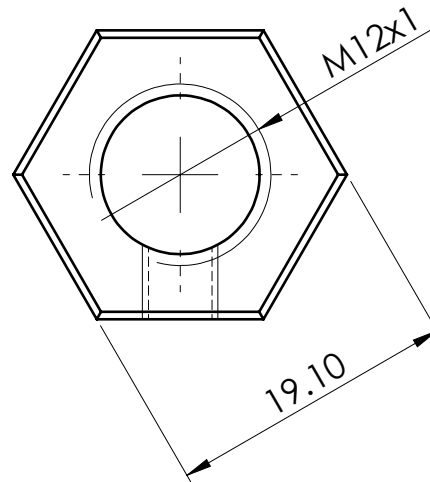
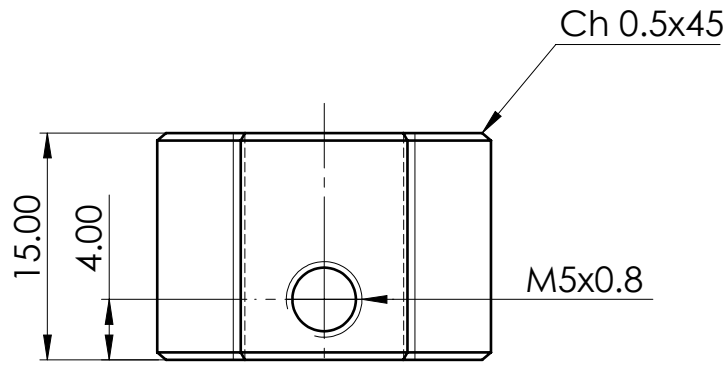
8 7 6 5 4 3 2 1

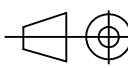


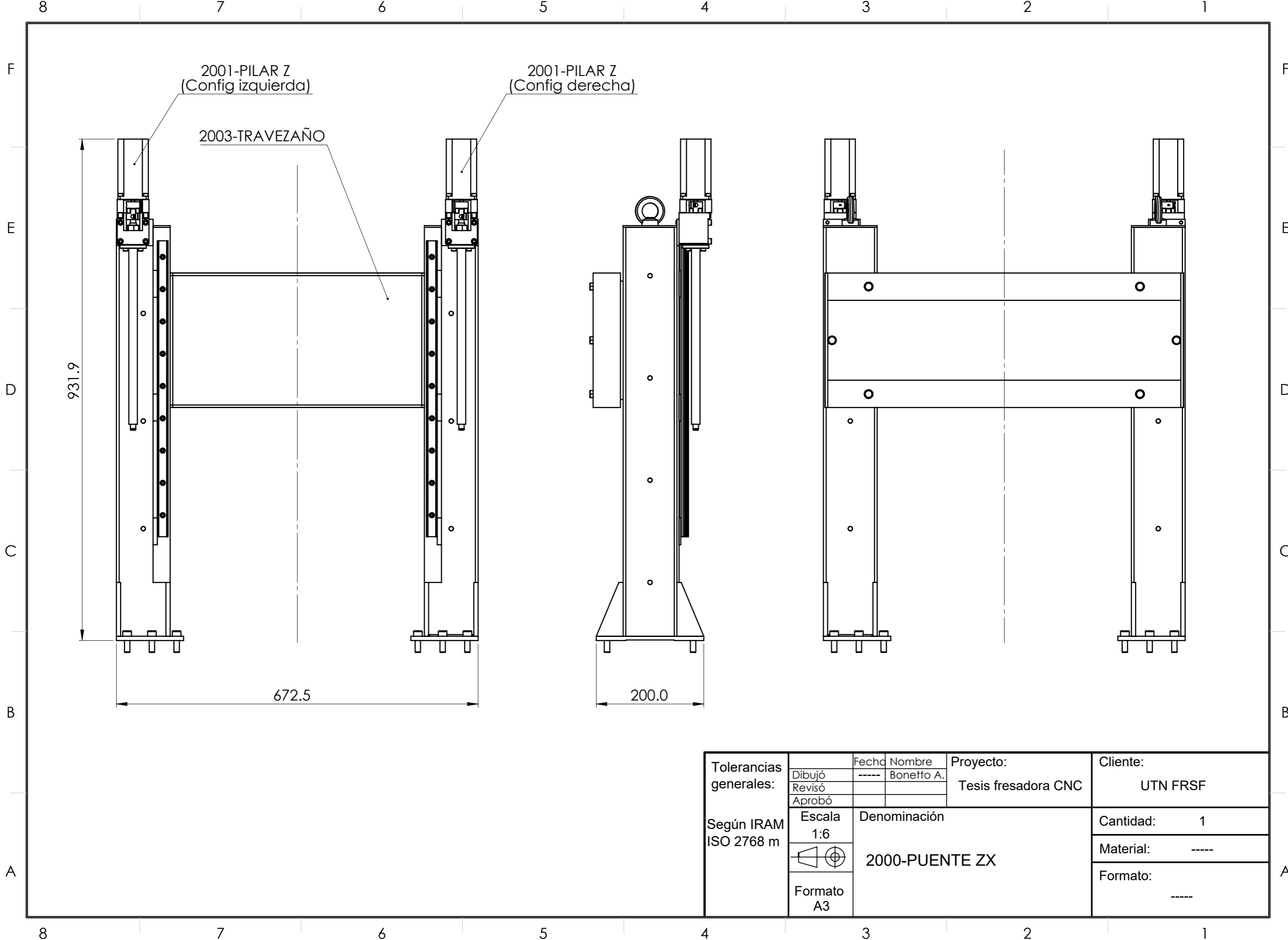


Matar cantos vivos

Tolerancias generales:	Fecha	Nombre	Proyecto	Cliente	
	Dibujó	-----			Bonetto A.
	Revisó				
	Aprobó		Tesis Fresadora CNC	UTN Santa Fe	
Según IRAM ISO 2768 m	Escala	Denominación		Cantidad:	1
	1.5:1			MT-Apriete rodamientos	
					
	Formato			Barra $\phi 2"$ (50.8mm)	



Tolerancias generales:	Fecha	Nombre	Proyecto	Cliente	
	Dibujó	-----	Bonetto A.		Tesis Fresadora CNC
	Revisó				
	Aprobó				
Según IRAM ISO 2768 m	Escala	Denominación		Cantidad: 1	
	2:1	MT-Tuerca apriete M12x1		Material: SAE 1020	
				Formato:	
	Formato A4			Barra tref hexagonal 3/4"	



2001-PILAR Z  
(Config izquierda)

2001-PILAR Z  
(Config derecha)

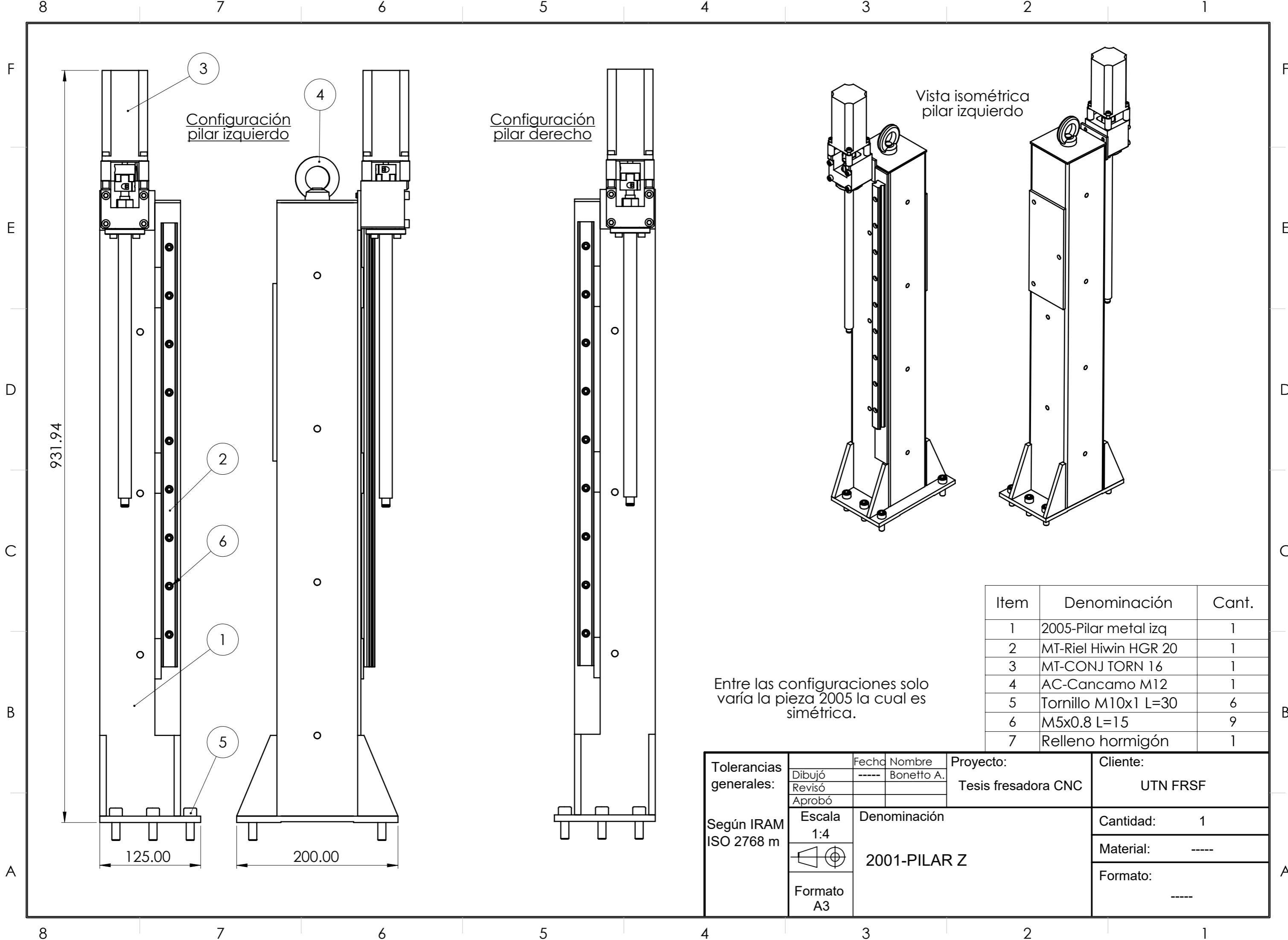
2003-TRAVEZAÑO

931.9

672.5

200.0

Tolerancias generales:	Fecha	Nombre	Proyecto:	Cliente:
	Dibujó	----- Bonetto A.	Tesis fresadora CNC	UTN FRSF
	Revisó			
Según IRAM ISO 2768 m	Formato	Denominación		Cantidad: 1
	A3	2000-PUENTE ZX		Material: -----
				Formato: -----



Configuración  
pilar izquierdo

Configuración  
pilar derecho

Vista isométrica  
pilar izquierdo

Entre las configuraciones solo  
varía la pieza 2005 la cual es  
simétrica.

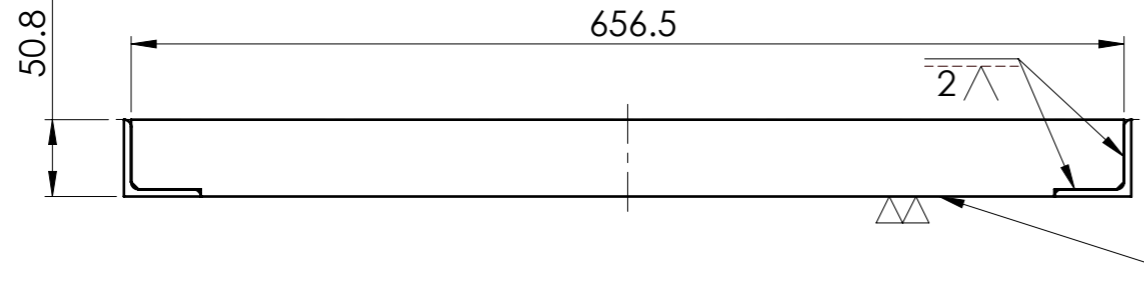
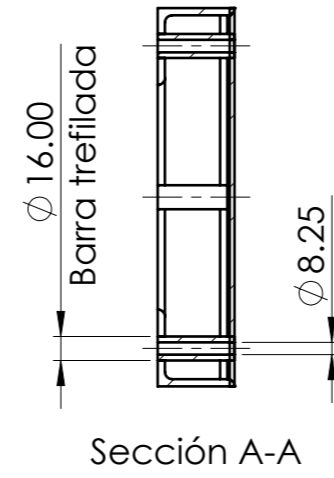
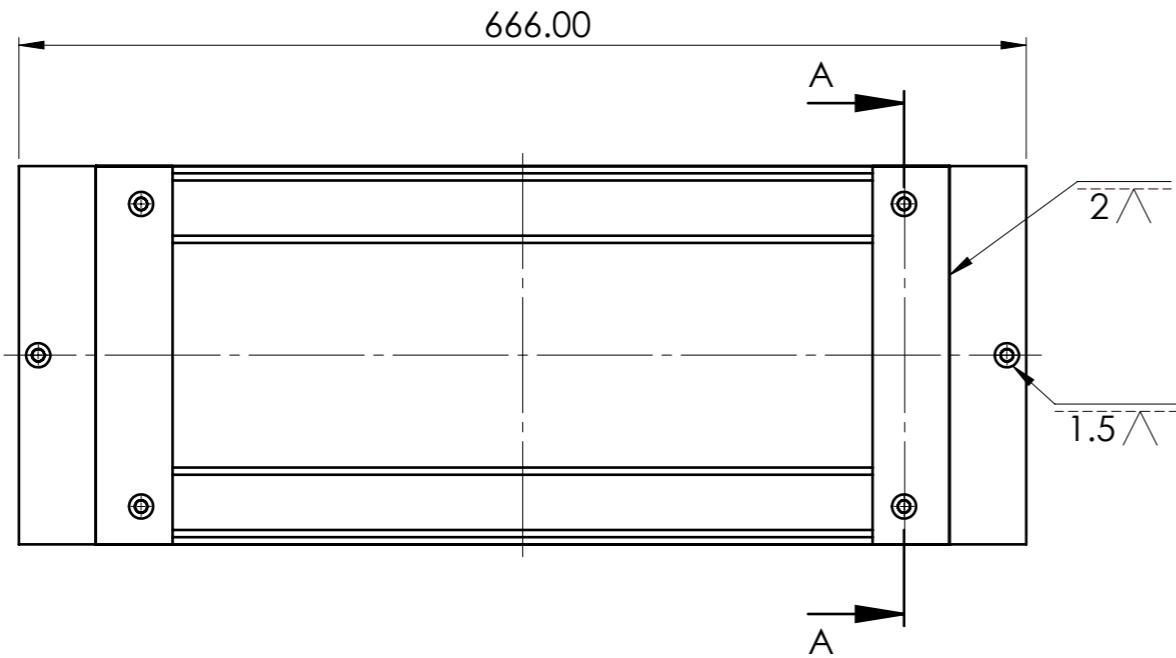
Item	Denominación	Cant.
1	2005-Pilar metal izq	1
2	MT-Riel Hiwin HGR 20	1
3	MT-CONJ TORN 16	1
4	AC-Cancamo M12	1
5	Tornillo M10x1 L=30	6
6	M5x0.8 L=15	9
7	Relleno hormigón	1

Tolerancias generales:	Fecha	Nombre	Proyecto: Tesis fresadora CNC	Cliente: UTN FRSF
	Dibujó	----- Bonetto A.		
	Revisó			
Según IRAM ISO 2768 m	Aprobó		Denominación 2001-PILAR Z	Cantidad: 1
	Escala 1:4			Material: -----
	Formato A3			Formato: -----

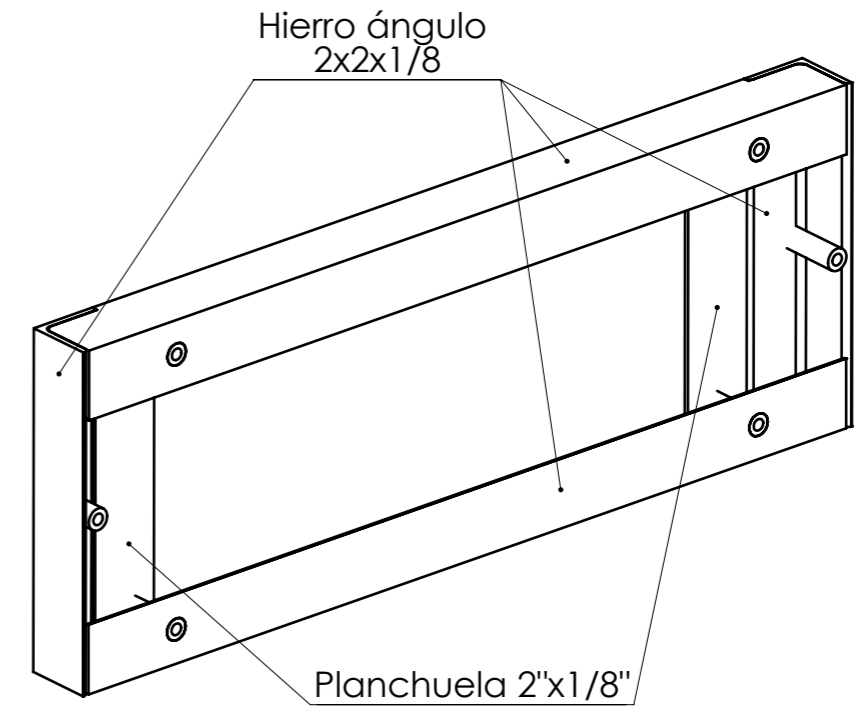
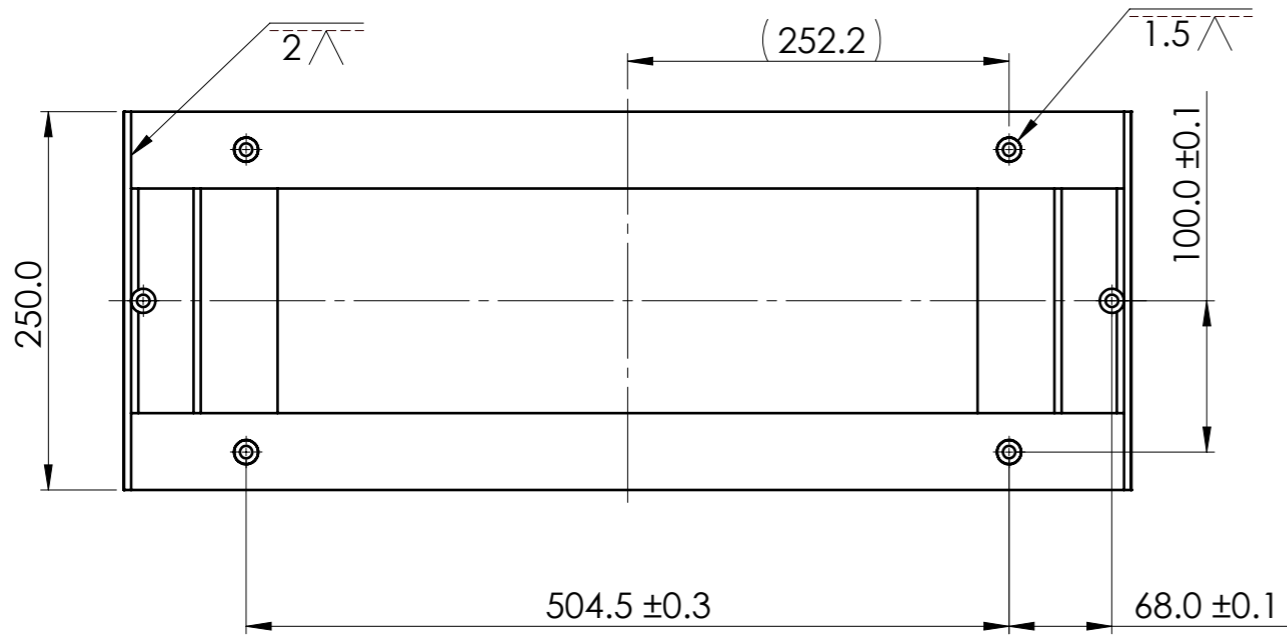


8 7 6 5 4 3 2 1

F  
E  
D  
C  
B  
A



Mecanizar hasta formar un solo plano



Mecanizar y luego rellenar interior con concreto y malla metálica de refuerzo

Tolerancias generales:	Dibujó	Fecha	Nombre	Proyecto:	Cliente:
	Revisó	-----	Bonetto A.	Tesis fresadora CNC	UTN FRSF
	Aprobó				
Según IRAM ISO 2768 m	Escala	Denominación			Cantidad:
	1:5	2011-Estructura travezaño			1
	Formato				Material: SAE 1010
	A3				Formato: -----

8 7 6 5 4 3 2 1