



Universidad
Zaragoza



**Escuela de
Ingeniería y Arquitectura**
Universidad Zaragoza

TRABAJO FIN DE GRADO

TÍTULO:

DISEÑO DE UNA MAQUINA FRESADORA DE 3 EJES PARA USO PARTICULAR

ANEXO I: DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA MÁQUINA FRESADORA

Autor

Carlos Javier Ostariz Salas

Directores

Paula Canalís Martínez

Javier Abad Blasco



INDICE

1. INTRODUCCIÓN	3
2. DESCRIPCIÓN DE LA MÁQUINA	7
2.1 Materiales empleados	9
2.1.1 Acero 1045	9
2.1.2 Aleación aluminio 5083	11
2.1.3 Aleación aluminio 6082	12
2.2 Montaje maquina CNC	13
3. PROCESOS Y TIPOS DE FRESAS UTILIZADAS	19
3.1 Procesos	19
3.1.1 Teoría de fresado	19
3.1.2 Teoría de taladrado	21
3.2 Tipo de fresas utilizadas	24

1. INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN MÁQUINA FRESADORA

Una **fresadora** es una máquina que se utiliza para desbastar, cortar o taladrar diferentes materiales sólidos, generalmente madera o metales. Esto se realiza a través del arranque de viruta mediante la rotación a gran velocidad de la fresa y del movimiento de los ejes, ya sea del elemento o del mecanismo.

Este tipo de tecnología de fabricación de piezas arrancando viruta se denomina mecanizado.

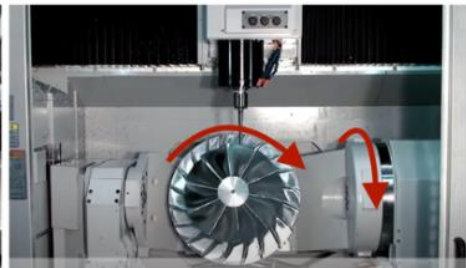
Existen muchos tipos de fresadoras diferentes, dependiendo del número de ejes que tenga. Una fresadora de 3 ejes se diferencia de otros centros de mecanizado CNC en que puede mover sus herramientas de corte a lo largo de tres ejes lineales, mientras que otras fresadoras pueden tener menos o más ejes. Por ejemplo, las fresadoras de 4 o 5 ejes pueden mover sus herramientas de corte a lo largo de ejes adicionales para producir piezas más complejas.



3 ejes



4 ejes



5 ejes

Imagen 1. Distinto número de ejes.

3 ejes. Son las direcciones ortogonales esenciales de una máquina de estas características. Representan los ejes X, Y, Z, para poder mecanizar en las 3 dimensiones del espacio.

4 ejes. Añade a los nombrados la posibilidad de rotar el objeto a mecanizar dentro de la mesa.

5 ejes. Suma a los 3 ejes típicos una mesa capaz de girar en 2 ejes diferentes.

Las ventajas de utilizar una fresadora de 3 ejes incluyen su capacidad para crear formas y piezas complejas con gran precisión, su capacidad para producir piezas de forma rápida y eficiente, y su versatilidad en cuanto a la gama de materiales con los que puede trabajar. Además, las fresadoras de 3 ejes suelen ser más asequibles que las máquinas con más ejes, lo que las convierte en una opción ideal para pequeñas operaciones.

Los componentes principales de una fresadora de 3 ejes incluyen una base (donde se apoya la fresadora), una columna, una mesa de fijación, un husillo y un control CNC. El suelo o la base proporciona una plataforma estable para los demás componentes. La columna es el elemento vertical que soporta el husillo y conecta la base.

El husillo es un eje giratorio que sostiene la herramienta de corte y es accionado por un motor. Finalmente, el control CNC es el sistema que controla el movimiento de todo el conjunto a lo largo de los ejes X, Y y Z.

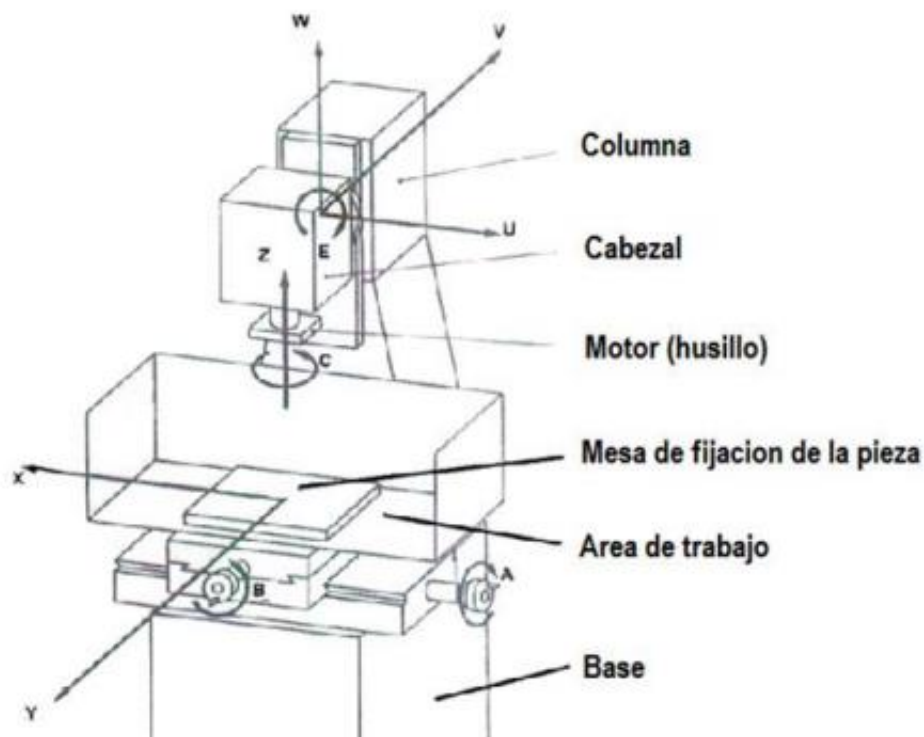


Imagen 2. Partes de una fresadora

El husillo es un componente crítico en una fresadora de 3 ejes, ya que es responsable de hacer girar la herramienta de corte que elimina el material de la pieza de trabajo. Las especificaciones del husillo incluyen su velocidad, la potencia del motor. La velocidad del husillo debe estar alineada con el material mecanizado y el diámetro de la herramienta de corte para lograr el corte deseado.

Los distintos ejes de una fresadora de 3 ejes juegan un papel vital en el proceso de mecanizado. El eje X permite que la pieza de trabajo se mueva transversalmente, el eje Y permite el movimiento horizontal y el eje Z proporciona el movimiento vertical que determina la profundidad de corte. Estos ejes controlan la dirección, la velocidad y la precisión de la herramienta de corte, lo que garantiza un corte, taladrado, roscado y otras operaciones de mecanizado de precisión.

La velocidad del husillo y tasa de alimentación (en el supuesto de fresadoras totalmente automatizadas) de una fresadora de 3 ejes afectan la eficiencia, calidad y precisión del proceso de mecanizado. La velocidad del husillo determina la velocidad de rotación de la herramienta de corte y, por lo tanto, afecta la velocidad a la que se elimina el material (dependiendo del tipo de material esta puede ser mayor o menor). La velocidad de avance determina como de rápido se mueve la herramienta de corte a través del material, lo que afecta a la calidad del corte y la vida útil de la herramienta. La selección adecuada de la velocidad del husillo y la velocidad de avance es crucial para lograr la calidad deseada en el fresado y minimizar el desgaste y la rotura de la herramienta.

Existen varios tipos de fresadoras de 3 ejes: fresadoras verticales, fresadoras horizontales, fresadoras CNC de escritorio. El caso de nuestra máquina de estudio, es una fresadora vertical.

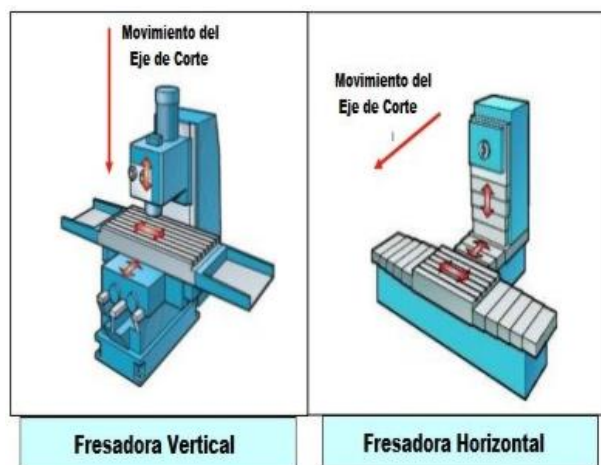
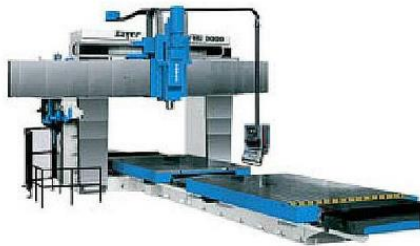


Imagen 3. Diferencias vertical y horizontal

Fresadora puente



Fresadora vertical



Fresadora horizontal



Imagen 4. Tipos de fresadoras

Las fresadoras verticales son el tipo más utilizado de fresadoras de 3 ejes. Estas máquinas tienen un husillo vertical que sube y baja dándole el movimiento a la herramienta de corte. Son más adecuadas para realizar fresados en grandes superficies verticales, como las que se encuentran en componentes de máquinas, moldes y matrices. Con las fresadoras verticales, los operadores pueden ajustar el ángulo y la posición del husillo para crear diferentes geometrías de corte, lo que las hace muy versátiles.

Las fresadoras verticales pueden fresar diferentes piezas con distintas geometrías y formas. También son relativamente fáciles de manejar y requieren un tiempo de configuración mínimo. Sin embargo, pueden tener dificultades para mecanizar las piezas con dimensiones muy grandes debido a las limitaciones del husillo vertical, y pueden ser difíciles de configurar para algunas operaciones de corte.



2. DESCRIPCIÓN DE LA MÁQUINA

Debido a la creación de softwares de control numérico para el uso de máquinas CNC en el ámbito doméstico (mach 3 por ejemplo) y la creación de softwares (no industriales, sino para aficionados) que exportan diseños para ser ejecutados por dichas máquinas se me abre la posibilidad de construir una CNC para uso particular y que mecanice piezas que de otra manera me resultaría imposible.

El diseño tiene que ser modular, para poder modificar la máquina en un momento dado. Así mismo la electrónica debe ser lo más sencilla posible para poder mejorarla si es el caso.

Todos los ajustes y resolución de problemas en dicha máquina deberán ser hechos por mí mismo.

Se decide construir una maquina CNC ante la necesidad de mecanizar distintas piezas en aluminio como repuestos, pequeños moldes, ante la dificultad de encontrar dichas piezas en el mercado. Dichas piezas son complejas de realizar de manera artesanal.

Una vez que la pieza se diseña mediante un programa CAD la máquina CNC proporciona una alta precisión, velocidad y exactitud difícilmente de igualar por otro tipo de herramientas.

Así mismo, como aficionado a la madera se abre un abanico de múltiples posibilidades para trabajar con la misma, como tallado de la madera, incrustaciones, formas geométricas complejas, en el ámbito artesanal; como elementos técnicos (hélices) entre otras.

Las dimensiones de la máquina:

Como la máquina va a estar en el domicilio particular, las dimensiones no deben de ser demasiado grandes, ya que hay que tener en cuenta el peso de la máquina y el tipo de motores que van a mover los distintos ejes, optando por 50 x 35 x 10 cm de trabajo útil.

Las dimensiones totales de la máquina son 68 x 75 x 57 cm.



Debido a las condiciones previamente explicadas, y para poder conseguir una zona de trabajo útil de 50 x 35 x 10 cm y teniendo en cuenta los materiales a mecanizar comentados a continuación, se selecciona la herramienta que hará la función de husillo de corte, la cual mide 30 cm de longitud.

Para sujetar dicha herramienta se diseña un soporte y una placa que hará de base para el eje Z, de 30 x 13 cm, llevado incorporado un husillo de bolas para transmitir el movimiento a la herramienta, así como dos guías laterales para acompañar el movimiento.

Esta placa va unida mediante cuatro rodamientos a dos ejes guía, de diámetro 16 mm y al husillo de bolas, encargado de transmitir el movimiento en el eje Y, mediante la tuerca del husillo, cuyas dimensiones son seleccionadas más adelante.

Ambos ejes y el husillo, van alojados en dos piezas que hacen la función de puente para mantener estable el conjunto, el agujero donde se aloja el husillo, tiene un diámetro de 32 mm dado que se coloca un rodamiento de bolas de ese diámetro para evitar holguras del movimiento. Dichas piezas laterales deberán tener una longitud de 34,2 cm para que se cumplan las dimensiones.

Los laterales van unidos a la pieza que hace de base del eje central, de dimensiones 14 x 53 cm, esta base va conectada mediante 4 rodamientos a dos guías laterales que se encargan de acompañar al movimiento del husillo de bolas encargado de transmitir el movimiento a lo largo de todo ese eje, dicho husillo tendrá un diámetro de 16 mm, y estará alojado en dos piezas que completarán la base de la estructura, estas piezas tienen un agujero de 32 mm donde irán alojados rodamientos para sujetar dicho husillo, el espesor de dichas piezas también está ajustado a las dimensiones de dichos rodamientos.

2.1 MATERIALES EMPLEADOS

Para la construcción de esta fresadora de 3 ejes se han utilizado 3 tipos de materiales: acero 1045, aluminio 5083 y aluminio 6082.

Nos interesa que la máquina sea ligera y resistente por lo que se opta por hacer la estructura con aluminio y, los ejes, para evitar posibles deformaciones o desgaste, se opta por usar el acero, que tiene mejores propiedades mecánicas. Los detalles de estos materiales se exponen a continuación.

2.1.1 ACERO 1045

Características:

Se trata de un acero de grado ingeniería que destaca por su nivel medio de resistencia mecánica y tenacidad, siendo de un bajo coste, si lo comparamos con los aceros de baja aleación.

La soldabilidad de este tipo de acero se puede realizar por los métodos comunes, mientras que la conformabilidad se consigue de forma caliente a temperaturas entre 980 y 1230°C.

Por otra parte, se tiene que la maquinabilidad del acero consigue un buen acabado superficial y ofrece una larga vida útil para la herramienta de corte. Es fácil de mecanizar cuando se encuentra en un estado calibrado del 55% y recocido del 68 – 70%

Propiedades:

1. La densidad es 7.85 gr/cm³.
2. El módulo de elasticidad es de 2×10^{11} Pa (24×10^6 PSI).
3. La conductividad térmica es de 52 W/(m·°C).
4. El calor específico J/(Kg°K) es de 460.
5. El coeficiente de Poisson es de 0,3.
6. La resistividad eléctrica (microhm-cm) se encuentra en a 32°F = 16.2 y a 212°F = 22.3
7. El coeficiente de la dilatación térmica / °C se puede encontrar en 3 tipos:
 1. (20 – 100°C) 12.3×10^{-6}
 2. (20 – 200°C) 12.7×10^{-6}
 3. (20 – 400°C) 13.7×10^{-6}

Es comúnmente utilizado en aplicaciones para el sector industrial debido a su resistencia al desgaste; por ejemplo, para productos forjados y estampados.

Algunas de las partes de una máquina que se pueden utilizar con este material son aquellas que no estén sometidas a grandes esfuerzos mecánicos; como pueden ser los tornillos, ejes, rodamientos.

2.1.2 ALEACION ALUMINIO 5083

Se trata de una aleación de Aluminio – Magnesio (4% – 4,9%) que contiene Cromo y Manganeso en menores proporciones. La aleación de Aluminio 5083 es conocida por su buen comportamiento ante entornos agresivos. Su gran resistencia a la corrosión lo hace ideal en aplicaciones para ambientes químicos. Destaca también por su buena soldabilidad, teniendo la mayor resistencia de las aleaciones no tratadas térmicamente. Sin embargo, no es recomendable su uso en aquellas aplicaciones donde se prevea exposición a temperaturas de trabajo superiores a 65°C, especialmente si hay presencia de contaminación o agentes agresivos.

Aplicaciones:

Está recomendado para aquellas aplicaciones que requieran buena resistencia a la corrosión, soldabilidad y resistencia mecánica moderada:

- Industria naval: es la más importante, usando la aleación 5083 para diversos fines: cascos de barcos, puertos deportivos, pantalanes, plataformas petrolíferas, etc.
- Instalaciones a la intemperie.
- Industria aeronáutica y automotriz.
- Industria del plástico.

Tabla de propiedades físicas típicas a **temperatura ambiente (20°C)**:

PROPIEDAD	VALOR
Densidad (g/cm ³)	2.66
Módulo elástico (N/mm ²)	71.000
Coefficiente de Poisson	0.33
Intervalo de fusión (°C)	580 - 640
Coefficiente de dilatación lineal (1/10 ⁶ K)	23.8
Conductividad térmica (W/m K)	117
Resistividad eléctrica (μΩ cm)	6.0
Conductividad eléctrica (% IACS)	28.5
Calor específico (0 a 100 °C)	945
Potencial de disolución	-0.86

Tabla 1. Propiedades físicas aluminio 5083

Mecánicas:

Tabla de propiedades mecánicas típicas a **temperatura ambiente** (20°C):

Estado	Características a la tracción			Límite a la fatiga (N/mm ²)	Resistencia a la cizalladura (τ N/mm ²)	Dureza	
	Carga de rotura (R_m N/mm ²)	Límite elástico (R_p 0,2, N/mm ²)	Alargamiento A (5,65%)			Brinell (HB)	Vickers
O/H111	300	145	23	250	75	70	-
HX2	330	240	17	280	185	90	-
HX4	360	275	16	280	200	100	-
HX6	380	305	10	-	210	105	-
HX8	400	335	9	-	220	110	-
HX9	420	370	5	-	230	115	-

Tabla 2. Propiedades mecánicas aluminio 5083

2.1.3 ALEACION ALUMINIO 6082

La aleación de aluminio 6082 es una aleación con resistencia media perteneciente a la familia de los aluminios aleados con magnesio y silicio. El aluminio 6082 presenta una excelente resistencia a la corrosión y posee la mayor resistencia de las aleaciones de la serie 6000. La aleación 6082 se conoce como aleación estructural. En forma de placa, la aleación de aluminio 6082 es la aleación más comúnmente utilizada para operaciones de mecanizado.

La aleación 6082, aleación relativamente nueva, ha reemplazado a la aleación 6061 en muchas aplicaciones debido a su mayor resistencia. La adición de una gran cantidad de manganeso controla la estructura del grano, lo que a su vez resulta en una aleación más fuerte. La aleación de aluminio 6082 se utiliza comúnmente en aplicaciones de alto trabajo, transporte, grúas, puentes, etc.

Propiedades físicas del aluminio 6082	Valores
Densidad	2700 kg/m ³
Punto de fusión	555°C
Módulo de elasticidad	70 GPa
Resistencia eléctrica	0.038x10 ⁻⁶ ohm.m
Conductividad térmica	180 W/m.K
Expansión térmica	24x10 ⁻⁶ /K

Tabla 3. Propiedades físicas aluminio 6082



Propiedades mecánicas del aluminio 6082	O	T4	T6/T651
Prueba de stress 0.2% (MPa)	60	170	310
Fuerza tensil (MPa)	130	260	340
Resistencia al corte (MPa)	85	170	210
Elongación A5 (%)	27	19	11
Dureza Vickers (HV)	35	75	100

Tabla 4. Propiedades mecánicas aluminio 6082

2.2 MONTAJE DE LA MÁQUINA CNC

Para construir la máquina tenemos que tener en cuenta los paralelismos y perpendicularidad entre las distintas piezas, por lo que iniciaremos la construcción sobre una base plana y suficientemente grande para abarcar la estructura de la máquina.

Comenzamos por la placa frontal del eje X, ya que la estructura que forma esta pieza es la que soportará los demás ejes (el Y y el Z).

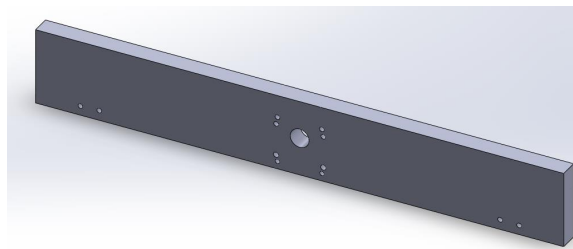


Imagen 5. Placa frontal

Sobre la placa central se montan y fijan mediante tornillos la base de las guías laterales, atornillando su otro extremo a la parte trasera donde irá alojado la otra punta del husillo.

Sobre estas guías atornillamos dos railes donde irán alojados 4 rodamientos lineales (2 en cada guía) que permitirán el movimiento que aportará el husillo siendo accionado por el primer motor. Alineamos ambos rodamientos con la tuerca del husillo y la atornillamos a estos, permitiendo un movimiento uniforme a lo largo de todo el recorrido.

Una vez hallamos montado y atornillado las distintas piezas, (soporte de las guías, guías, rodamientos, husillo y placa central) los componentes relativos a la base de la estructura y el eje X; el montaje queda así:

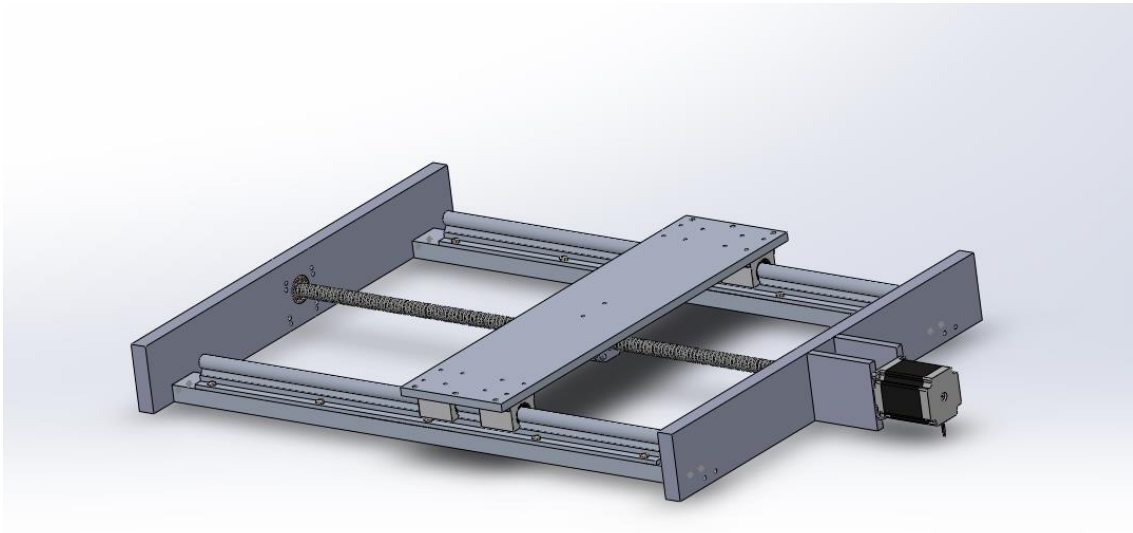


Imagen 6. Eje X

Nos tenemos que asegurar especialmente en el paralelismo de las guías, para que los rodamientos se muevan suavemente y no produzcan problemas en el movimiento lineal.

Así mismo nos aseguraremos que el husillo está colocado en la posición correcta (paralelo y perpendicular) para que no se produzcan torsiones no deseadas.

Una vez hecho lo anterior seguimos con el eje Y, montando los laterales con las guías y los rodamientos:

El eje Y consta del puente de la máquina, dos piezas verticales en las que se alojarán 2 ejes y un husillo, los 2 ejes están unidos a las placas mediante uniones de abrazamiento, mientras que el husillo está alojado dentro de un rodamiento angular de bolas y su otro extremo conectado a un acople, siendo este el que conecta con el motor. Ambos laterales están unidos mediante una placa trasera, atornillada a sus laterales, para aportar estabilidad a ambas y evitar movimientos indeseados.

Sobre los ejes (que harán de guía) y el husillo se colocan 2 rodamientos lineales en cada eje y alineado entre ellos, la tuerca del husillo. Sobre estos atornillamos una placa que será la base de todo el eje Z.

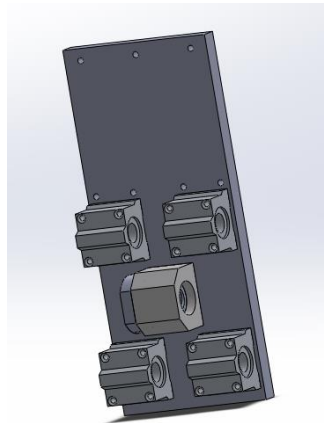


Imagen 7. Parte trasera eje Z

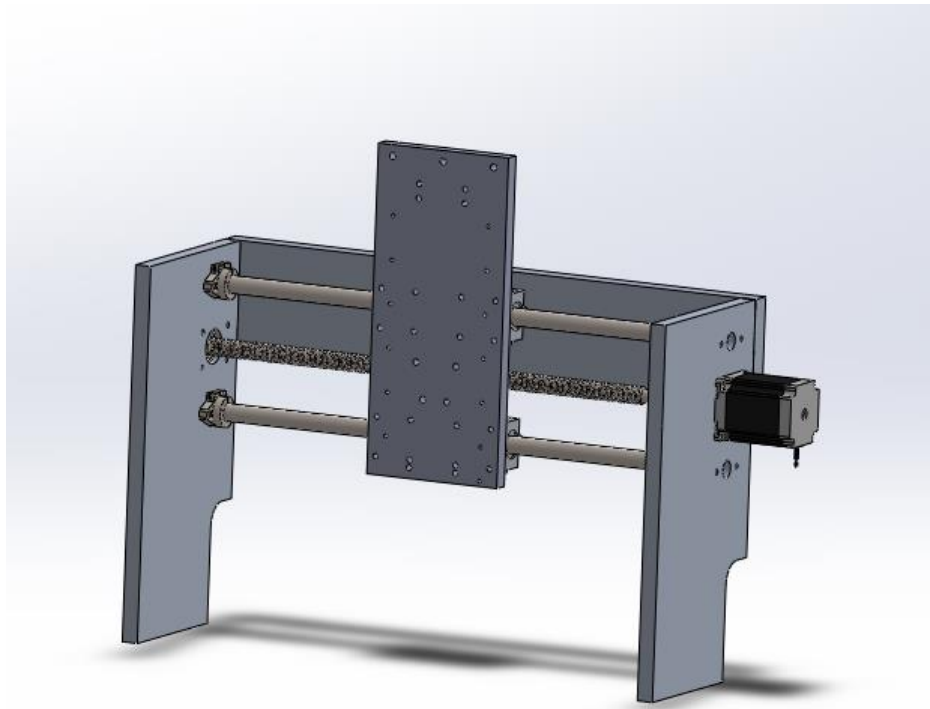


Imagen 8. Eje Y ensamblado con Eje Z

Una vez comprobado el correcto movimiento de los rodamientos del eje Y junto con el husillo, seguimos con el montaje del eje Z.

Todos los ejes se montan de forma similar, pudiendo montar la máquina de una forma modular, el montaje y ajuste de los ejes de la máquina son independientes.

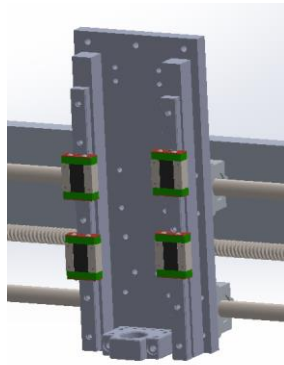


Imagen 9. Rodamientos donde se alojará la herramienta

Una vez montadas las guías de los ejes y el husillo, montamos la placa que sujetará la máquina herramienta de fresado, así como el motor paso a paso, comprobando que la estructura se desplaza suavemente.

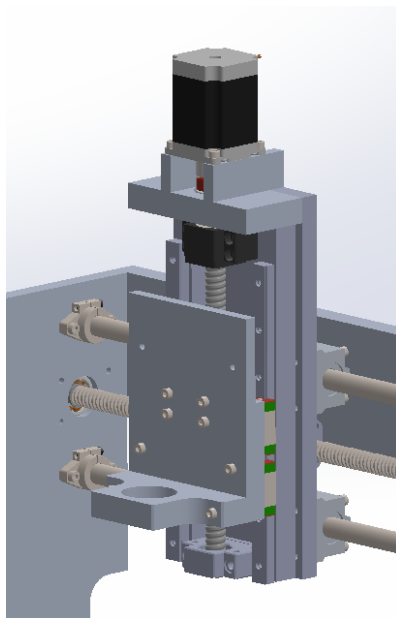


Imagen 10. Soporte donde se alojará la herramienta

Por último, colocamos la cama de la mesa sobre los perfiles y estructura para dar rigidez a toda la estructura.

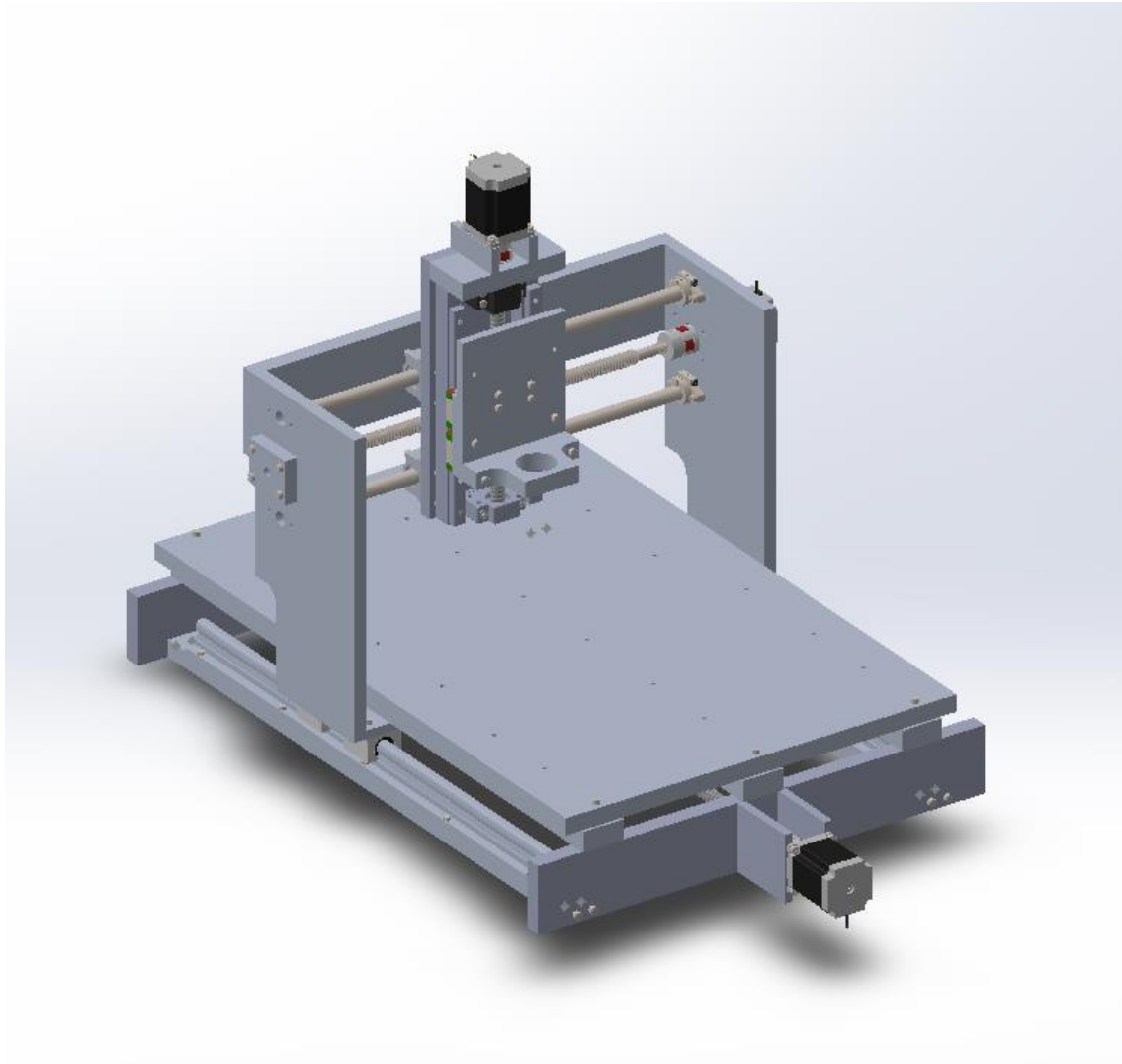


Imagen 11. Máquina CNC de 3 ejes

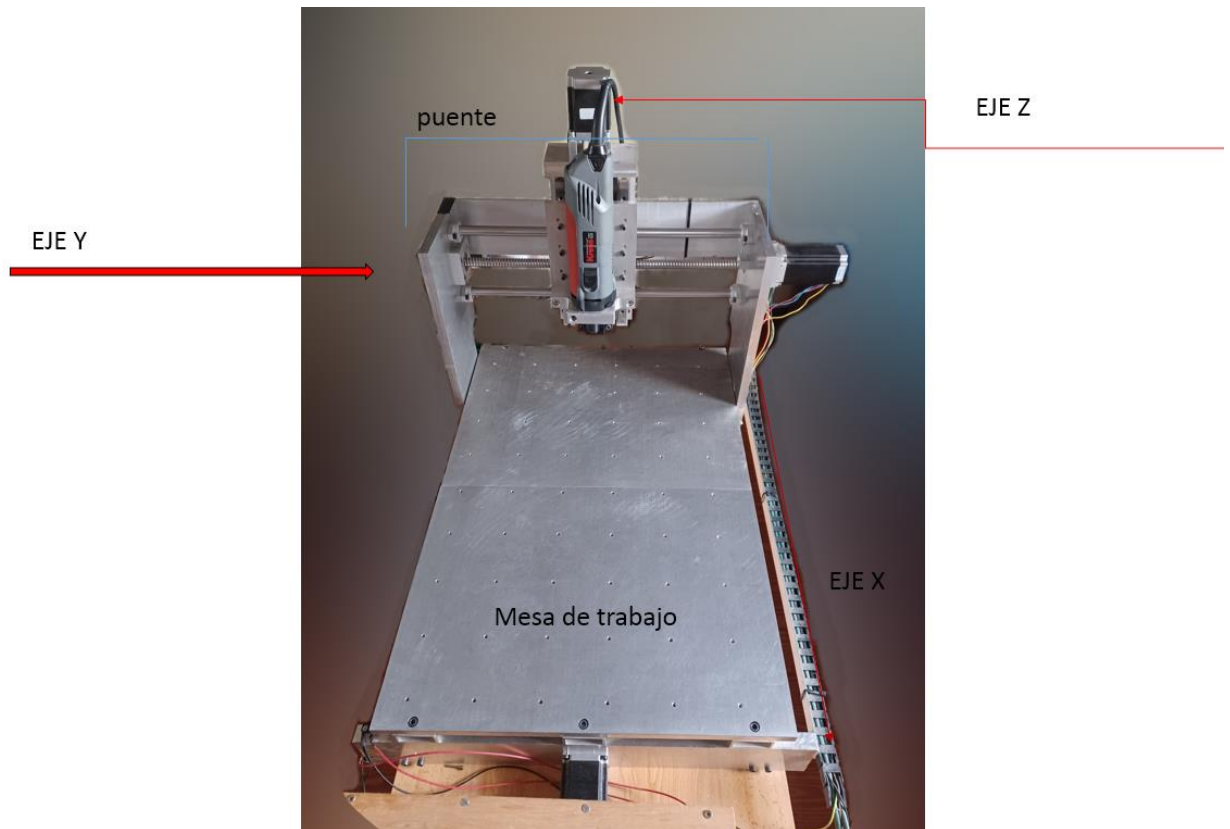


Imagen 12. Máquina real

Como se puede observar en la imagen, cada uno de los tres motores se encarga de mover un husillo que transmitirá el movimiento a cada uno de los ejes.

El motor superior se encarga de transmitir el movimiento vertical, haciendo que la herramienta suba y baje y conforme el movimiento del eje Z.

El motor lateral se encarga de transmitir el movimiento lateral, moviendo de derecha a izquierda o viceversa la herramienta a lo largo de todo el puente, conformando el movimiento del eje Y.

El motor inferior se encarga de transmitir el movimiento horizontal, de delante hacia atrás y viceversa, del puente de la máquina, pudiendo así colocarse a lo largo de la mesa de trabajo, conformando el movimiento en el eje X.

3. PROCESOS Y TIPOS DE FRESAS UTILIZADAS

3.1 PROCESOS

3.1.1 Teoría de fresado

Velocidad de corte v_c

Indica la velocidad superficial a la que el filo mecaniza la pieza.

Velocidad de corte efectiva o real, v_e

Indica la velocidad superficial en el diámetro efectivo (DC_{ap}). Este valor es necesario para determinar los datos de corte reales en la profundidad de corte efectiva (a_p). Se trata de un valor especialmente importante cuando se usan fresas de plaquita redonda, fresas de ranurar de punta esférica, todas las fresas con radios de punta más grandes y las fresas con un ángulo de posición inferior a 90 grados.

Velocidad del husillo, n

El número de vueltas por minuto que realiza la herramienta de fresado en el husillo. Se trata de un valor orientativo que se calcula a partir de la velocidad de corte recomendada para la operación.

Avance por diente, f_z

Un valor para calcular el avance de mesa. El valor del avance por diente se calcula a partir del valor recomendado para el grosor de viruta máximo. El tamaño y el grosor o espesor de dicha viruta depende de la combinación de la velocidad de rotación de la fresadora o husillo y del avance o del movimiento hacia delante de la herramienta de corte dentro del material. En una herramienta de un solo diente, la carga de viruta es igual a la cantidad de material arrancada por un filo en una revolución o giro completo de la máquina.

Avance por revolución, f_n

Un valor auxiliar que indica cuánto se desplaza la herramienta en una rotación completa. Se usa específicamente para los cálculos de avance y, a menudo, para determinar la capacidad de acabado de una fresa.

Avance por minuto, v_f

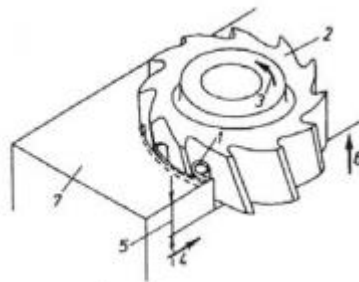
También se denomina avance de mesa, avance de máquina o velocidad de avance. Es el avance de la herramienta en relación a la pieza de trabajo en la distancia por unidad de tiempo relacionada con el avance por diente y el número de dientes en la fresa. El número de dientes de la fresa disponibles en la herramienta (z_n) varía mucho y se utiliza para determinar el avance de mesa, mientras que el número efectivo de dientes (z_c) es el número de dientes efectivamente activos en el corte. El avance por revolución (f_n) en mm/rev (pulg./rev) es un valor que se usa específicamente para los cálculos de avance y, a menudo, para determinar la capacidad de acabado de una fresa.

Fuerza de corte específica, k_{ct}

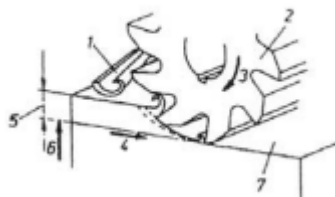
Una constante importante. Factor empleado para cálculos de potencia expresado en N/mm². La fuerza específica de corte es definida como la fuerza tangencial de corte necesaria para cortar viruta con una sección de 1 mm² o la fuerza efectiva de corte dividida por el área teórico de viruta. Para aceros al carbono (0.8%) es 2700 N/mm² y para una aleación normal de aluminio 750 N/mm².

Tipos de fresado

Fresado frontal: el eje de la fresa es perpendicular a la superficie de trabajo

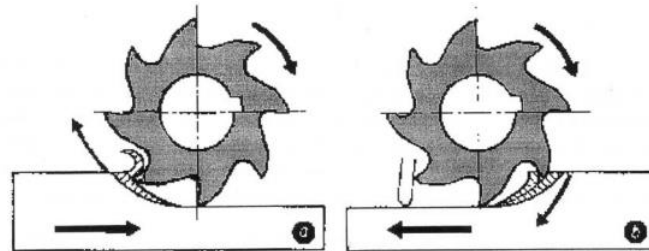


Fresado cilíndrico: el eje de la fresa es paralelo a la superficie de trabajo de la pieza



Fresado en oposición: Se realiza haciendo avanzar la pieza en sentido contrario al giro de la fresa

Fresado en concordancia: La fresadora gira en el mismo sentido que el de avance de la pieza.



Fresado cilíndrico en oposición y en concordancia.

3.1.2 Teoría de taladrado

Es una operación de maquinado donde se usa una herramienta rotativa cilíndrica que tiene bordes cortantes, dicha herramienta tiene un avance hacia dentro de la pieza de trabajo para formar un agujero cuyo diámetro es determinado por el diámetro de broca.

Parámetros de corte en el taladrado

En la operación de taladrado la velocidad de corte es la velocidad en la superficie del diámetro exterior de la herramienta de corte. Este parámetro se especifica así por conveniencia, sin embargo, casi toda la operación de corte se realiza a velocidades más bajas cercanas al eje de rotación. Para fijar una velocidad de corte requerida en el taladrado, se necesita determinar la velocidad de giro de la broca por su diámetro. Si N representa las rev/min del, entonces:

(Ecuación 1) $N = \frac{V_c}{\pi D}$

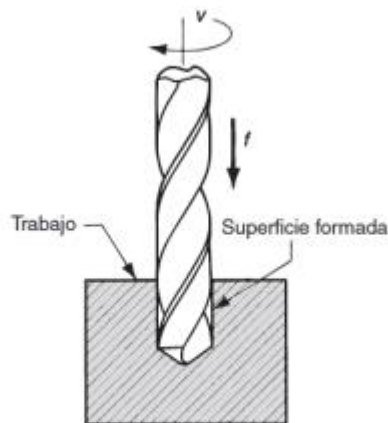


Figura 1.4: Operación de taladrado.
(Groover, 2007)

Imagen 13. Operación de taladrado

Donde v es la velocidad de corte (in/mm), el diámetro de la broca es D , mm(in). En el taladrado alguna operación la superficie de la pieza de trabajo gira sobre la herramienta,

pero la fórmula se aplica igual.

En la operación de taladrado, el avance f está dado en mm/rev. Lo que se recomienda es que las velocidades sean aproximadamente proporcionales al diámetro de la broca. Generalmente los avances altos se dan con brocas con diámetros grandes. El avance se puede convertir en velocidad de avance si se usa la misma ecuación de torneado

$$f_r = N n_t f$$

Donde f_r es la velocidad de avance en mm/min(in/min): La operación de taladrado puede hacer dos tipos de agujero; agujeros ciegos (Figura:1.5b) y agujeros completos. En los agujeros completos o pasados, la broca atraviesa la pieza de trabajo; en los agujeros ciegos no es así. Para determinar el tiempo requerido para hacer un agujero pasado se usa la siguiente fórmula

$$T_m = \frac{t + A}{f_r}$$

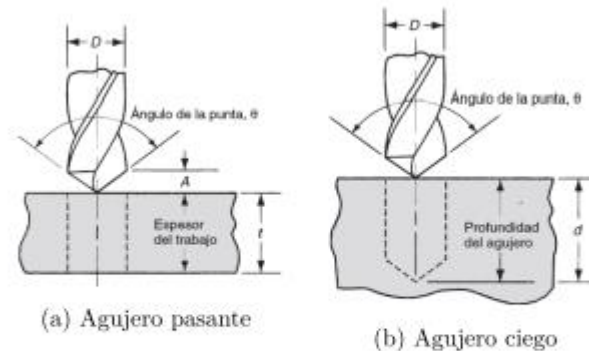


Figura 1.5: Tipos de agujeros en el taladrados

Fuente: (Groover, 2007)

Imagen 14. Tipología de agujeros

Donde T_m es el tiempo de maquinado (taladrado) expresado en minutos(min), con un espesor en la pieza de trabajo t en mm(in), una velocidad de avance f_r en mm/min(in/min) y A es la tolerancia de aproximación la cual tiene en consideración el ángulo de la punta de la broca, esta tolerancia esta se halla de la siguiente forma:

$$A = 0,5 * D * \tan\left(90 - \frac{\theta}{2}\right)$$

Donde A es la tolerancia de aproximación en mm(in) y θ es el ángulo de la punta de la broca.

Por otro lado, en un agujero ciego la profundidad d está definida como la distancia entre

la superficie de la pieza de trabajo y la punta del agujero como se ve en la Figura:1.5b. En este caso por la definición anterior el ángulo no afecta en el tiempo de maquinado. Por ende, el tiempo de maquinado este dado por lo siguiente:

$$T_m = \frac{d}{f_r}$$

La velocidad de remoción de materia en el taladrado se puede obtener con el producto entre sección transversal de la broca y la velocidad de avance. La siguiente ecuación solo es válida después de que la broca alcance el diámetro completo y no incluye la aproximación de la broca a la pieza de trabajo.

$$R_{MR} = \frac{\pi D^2 f_r}{4}$$

3.2 TIPOS DE FRESAS UTILIZADAS EN ESTA FRESADORA

Dado que la fresadora se va a utilizar a nivel doméstico, los tipos de fresas a utilizar van a ser las más comúnmente utilizadas para hacer tallas de madera (punta de bola), pequeñas piezas técnicas (punta plana) o también fresas con punta cónica para hacer inserciones.



Imagen 15. Fresa punta de bola, acero rápido (HSS)

Radio punta 1.5mm – 2 labios



Imagen 16. Fresa punta plana, carburo (HRC 50)

8mm de diámetro, 40mm de corte, 100mm de longitud – 2 labios



Imagen 17. Fresa punta plana, carburo (HRC 50)

4mm de diámetro, 20mm de corte, 75mm de longitud – 2 labios



Imagen 18. Fresa punta plana, carburo

6mm de diámetro, 40mm de corte, 100mm de longitud -- 4 labios



Imagen 19. Fresa punta plana, carburo

Vástago 6mm de diámetro, corte de 3mm de diámetro, 8mm de corte, 50mm de longitud -- 4 labios



Imagen 20. Fresa punta de bola, carburo (HRC 45)

3mm de diámetro, 6mm de corte, 50mm de longitud -- 2 labios



Imagen 21. Fresa punta plana, carburo (específica para aluminio – cobre)
3mm de diámetro, 6mm de corte, 50mm de longitud -- 2 labios



Imagen 22. Fresa punta plana de desbaste, carburo (HRC 60)
8mm de diámetro, 25mm de corte, 75mm de longitud -- 3 labios



Imagen 23. Fresa punta plana, carburo
Vástago 4mm de diámetro, corte de 2mm de diámetro, 6mm de corte, 50mm de longitud -- 3 labios



Imagen 24. Fresa punta cónica, carburo (HRC 60)
6mm de diámetro, 30° de corte, 0.5mm de punta -- 2 labios



Imagen 25. Fresa punta cónica, carburo (HRC 60)
3.25mm de diámetro, 20° de corte, 0,1mm de punta, 30mm de longitud -- 1 labio



Universidad
Zaragoza



**Escuela de
Ingeniería y Arquitectura**
Universidad Zaragoza

TRABAJO FIN DE GRADO

TÍTULO:

DISEÑO DE UNA MAQUINA FRESADORA DE 3 EJES PARA USO PARTICULAR

ANEXO II : SELECCIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DE COMPONENTES

Autor

Carlos Javier Ostariz Salas

Directores

Paula Canalís Martínez

Javier Abad Blasco

Escuela de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de Zaragoza 2023 - 2024



INDICE

1. MATERIALES A MECANIZAR	3
1.1 Madera	3
1.1.1 Características de la madera	3
1.1.2 Descripción del proceso de fresado en madera	7
1.2 Aluminio	8
1.2.1 Características del aluminio	8
1.2.2 Descripción del proceso de fresado en madera	17
2. FUERZA DE CORTE, VELOCIDADES Y POTENCIA DE MECANIZADO	20
3. SELECCIÓN DE ELEMENTOS COMERCIALES	27
3.1 Selección motor	27
3.1.1 Transmisión de movimiento en sentido eje Y	28
3.1.2 Transmisión de movimiento en sentido eje X	30
3.1.3 Transmisión de movimiento en sentido eje Z	32
3.2 Selección rodamientos	34
3.2.1 Eje Y	34
3.2.2 Alojamiento ejes con laterales del puente	38
3.2.3 Eje X	39
3.2.4 Alojamiento husillo con placa trasera	40
3.2.5 Eje Z	41
4. COMPONENTES DE LA MÁQUINA	43
5. COMPROBACIÓN DE EJES Y HUSILLOS	48

1. MATERIALES A MECANIZAR

Se presentan dos materiales a mecanizar, la madera, ya que se trabaja el tallado y la impresión; y el aluminio, siendo pequeñas piezas mecanizables.

1.1 MADERA

1.1.1 Características de la madera

Es uno de los primeros y más utilizados materiales para construcción, debido a sus características naturales:

1. Se trabaja con facilidad.
2. Es ligera (flota en el agua).
3. Aísla bien el frío, calor y ruido.

Está formada por fibras y sustancias que le proporcionan rigidez y dureza, posee materiales que son de mucha utilidad en procesos varios como resina, almidón, taninos, etc.

Según el tipo de madera las propiedades varían de unas a otras, pero por lo general, las maderas presentan las siguientes propiedades:

Baja densidad

Conductividad térmica y eléctrica baja: La madera es un excelente aislante térmico y las maderas ricas en agua son mejores conductores eléctricos que las secas.

Resistencia mecánica: A la tracción, compresión, flexión, cortadura y desgaste, es muy resistente a estirarse y comprimirse (aunque su resistencia es menor que cuando se estira).

Humedad: Cantidad de agua que contiene la madera en su estructura, está relacionada con su peso y afecta a otras propiedades físicas y mecánicas, ésta se debe reducir para obtener una madera útil, desde un punto de vista técnico.

Dureza: Resistencia que ofrece al corte y aumenta con la densidad.

Flexibilidad: Característica de las maderas jóvenes, verdes y blandas, que permiten ser dobladas sin romperse.

Propiedades estéticas: Color, veteado, olor, textura, etc.



Clasificación según su dureza:

Maderas blandas: Cuyos árboles tienen hoja perenne, son resinosos. Ejemplo: pino, ciprés, etc. Son maderas ligeras, de crecimiento rápido, fáciles de trabajar y de bajo coste. Se emplean para trabajos en los que no se necesita gran solidez, (400 a 500 kg/m³).

Maderas duras: Cuyos árboles tienen hoja caduca. Ejemplo: roble o caoba. Es una madera compacta, con poca resina y escasos nudos, mayor densidad que las blandas, crecimiento lento, más difíciles de trabajar y de mayor calidad y precio. Se emplean en trabajos de ebanistería, instrumentos musicales, andamios de obra, etc. Se emplean para trabajos en los que se necesita cierta solidez (700 a 1400 kg/m³).

Propiedades mecánicas de la madera

La orientación de las fibras que componen la madera da lugar a la variedad de su estructura, por lo que a la hora de definir sus propiedades mecánicas hay que distinguir siempre entre la dirección perpendicular y la dirección paralela a la fibra, es en este hecho que radica la principal diferencia de comportamiento frente a otros materiales, las resistencias y módulos de elasticidad en la dirección paralela a la fibra son mucho más elevados que en la dirección perpendicular.

Los árboles están diseñados por naturaleza para resistir los esfuerzos de flexión, producidos por la acción del viento u otros factores ambientales y los de compresión, producidos por las acciones gravitatorias de su propio peso al crecer.

En la madera como material se han realizado muchos estudios e investigaciones mediante ensayos realizados sobre probetas pequeñas libres de daños o madera limpia, pero también hay que considerar que piezas de gran tamaño pueden tener numerosos defectos o particularidades como nudos. Por lo que los mejores valores para diseño son los obtenidos para madera estructural.

Entre las características más significativas de las propiedades mecánicas de la madera tipo estructural se tiene:



Tracción paralela a la fibra:

La resistencia a la tracción paralela a la fibra es elevada, los valores característicos oscilan entre 8 y 18 N/mm².

Compresión paralela a la fibra:

Su resistencia a compresión paralela a la fibra es alta, alcanzando valores característicos en la madera de 16 a 23 N/mm². Un valor bajo del módulo de elasticidad reduce en la práctica la resistencia a la compresión en piezas esbeltas.

Flexión:

La resistencia a la flexión es muy elevada comparada con su densidad, sus valores característicos varían entre 14 y 30 N/mm².

Tracción perpendicular a la fibra:

La resistencia a la tracción perpendicular a la fibra es muy baja y va de 30 a 70 veces menos que en la dirección paralela, su valor característico es de 0,3 a 0,4 N/mm².

Compresión perpendicular a la fibra:

Su resistencia a compresión perpendicular a la fibra es muy inferior a la de la dirección paralela, los valores característicos varían entre 4,3 y 5,7 N/mm², lo que representa la cuarta parte de la resistencia en dirección paralela a la fibra.

Cortante:

El esfuerzo cortante origina tensiones tangenciales que actúan sobre las fibras de la madera de diversos modos, en las piezas sometidas a flexión y a cortante, las tensiones que intervienen son conjuntamente las de cortadura y deslizamiento y sus valores característicos (por deslizamiento) varían entre 1,7 y 3,0 N/mm² en las especies más utilizadas habitualmente.

El valor de la resistencia por rodadura es del orden del 20 al 30% de la resistencia por deslizamiento.

Módulo de elasticidad:

En la madera, debido a su anisotropía, el módulo de elasticidad en dirección paralela a la fibra toma valores diferentes según se trate de compresión o de tracción, su valor varía entre 7.000 y 12.000 N/mm² dependiendo de la calidad de la madera. En la dirección perpendicular a la fibra se toma, análogamente, un único módulo de elasticidad, cuyo valor es 30 veces inferior al paralelo a la fibra.



Módulo de cortante:

En la madera también existe un módulo de cortante ligado a los esfuerzos cortantes, su valor es 16 veces inferior al módulo de elasticidad paralelo a la fibra.

Maquinabilidad de la madera

La maquinabilidad es una propiedad de los materiales que permite comparar la facilidad con que pueden ser mecanizados por arranque de viruta, la dureza y la resistencia se consideran como los principales factores a evaluar para dicha propiedad.

El criterio para establecer que un material es más maquinable que otro contiene muchos factores: la potencia requerida, la forma de la viruta, el acabado superficial, etc. El más usado es el de desgaste de la herramienta de corte, un material tiene mejor maquinabilidad cuando desgasta poco dicha herramienta.

En el caso de la madera presenta una dureza y resistencia mucho menores que las de otros tipos de materiales como metales, plásticos, etc. Por lo que tiene una elevada maquinabilidad, además puede trabajarse con herramientas típicas de carpintería, cortar en cualquier sentido, cepillar, perforar, calar y atornillar sin problema.

Acabado superficial en la madera

El acabado superficial es un proceso cuya finalidad es obtener una superficie con características adecuadas para alguna aplicación en particular, por cosmética del producto o en algunos casos puede tener la finalidad adicional de lograr que se obtenga las especificaciones dimensionales finales.

En general si se usan las herramientas correctas junto con los parámetros de corte adecuados y por sus propiedades, la madera va a obtener un muy buen acabado superficial con dimensiones finales exactas.

En procesos de mecanización un buen acabado superficial se logra con velocidades de giro (RPM) altas de la herramienta de corte en conjunto con una profundidad de corte y velocidad de avance bajas.

En la madera luego de realizar el acabado final en máquina se utilizan ciertos tipos de productos de aplicación exterior para realzar las características superficiales de la misma, por ejemplo: barnices, aceites, ceras, etc.



1.1.2 Descripción del proceso de fresado en madera

Se pueden considerar que la madera funciona mecánicamente como un sólido elástico, homogéneo, que obedece a las leyes de la resistencia de materiales y que, dentro de ciertos límites de calidad y variabilidad es un material confiable para realizar un proceso de fresado.

Una fresadora es una máquina rotativa en la que se coloca una herramienta de corte llamada fresa y debido al movimiento giratorio de la misma en conjunto al movimiento longitudinal que le da la máquina, va haciendo el respectivo labrado en el material base hasta dejarlo con la forma y dimensiones de la pieza final.

Las fresadoras manuales se alimentan teniendo en cuenta los defectos de forma y calidad de la madera, la dirección de la fibra y guiando las piezas sobre la mesa de forma conveniente a los fines del trabajo a realizar.

Las máquinas automáticas se alimentan teniendo en cuenta el proceso a desarrollar y los parámetros de la máquina.

En máquinas CNC las piezas se colocan de acuerdo al origen de inicio del proceso a realizar, actuando la sujeción del material que se dispone adecuadamente considerando: caras maestras, sentido de la veta, orientación de los nudos y dimensiones, a fin de obtener el resultado requerido.

Para fresar maderas blandas y aglomerados, bastará una potencia de unos 500 W (0.67 HP), para fresar maderas duras será necesaria una potencia a partir de unos 800 W a 1400 W (1.07 HP a 1.88 HP).

Es importante tener una regulación de la velocidad o al menos contar con varias velocidades de trabajo, con el fin de que se adapte al tipo y dureza de madera con la que se esté trabajando, generalmente para maderas la velocidad oscila entre 8000 RPM hasta 22000 RPM dependiendo si la madera es dura o blanda.

1.2 ALUMINIO

Es el metal más abundante ya que constituye alrededor del 8% de la corteza de nuestro planeta. Es muy versátil y, actualmente es el segundo metal más utilizado después del acero. Se utiliza tanto para la producción de automóviles como para la construcción de edificios. El aluminio es uno de los metales más utilizados en la ingeniería, ya que posee una mejor relación resistencia-peso que el acero.

1.2.1 CARACTERÍSTICAS, PROPIEDADES Y VENTAJAS DEL ALUMINIO

RESISTENCIA A LA CORROSIÓN:

Cuando el aluminio es expuesto al aire y a la humedad, forma una capa de óxido que protege la superficie de una oxidación mayor. Esta capa de óxido auto protector le aporta la resistencia que posee contra el deterioro debido a agentes atmosféricos o a entornos industriales. Los tratamientos de anodización también se pueden utilizar para mejorar la resistencia de la capa de óxido superficial.

REFLECTIVIDAD:

El aluminio liso posee una alta reflectividad en el espectro electromagnético de las ondas de radio y en el rango infrarrojo y térmico. Refleja aproximadamente el 80% de la luz y el 90% del calor que entra en contacto con su superficie. Esta alta reflectividad le proporciona un buen aspecto estético y lo hace efectivo para su uso contra la luz y la radiación térmica en aplicaciones como techos y escudos térmicos para vehículos de motor.

ATOXICIDAD:

Las propiedades atóxicas del aluminio se descubrieron hace siglos cuando se usó por primera vez a nivel industrial. Esta característica lo convierte en un metal ideal para realizar utensilios de cocina sin que provoque efectos nocivos para la salud. Además, se puede utilizar para realizar envolturas de aluminio en la industria de procesamiento de alimentos y para un uso cotidiano en la cocina.



RECICLABILIDAD:

El reciclaje de aluminio es inigualable. En concreto, no existen diferencias significativas entre las propiedades del aluminio nuevo y el reciclado. Se necesita aproximadamente el 5% de la energía que se utiliza para la producción de aluminio nuevo para reciclar el aluminio. Actualmente, alrededor del 60% del aluminio se recicla al final de su vida útil.

POSIBILIDADES DE ACABADO:

Para la mayor parte de sus usos y aplicaciones, el aluminio no requiere ningún recubrimiento protector. Para el resto, las técnicas de acabado como el granallado o el cepillado satisfacen la mayoría de las necesidades de acabado y, en la mayoría de los casos, el acabado superficial utilizado es suficiente, sin la necesidad de un acabado adicional. En los casos en que se requiere protección adicional, se puede aplicar una amplia gama de acabados superficiales, como pinturas o acabados electroquímicos, como el anodizado.

RESISTENCIA:

El aluminio puro de uso comercial posee una resistencia a la tracción de 90 MPa, característica que lo convierte en un metal muy útil para materiales estructurales. Siendo sometido a ciertos procesos como el laminado en frío puede adquirir más resistencia. Se puede obtener un aumento adicional de su resistencia uniéndolo con elementos como el cobre, manganeso y silicio en porcentajes medidos. Las aleaciones de aluminio son mucho más resistentes y pueden adquirir aún más resistencia a través del tratamiento térmico.

ALTA RELACIÓN PESO/RESISTENCIA:

La relación peso/resistencia del aluminio es mucho mayor que la del acero de construcción. Esta característica lo convierte en un metal perfecto para diseñar y construir estructuras resistentes y ligeras con muchas ventajas para estructuras en movimiento, como barcos, vehículos y aeronaves.



FACILIDAD DE FABRICACIÓN:

La facilidad de fabricación del aluminio es una de sus características más importantes. El aluminio se puede fabricar con el grosor deseado, e incluso alcanzar el espesor de una hoja de papel o en alambres muy delgados; láminas de aluminio que se pueden formar por rodillo, moldeadas y estiradas. La rapidez y facilidad con la que se procesa el aluminio contribuyen significativamente a su bajo coste de producción. El aluminio se puede torneear y fresar fácilmente a alta velocidad.

DÚCTIL Y MALEABLE:

El aluminio es maleable, lo que significa que puede presentarse formando alambres delgados sin romperse. Sin embargo, su ductilidad es menor que la del cobre. El aluminio también tiene una baja densidad y un bajo punto de fusión. Se puede fundir de diferentes formas gracias a su flexibilidad para producir los productos deseados, como hojas, láminas, tubos y barras.

RESISTENCIA A BAJAS TEMPERATURAS:

El aluminio y sus aleaciones se pueden utilizar a bajas temperaturas. A diferencia de otros metales como el acero, que aumenta su fragilidad al ser expuesto a bajas temperaturas, el aluminio y sus aleaciones se vuelven más resistentes. Su resistencia a tracción y a impactos aumenta a bajas temperaturas. Además, la resistencia a la corrosión del aluminio también aumenta en estas condiciones, lo cual lo convierte en un material ideal para utilizarlo en zonas frías.

IMPERMEABLE E INODORO:

El aluminio, aunque se haya laminado hasta alcanzar los 0,007 mm de grosor, es suficientemente impermeable y no emite olor ni sabor.

NO ES MAGNÉTICO:

El aluminio no atrae imanes, y esta característica lo convierte en un material ideal para proteger antenas y discos de ordenador.

ABSORCIÓN ACÚSTICA Y DE IMPACTOS:

El aluminio es un buen amortiguador de sonido y esta característica lo convierte en un material ideal para la construcción de techos y amortiguadores de automóviles. La espuma de aluminio, su porosidad, la composición del material, el grosor y los diversos tipos de tratamiento aumentan su impermeabilidad al sonido y a los impactos.

Aleaciones de aluminio

El aluminio puro prácticamente no tiene aplicación, dado que se trata de un material blando y de poca resistencia mecánica. Sin embargo, aleados con otros elementos permite aumentar su resistencia y adquirir otras cualidades, que varían según la naturaleza de los aleantes utilizados.

Los elementos más utilizados para formar aleaciones con el aluminio son el Cobre (Cu), Silicio (Si), Magnesio (Mg), Zinc (Zn) y Manganeso (Mn).

Las aleaciones de aluminio se designan con un número de 4 dígitos (YXXX) de acuerdo con el sistema adoptado por la Aluminum Association. El primer dígito (Y) indica el tipo de aleación de acuerdo con el elemento aleante principal, según la tabla siguiente:

Componente Principal	Número Grupo de Aleación
Aluminio sin alear 99%	1
Cu	2
Mn	3
Si	4
Mg	5
Mg, Si	6
Zn	7
Otros	8

Tabla 5. Tipos de aleaciones

Junto con la designación base de 4 números, es común utilizar además letras y números adicionales para una especificación más completa, según el siguiente esquema:

- La letra **O** indica que la pieza ha sido sometida a recocido ya sea de forja como de fundición, de acuerdo a las siguientes variantes:

- **O1:** Recocido a elevada temperatura y enfriamiento lento.
- **O2:** Sometido a tratamiento termo mecánico.
- **O3:** Homogeneizado. Esta designación se aplica a los alambres y a las bandas de colada continua que son sometidos a un tratamiento de difusión a alta temperatura.

- La letra **H** seguida por uno, dos o tres dígitos designa el grado de trabajo en frío. Indica el estado de acritud y se aplica a materiales a los que se ha realizado un endurecimiento por deformación:

- **H1:** Endurecido por deformación hasta obtener el nivel deseado y sin tratamiento posterior.
- **H2:** Endurecido en exceso por deformación y recocido parcial para recuperar suavidad y sin perder ductilidad.
- **H3:** Acritud y estabilizado.
- **H4:** Acritud y lacado o pintado. Son aleaciones endurecidas en frío y que pueden sufrir un cierto recocido en el tratamiento de curado de la capa de pintura o lacada.

La letra **T** seguida por uno, dos o tres dígitos sirve para indicar que la aleación ha sido endurecida por tratamiento térmico con o sin endurecimiento por deformación posterior. Las designaciones de W y T sólo se aplican a aleaciones de aluminio ya sean de forja o de fundición que sean termo tratables:

- **T1:** Enfriado desde un proceso de fabricación realizado a una elevada temperatura y envejecido de forma natural.
- **T2:** Enfriado desde un proceso de fabricación realizado a una alta temperatura, trabajado en frío y envejecido de forma natural.
- **T3:** Solución tratada térmicamente, trabajada en frío y envejecida hasta alcanzar una condición estable.

- **T4:** Solución tratada térmicamente y envejecida hasta alcanzar una condición estable. Es un tratamiento similar a T3, pero sin el trabajo en frío.
- **T5:** Enfriado desde un proceso de fabricación a alta temperatura y envejecida artificialmente.
- **T6:** Solución tratada térmicamente y envejecida artificialmente. Son designados de esta forma los productos que después de un proceso de conformado a alta temperatura (moldeo o extrusión) no son endurecidos en frío, sino que sufren un envejecimiento artificial.
- **T7:** Solución tratada térmicamente y envejecida para su completa estabilización.
- **T8:** Térmicamente tratada por disolución, trabajada en frío y envejecida artificialmente.
- **T9:** Solución tratada térmicamente, envejecida artificialmente y trabajada en frío.
- **T10:** Enfriado desde un proceso de fabricación realizado a una elevada temperatura, trabajado en frío y envejecido artificialmente hasta una condición sustancialmente estable.

- La letra **F** indica que se trata de una aleación en estado bruto. Es el material tal como sale del proceso de fabricación.

- Y por último, la letra **W** sirve para indicar que se trata de una solución tratada térmicamente. Se aplica a materiales que después de recibir un tratamiento térmico quedan con una estructura inestable y sufren envejecimiento natural.

Las aleaciones de aluminio se dividen en dos grandes grupos, que son, forja y fundición. Esta división se corresponde con el tipo de proceso de conformado a que pueden ser sometidas las aleaciones de aluminio.

Dentro del grupo de las aleaciones de aluminio de forja existe otra división en otros dos subgrupos, las aleaciones tratables térmicamente y las no tratables térmicamente. Las aleaciones no tratables térmicamente sólo pueden aumentar sus resistencias si son trabajadas en frío.

Dentro de las aleaciones de aluminio forjado sin tratamiento térmico, los grupos o series principales son los siguientes, según la norma AISI-SAE:

- Aleaciones 1xxx: Son aleaciones de aluminio técnicamente puro, al 99,9%, siendo sus principales impurezas el hierro y el silicio como elemento aleante. Se utilizan principalmente para utensilios de cocina, lámina y fleje.

- Aleaciones 3xxx: El elemento aleante principal de este grupo es el manganeso (Mn), el cual tiene como objetivo reforzar al aluminio. Presentan buena trabajabilidad, y es utilizada este tipo de aleaciones en utensilios de cocina y envases.
- Aleaciones 5xxx: En este grupo de aleaciones es el magnesio (Mg) el principal elemento de aleación. Utilizado en utensilios de cocina, construcción de camiones y aplicaciones marinas.

Dentro de las aleaciones de aluminio forjado que son tratables térmicamente, las series principales son las siguientes:

- Aleaciones 2xxx: El principal aleante de este grupo de aleaciones es el cobre (Cu), Esta aleación se utiliza especialmente para la fabricación de estructuras de aviones.
- Aleaciones 6xxx: Los principales elementos aleantes de este grupo son magnesio y silicio. Es utilizada para perfiles y estructuras en general.
- Aleaciones 7xxx: Los principales aleantes de este grupo de aleaciones son zinc, magnesio y cobre. Se utiliza para fabricar estructuras de aviones.

En esta última división, se encuentran las aleaciones de aluminio con mayores resistencias mecánicas: las de las series 2000 y 7000. Por otro lado, son las aleaciones de aluminio de las series 6000 y 7000 las más utilizadas por su amplia gama de aplicaciones.

Otras propiedades:

- Densidad: $2,70 \text{ g/cm}^3$ a $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ($1,56 \text{ oz/in}^3$ a $68 \text{ }^{\circ}\text{F}$)
- Punto de fusión: $660 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (933 K)
- Punto de ebullición: $2467 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- Calor específico: $0,92 \text{ J/g K}$ ($0,22 \text{ cal/ g }^{\circ}\text{C}$)
- Calor latente de fusión: $395 \cdot 10^3 \text{ J/kg}$
- Calor latente de ebullición: $9220 \cdot 10^3 \text{ J/kg}$
- Conductividad eléctrica: $37,8 \cdot 10^6 \text{ S/m}$ (siemens por metro)
- Conductividad térmica: $209\text{-}230 \text{ W/m} \cdot \text{K}$
- Coeficiente de dilatación lineal: $2,4 \cdot 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$

Propiedades mecánicas

Las características mecánicas del aluminio varían considerablemente dependiendo del tipo de aleación que se esté considerando.

En la siguiente tabla se muestran los valores de la carga de rotura (N/mm^2), el límite elástico (N/mm^2), el alargamiento en la rotura (en %) y la dureza Brinell para las aleaciones de aluminio más comunes:

ALEACION	CARGA ROTURA	LÍMITE ELÁSTICO	ALARGAMIENTO	DUREZA BRINELL
NORMAS A.A.	$R_m - N/mm^2$	$R_p 0,2 - N/mm^2$	A 5,65 %	HB
7075- T7351	440	380	6	140
7075- T6 / T651	470	400	5	130
2024- T6	425	315	5	125
7020- T6 / T651	350	290	10	120
2024- T3	400	270	8	120
2007- T3	340	220	6	115
2014- T4	430	275	18	110
2007- T4	330	210	7	110
2017- T4	380	260	12	105
2011- T3	380	295	15	100
6061- T6 / T651	150	110	16	95
6062- T6 / T651	295	250	8	95
2030- T4	330	210	7	95
6060- T6	190	150	8	85
5052- H34	195	90	30	70
5083- O / H111	270	110	16	70
5086- O / H111	240	95	16	65
6063- T5	175	130	6	60
5154- O / H111	215	85	16	55
5754- O / H111	190	80	16	55
5251- O / H111	160	60	16	45
1200- H18	125	150	15	45
3003- H14	130	110	6	45
5005- H24	145	110	6	45
1050- H18	165	150	15	43
1200- H14	125	115	20	37
1050- H14	125	115	20	35
1200- O	90	34	40	23
1050- O	90	34	40	21

Tabla 6. Durezas

En la siguiente figura ilustrativa se muestra cómo varía el límite elástico, que es la tensión para la cual se alcanza una deformación del 0,2% en la pieza ensayada según el ensayo de tracción. Los resultados se muestran para las diferentes aleaciones de aluminio:

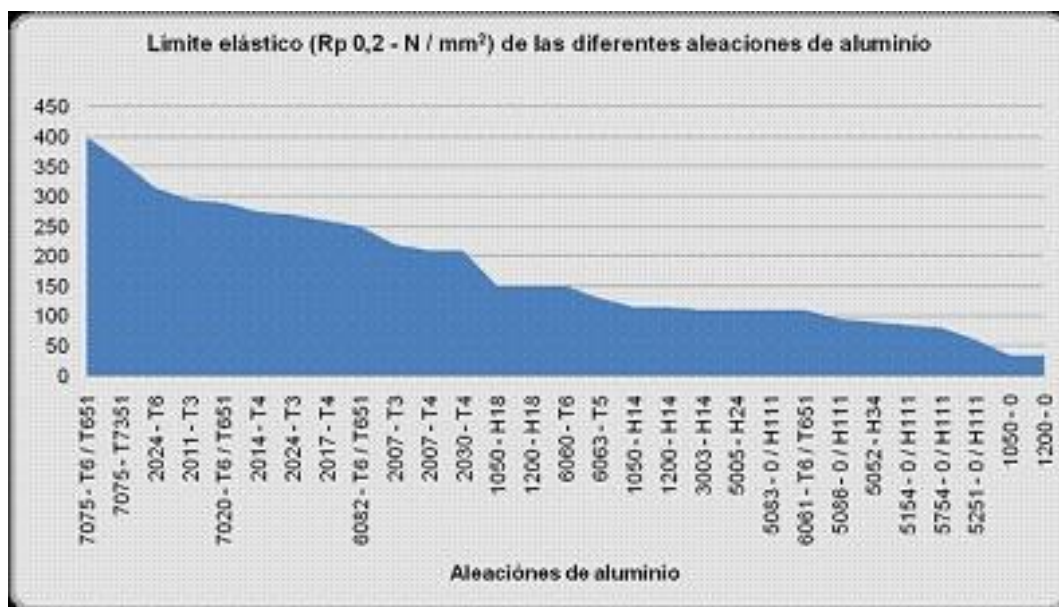


Tabla 7. Límite elástico

En esta otra figura se muestra la variación de la carga de rotura en el ensayo de tracción para cada tipo de aleación:

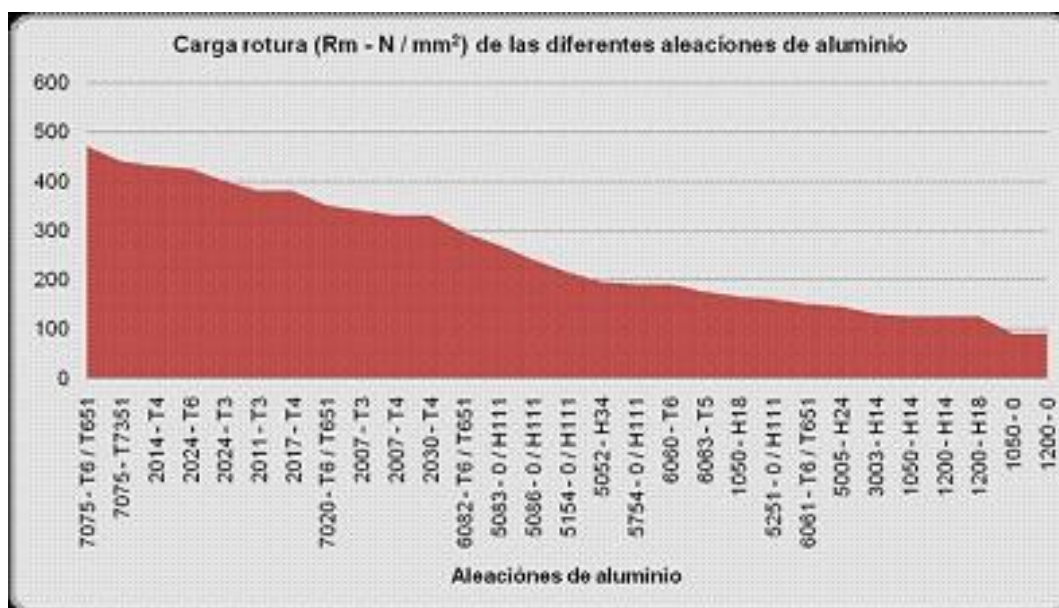


Tabla 8. Carga de rotura

Por otro lado, la resistencia a cizallamiento es un valor importante a tener en cuenta para calcular la fuerza necesaria para el corte, así como para determinadas construcciones. No existen valores normalizados a este respecto, pero generalmente es un valor que está entre el 55 y 80 % de la resistencia a la tracción.

Módulo de elasticidad longitudinal o Módulo de Young

$E = 70.000 \text{ MPa}$ (70.000 N/mm^2)

Módulo de elasticidad transversal

$G = 26300 \text{ MPa}$

1.2.2 Descripción del proceso de fresado de aluminio

El fresado de aluminio abarca múltiples procesos para el mecanizado en piezas y componentes. Estos procesos son sustractivos, lo que significa que la fresa elimina el material en bruto para formar las características previstas en la pieza. Estos métodos utilizan tipos específicos de herramientas de corte, como fresas, brocas, etc.

Fresado frontal

En el fresado frontal, la parte radial de la herramienta se utiliza como borde de corte. El fresado frontal se utiliza a menudo para cortar superficies planas en una pieza. Durante el proceso, la pieza avanza en la dirección opuesta a la rotación de la fresa. Esto crea una fuerza descendente que ayuda a mantener la pieza en su sitio durante el fresado.

Fresado de perfiles

El fresado de perfiles utiliza el fresado multieje de formas 2D y 3D. Existen varios tipos de fresado de perfiles, como el ranurado, el fresado de cavidades, el fresado de contornos y el fresado trocoidal, entre otros. El fresado de perfiles utiliza fresas de punta que tienen un borde de corte en los lados.

Fresado lateral

El fresado lateral corta el material verticalmente para producir una superficie plana en lugar de horizontalmente. Con las fresas laterales, el filo de corte se encuentra alrededor de la zona circunferencial de la fresa.



Fresado de agujeros

El fresado de agujeros produce características de agujeros en la pieza. Como por ejemplo agujeros generales, avellanados, roscados y puntuales. Las fresas utilizadas para producir estos agujeros incluyen brocas de pala, fresas de punta, brocas helicoidales, etc.

Hay varios factores importantes que hay que entender cuando se trata de fresar aluminio:

Grado de aluminio

El grado específico del material de aluminio influye en la maquinabilidad y el diseño de su pieza. La maquinabilidad viene determinada por el elemento de aleación de cada grado de aluminio. Estas aleaciones determinan propiedades como la ductilidad, la dureza y la resistencia a la corrosión. Las aleaciones de aluminio también tienen propiedades mecánicas distintas que ayudan a determinar la maquinabilidad del material.

Rigidez de sujeción

La sujeción es un aspecto vital del fresado de aluminio porque mantiene la pieza en su sitio. Cuando se hace correctamente, la sujeción evitará que la pieza se desplace durante el fresado, lo que podría comprometer la integridad de la pieza. La sujeción rígida de la pieza permite un proceso de fresado sin problemas porque

- Reduce las vibraciones de la pieza
- Favorece la precisión dimensional
- Evita la desviación de la herramienta
- Reduce las vibraciones
- Parámetros de mecanizado

Los parámetros de mecanizado son otro factor clave para asegurar que su pieza se produzca correctamente. Diferentes velocidades de corte y avances tendrán diferentes impactos en el fresado de aluminio. Por estas razones, es primordial que configure los parámetros correctamente desde el principio de su proyecto para evitar problemas como herramientas rotas, acabados superficiales ásperos e incluso vibraciones.



Geometría de las herramientas

Las herramientas de corte tienen diferentes geometrías, como el ángulo de desprendimiento, el ángulo de hélice, la anchura del terreno, el número de canales, la longitud de los canales, el radio de las esquinas, etc. Además, cada tipo de fresado tiene una geometría de herramienta específica asociada.

Hay algunos desafíos comunes a los que se enfrentan los maquinistas cuando se trata de fresar aluminio:

Acumulación de aluminio

Cuando el aluminio se acumula en los bordes de la herramienta de corte, se reduce la vida útil de la herramienta y la capacidad de mecanizar las piezas con precisión. Se puede superar este problema utilizando una velocidad de corte y un avance más rápidos. Si la velocidad de corte y el avance son demasiado lentos, pueden afectar negativamente a la acción de corte de la herramienta y provocar un aumento de la fricción entre la herramienta y la pieza, lo que conduce a la acumulación de aluminio.

Chatter

Demasiada vibración crea vibración, lo que conduce a dimensiones inexactas y malos acabados superficiales en su pieza. Para hacer frente a las vibraciones, es vital que se asegure de que la pieza de trabajo se mantiene en su lugar con una sujeción adecuada. Además, si está cortando y alimentando a velocidades demasiado rápidas, puede aumentar las vibraciones y las vibraciones. En estos casos, es mejor reducir la velocidad si es posible.

2. FUERZA DE CORTE, VELOCIDADES Y POTENCIA DE MECANIZADO

Parámetros de corte

Al haber dos clases de materiales a mecanizar, se van a calcular los parámetros de corte para ambos y posteriormente se seleccionarán los resultados más críticos.

Velocidad de corte

La velocidad de corte (V_c) se calcula a partir de características propias de la herramienta de corte utilizada, como el diámetro y la velocidad, pero adicionalmente se debe tomar en cuenta la dureza del material empleado y el proceso de mecanizado que se desea ejecutar.

Para calcular la velocidad de corte se utiliza la siguiente fórmula:

$$V_c = \frac{\pi * D * N}{1000}$$

$$D(mm) = 4 \text{ [Diámetro de la herramienta de corte]}$$

$$N(rpm) = 25000 \text{ (Velocidad de corte para aluminio)}$$

$$V_c = \frac{\pi * 4 * 25000}{1000} = 314.16 \text{ m/minuto}$$

$$V_c = 314.16 \frac{m}{minuto} * \frac{1 minuto}{60 s} = 5.23 \frac{m}{s}$$

$$D(mm) = 4 \text{ [Diámetro de la herramienta de corte]}$$

$$N(rpm) = 9000 \text{ (Velocidad de corte para maderas duras)}$$

$$V_c = \frac{\pi * 4 * 9000}{1000} = 113.1 \text{ m/minuto}$$

$$V_c = 113,1 \frac{m}{minuto} * \frac{1 minuto}{60 s} = 1.935 \frac{m}{s}$$

Para mecanizar aluminio es necesaria una mayor velocidad de corte, por lo que elegiremos la del aluminio para hacer los posteriores cálculos y comprobaciones.

Velocidad de avance

La velocidad de avance (V_a) es la que se produce del movimiento del material base contra la herramienta de corte o viceversa, en general está condicionada por los mismos factores de la velocidad de corte, pero también se busca una mayor eficiencia de arranque de material sin afectar la integridad de la fresa y lograr un buen acabado superficial final.

La velocidad de avance se calcula con la siguiente expresión:

$$V_a = f_z * Z * N$$

Siendo:

Avance por diente f_z (mm/diente)

$f_z = 0,1$. Valor del avance por diente seleccionado de la tabla de Recomendaciones de avance en fresas CoroMill, Catalogo de herramientas SANDVIK

Área ISO	Calidad	Tamaño de la plaquita	Geometría	fz, valor inicial (mín-máx)	
				mm/z	pulg./z
ISO S (TiAl6V4)	S30T, S40T, GC2040	IC06	E-L30	0.3 (0.1-0.6)	.012 (.004-.024)
		IC08	E-L30	0.45 (0.1-0.6)	.018 (.004-.024)
		IC06	E-L50	0.35 (0.1-0.6)	.014 (.006-.024)

Imagen 26. Tabla valor de avance

Numero de filos $Z = 4$

$N(rpm) = 25000$ (Velocidad de corte para aluminio)

$$V_a = 0,1 * 4 * 25000 = 10000 \frac{mm}{diente}$$

Avance por diente f_z (mm/diente)

$f_z = 0,143$. Valor del avance por diente seleccionado de la tabla de Recomendaciones de avance en fresas CoroMill, Catalogo de herramientas SANDVIK, se selecciona ese valor en específico ya que habiendo consultado valores de avance en otras fresadoras para la talla de madera usaban este valor en concreto.

Área ISO	Calidad	Tamaño de la plaquita	Geometría	fz, valor inicial (min-máx)	
				mm/z	pulg./z
ISO S (TiAl6V4)	S30T, S40T, GC2040	IC06	E-L30	0.3 (0.1-0.6)	.012 (.004-.024)
		IC08	E-L30	0.45 (0.1-0.6)	.018 (.004-.024)
		IC06	E-L50	0.35 (0.1-0.6)	.014 (.006-.024)

Imagen 27. Tabla valor de avance

Numero de filos $Z = 4$

$N(rpm) = 9000$ (Velocidad de corte para maderas duras)

$$Va = 0,143 * 4 * 9000 = 5148 \frac{mm}{diente}$$

$$Va = 5148 \frac{mm}{diente} * \frac{1 m}{1000 mm} = 5.14 \frac{m}{minuto}$$

La velocidad de avance en el caso del aluminio es casi el doble que la requerida en el caso de la madera, por lo que elegiremos la requerida para el aluminio.

Profundidad de corte

Es la profundidad de la capa desprendida de la superficie del material base en una pasada de la herramienta de corte.

La profundidad de corte (p) depende de factores como: espesor de material a mecanizar, grado de precisión dimensional a conseguir, potencia de la máquina, relación con respecto al avance seleccionado y parámetros de la herramienta empleada como tamaño, longitud de corte o perfil de la misma.

El valor máximo de profundidad que se puede cortar está directamente relacionado con la longitud de la arista del filo de corte de la herramienta que se va a utilizar.

Para operaciones de mecanizado en madera se utilizan profundidades que van desde 0.5 mm a 3 mm, y se escoge dicho espesor dependiendo de la calidad superficial o rapidez en tiempo que se quieran alcanzar al momento de realizar dichos procesos.

Con una profundidad de corte pequeña se necesitan realizar varias pasadas y para obtener la mayor eficiencia en el tiempo de mecanizado se debe utilizar la máxima profundidad permitida.

Cuando se trabaja con aluminio, es recomendable realizar varios cortes con pasadas sucesivas. Esto no solo mejora la calidad del corte, sino que también reduce la carga sobre la herramienta de corte, prolongando su vida útil, por lo que se opta por elegir una profundidad de corte de 0.3.

En el caso de la madera tomamos la profundidad de corte: $p = 3 \text{ mm}$.

En el caso del aluminio tomamos la profundidad de corte: $p = 0.3 \text{ mm}$.

Cálculo de la fuerza de corte necesaria para aluminio

La fuerza de corte se calcula con la siguiente expresión:

$$F_c = K * AC$$

Siendo AC el área de corte definida por : $AC = \frac{S' * D}{2}$

Calculamos el avance S' con la fórmula : $S' = \frac{Va}{N} \text{ mm/rev}$

$$N(\text{rpm}) = 25000 \text{ (Velocidad de corte para aluminio)}$$

$$Va \left(\frac{\text{mm}}{\text{minuto}} \right) = 20000 \text{ (Velocidad de avance)}$$

$$S' = \frac{10000}{25000} = 0.4 \frac{\text{mm}}{\text{rev}}$$

Sustituimos en la ecuación del área de corte:

$$AC = \frac{S' * D}{2} = \frac{0.4 * 4}{2} = 0.8 \text{ mm}^2$$

Siendo K la constante de proporcionalidad definida por:

$$K = K_{S0} * e^{-b}$$

Necesitamos calcular el espesor de viruta (e) mediante la fórmula:

$$e = \frac{Va}{Z * N} * \frac{\sqrt{p}}{D}$$

P = 0.3 mm (profundidad de corte)

Z = 4 (número de filos de la fresa)

N = 25000 rpm

D = 4 mm

$$e = \frac{20000}{4 * 25000} * \frac{\sqrt{0.3}}{4} = 0.027 \text{ mm}$$

Hallamos la constante de proporcionalidad:

$$K = K_{S0} * e^{-b}$$

e = 0,027mm

Presión específica de corte de aluminio $K_{so} = 350 \frac{N}{mm^2}$

Tomamos un factor de corrección b = 0,3

$$K = 350 * 0,027^{-0,3} = 1034.33 \frac{N}{mm^2}$$

Obteniendo una fuerza de corte:

$$Fc = 1034.33 * 0.8 = 827.46 \text{ N}$$

Cálculo de la fuerza de corte necesaria para madera

La fuerza de corte se calcula con la siguiente expresión:

$$F_c = K * AC$$

Siendo AC el área de corte definida por : $AC = \frac{S' * D}{2}$

Calculamos el avance S' con la fórmula : $S' = \frac{Va}{N} \text{ mm/rev}$

$$N(\text{rpm}) = 9000 \text{ (Velocidad de corte para maderas duras)}$$

$$Va \left(\frac{\text{mm}}{\text{minuto}} \right) = 5148 \text{ (Velocidad de avance)}$$

$$S' = \frac{5148}{9000} = 0.57 \frac{\text{mm}}{\text{rev}}$$

Sustituimos en la ecuación del área de corte:

$$AC = \frac{S' * D}{2} = \frac{0.57 * 4}{2} = 1.14 \text{ mm}^2$$

Siendo K la constante de proporcionalidad definida por:

$$\text{(Ecuación 10)} \quad K = K_{S0} * e^{-b}$$

Necesitamos calcular el espesor de viruta (e) mediante la fórmula:

$$\text{(Ecuación 11)} \quad e = \frac{Va}{Z * N} * \frac{\sqrt{p}}{D}$$

P = 3 mm (profundidad de corte)

Z = 4 (número de filos de la fresa)

N = 9000 rpm

D = 4 mm

$$e = \frac{5148}{4 * 9000} * \frac{\sqrt{3}}{4} = 0.06192 \text{ mm}$$

Hallamos la constante de proporcionalidad:

$$K = K_{S0} * e^{-b}$$

$$e = 0,06192 \text{ mm}$$

$$\text{Presión específica de corte de la madera } K_{S0} = 20 \frac{N}{mm^2}$$

Tomamos un factor de corrección $b = 0,3$

$$K = 20 * 0,06192^{-0,3} = 46,07 \frac{N}{mm^2}$$

Obteniendo una fuerza de corte:

$$F_c = 46,07 * 1,14 = 52,52 \text{ N}$$

Como se puede observar la fuerza requerida para cortar aluminio es de 827.464 N, mientras que la de madera es 52,52 N. Por lo que tomaremos el valor del aluminio por ser más restrictivo.

Potencia de corte madera

$$P_c = F_c * V_c$$

$$F_c = 52,52 \text{ N}$$

$$V_c = 1,93 \text{ m/s}$$

$$P_c = 101,62 \text{ W}$$

Potencia de corte aluminio

$$P_c = F_c * V_c$$

$$F_c = 827,46 \text{ N}$$

$$V_c = 5,23 \text{ m/s}$$

$$P_c = 437,63 \text{ W}$$

3. SELECCIÓN DE ELEMENTOS COMERCIALES

3.1 SELECCIÓN MOTOR

El motor es el responsable de hacer que la máquina pueda moverse en sus diferentes ejes, encargado de transmitir el par a los husillos. El tipo de motor que se usará es el motor paso a paso, que es ideal para combinar con el sistema de control a elaborar.

Lo primero a hacer es escoger un motor con un par suficiente para mover a una velocidad adecuada el conjunto de la máquina. Para facilitar su sistema de control se ha decidido usar 4 motores del mismo tipo. En este Anexo se puede ver el estudio realizado para decidir el tipo de motor escogido, mostrado en el Anexo V. Por los resultados obtenidos en el análisis y por la ya disponibilidad de uno de ellos, se ha decidido que el motor que se emplearía será el motor Stepper Nema 23.

El motor Nema 23 es un motor que va girando de $1,8^\circ$ en $1,8^\circ$, lo que hace que tenga hacer 200 pasos para llegar a dar una vuelta de 360° . Con el sistema de control adecuado, es posible controlar perfectamente una vuelta del motor permitiendo un control mucho más preciso del avance de la máquina, ya que el avance de los husillos quedaría dividido por 16 o 32 por cada paso que da el motor, pudiendo pararlo en cualquiera de esas posiciones con total precisión. Teniendo en cuenta el paso del husillo (5mm/vuelta) y esta posibilidad de dividir por 200 ese paso por vuelta se puede llegar a obtener una precisión de 0,025 mm, que se puede mejorar todavía más gracias al sistema de control instalado.

Una vez decidido el tipo de motor, es necesario pensar en cómo integrarlo en la estructura de la máquina. Para poder transmitir el par del motor a los husillos va a ser necesario el uso de un acoplamiento entre ambos, un dispositivo que haga de intermediario y transmita la fuerza del motor al eje. Para que este motor tenga un soporte, se ha pensado en crear un sistema para atornillar el motor a una placa de acero, fuera de la máquina, con un agujero que permita pasar el husillo a hacer girar para su acoplamiento.

Para que el acoplamiento pueda hacerse correctamente y sin interferir con la geometría de la máquina, se propone un sistema de fijación del motor a la placa mediante unos tornillos largos. Estas placas tienen que poder ser fijadas luego al resto de la estructura para que todo el conjunto aguante unido, por lo que es necesario añadir agujeros que permitan esta unión.

3.1.1 TRANSMISION DE MOVIMIENTO EN SENTIDO EJE Y

Para el cálculo del par requerido en el tornillo de potencia del eje Y se necesita determinar: la inercia debida al peso de las estructuras que soporta y las fuerzas aplicadas durante el funcionamiento de la misma, la inercia del tornillo sin fin y la inercia del motor que acciona el sistema.

La inercia total se calcula con la siguiente expresión:

$$I_{total} = I_m + I_1 + I_{motor} = I_m + I_1 + \frac{m * p^2}{4 * \pi^2}$$

Siendo $m = 19.54 \text{ kg}$

Siendo p el paso del husillo de bolas en milímetros, $p = 4 \text{ mm/vuelta}$

$$I_c = \frac{m * p^2}{4 * \pi^2} = \frac{19540 * 0.4^2}{4 * \pi^2} = 79.19 \text{ g} * \text{cm}^2$$

La inercia del tornillo sin fin es igual a:

$$I = \frac{1}{2} * m * r^2 = \frac{1}{2} * 0.5 \text{ kg} * 0.008^2 \text{ m} = 1.6 * 10^{-5} \text{ kg} * \text{m}^2 = 160 \text{ g} * \text{cm}^2$$

El torque del rotor I_m lo tomamos de dato de ACT 23HS2430 Stepper motor, 4 pole, 1.8 °, 4.8 V DC, el cual ha sido seleccionado; tomando un valor de $I_m = 800 \text{ gcm}^2$. La tabla y documentación sobre este motor se encuentra en el Anexo V.

La inercia total será el resultado de : $I_{total} = I_c + I_t + I_m$

$$I_m = 800 \text{ g} * \text{cm}^2$$

$$I_1 = 160 \text{ g} * \text{cm}^2$$

$$I_c = 79.19 \text{ g} * \text{cm}^2$$

$$I_{total} = \frac{m * L^2}{4 * \pi^2} + I_1 + I_m = 79.19 + 800 + 160 = 1039.19 \text{ g} * \text{cm}^2$$

La velocidad angular máxima que da un motor paso a paso Nema 23 de bucle abierto la podemos ver en la siguiente tabla:

Tipo de motor	Tamaño del motor	Máx. Velocidad (RPM)	Velocidad de trabajo recomendada (RPM)
Open-loop	Nema 23 (57x57)	1000	100-500

Se toma el valor máximo que puede alcanzar : $w = 1000 \text{ rpm}$

Siendo ppr los pasos por revolución del motor paso a paso

ppr = 200 pasos/rev

Los pasos incrementales en grados para un encoder comercial se pueden calcular:

$$\theta = \frac{360^\circ/\text{rev}}{\text{ppr}} = \frac{360}{200} = 1,8^\circ/\text{paso}$$

El torque necesario para arrancar y mover la carga aplicada se determina:

$$T_{tot} = \frac{2 * I_{total} * w * \pi * \theta}{24 * 180 * t} = \frac{2 * 1039.19 * 1000 * \pi * 1,8}{24 * 180 * 60} = 45.34 \text{ g} * \text{cm}$$

$$T_{tot} = 45.34 \text{ g} * \text{cm} = 0.44 \text{ Ncm}$$

3.1.2 TRANSMISION DE MOVIMIENTO EN SENTIDO EJE X

Para el cálculo del torque requerido en el tornillo de potencia del eje X se necesita determinar: la inercia debida al peso de las estructuras que soporta y las fuerzas aplicadas durante el funcionamiento de la misma, la inercia del tornillo sin fin y la inercia del motor que acciona el sistema.

La inercia por motivo de la carga total aplicada en el tornillo de potencia se calcula con la siguiente expresión:

$$I_{total} = I_m + I_l + I_{motor} = I_m + I_l + \frac{m * p^2}{4 * \pi^2}$$

Siendo $m = 24.8 \text{ kg}$

Siendo p el paso del husillo de bolas en milímetros, $p = 4 \text{ mm/vuelta}$

$$I_c = \frac{m * p^2}{4 * \pi^2} = \frac{24800 * 0.4^2}{4 * \pi^2} = 100.51 \text{ g} * \text{cm}^2$$

La inercia del tornillo sin fin es igual a:

$$I = \frac{1}{2} * m * r^2 = \frac{1}{2} * 0.7 \text{ kg} * 0.008^2 \text{ m} = 2.24 * 10^{-5} \text{ kg} * \text{m}^2 = 224 \text{ g} * \text{cm}^2$$

El torque del rotor I_m lo tomamos de dato de 103H7124-0110 46 mm sq , 1.8 °, 4.8 V DC, el cual ha sido seleccionado; tomando un valor de $I_m = 245 \text{ g} * \text{cm}^2$. La tabla y documentación sobre este motor se encuentra en el Anexo V.

La inercia total será el resultado de : $I_{total} = I_c + I_l + I_m$

$$I_m = 245 \text{ g} * \text{cm}^2$$

$$I_l = 224 \text{ g} * \text{cm}^2$$

$$I_c = 100.51 \text{ g} * \text{cm}^2$$

$$I_{total} = \frac{m * L^2}{4 * \pi^2} + I_l + I_m = 245 + 224 + 100.51 = 569.51 \text{ g} * \text{cm}^2$$

La velocidad angular máxima que da un motor paso a paso Nema 23 de bucle abierto la podemos ver en la siguiente tabla:

Tipo de motor	Tamaño del motor	Máx. Velocidad (RPM)	Velocidad de trabajo recomendada (RPM)
Open-loop	Nema 23 (57x57)	1000	100-500

Se toma el valor máximo que puede alcanzar : $w = 1000 \text{ rpm}$

Siendo ppr los pasos por revolución del motor paso a paso

ppr = 200 pasos/rev

Los pasos incrementales en grados para un encoder comercial se pueden calcular:

$$\theta = \frac{360^\circ/\text{rev}}{\text{ppr}} = \frac{360}{200} = 1,8^\circ/\text{paso}$$

El torque necesario para arrancar y mover la carga aplicada se determina:

$$T_{tot} = \frac{2 * I_{total} * w * \pi * \theta}{24 * 180 * t} = \frac{2 * 569.51 * 1000 * \pi * 1,8}{24 * 180 * 60} = 24.85 \text{ g} * \text{cm}$$

$$T_{tot} = 24.85 \text{ g} * \text{cm} = 0.24 \text{ Ncm}$$

3.1.3 TRANSMISION DE MOVIMIENTO EN SENTIDO EJE Z

Para el cálculo del torque requerido en el tornillo de potencia del eje Z se necesita determinar: la inercia debida al peso de las estructuras que soporta y las fuerzas aplicadas durante el funcionamiento de la misma, la inercia del tornillo sin fin y la inercia del motor que acciona el sistema.

La inercia por motivo de la carga total aplicada en el tornillo de potencia se calcula con la siguiente expresión:

$$I_{total} = I_m + I_l + I_{motor} = I_m + I_l + \frac{m * p^2}{4 * \pi^2}$$

Siendo $m = 7.6 \text{ kg}$

Siendo p el paso del husillo de bolas en milímetros, $p = 4 \text{ mm/vuelta}$

$$I_c = \frac{m * p^2}{4 * \pi^2} = \frac{7600 * 0.4^2}{4 * \pi^2} = 30.8 \text{ g} * \text{cm}^2$$

La inercia del tornillo sin fin es igual a:

$$I = \frac{1}{2} * m * r^2 = \frac{1}{2} * 0.2 \text{ kg} * 0.008^2 \text{ m} = 6.4 * 10^{-6} \text{ kg} * \text{m}^2 = 64 \text{ g} * \text{cm}^2$$

El torque del rotor I_m lo tomamos de dato de 103H7124-0110 46 mm sq , 1.8 °, 4.8 V DC, el cual ha sido seleccionado; tomando un valor de $I_m = 245 \text{ g} * \text{cm}^2$. La tabla y documentación sobre este motor se encuentra en el Anexo V.

La inercia total será el resultado de : $I_{total} = I_c + I_l + I_m$

$$I_m = 245 \text{ g} * \text{cm}^2$$

$$I_l = 64 \text{ g} * \text{cm}^2$$

$$I_c = 30.8 \text{ g} * \text{cm}^2$$

$$I_{total} = \frac{m * p^2}{4 * \pi^2} + I_l + I_m = 245 + 64 + 30.8 = 339.8 \text{ g} * \text{cm}^2$$

La velocidad angular máxima que da un motor paso a paso Nema 23 de bucle abierto la podemos ver en la siguiente tabla:

Tipo de motor	Tamaño del motor	Máx. Velocidad (RPM)	Velocidad de trabajo recomendada (RPM)
Open-loop	Nema 23 (57x57)	1000	100-500

Se toma el valor máximo que puede alcanzar : $w = 1000 \text{ rpm}$

Siendo ppr los pasos por revolución del motor paso a paso

ppr = 200 pasos/rev

Los pasos incrementales en grados para un encoder comercial se pueden calcular:

$$\theta = \frac{360^\circ/\text{rev}}{\text{ppr}} = \frac{360}{200} = 1,8^\circ/\text{paso}$$

El torque necesario para arrancar y mover la carga aplicada se determina:

$$T_{tot} = \frac{2 * I_{total} * w * \pi * \theta}{24 * 180 * t} = \frac{2 * 339.8 * 1000 * \pi * 1,8}{24 * 180 * 60} = 14.82 \text{ g} * \text{cm}$$

$$T_{tot} = 14.82 \text{ g} * \text{cm} = 0.14 \text{ Ncm}$$

3.2 SELECCIÓN RODAMIENTOS

Para la selección de los rodamientos se va a emplear el catálogo de rodamientos lineales de bolas NTN.

3.2.1 EJE Y

La capacidad de carga estática se la calcula con la fórmula:

$$C_o = f_s * F_{o\max}$$

f_s , El coeficiente de seguridad estático sirve para evitar las deformaciones plásticas no admisibles de los cuerpos rodantes y de la pista de rodadura. Corresponde a la relación entre la capacidad de carga estática C_o y la carga máxima $F_{o\max}$. Se asume la condición de carga máxima incluyendo condiciones transitorias.

Capacidad de carga estática, C_o , Es la carga radial que resulta de la deformación en la zona de contacto con mayor carga/tensión entre el elemento rodante y el eje a 5300 Mpa. Observación: La deformación admisible de los cuerpos rodantes y de la pista de rodadura corresponde aproximadamente a 0,0001 veces el diámetro de los cuerpos rodantes. Suponiendo Condiciones de choques y vibraciones de baja intensidad, $f_s = 2$

$F_{o\max} = 112.12 \text{ N}$ siendo la máxima carga aplicada , calculada posteriormente en el apartado 5 de este anexo.

$$C_o = f_s * F_{o\max} = 2 * 112.12 = 224.24 \text{ N}$$

Capacidad de carga dinámica C , Es la carga radial de magnitud y dirección constantes que un rodamiento lineal teóricamente puede soportar por un periodo de funcionamiento nominal cubriendo una distancia de 105 m. Observación: la indicación de la capacidad de carga nominal implica que el trayecto del rodamiento lineal mida como mínimo el triple de su longitud.

$$C = \frac{L * F * fw}{fh * ft * fc * 50}$$

$F = 112.12 \text{ N}$ siendo la máxima carga aplicada, calculada posteriormente en el apartado 5 de este anexo.

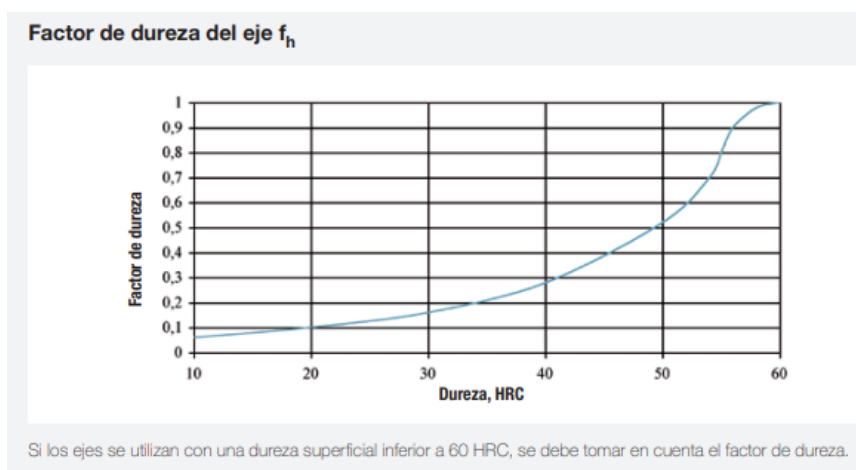


Imagen 28. Factor de dureza

Para una dureza de eje menor a 10 HRC, tomamos $fh = 0.08$

Factor de temperatura f_t

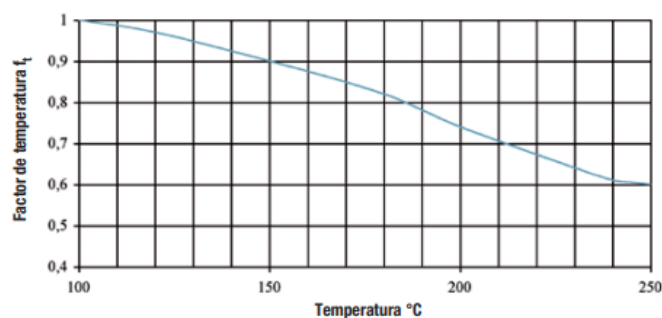


Imagen 29. Factor de temperatura

Las condiciones de trabajo siempre van a ser inferiores a 100 °C por lo que tomamos $f_t = 1$

Factor de contacto f_c

Si se utilizan varios rodamientos lineales de bolas con una separación prácticamente nula entre ellos, el desplazamiento está influenciado por los pares y la precisión del montaje. Por lo tanto, resulta difícil obtener una distribución homogénea de las cargas. En dicho caso, se deberá tener en cuenta un factor de contacto.

Número de rodamientos lineales de bolas montados juntos	f_c
1	1,0
2	0,81
3	0,72
4	0,66
5	0,61

Imagen 30. Factor de contacto

Al existir una distancia cuantificable entre rodamientos, tomamos $f_c = 1$

Factor de carga f_w

En general, las máquinas generan vibraciones y choques debido a los movimientos oscilatorios que se producen durante el funcionamiento. Por lo general, resulta difícil determinar con precisión las vibraciones y las cargas de choque causadas por una sucesión de arranques y paradas. Durante el funcionamiento a alta velocidad, si las cargas realmente aplicadas en el rodamiento lineal de bolas no pueden medirse o si la velocidad y las cargas de choque tienen gran influencia, deberá aplicarse el factor de carga correspondiente.

Condiciones de funcionamiento, velocidad V	f_w
Condiciones de funcionamiento normales, $V \leq 0,25$ m/s	1,0...1,5
Condiciones de funcionamiento normales con vibraciones/choques de baja intensidad, $0,25 < V \leq 1,0$ m/s	1,5...2,0
Condiciones de funcionamiento con vibraciones/choques de gran intensidad, $V > 2,0$ m/s	2,0...3,5

Imagen 31. Factor de carga

Las condiciones de trabajo se consideran normales, por lo que se selecciona un valor medio para el rango de factores entre 1 y 1,5. $f_w = 1.25$

Procedemos a calcular la vida nominal:

$$L = L_h * 2 * s * n_s * 60$$

Siendo $L_h = 5000$ horas de vida útil, dato sacado de tabla del catálogo SKT, valor asociado para Máquinas utilizadas intermitentemente o durante breves períodos: herramientas eléctricas portátiles, dispositivos de elevación en talleres, máquinas y equipos para la construcción.

Longitud de carrera, $s = 0.4$ metros

N_s , frecuencia de carrera, tomando un valor de 0.01 min^{-1}

$$L = L_h * 2 * s * n_s * 60 = 5000 * 2 * 0.4 * 0.01 * 60 = 2400 \text{ m}$$

$$C = \frac{L * F * f_w}{f_h * f_t * f_c * 50} = \frac{2.4 * 112,12 * 1.25}{0.08 * 1 * 1 * 50} = 84.09 \text{ N}$$

La capacidad de carga dinámica requerida por los rodamientos.

De acuerdo a los resultados obtenidos y para un diámetro de 16 mm se selecciona Soporte cerrado para casquillo de bolas estándar, cerrados, de la marca NTN, LSE16UU (jaula de plástico) con una capacidad de carga estática: 892 N y una capacidad de carga dinámica: 432 N.

El plano y especificaciones de dichos rodamientos están adjuntados en el anexo correspondiente.

3.2.2 ALOJAMIENTO EJES CON LOS LATERALES DEL PUENTE

$$Co = fs * Fomáx$$

Suponiendo Condiciones de choques y vibraciones de baja intensidad, $fs = 2$

$Fomáx = 56.06 \text{ N}$ siendo la maxima carga aplicada , calculada posteriormente en el apartado 5 de este anexo.

$$Co = fs * Fomáx = 2 * 56.06 = 112.12 \text{ N}$$

$$C = \frac{L * F * fw}{fh * ft * fc * 50}$$

$$F = 56.06 \text{ N} \text{ siendo la maxima carga aplicada}$$

Para una dureza de eje menor a 10 HRC, tomamos $fh = 0.08$

Las condiciones de trabajo siempre van a ser inferiores a 100 °C por lo que tomamos $ft = 1$

Al existir una distancia cuantificable entre rodamientos, tomamos $fc = 1$

Las condiciones de trabajo se consideran normales, por lo que se selecciona un valor medio para el rango de factores entre 1 y 1,5. $fw = 1.25$

Procedemos a calcular la vida nominal:

$$L = Lh * 2 * s * ns * 60$$

Siendo $Lh = 5000$ horas de vida útil

Ns , frecuencia de carrera, tomando un valor de 0.01 min^{-1}

Longitud de carrera, $s = 0.01$ metros

$$L = Lh * 2 * s * ns * 60 = 5000 * 2 * 0.1 * 0.01 * 60 = 600 \text{ m}$$

$$C = \frac{L * F * fw}{fh * ft * fc * 50} = \frac{0.6 * 56.06 * 1.25}{0.08 * 1 * 1 * 50} = 10.511 \text{ N}$$

La capacidad de carga dinámica requerida por los rodamientos.

De acuerdo a los resultados obtenidos y para un diámetro de 16 mm se selecciona un rodamiento lineal de bolas estándar, cerrado, de la marca NTN, BBE20 (jaula de plástico) con una capacidad de carga estática: 1370 N y una capacidad de carga dinámica: 877 N.

El plano y especificaciones de dichos rodamientos están adjuntados en el anexo V.

3.2.3 EJE X

$$Co = fs * Fomáx$$

Suponiendo Condiciones de choques y vibraciones de baja intensidad, $fs = 2$

$Fomáx = 73.6 \text{ N}$ siendo la maxima carga aplicada , calculada posteriormente en el apartado 5 de este anexo.

$$Co = fs * Fomáx = 2 * 73.6 = 147.2 \text{ N}$$

$$C = \frac{L * F * fw}{fh * ft * fc * 50}$$

$$F = 73.6 \text{ N} \text{ siendo la maxima carga aplicada}$$

Para una dureza de eje menor a 10 HRC, tomamos $fh = 0.08$

Las condiciones de trabajo siempre van a ser inferiores a 100 °C por lo que tomamos $ft = 1$

Al existir una distancia cuantificable entre rodamientos, tomamos $fc = 1$

Las condiciones de trabajo se consideran normales, por lo que se selecciona un valor medio para el rango de factores entre 1 y 1.5. $fw = 1.25$

Procedemos a calcular la vida nominal:

$$L = Lh * 2 * s * ns * 60$$

Siendo $Lh = 5000$ horas de vida útil

Ns , frecuencia de carrera, tomando un valor de 0.01 min^{-1}

Longitud de carrera, $s = 0.6$ metros

$$L = Lh * 2 * s * ns * 60 = 5000 * 2 * 0.6 * 0.01 * 60 = 6000 \text{ m}$$

$$C = \frac{L * F * fw}{fh * ft * fc * 50} = \frac{6 * 73.6 * 1.25}{0.08 * 1 * 1 * 50} = 138 \text{ N}$$

La capacidad de carga dinámica requerida por los rodamientos.

De acuerdo a los resultados obtenidos y para un diámetro de 16 mm se selecciona un soporte abierto para rodamiento lineal de bolas abierto estándar, de la marca NTN, LSE16UU-OP (jaula de plástico) con una capacidad de carga estática: 892 N y una capacidad de carga dinámica: 432 N.

El plano y especificaciones de dichos rodamientos están adjuntados en el anexo V.

3.2.4 ALOJAMIENTO Husillo con la placa trasera

$$Co = fs * Fomáx$$

Suponiendo Condiciones de choques y vibraciones de baja intensidad,

$$fs = 2$$

$Fomáx = 483.33 \text{ N}$ siendo la maxima carga aplicada , calculada posteriormente en el apartado 5 de este anexo.

$$Co = fs * Fomáx = 2 * 483.33 = 966.66 \text{ N}$$

$$C = \frac{L * F * fw}{fh * ft * fc * 50}$$

$$F = 483.33 \text{ N} \text{ siendo la maxima carga aplicada}$$

Para una dureza de eje menor a 10 HRC, tomamos $fh = 0.08$

Las condiciones de trabajo siempre van a ser inferiores a 100°C por lo que tomamos $ft = 1$

Al existir una distancia cuantificable entre rodamientos, tomamos $fc = 1$

Las condiciones de trabajo se consideran normales, por lo que se selecciona un valor medio para el rango de factores entre 1 y 1.5. $fw = 1.25$

Procedemos a calcular la vida nominal:

$$L = Lh * 2 * s * ns * 60$$

Siendo $Lh = 5000$ horas de vida útil

Ns , frecuencia de carrera, tomando un valor de 0.01 min^{-1}

Longitud de carrera, $s = 0.01$ metros

$$L = Lh * 2 * s * ns * 60 = 5000 * 2 * 0.1 * 0.01 * 60 = 600 \text{ m}$$

$$C = \frac{L * F * fw}{fh * ft * fc * 50} = \frac{0.6 * 483.33 * 1.25}{0.08 * 1 * 1 * 50} = 90.62 \text{ N}$$

La capacidad de carga dinámica requerida por los rodamientos.

De acuerdo a los resultados obtenidos y para un diámetro de 16 mm se selecciona un rodamiento lineal de bolas estándar, cerrado, de la marca NTN,

BBE20 (jaula de plástico) con una capacidad de carga estática: 1370 N y una capacidad de carga dinámica: 877 N.

El plano y especificaciones de dichos rodamientos están adjuntados en el anexo V.

3.2.5 EJE Z

En este caso se va a emplear el catálogo de guías lineales Hiwin.

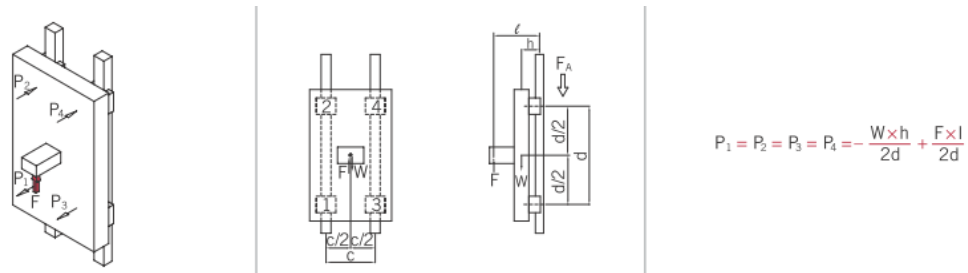


Imagen 32. Esquema

VIDA ÚTIL NOMINAL (L)

La vida útil puede variar considerablemente incluso aunque las guías lineales se producen de la misma manera y se usan bajo las mismas condiciones de movimiento. Por lo tanto, la vida útil nominal debe considerarse como una estimación aproximada de la vida útil de una guía lineal. La vida útil nominal corresponde a la distancia total recorrida que el 90% de un grupo de guías lineales idénticas alcanzaron en las mismas condiciones sin fallar.

Fórmulas para calcular la vida nominal (L)

- Series HG, QH, EG, QE, WE, MG, MG-O:

F 2.2

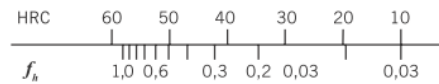
$$L = \left(\frac{C_{dyn}}{P} \right)^3 \times 50 \text{ km}$$

L Vida útil nominal (km)
C_{dyn} Capacidad de carga dinámica (N)
P Carga dinámica equivalente (N)

Imagen 33. Ecuación vida útil

Factor de dureza (f_h)

Las guías lineales tienen una dureza de 58 HRC. Se aplica un factor de dureza de 1,0. Si la dureza difiere de esta, hay que utilizar el factor de dureza mostrado a la derecha. Si no se alcanza la dureza indicada, se reduce la carga permitida. Si esto ocurre, las capacidades de carga dinámica y estática debe multiplicarse por el factor de dureza.



Factor de temperatura (f_t)

Los raíles estándar se pueden utilizar en un **rango de temperatura ambiente de -10 a 80 °C**. A temperaturas ambiente de hasta 150 °C deben utilizarse guías lineales con tapa metálica (identificadas en el código de tipo por la adición "/SE"). Son posibles temperaturas ambiente intermitentes de hasta 180 °C. Sin embargo, para asegurarse le recomendamos ponerse en contacto con nuestro equipo de asistencia técnica. Si la temperatura de una guía lineal supera los 100 °C, se reducen la carga permitida y la vida útil. Por lo tanto, las capacidades de carga dinámica y estática deben multiplicarse por el factor de temperatura.

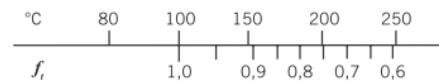


Imagen 34. Factor de dureza y temperatura

(Ecuación 40)
$$P = \frac{W \cdot h}{2 \cdot d} + \frac{F \cdot l}{2 \cdot d} = \frac{328,9 \cdot 25}{2 \cdot 40} + \frac{1000 \cdot 25}{2 \cdot 40} = 1340$$

W Peso de la carga 328.9 N

l Distancia desde fuerza externa hasta transporte 25 mm

h Distancia desde el centro de gravedad hasta el driver 15 mm

F Fuerza del movimiento 100 N

d Espaciado del patín = 40 mm

Factor de dureza $f_h = 1$ ya que las guías lineales tienen una dureza de 58 HRC

Factor de temperatura $f_t = 1$ ya que siempre se va a trabajar dentro del intervalo de temperaturas

$C_{dyn} = 2840 \text{ N}$ dato sacado de la tabla para modelo MGN12

$$L = \left(\frac{C_{dyn}}{P} \right)^3 * 50 \text{ km} = \left(\frac{2840}{1340} \right)^3 * 50 = 476 \text{ km}$$

4. COMPONENTES DE LA MÁQUINA

EJE X

Base de la máquina, donde se apoya la mesa de trabajo y van las guías para el movimiento en X.

-Placa frontal y trasera, donde va apoyado el motor, y entre las cuales está alojado el husillo de 800 mm

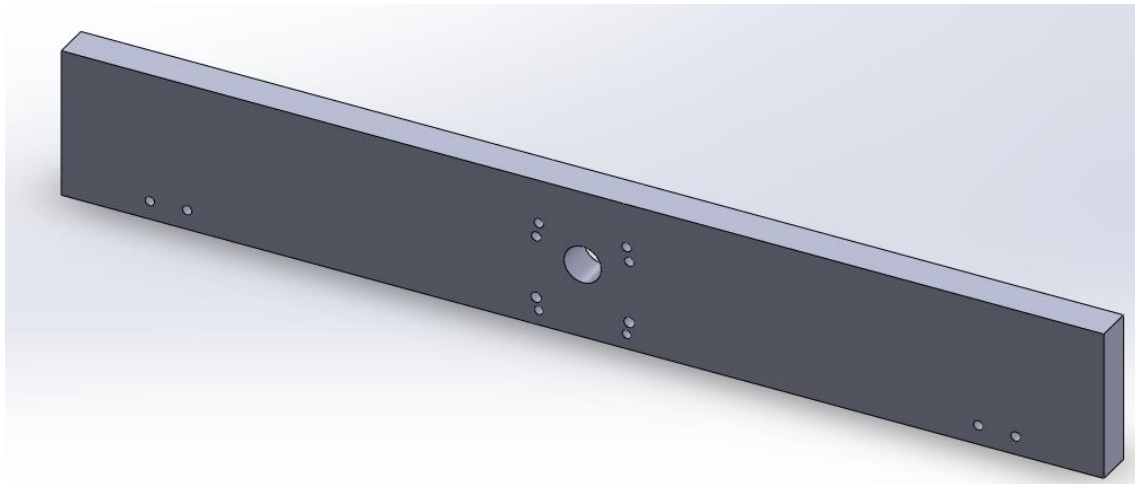


Imagen 35. Modelado de la pieza frontal y trasera

- Husillo de 800 mm, conectado a uno de los motores mediante un acople, y ajustado a la parte trasera mediante un rodamiento angular de bolas
- Las guías que hacen de deslizadera para los 4 rodamientos lineales se unen mediante uniones atornilladas a las placas, y terminan de formar el perímetro de la base
- Placa Eje Central, unida por los rodamientos horizontales a las guías laterales y mediante la tuerca al husillo, será la encargada de transmitir el movimiento al resto de la máquina, y es donde irá atornillado el puente, donde va alojado el Eje Y

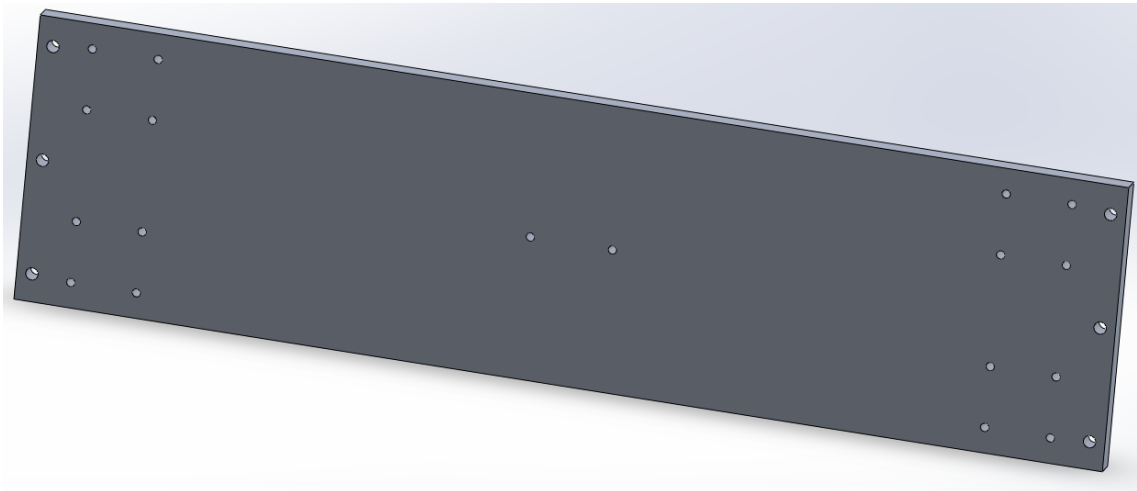


Imagen 36. Modelado de la placa del eje central

- Consta de 3 apoyos macizos de aluminio que se encargan de elevar la mesa de trabajo, para evitar colisiones y disminuir la distancia entre la herramienta y la pieza a trabajar.

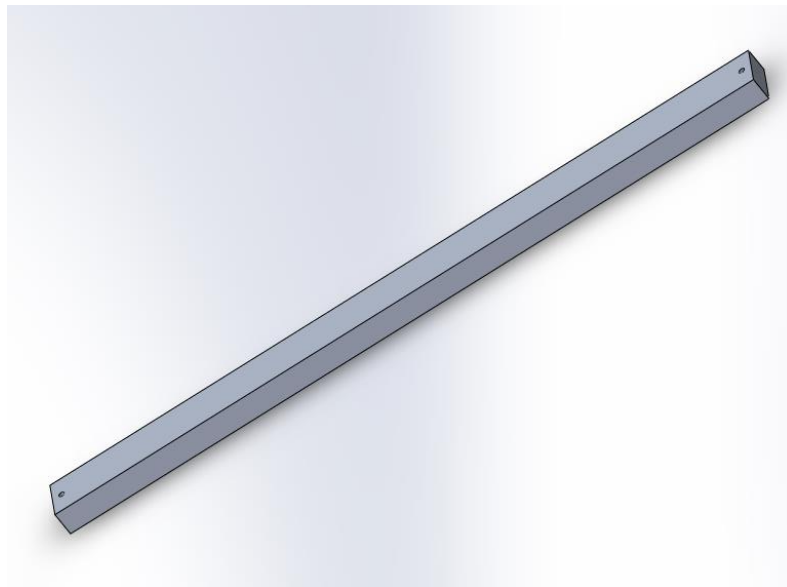


Imagen 37. Modelado del apoyo macizo

- Mesa de trabajo

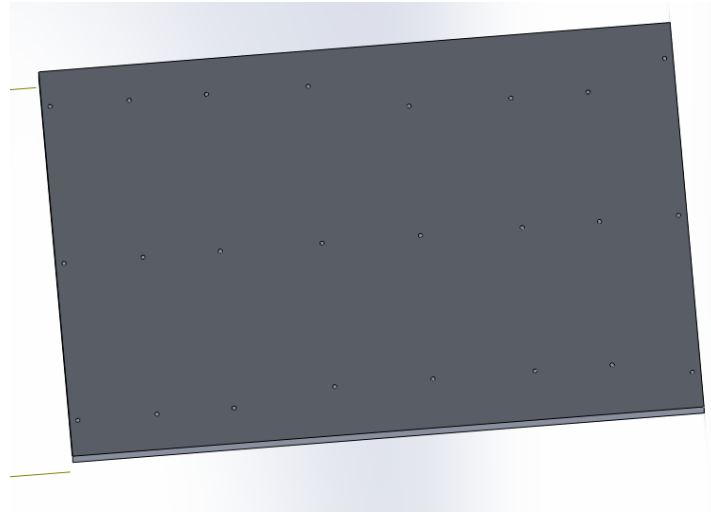


Imagen 38. Modelado de la mesa de trabajo

Eje Y

Van alojados 2 ejes y un husillo conectado a un motor que se encargan de transmitir el movimiento relativo a la dirección Y

- Laterales puente, son las piezas encargadas de transmitir los esfuerzos a la base de la máquina, y donde van alojados ejes y el husillo, así como un rodamiento angular de bolas para ajustar el husillo.

-

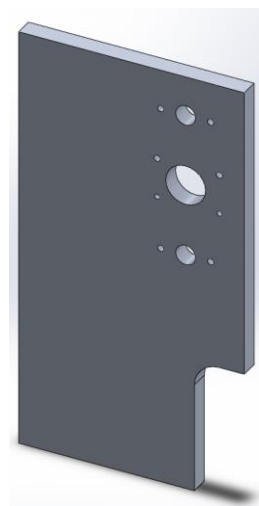


Imagen 39. Modelado de la parte lateral del puente

- Unión trasera, pieza encargada de unir ambos laterales del puente mediante uniones atornilladas.

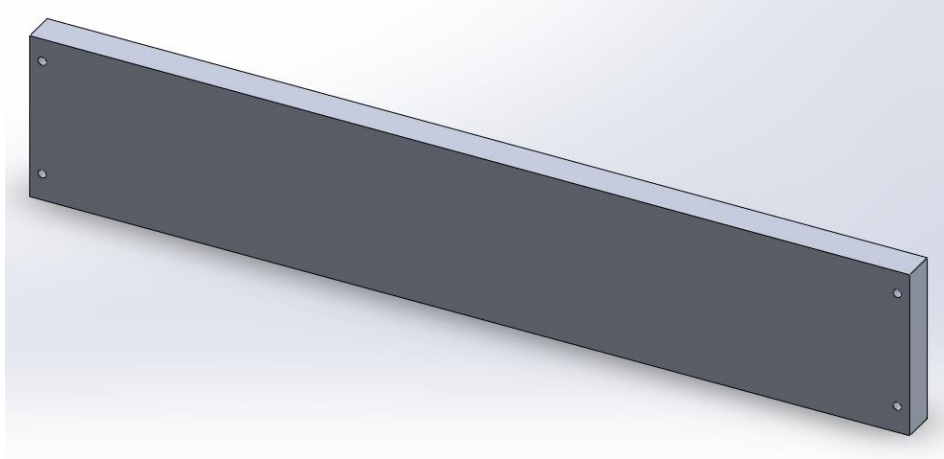


Imagen 40. Modelado de la unión trasera

- Ejes de 500 mm de longitud y 16 cm de diámetro, alojados entre los laterales del puente, unidos mediante abrazaderas
- Husillo de 16 cm, conectado al motor mediante un acople que se encarga de transmitir el movimiento relativo al eje Y

Entre los 2 ejes y el husillo mediante rodamientos se coloca la base del EJE Z

Eje Z

Zona donde va alojada la herramienta a utilizar, y a través de un motor y un husillo la encargada de transmitir el movimiento en dirección Z, haciendo que la herramienta suba o baje.

-Base Z, placa donde van atornillados los rodamientos de unión con los ejes y el husillo del eje Y, así como también tiene sujeto el husillo de 300 mm, las guías y los apoyos.

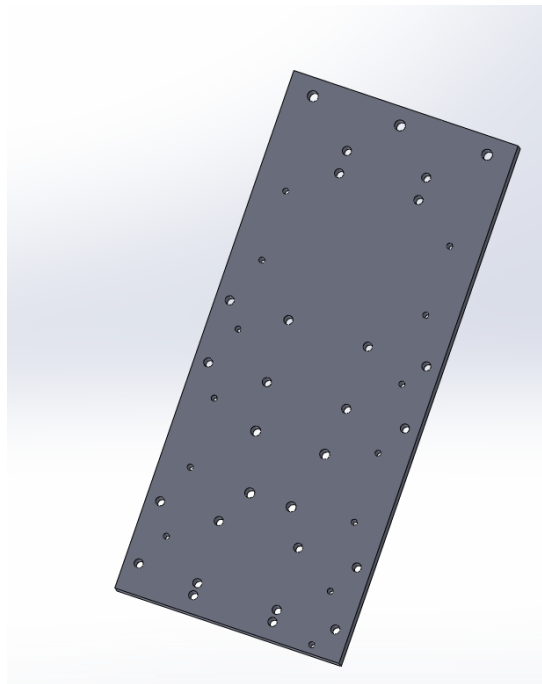


Imagen 41. Modelado de la placa base del eje Z

- Placa frontal, unida al husillo mediante una tuerca y unida a los rodamientos horizontales, esta placa es la que realiza el movimiento y con ayuda de un soporte, es donde se alojará la herramienta.

5. COMPROBACIÓN DE EJES Y HUSILLOS

Diseño de los ejes

Diseño del sistema de transmisión de potencia:

El sistema de transmisión de potencia consta de un soporte que se traslada mediante un tornillo sin fin y está orientado por dos guías ubicadas una a cada lado de dicho tornillo. Debido a que la máxima altura de los prototipos a construir es de 400mm, se ha dispuesto una altura máxima de 500mm.

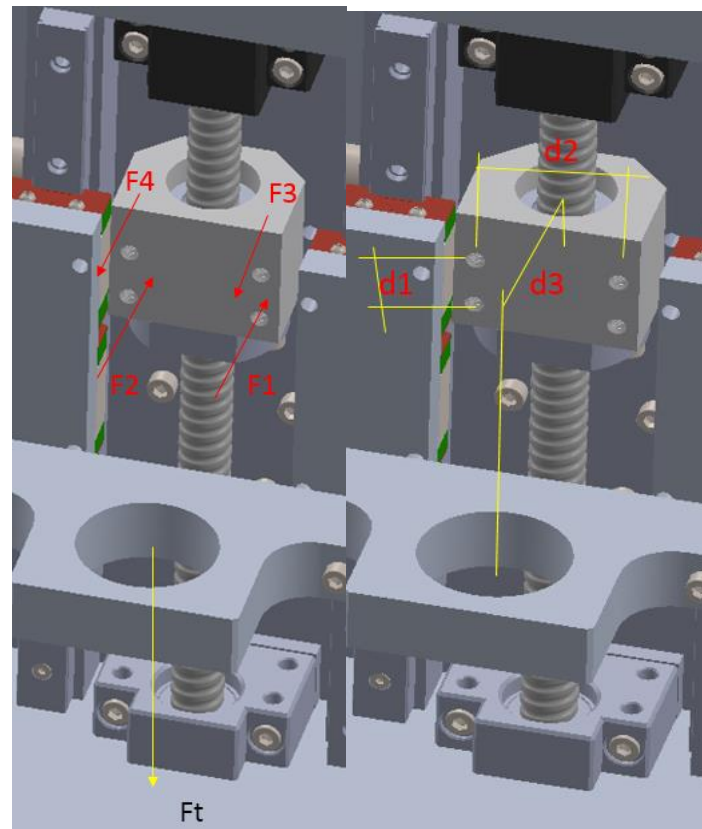


Imagen 50. Indicación de fuerzas y distancias

Para el sistema en equilibrio, se puede realizar un sumatorio de momentos, con el fin de calcular las fuerzas ejercidas en el soporte - carro del tornillo sin fin sobre cada guía, obteniendo las siguientes expresiones:

$$F_1 = F_2 = - \frac{F_t}{2} * \left(\frac{d_3}{d_1} \right)$$

$$F_3 = F_4 = - \frac{F_t}{2} * \left(\frac{d_3}{d_1} \right)$$

Primero se calcula la fuerza total ejercida por el soporte — carro del tornillo sin fin:

$$F_T = F_e + F_h + F_c$$

$F_e = 30 \text{ N}$ peso de la estructura apoyada en el soporte

$F_h = 19.6 \text{ N}$ peso del husillo

$F_c = 827.46 \text{ N}$ fuerza de corte

$$F_T = 30 \text{ N} + 19,6 \text{ N} + 827.46 \text{ N} = 877.06 \text{ N}$$

$$d_1(\text{mm}) = 80$$

$$d_3(\text{mm}) = 120$$

$$F_1 = F_2 = - \frac{877.064}{2} * \left(\frac{120}{80} \right) = -657.8 \text{ N}$$

$$F_3 = F_4 = - \frac{1704.53}{2} * \left(\frac{120}{80} \right) = 657.8 \text{ N}$$

carga máxima: $F = 657.8 \text{ N}$ generada en el soporte — carro del sistema mecánico eje Z.

Eje guías coordenada Z:

Los ejes guía del eje Z tiene un diámetro de 16 mm, se procede a comprobar que dicha elección fue acertada.

Por lo general el husillo de corte va a realizar el mecanizado en el punto más bajo de su recorrido, por lo tanto, se establecen las distancias: $d_1 = 10$ mm, $d_2 = 90$ mm, $d_3 = 150$ mm, en donde estarán distribuidas las diferentes fuerzas y

reacciones ejercidas en dichas guías, las cargas puntuales corresponden a $F = 657.8$ N, fuerza máxima a resistir en el sistema de transmisión ya descrito.

En la figura se muestra el diagrama de cuerpo libre para dichas guías.

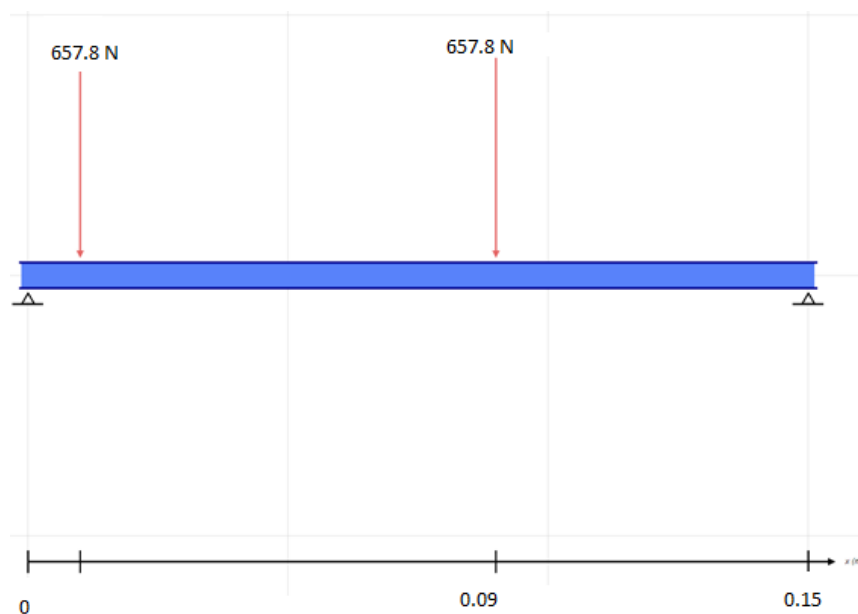


Imagen 51. DSL ejes guía eje Z

Con el diagrama de cuerpo libre del eje guía coordenada Z se procede a realizar los cálculos correspondientes para obtener las reacciones generadas. Utilizando sumatoria de momentos y sumatoria de fuerzas en el eje Y, se obtiene:

$$\sum M_A = 0$$

$$-(F * d_1) + (F * (d_1 + d_2)) - (R_2 * (d_1 + d_2 + d_3)) = 0$$

$$R_2 = \frac{(F * (d_1 + d_2)) - F * d_1}{d_1 + d_2 + d_3} = \frac{F * d_2}{d_1 + d_2 + d_3}$$

$$R_2 = \frac{657.8 * 90}{10 + 90 + 150} = 236.8 \text{ N}$$

$$\sum F_y = 0$$

$$R_1 - F + F - R_2 = 0$$

$$R_1 = R_2$$

$$R_1 = 236.8 \text{ N}$$

Con los valores obtenidos de las reacciones generadas se procede a realizar los cálculos y diagramas de fuerza cortante y momento flector correspondientes.

Corte 1:

$$V = 236.8 \text{ N}$$

$$M = 236.8 (x); \quad x = 0.025 \text{ m}$$

$$M = 236.8 * (0.025) = 5.92 \text{ N. m}$$

Corte 2:

$$V = 236.8 - 657.8 = -421 \text{ N}$$

$$M = 236.8(x) - 657.8 (x - 0.025)$$

$$M = -421 (x) + 16.445; \quad x = 0.09 \text{ m}$$

$$M = -421 (0.09) + 16.445 = -21.445 \text{ N. m}$$

Corte 3:

$$V = 236.8 - 657.8 + 657.8 = 236.8 \text{ N}$$

$$M = 236.8(x) - 657.8 (x - 0.025) + 657.8 (x - 0.09)$$

$$M = 236.8(x) - 42.757; \quad x = 0.18 \text{ m}$$

$$M = 236.8(0.18) - 42.757 = 0 \text{ N. m}$$

Con los resultados conseguidos se realizan los diagramas de fuerza cortante y momento flector correspondientes, como se muestra en la figura, de estas gráficas se seleccionan los valores críticos que deberán soportar las guías en su funcionamiento.

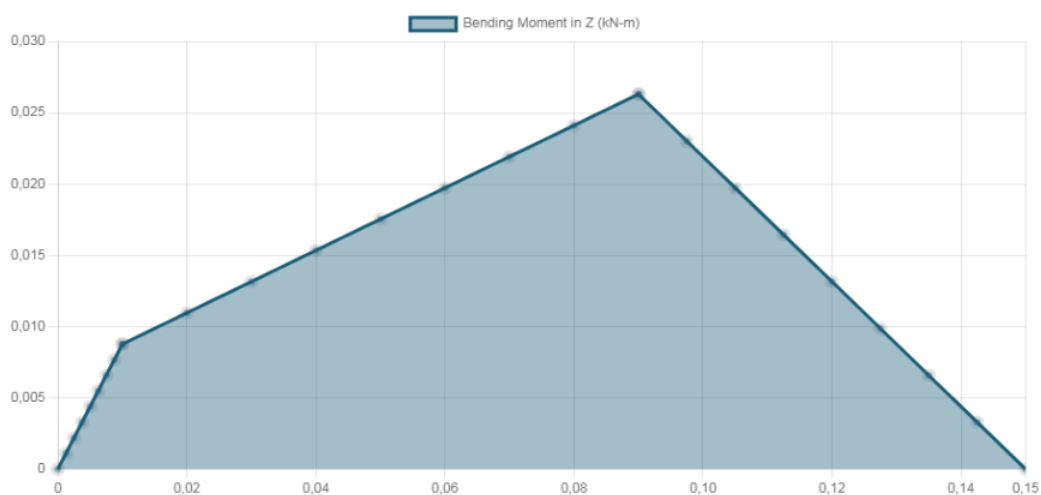


Imagen 52. Momento eje Z

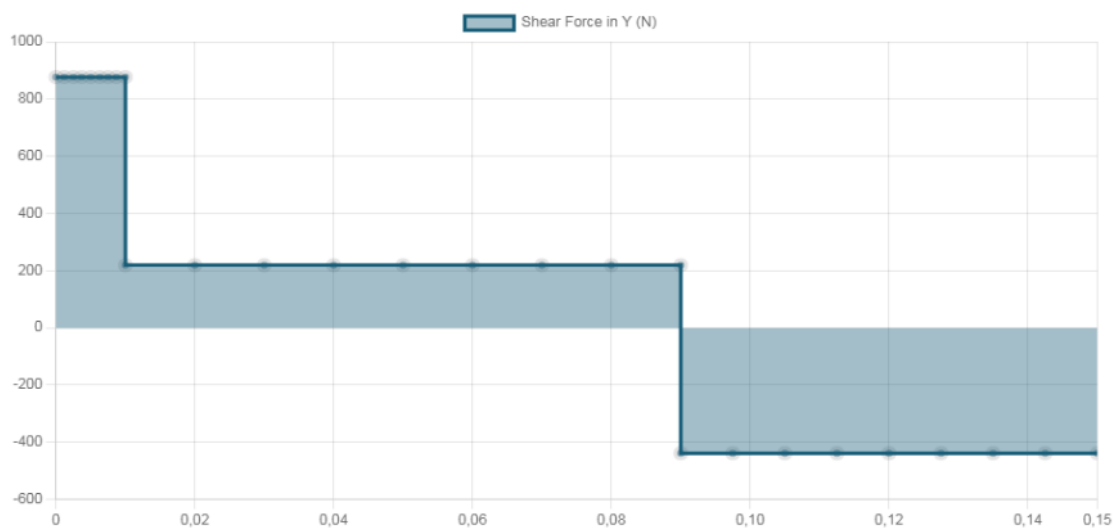


Imagen 53. Momento eje Y

Se escoge el valor máximo de momento flector que se produce en los ejes guías: $M = 42.757 \text{ N.m}$.

El esfuerzo normal máximo que soporta el material de los ejes guías se determina con la expresión:

$$\sigma_{\max} = \frac{Sy}{n}$$

$$\text{Resistencia a la fluencia del material } Sy = 310 \frac{N}{mm^2}$$

Suponiendo un factor de seguridad $n = 1$

$$\sigma_{\max} = \frac{Sy}{n} = 310 \frac{N}{mm^2}$$

Se calcula el módulo de resistencia del material seleccionado con la fórmula:

$$S = \frac{M}{\sigma_{\max}} = \frac{42.757}{310} = 137.93 \text{ mm}$$

$$M = 42.75 \text{ Nm [Momento flector máximo generado]}$$

$$S = 137.93 \text{ mm}^3$$

El diámetro del eje guía se lo determina con la siguiente expresión:

$$Dg = \sqrt[3]{\frac{32 * S}{\pi}} = 11.2 \text{ mm}$$

Para soportar los esfuerzos tendría que tener un diámetro mínimo de 11.2 mm, contando nuestro eje con un diámetro de 16 mm por lo que soportaría los esfuerzos.

Diseño del sistema horizontal eje Y

El sistema mecánico que constituye el eje Y se muestra en la imagen, las medidas de las diferentes partes que forman dicho sistema se establecen de acuerdo a los requerimientos dimensionales de la máquina para esta coordenada y de manera proporcional al tamaño de los elementos ya diseñados para el sistema eje Z

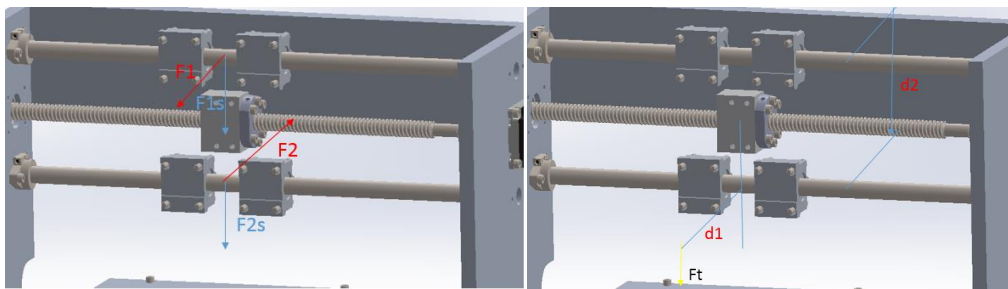


Imagen 54. Indicación de fuerzas y distancias

Cada eje guía va a presentar una carga normal y una carga lateral debido a las fuerzas aplicadas durante su funcionamiento. Con el fin de calcular las cargas generadas, conservando la relación de distancias y fuerzas entre dichas guías, se realiza sumatoria de fuerzas y momentos obteniendo las expresiones siguientes:

$$F1 = Ft * \frac{d2}{d1}$$

$$F2 = - Ft * \frac{d2}{d1}$$

$$F1s = F2s = Ft$$

La fuerza total aplicada es igual a la suma del peso de la estructura que soporta (sistema eje Z) más el peso del husillo y la fuerza de corte.

$$FT = Fe + Fh + Fc$$

Peso de la estructura $F_e = 40 \text{ N}$

$$F_h(N) = 19.6 [\text{Peso del husillo de corte}]$$

$$F_c(N) = 827.46 [\text{Fuerza de corte}]$$

$$F_T = 827.464 \text{ N} + 19.6 \text{ N} + 40 \text{ N} = 887.06 \text{ N}$$

$$d_1(\text{mm}) = 500$$

$$d_2(\text{mm}) = 200$$

$$F_1 = F_t * \frac{d_2}{d_1} = 887.064 * \frac{200}{500} = 354.82 \text{ N}$$

$$F_1 = F_t * \frac{d_2}{d_1} = -887.464 * \frac{200}{500} = -354.82 \text{ N}$$

$$F_{1s} = F_{2s} = 354.82 \text{ N}$$

Ejes guías coordenada Y:

Para las guías de la coordenada X se van a utilizar ejes redondos de acero. Para realizar los cálculos correspondientes se establece que la carga máxima aplicada en cada eje guía va a estar ubicada en la mitad de la longitud total de las mismas, por lo que se dispone la distancia: $d = 250 \text{ mm}$, en donde estará aplicada dicha fuerza y que corresponde a $F = 354.825 \text{ N}$, carga máxima a resistir por dichos ejes guías en el sistema de transmisión descrito.

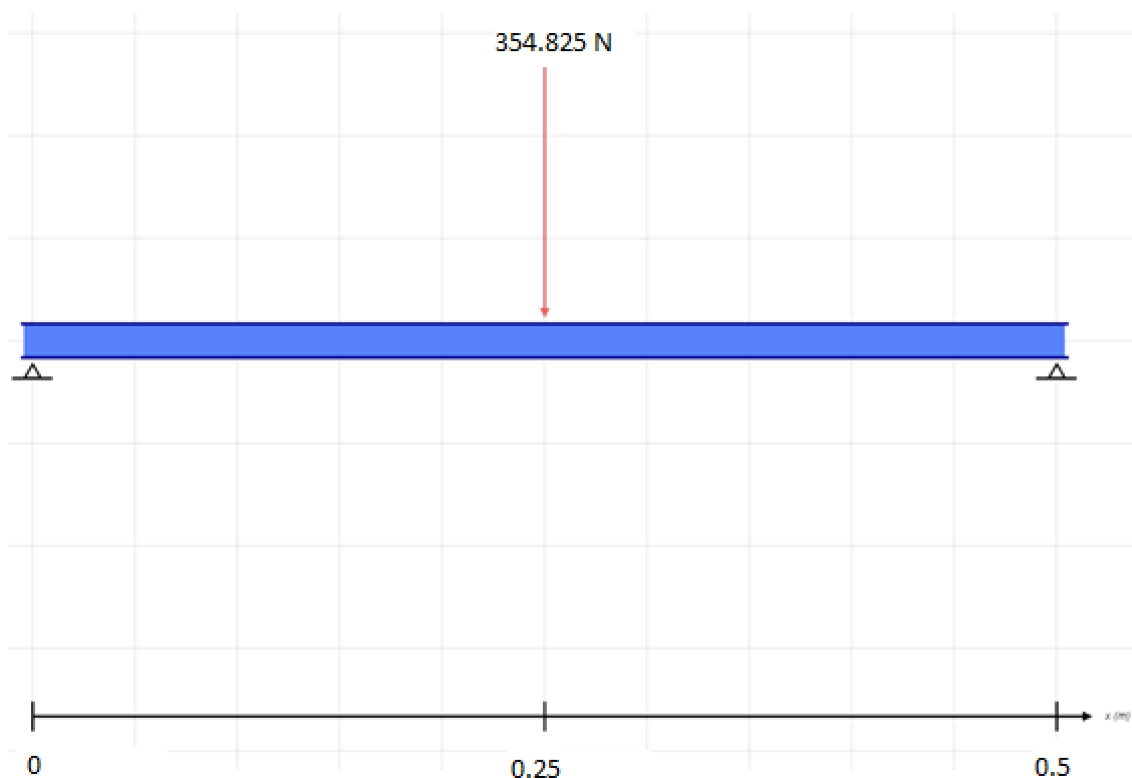


Imagen 56. DSL

Con el diagrama de cuerpo libre, se realizan los cálculos correspondientes para obtener las reacciones generadas. Utilizando sumatoria de momentos y sumatoria de fuerzas se obtiene:

$$\sum M_A = 0$$

$$-(F * d) + R_2 * (d + d) = 0$$

$$R_2 = \frac{354.825}{2} = 177.41 \text{ N}$$

$$\sum F_y = 0$$

$$R_1 - F + R_2 = 0$$

$$R_1 = F - R_2$$

$$R_1 = 354.82 \text{ N} - 177.41 \text{ N} = 177.41 \text{ N}$$

Con los valores obtenidos se procede a realizar los cálculos y diagramas de fuerza cortante y momento flector correspondientes.

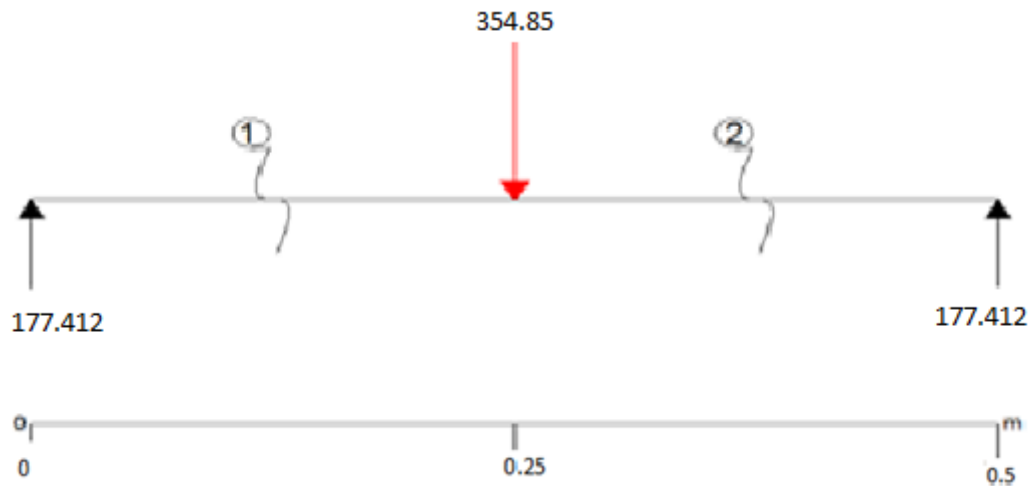


Imagen 57. Diagrama

Se muestra el diagrama de cuerpo libre del eje guía coordenada X con los puntos donde se van a realizar los cortes para el análisis de fuerzas y momentos respectivo.

Corte 1:

$$V = 177.41 \text{ N}$$

$$M = 177.41 (x); \quad x = 0.25 \text{ m}$$

$$M = 177.41 (0.25) = 44.35 \text{ N. m}$$

Corte 2:

$$V = 839.38 - 1678.76 = -839.38 \text{ N}$$

$$M = 839.38 (x) - 1678.76(x - 0.25)$$

$$M = -839.38 (x) + 419.69; \quad x = 0.5 \text{ m}$$

$$M = -839.38 (0.5) + 419.69 = 0 \text{ N. m}$$

Con los resultados obtenidos se realizan los diagramas de fuerza cortante y momento flector correspondientes y de estas gráficas se seleccionan los valores críticos a soportar por los ejes guías durante su funcionamiento.

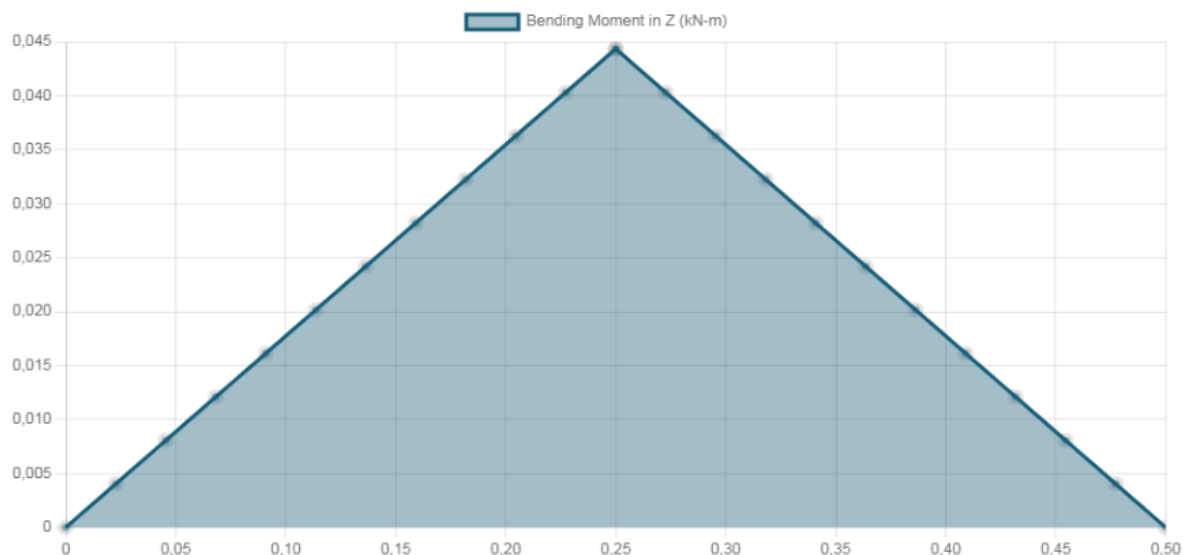


Imagen 58. Momento en Z

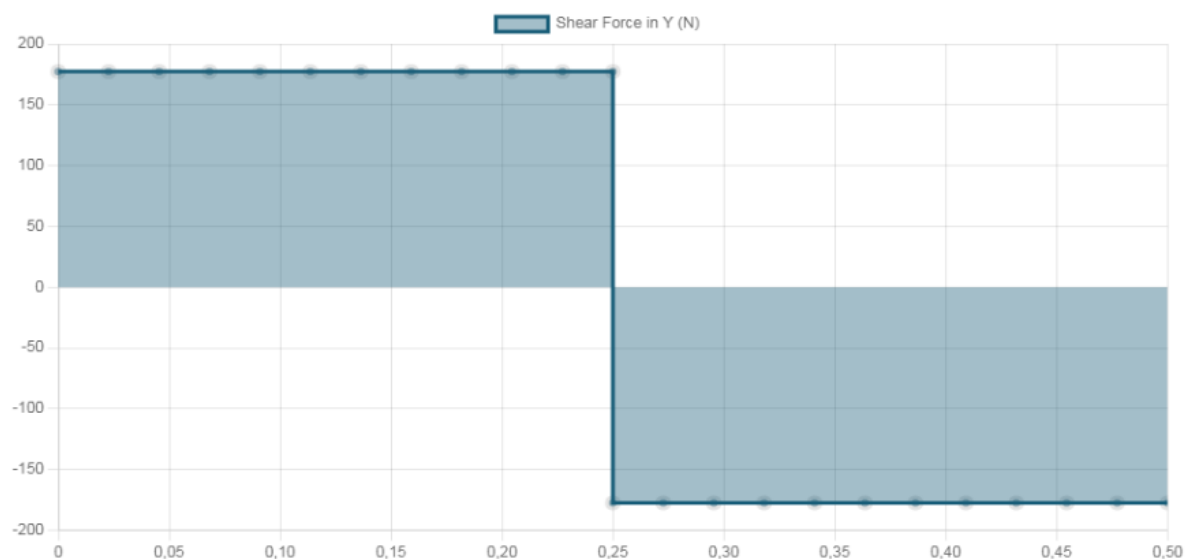


Imagen 59. Momento en Y

Se selecciona el valor máximo de momento flector producido en los ejes guías:
 $M = 44.35 \text{ N.m.}$

El esfuerzo normal máximo soportado por el material de los ejes guías es igual a:

$$\sigma_{max} = 310 \frac{N}{mm^2}$$

Se calcula el módulo de resistencia del material seleccionado con la fórmula:

$$S = \frac{M}{\sigma_{max}}$$

$M = 44.353 \text{ Nm}$ [*Momento flector máximo generado*]

$$S = 143.07 \text{ mm}^3$$

El diámetro del eje guía se lo determina con la siguiente expresión:

$$D_g = \sqrt[3]{\frac{32 * S}{\pi}} = 11.33 \text{ mm}$$

Para soportar los esfuerzos recibidos el diámetro de los ejes guía tendría que ser mínimo de 11.33mm siendo los del modelo real 16 mm, por lo que las dimensiones cumplen.

Cálculo del tornillo de potencia coordenada Y:

Para el diseño del tornillo de potencia, se considera que el material empleado en su construcción es el acero.

La fuerza que soporta el tornillo es igual a:

$$F_T = F_e + F_h + F_c$$

Peso de la estructura $F_e = 40 \text{ N}$

$$F_h(N) = 19.6 [\text{Peso del husillo de corte}]$$

$$F_c(N) = 827.46 [\text{Fuerza de corte}]$$

$$F_T = 827.46 \text{ N} + 40 \text{ N} + 19.6 \text{ N} = 887.06 \text{ N}$$

El área transversal del tornillo de potencia se la calcula despejando de la siguiente expresión:

$$\frac{\sigma}{n} = \frac{F_t}{A}$$

$$F_T(N) = 887.06 [\text{Fuerza total de carga}]$$

$$\sigma \text{ esfuerzo admisible del material} = 6.89 \text{ Mpa}$$

$$A = \frac{F_t * n}{\sigma} = \frac{887.064}{6,894} = 128.67 \text{ mm}^2$$

El diámetro del tornillo de potencia se lo calcula con la fórmula:

$$Dt = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}} = 12.8 \text{ mm}$$

Para soportar los esfuerzos recibidos el diámetro del tornillo de potencia tendría que ser superior o igual a 12.8 mm, en nuestro caso el diámetro del mismo es de 16 mm .

Diseño del sistema horizontal eje X

La fuerza total aplicada en el sistema de transmisión de potencia es igual a la suma del peso de la estructura que soporta (sistema eje Z y Y) más el peso del husillo y la fuerza de corte.

$$F_T = F_e + F_h + F_c$$

Peso de la estructura $F_e = 107 \text{ N}$

$$F_h(N) = 19.6 [\text{Peso del husillo de corte}]$$

$$F_c(N) = 827.46 [\text{Fuerza de corte}]$$

$$F_T = 827.464 \text{ N} + 107 \text{ N} + 19.6 \text{ N} = 954.06 \text{ N}$$

Esta fuerza se distribuye entre los 2 apoyos guía sobre los que se apoya la parte del puente, por lo que cada uno soportará la mitad de esa fuerza aplicada

$$F_t' = \frac{F_t}{2} = \frac{954.06}{2} = 477.03 \text{ N}$$

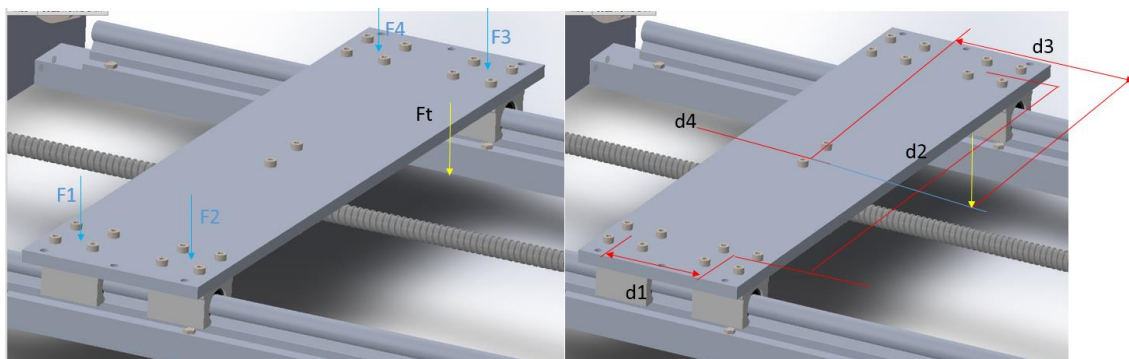


Imagen 60. Indicación de fuerzas y distancias

En el sistema se van a presentar cargas normales, una en cada punto de contacto, debido al peso de la estructura que deben soportar y la fuerza de corte aplicada durante el funcionamiento de la máquina, para calcular dichas cargas generadas, conservando la relación de distancias y fuerzas entre los puntos de contacto, se realiza sumatoria de fuerzas y momentos obteniendo las siguientes expresiones:

$$F1 = F4 = \frac{Ft'}{4} - \frac{Ft'}{2} * \left(\frac{d3}{d1} + \frac{d4}{d2} \right)$$

$$F2 = F3 = \frac{Ft'}{4} + \frac{Ft'}{2} * \left(\frac{d3}{d1} - \frac{d4}{d2} \right)$$

$$d1(mm) = 70$$

$$d2(mm) = 461$$

$$d3(mm) = 80$$

$$d4(mm) = 0$$

$$F1 = F4 = \frac{Ft'}{4} - \frac{Ft'}{2} * \left(\frac{d3}{d1} + \frac{d4}{d2} \right)$$

$$F1 = F4 = \frac{477.032}{4} - \frac{477.032}{2} * \left(\frac{80}{70} + \frac{0}{461} \right) = -153.33 \text{ N}$$

$$F2 = F3 = \frac{Ft'}{4} + \frac{Ft'}{2} * \left(\frac{d3}{d1} - \frac{d4}{d2} \right)$$

$$F2 = F3 = \frac{477.032}{4} + \frac{477.032}{2} * \left(\frac{80}{70} - \frac{0}{461} \right) = 391.84 \text{ N}$$

Ejes guías coordenada X:

Para las guías de la coordenada Y se utilizan ejes redondos de acero, la carga aplicada en cada eje guía va a estar ubicada en los puntos de contacto, por lo que se disponen las distancias: $d_1 = d_3 = 320 \text{ mm}$ y $d_2 = 70 \text{ mm}$, en donde estarán aplicadas dichas fuerzas que corresponden a $F_2 = 391.84 \text{ N}$ y $F_1 = -153.33$, cargas a resistir por dichos ejes guías.

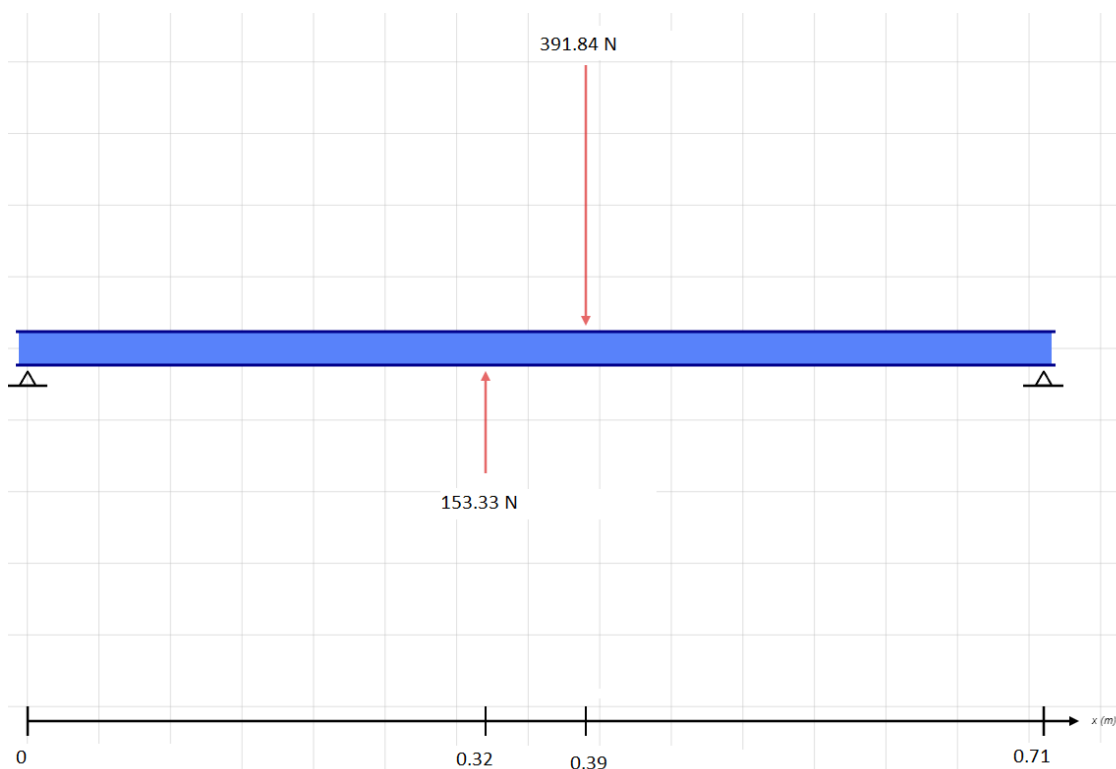


Imagen 61. Diagrama

Se muestra el diagrama de cuerpo libre del eje guía coordenada X, utilizando sumatoria de momentos y sumatoria de fuerzas se obtiene:

$$\sum M_A = 0$$

$$-(F1 * d_1) - (F2 * (d_1 + d_2)) + R_2 * (d_1 + d_2 + d_3) = 0$$

$$R_2 = \frac{F1 * d_1 + F2 * (d_1 + d_2)}{d_1 + d_2 + d_3}$$

$$R_2 = \frac{(-153.33) * 320 + 391.84 * (320 + 70)}{320 + 70 + 320}$$

$$R_2 = 146.13 \text{ N}$$

$$\sum F_y = 0$$

$$R_1 + F1 - F2 + R_2 = 0$$

$$R_1 = + F1 - F2 - R_2$$

$$R_1 = - 153.33 + 391.84 - 146.3 \text{ N} = 92.21 \text{ N}$$

Con los resultados obtenidos se procede a realizar los cálculos y diagramas de fuerza cortante y momento flector correspondientes.

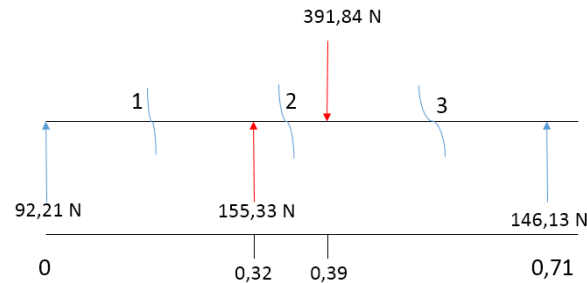


Imagen 62. Diagrama

Se muestra el diagrama de cuerpo libre para el eje guía de la coordenada X, con los puntos donde se van a realizar los cortes para el análisis de fuerzas y momentos respectivo.

Corte 1:

$$V = 92.21 \text{ N}$$

$$M = 92.21(x); \quad x = 320 \text{ mm}$$

$$M = 92.21(0,32) = 29.5 \text{ N} \cdot m$$

Corte 2:

$$V = 92.21 + 155.33 = 247.54 \text{ N}$$

$$M = 92.21(x) + 155.33(x - 0,32)$$

$$M = 92.21(x) + 155.33(x) - 49.7$$

$$M = 46.84 \text{ N} \cdot m$$

Corte 3:

$$V = 92.21 + 155.33 - 391.84 = -146.13 \text{ N}$$

$$M = 92.21(x) + 155.33(x - 0,32) - 391.84(x - 0,39)$$

$$M = 92.21(x) + 155.33(x) - 391.84(x) + 102.5x = 0,71 \text{ m}$$

$$M = -144.3(0,71) + 102.5 = 0 \text{ N} \cdot m$$

Con los resultados calculados se realizan los diagramas de fuerza cortante y momento flector correspondientes y se seleccionan los máximos valores a soportar por los ejes guías durante su funcionamiento.

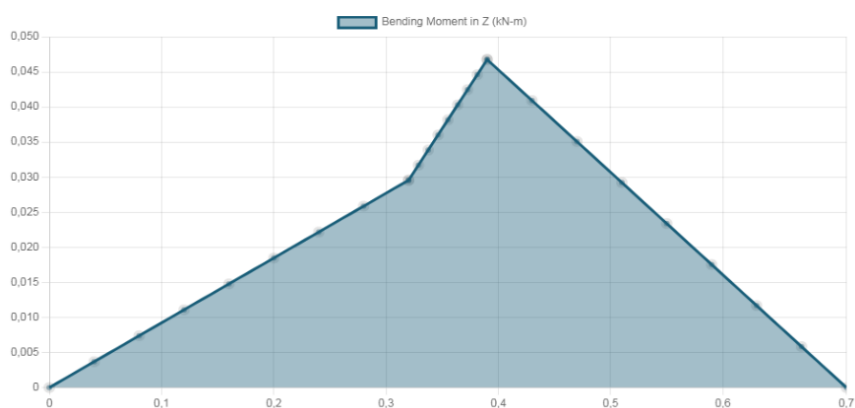


Imagen 63. Momento eje Z

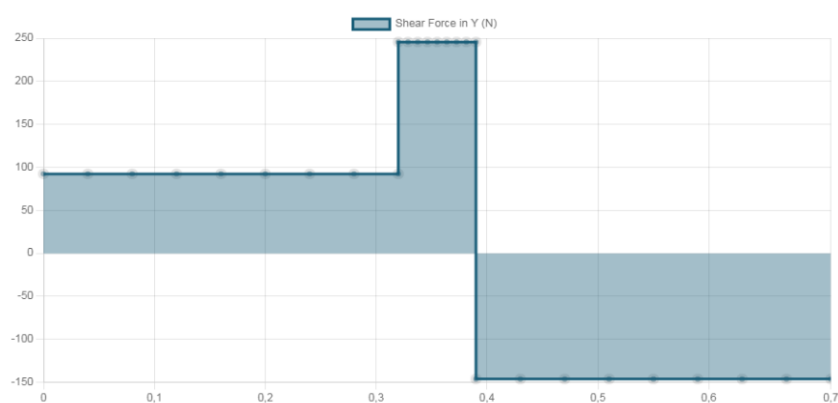


Imagen 64. Momento eje Y

se selecciona el valor máximo de momento flector producido en los ejes

guías: $M = 46.84 \text{ N.m.}$

El esfuerzo normal máximo soportado por el material de los ejes guías y calculado en la sección es igual a:

$$\sigma_{max} = 310 \frac{N}{mm^2}$$

Se calcula el módulo de resistencia del material seleccionado con la fórmula:

$$S = \frac{M}{\sigma_{max}}$$

$$M = 46.84 \text{ Nm [Momento flector máximo generado]}$$

$$S = 151.1 \text{ mm}^3$$

El diámetro del eje guía se lo determina con la siguiente expresión:

$$Dg = \sqrt[3]{\frac{32 * S}{\pi}} = 11.54 \text{ mm}$$

Para soportar los esfuerzos recibidos el diámetro de cada eje guía tendría que ser superior o igual a 11.54 mm, en nuestro caso se dimensionaron los ejes guía de 16 mm.

Cálculo del tornillo de potencia coordenada X:

Para el diseño del tornillo de potencia, se considera que el material empleado en su construcción es el acero.

La fuerza que soporta el tornillo será igual a:

$$F_T = F_e + F_h + F_c$$

Peso de la estructura $F_e = 120 \text{ N}$

$$F_h(N) = 19.6 [\text{Peso del husillo de corte}]$$

$$F_c(N) = 827.46 [\text{Fuerza de corte}]$$

$$F_T = 120 \text{ N} + 19.2 \text{ N} + 827.46 \text{ N} = 966.66 \text{ N}$$

El área transversal del tornillo de potencia se la calcula despejando de la siguiente expresión:

$$\frac{\sigma}{n} = \frac{F_t}{A}$$

$$F_T(N) = 966.66 [\text{Fuerza total de carga}]$$

$$\sigma \text{ esfuerzo admisible del material} = 6,89 \text{ Mpa}$$

$$A = \frac{F_t * n}{\sigma} = \frac{966.664}{6.894} = 140.2 \text{ mm}^2$$



El diámetro del tornillo de potencia se lo calcula con la fórmula:

$$Dt = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}} = 13.36 \text{ mm}$$

Para soportar los esfuerzos recibidos el diámetro del tornillo de potencia tendría que ser superior o igual a 13.36 mm, en nuestro caso el diámetro del mismo es de 16 mm.



Universidad
Zaragoza



**Escuela de
Ingeniería y Arquitectura**
Universidad Zaragoza

TRABAJO FIN DE GRADO

TÍTULO:

DISEÑO DE UNA MAQUINA FRESADORA DE 3 EJES PARA USO PARTICULAR

ANEXO III: SIMULACIÓN MEDIANTE SOLIDWORKS

Autor

Carlos Javier Ostariz Salas

Directores

Paula Canalís Martínez

Javier Abad Blasco

Escuela de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de Zaragoza 2023 - 2024



INDICE

1. INTRODUCCIÓN AL ANALISIS MEDIANTE EL METODO DE ELEMENTOS FINITOS	3
2. IMPLEMENTACIÓN CON SOLIDWORKS	4
2.1 Fases del estudio	4
2.2 Modelado	6
2.3 Apoyos, cargas y mallado	8
2.4 Visualización del estudio	11
3. ANÁLISIS REALIZADOS Y RESULTADOS	15



1. INTRODUCCIÓN AL ANALISIS MEDIANTE EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS

DEFINICIÓN

SOLIDWORKS es un software de diseño CAD 3D (diseño asistido por computadora) para modelar piezas y ensamblajes en 3D, así como planos en 2D. El software ofrece un abanico de soluciones para cubrir los aspectos implicados en el proceso de desarrollo del producto. Este producto ofrece la posibilidad de crear, diseñar, simular, fabricar, publicar y gestionar los datos del proceso de diseño.

El proceso de simulación de la máquina consta de varias partes, como definir la geometría y modelar cada una de las partes que componen la máquina y su respectivo ensamblaje entre sí.

Una vez está todo modelado, se procede a aplicar las cargas y establecer las condiciones de contorno, así como el tipo de contacto entre los componentes, teniendo en cuenta que hay que ser lo más preciso y realista posible, ya que a más difieran los resultados introducidos en el programa de los reales, más imprecisos serán los resultados obtenidos en el posterior análisis y estudio de los resultados.

Una vez estén definidos los anteriores puntos, se procede con el mallado de los elementos, contra más pequeño sea el tipo de malla, mayor será la exactitud de los resultados, pero también será mayor el tiempo que conlleve al programa ejecutar el análisis.

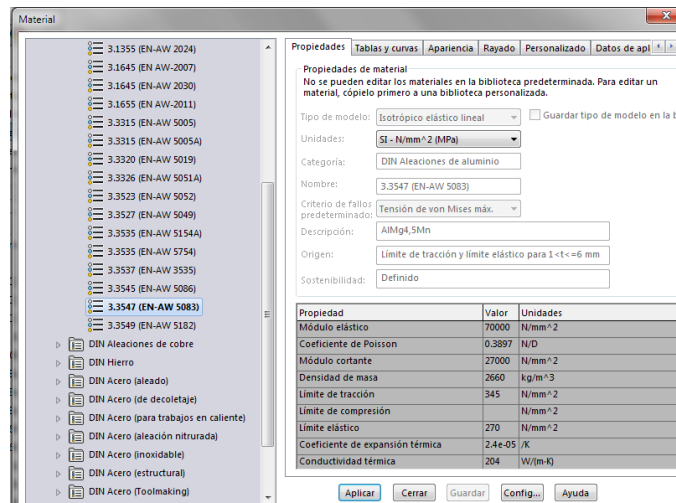
Por último, se define el tipo de material con el que están hechas las partes simuladas y se procede a ejecutar el estudio y visualizar los resultados. En este caso es un análisis estático, donde se visualizan tensiones, desplazamientos y el coeficiente de seguridad.

2. IMPLEMENTACIÓN CON SOLIDWORKS

2.1 FASES DEL ESTUDIO

1. Asignación de materiales:

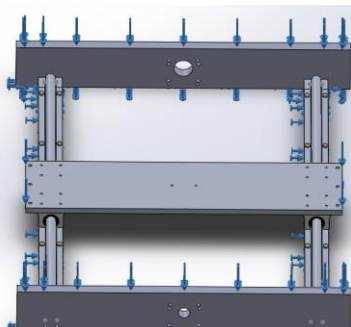
Como se ha indicado previamente el material utilizado es Aluminio 5083



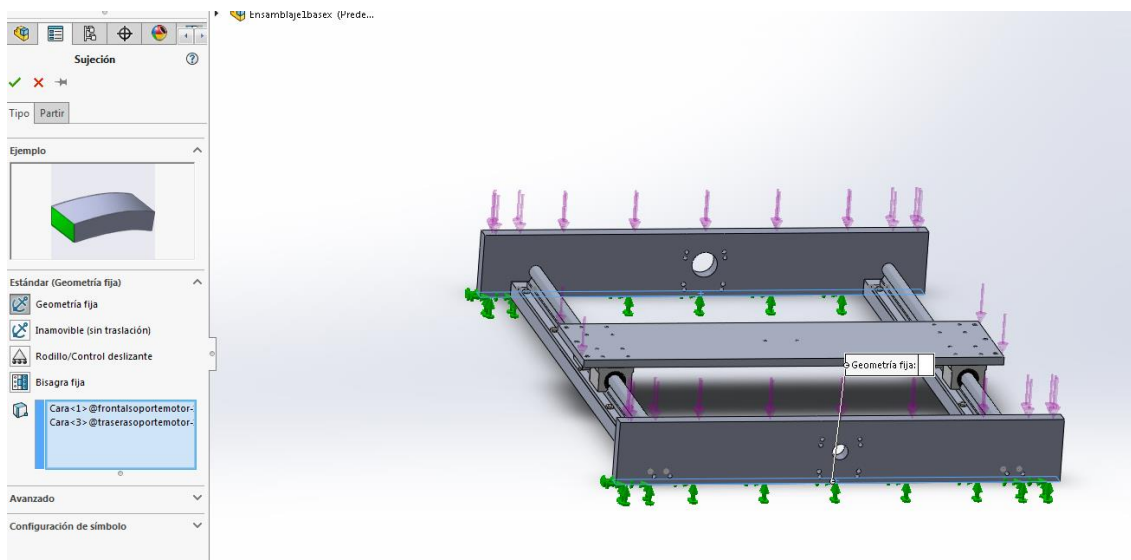
2. Conexiones y contacto entre los componentes:

Para este estudio se ha definido el tipo de contacto como unión rígida y contacto entre componentes, en caso de deformarse, no pueden colisionar entre ellos.

3. Definir las cargas y su posición:

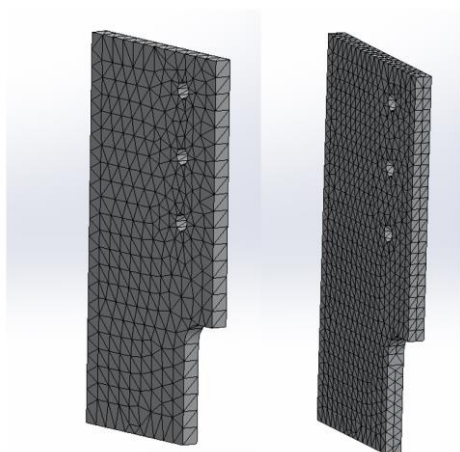


4. Restricciones



En la imagen se puede observar en que superficies están aplicadas las restricciones de movimiento y el tipo de apoyo que se quiera asignar.

5. Mallado



En la imagen se puede ver la comparativa entre un mayado más grueso y otro más fino de una misma pieza. Contra más fina sea la malla, mayor número de elementos habrá y por lo tanto será más preciso el estudio.

2.2 MODELADO

LATERAL DEL PUENTE

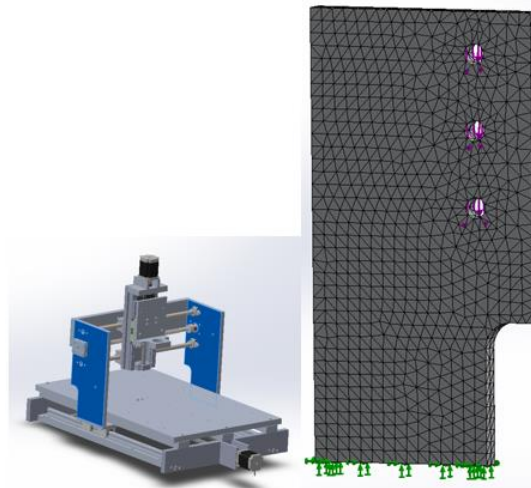


Imagen 77. Modelado y posición

SOPORTE DELANTERO MOTOR EJE X

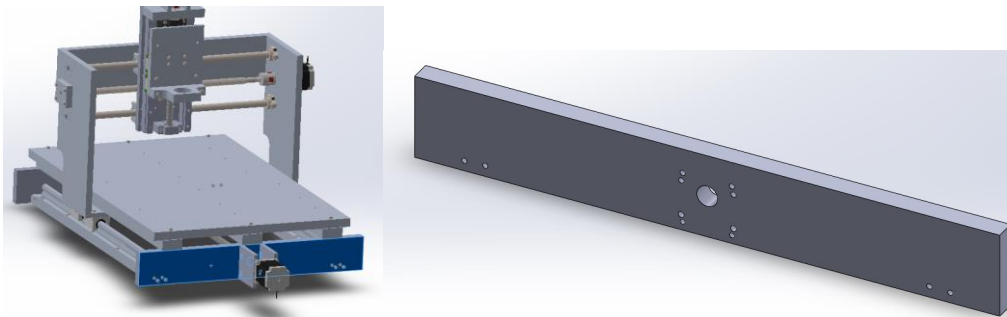


Imagen 78. Modelado y posición

PLACA APOYO EJE Y

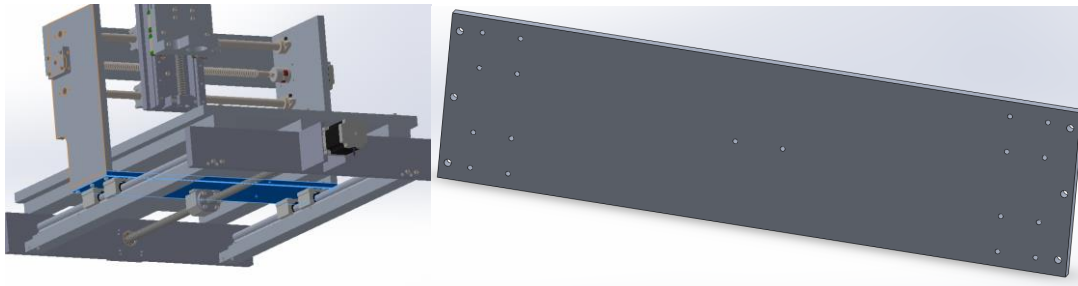


Imagen 79. Modelado y posición

PLACA CENTRAL EJE Z

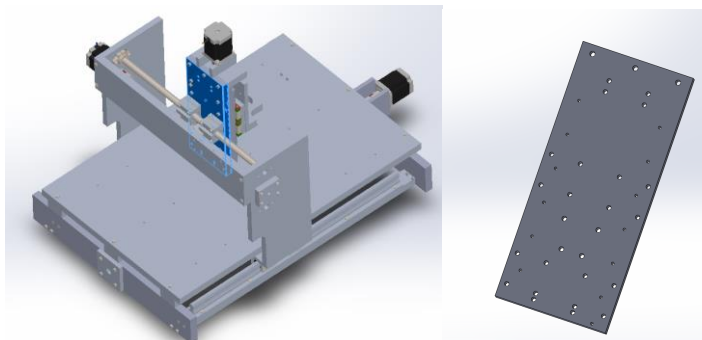


Imagen 80. Modelado y posición

2.3 APOYOS, CARGAS Y MALLADO

LATERAL DEL PUENTE

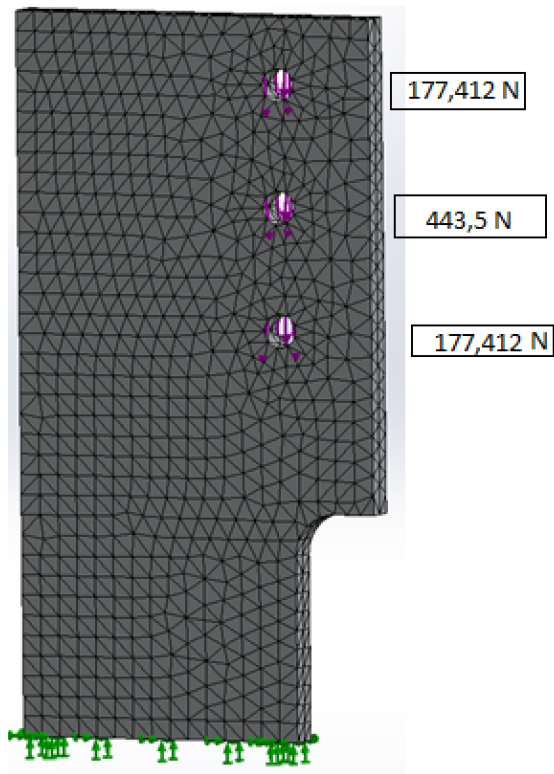


Imagen 81. Mallado y modelado

Condiciones de apoyo:

Impedido el desplazamiento de la parte inferior de la pieza ya que se encuentra unida a la "Placa apoyo eje Y".

Cargas aplicadas:

Los agujeros superior e inferior son los apoyos de los ejes guía del eje Y, aplicándose ahí las cargas debidas al propio peso de la estructura del eje Z y la fuerza de mecanizado

El agujero central es el apoyo del husillo encargado de transmitir el movimiento en todo el eje Y, recayendo sobre este la fuerza aplicada sobre dicho husillo.

SOPORTE DELANTERO MOTOR EJE X

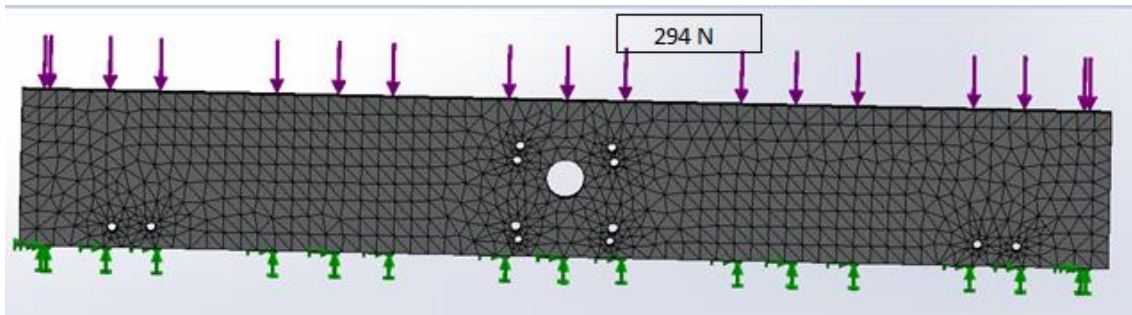


Imagen 82. Mallado y modelado

Condiciones de apoyo: impedido el desplazamiento de la parte inferior de la pieza ya que se encuentra apoyada sobre el suelo.

Cargas aplicadas:

En la parte superior de la pieza va apoyada la mesa de trabajo, que le transmitirá la carga asociada al propio peso de la pieza y la fuerza de mecanizado

PLACA APOYO EJE Y

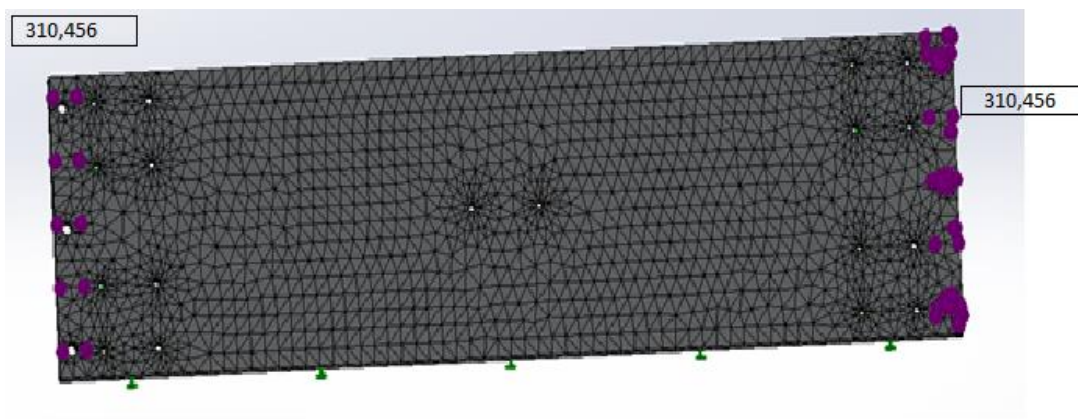


Imagen 83. Mallado y modelado

Condiciones de apoyo: impedido el desplazamiento de la parte trasera de la pieza ya que se encuentra unida a las guías del eje X y al propio husillo encargado de transmitir el movimiento del eje X.

Cargas aplicadas:

En los laterales de esta placa van alojados los laterales del puente, transmitiéndole toda la carga asociada al propio peso de la estructura y la fuerza de mecanizado

BASE EJE X

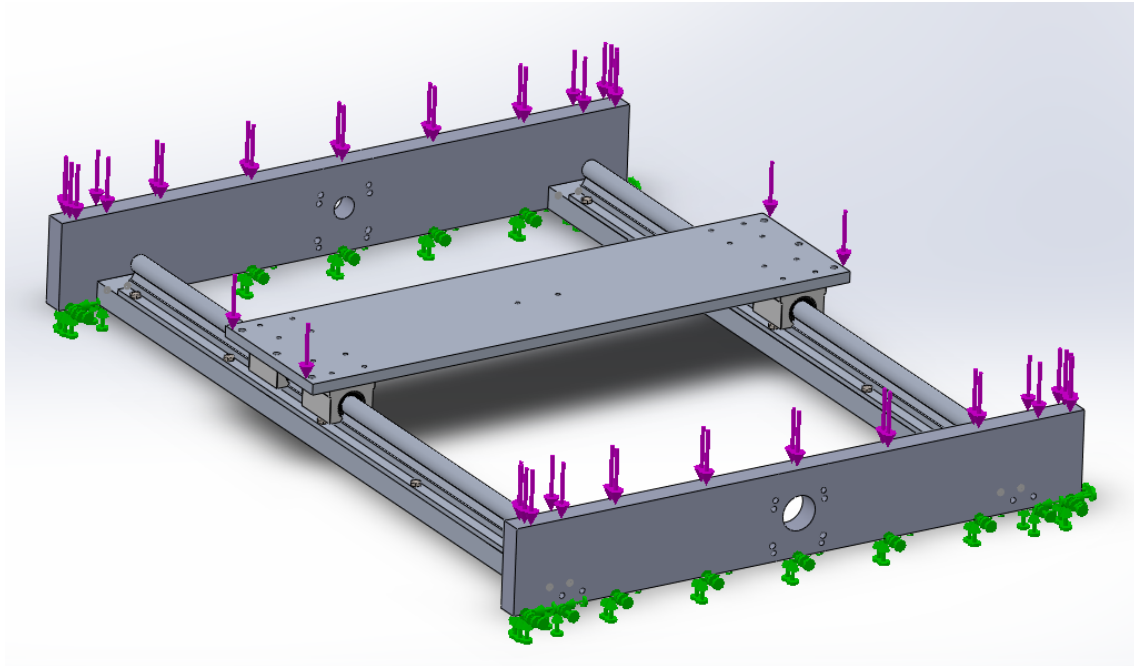


Imagen 84. Base eje X

2.4 VISUALIZACIÓN DEL ESTUDIO

LATERAL DEL PUENTE

TENSIONES

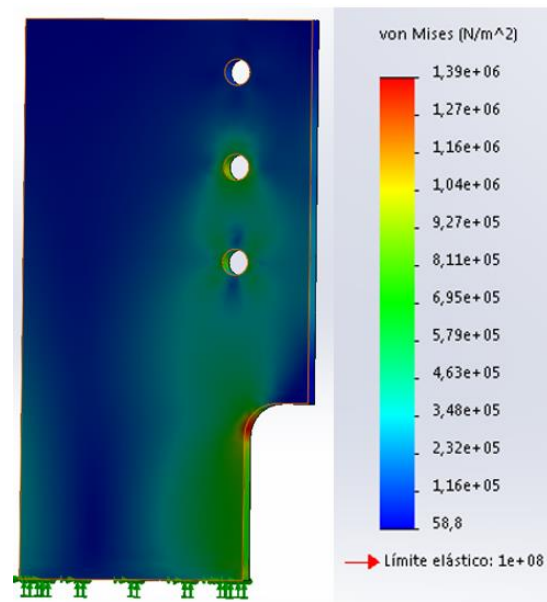


Imagen 85. Estado tensional

Como han quedado indicadas las cargas en el Anexo II, el valor teórico de las cargas aplicadas es :

Alojamiento ejes: 177,412 N

Alojamiento husillo: 443,5 N

DESPLAZAMIENTOS

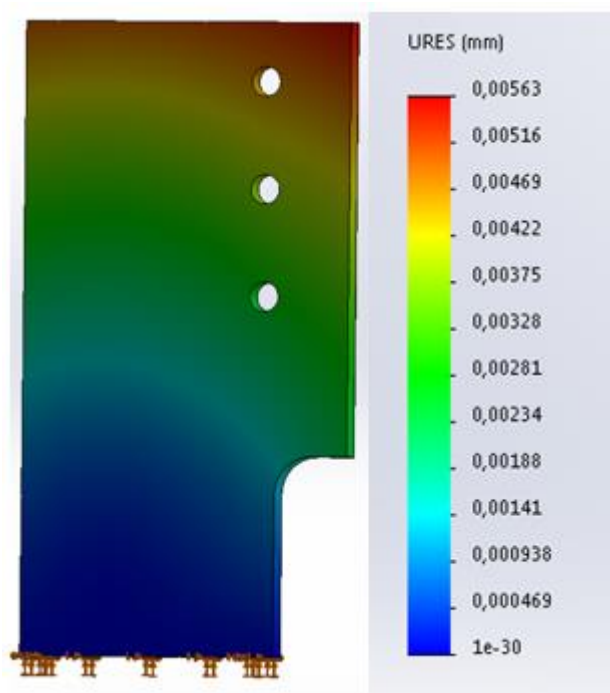


Imagen 86. Desplazamientos

FACTOR DE SEGURIDAD

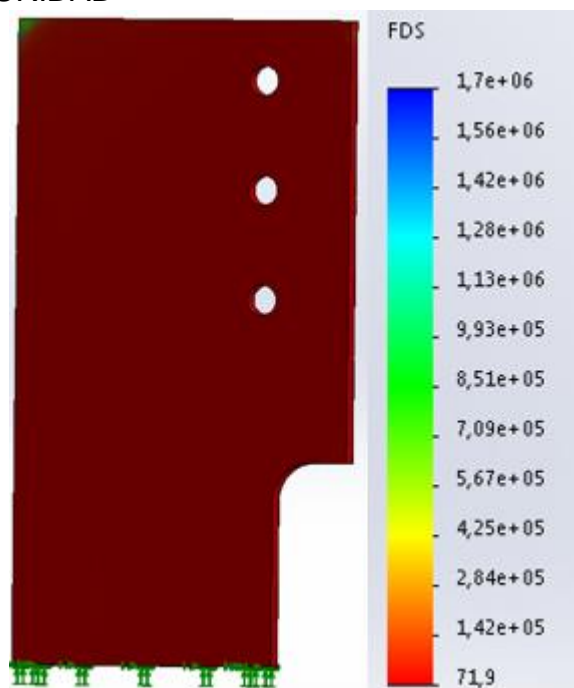


Imagen 87. Factor de seguridad

SOPORTE DELANTERO MOTOR EJE X

TENSIONES

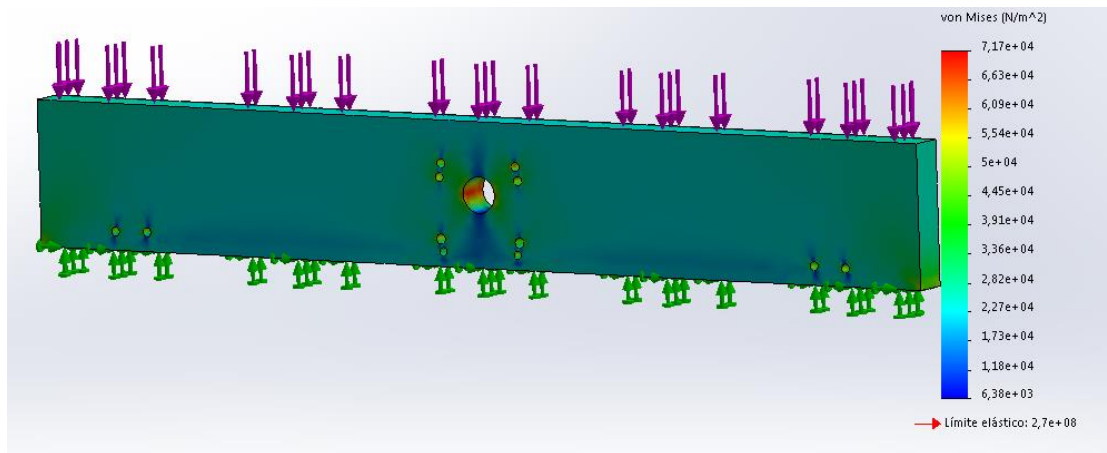


Imagen 88. Estado tensional

Como han quedado indicadas las cargas en el Anexo II, el valor teórico de las cargas aplicadas es :

Parte superior de la pieza: 294 N

DESPLAZAMIENTOS

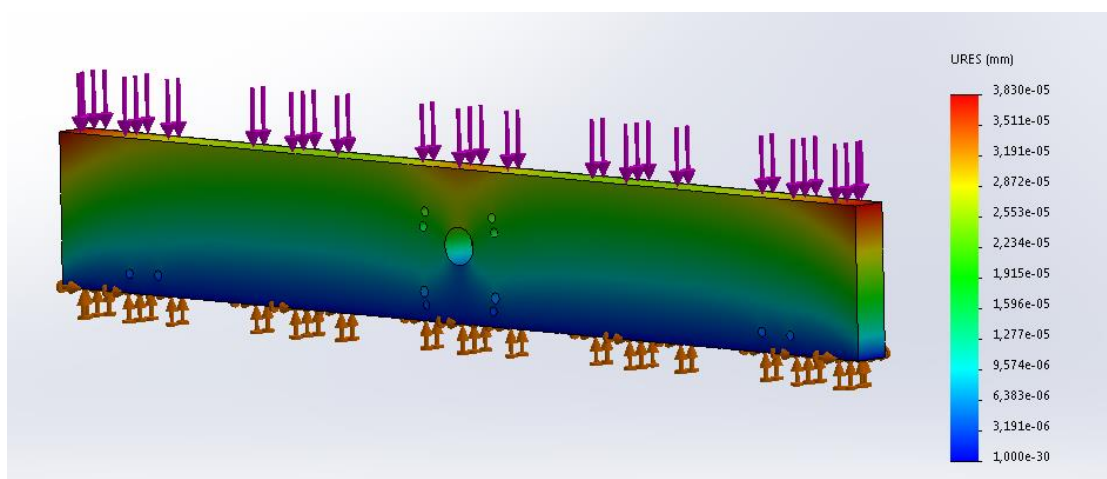


Imagen 89. Desplazamientos

PLACA APOYO EJE Y

TENSION

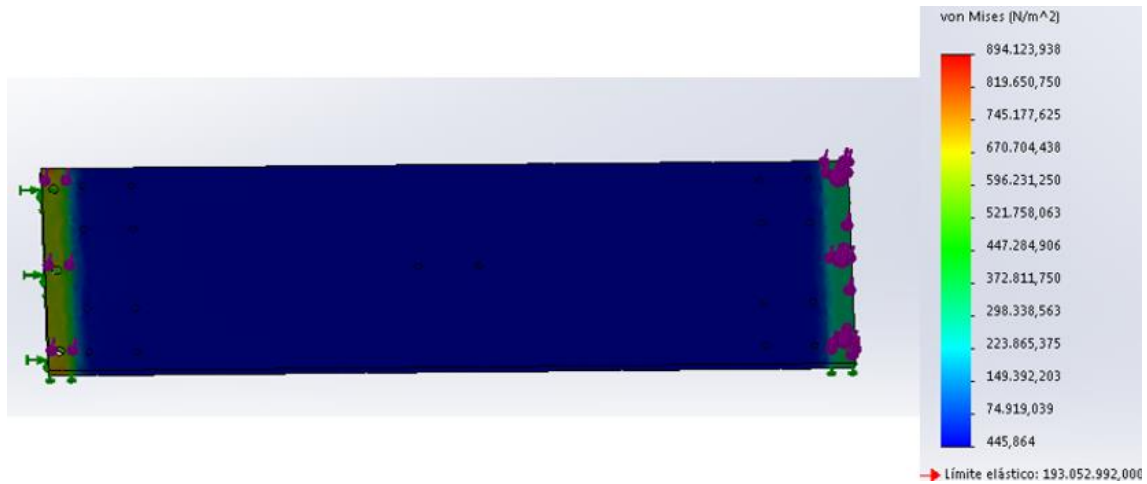


Imagen 90. Estado tensional

Como han quedado indicadas las cargas en el Anexo II, el valor teórico de las cargas aplicadas es: 310.456 N

DESPLAZAMIENTOS

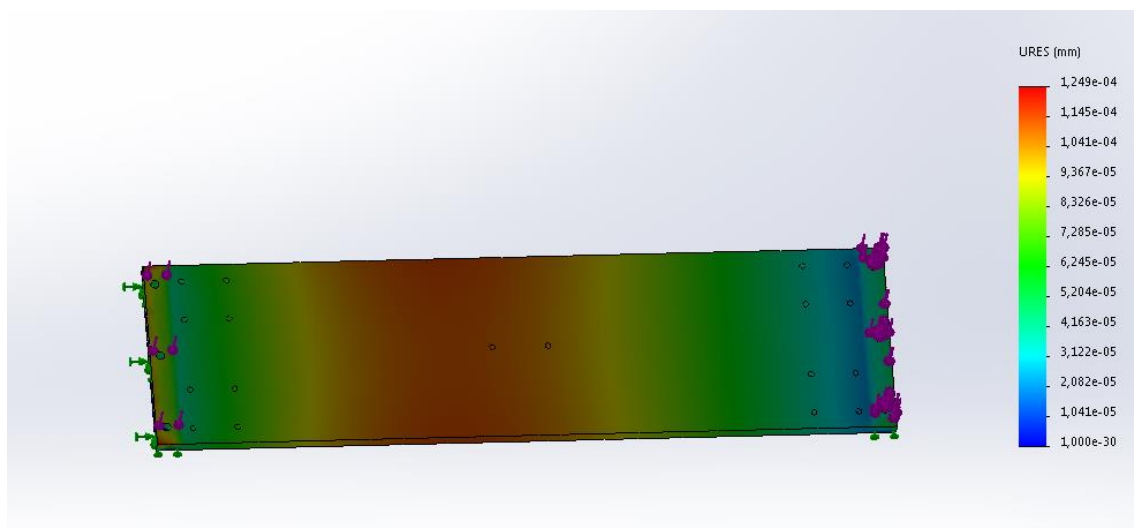


Imagen 91. Desplazamientos

3. RESULTADOS

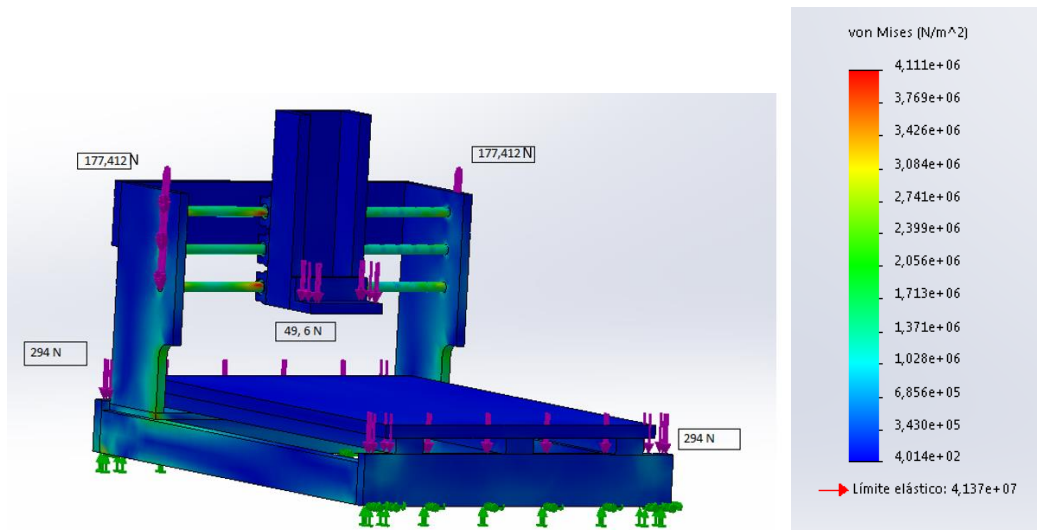


Imagen 92. Estado tensional

Podemos observar que gran parte de las tensiones las reciben los ejes guía, encontrándose su máximo en las zonas de unión con los laterales y cerca del punto de contacto de los rodamientos que soportan el eje Z con un valor máximo de $4.111 \times 10^6 \text{ N/m}^2 = 4.11 \text{ MPa}$. Se comprueba así que la maquina es bastante capaz de afrontar los esfuerzos que se le aplican, ya que, al ser para uso doméstico, no es requerida una gran potencia.

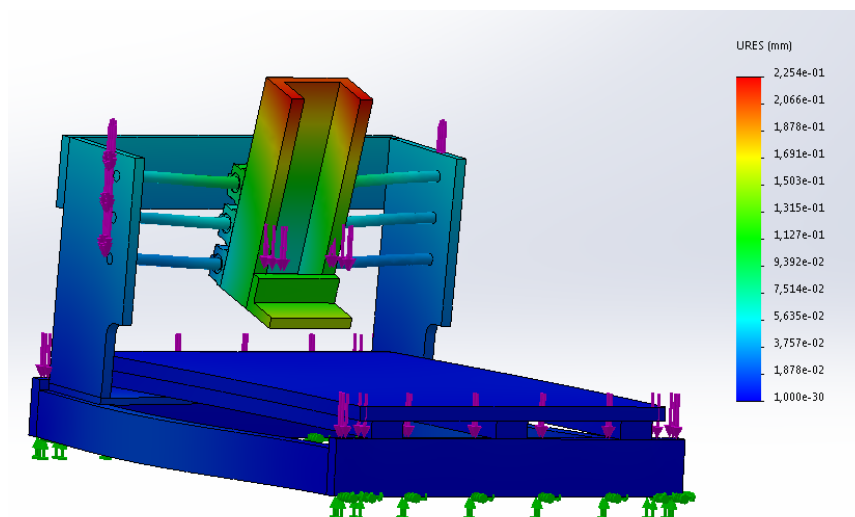


Imagen 93. Desplazamientos

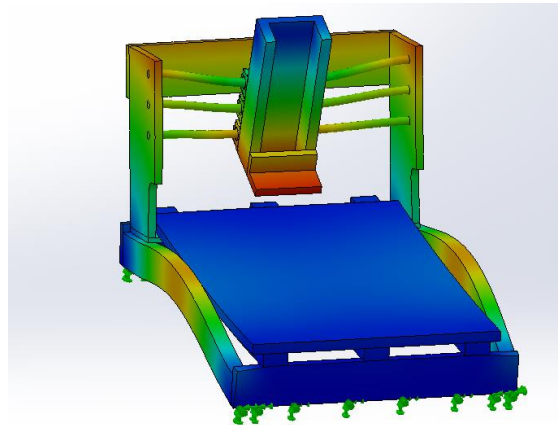


Imagen 94. Deformada de la estructura

A diferencia que las tensiones de Von Mises, los desplazamientos prácticamente se producen en el soporte del eje Z, tomando valores máximos en las zonas en las que se aloja la herramienta que mecaniza el material siendo la mayor deformación 0,225 mm.

Estas deformaciones son asumibles ya que, al no tratarse de una herramienta de precisión, ni mecanizar formas demasiado complejas, no impiden ni dificultan el correcto trabajo y comportamiento de la máquina.

Tanto los laterales de la máquina, como su base de apoyo reciben desplazamientos que podrían aproximarse a ser prácticamente nulos



Universidad
Zaragoza



**Escuela de
Ingeniería y Arquitectura**
Universidad Zaragoza

TRABAJO FIN DE GRADO

TÍTULO:

DISEÑO DE UNA MAQUINA FRESADORA DE 3 EJES PARA USO PARTICULAR

ANEXO IV : MOTORES, DRIVERS Y ELECTRÓNICA

Autor

Carlos Javier Ostariz Salas

Directores

Paula Canalís Martínez

Javier Abad Blasco

Escuela de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de Zaragoza 2023 - 2024

MOTORES, DRIVERS Y ELECTRÓNICA

La conexión de una máquina CNC (Control Numérico por Computadora) a un ordenador se realiza mediante un enlace físico y una comunicación electrónica.

Este es un pequeño resumen de cómo se va a establecer dicha conexión, en nuestro caso utilizando el puerto paralelo:

1. Puerto de comunicación: La mayoría de las máquinas CNC tienen un puerto de comunicación físico en la parte trasera o lateral de la máquina. Puerto paralelo: El puerto paralelo es un puerto de datos que permite la transferencia simultánea de múltiples bits de información entre la máquina CNC y el ordenador. Generalmente se encuentra en la parte trasera del ordenador y tiene un conector rectangular de 25 pines
2. Cable de conexión: Para establecer la comunicación entre la máquina CNC y el ordenador, se utiliza un cable adecuado que conecta el puerto paralelo de la máquina al puerto correspondiente en el ordenador. El cable debe tener un conector de 25 pines en cada extremo.
3. Configuración del software: Antes de establecer la conexión física, es necesario configurar el software de control de la máquina CNC en el ordenador. Este software es específico para cada máquina y permite al ordenador comunicarse con la máquina y enviar instrucciones. Al igual que con la conexión a través del puerto paralelo, se necesita configurar el software de control de la máquina CNC en el ordenador para que se comunique correctamente con la máquina. Este software también debe ser compatible con la comunicación a través del puerto paralelo. En nuestro caso utilizaremos el software MACH3.
4. Configuración de la máquina CNC: Además de configurar el software en el ordenador, es posible que se requiera realizar algunas configuraciones en la máquina CNC misma. Esto puede implicar ajustar la velocidad de comunicación, los parámetros de control de flujo y otros ajustes relacionados con la comunicación, tarea que se realiza sobre los drivers que controlan cada uno de los motores de la máquina CNC (del tipo NEMA23).



5. Protocolo de comunicación: Una vez que la conexión física está establecida y las configuraciones están completas, el ordenador y la máquina CNC pueden comunicarse entre sí. Esto implica el intercambio de información utilizando un protocolo de comunicación específico, que puede variar según el software y el sistema de la máquina CNC

Resumiendo, la conexión de una máquina CNC a un ordenador implica conectar físicamente el puerto paralelo de ambos dispositivos utilizando un cable adecuado y configurar el software tanto en el ordenador como en la máquina CNC para establecer la comunicación. Esto permite que el ordenador envíe instrucciones y comandos a la máquina CNC para controlar su funcionamiento.

Software MACH 3

Configuración del software: Una vez instalado el software Mach3, seleccionaremos el puerto de comunicación paralelo para conectar la máquina CNC. Ajustaremos la velocidad de comunicación y otros parámetros según las especificaciones de la máquina CNC.

Configuración de los controladores de la máquina CNC: Antes de que el software Mach3 pueda comunicarse correctamente con tu máquina CNC, es posible que tengamos que instalar los controladores o drivers específicos proporcionados por el fabricante de los drivers. Estos controladores permitirán que el software se comuniquen con los motores, sensores y otros componentes de la máquina CNC.

Calibración y configuración de la máquina CNC: Una vez que la conexión entre la máquina CNC y el ordenador está establecida, es importante realizar la calibración y configuración adecuada de la máquina utilizando el software Mach3. Esto puede incluir la configuración de los límites de movimiento, la definición de los ejes de la máquina, la asignación de entradas y salidas, y otros ajustes específicos para la configuración de CNC.

Drivers utilizados para el control de los distintos motores:

Modelo Leadshine 542A

Características más importantes:

DM542A es un driver de 2 fases híbrido para motores paso a paso.

Parameters	DM542			
	Min	Typical	Max	Unit
Output Current	1.0	-	4.2 (3.0 RMS)	A
Input Voltage	+20	+36	+50	VDC
Logic Signal Current	7	10	16	mA
Pulse input frequency	0	-	200	kHz
Pulse Width	2.5	-	-	uS
Pulse Voltage	5	-	24	VDC
Isolation resistance	500			MΩ

Tabla 9. Parámetros DM542A



Imagen 96. Driver utilizado

Driver usado para la comunicación entre la máquina CNC y el ordenador:

Características:

Soporte total para MACH3 y otros programas informáticos que admiten control de puertos paralelos.

Fuente de alimentación USB separada y fuente de alimentación periférica para garantizar la seguridad del ordenador.

Entrada externa de voltaje amplio, 12-24V y función de conexión anti-reversa.

Todas las señales de entrada están aisladas por fibra óptica, que se puede conectar a la parada de emergencia, la configuración de la herramienta, el límite, etc. para garantizar la seguridad del ordenador.

Un puerto de salida de relé puede controlar el interruptor del eje.

Una salida de voltaje analógico de 0-10V aislada por opto acopladores puede controlar los inversores con las interfaces analógicas correspondientes.



Imagen 97. Interface y cable puerto paralelo

Fuente de alimentación:

48V – 600W



Imagen 98. Fuente de alimentación



Universidad
Zaragoza



**Escuela de
Ingeniería y Arquitectura**
Universidad Zaragoza

TRABAJO FIN DE GRADO

TÍTULO:

DISEÑO DE UNA MAQUINA FRESADORA DE 3 EJES PARA USO PARTICULAR

ANEXO V : ELEMENTOS COMERCIALES

Autor

Carlos Javier Ostariz Salas

Directores

Paula Canalís Martínez

Javier Abad Blasco

Escuela de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de Zaragoza 2023 - 2024



Universidad
Zaragoza



**Escuela de
Ingeniería y Arquitectura**
Universidad Zaragoza

INDICE

1. RODAMIENTOS	3
2. ACOPLES, HUSILLO Y SOPORTES	9
3. MOTORES	13

El listado de elementos comerciales se detalla a continuación, siendo estos rodamientos, guías, motores paso a paso, acoples y soportes .

1. RODAMIENTOS :

Para la selección de los rodamientos se va a emplear el catálogo de rodamientos lineales de bolas NTN.

- **Soporte cerrado para casquillo de bolas estándar**

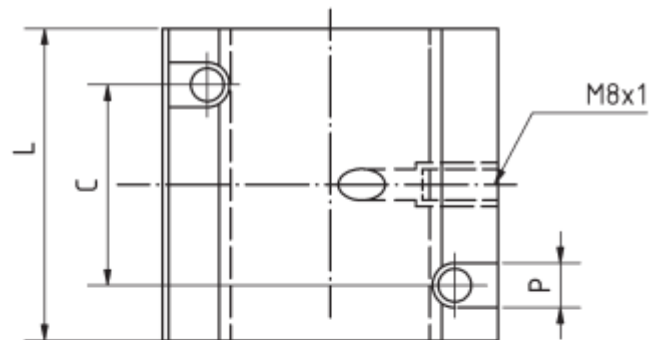


Imagen 99. Soporte cerrado

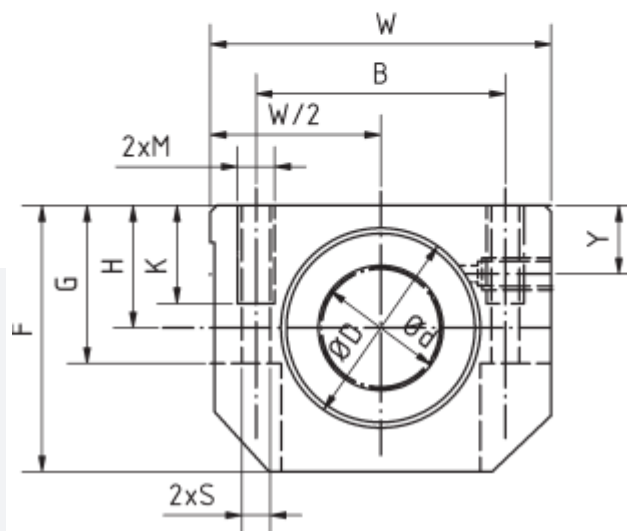


Imagen 100. Esquema soporte cerrado

Dimensiones [mm]				Capacidad de carga dinámica [N]	Capacidad de carga estática [N]	Peso [g]	Referencia			
M	P	K	S							
M5	8	11	4,2	416	784	175	LSE12UU			
M6	10	13	5,2	432	892	260	LSE16UU			
Referencia	Dimensiones [mm]									
	Ød	ØD H6	H +0,01 -0,02	W	L +0,3	F	G	Y	B	C
LSE12UU	12	22	18	43	39	35	25	10	32	23
LSE16UU	16	26	22	53	43	42	30	12	40	26

Tabla 10. Dimensiones y referencias del soporte cerrado para casquillo de bolas estándar

- Rodamiento lineal de bolas estándar



Imagen 100. Rodamiento lineal de bolas estándar

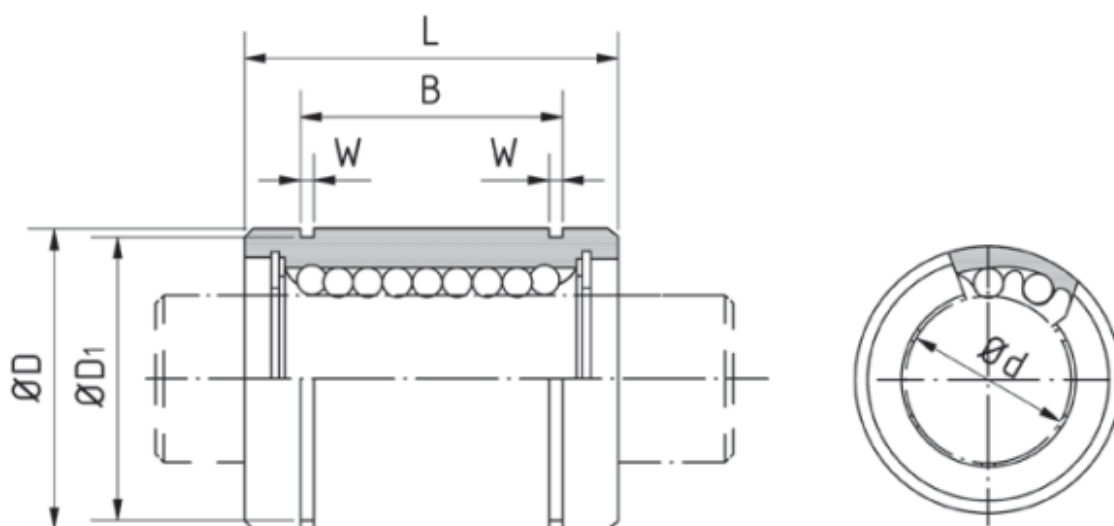


Imagen 101. Esquema de rodamiento lineal de bolas estándar

Referencia				Dimensiones [mm]							
Estándar		Resistente a la corrosión		Ød	Tolerancia	ØD	Tolerancia	L	Tolerancia	B	Tolerancia
Jaula de plástico	Jaula de acero	Jaula de plástico	Jaula de acero inox								
BBE3	BBE3A	BBES3	BBES3A	3	+0,008 0	7	0 -0,008	10	0 -0,012	-	-
BBE4	BBE4A	BBES4	BBES4A	4		8		12		-	-
BBE5	BBE5A	BBES5	BBES5A	5		12		22	0 -0,2	14,5	0 -0,2
BBE8	BBE8A	BBES8	BBES8A	8		16	0 -0,009	25		16,5	
BBE10	BBE10A	BBES10	BBES10A	10		19		29		22	
BBE12	BBE12A	BBES12	BBES12A	12	+0,009 -0,001	22		32		22,9	
BBE16	BBE16A	BBES16	BBES16A	16		26		36		24,9	
BBE20	BBE20A	BBES20	BBES20A	20		32		45		31,5	

Tabla 11. Referencias y dimensiones del rodamiento lineal de bolas estandar

W	Ø D1	Número de circuitos de bolas	Excentricidad máx. [µm]	Juego radial máx. [µm]	Capacidad de carga dinámica [N]	Capacidad de carga estática [N]	Peso [g]	Referencia			
								Estándar		Resistente a la corrosión	
								Jaula de plástico	Jaula de acero	Jaula de plástico	Jaula de acero inox
-	-	4	10	-3	44	105	1,4	BBE3	BBE3-A	BBES3	BBES3-A
-	-	4			55	127	2	BBE4	BBE4-A	BBES4	BBES4-A
1,1	11,5	4			159	265	11	BBE5	BBE5-A	BBES5	BBES5-A
1,1	15,2	4			195	402	22	BBE8	BBE8-A	BBES8	BBES8-A
1,3	18	4	12	-4	286	549	36	BBE10	BBE10-A	BBES10	BBES10-A
1,3	21	4			419	784	45	BBE12	BBE12-A	BBES12	BBES12-A
1,3	24,9	4			432	892	60	BBE16	BBE16-A	BBES16	BBES16-A

Tabla 12. Referencias y características del rodamiento de bolas estandar

- Soporte abierto para rodamiento lineal de bolas abierto estándar

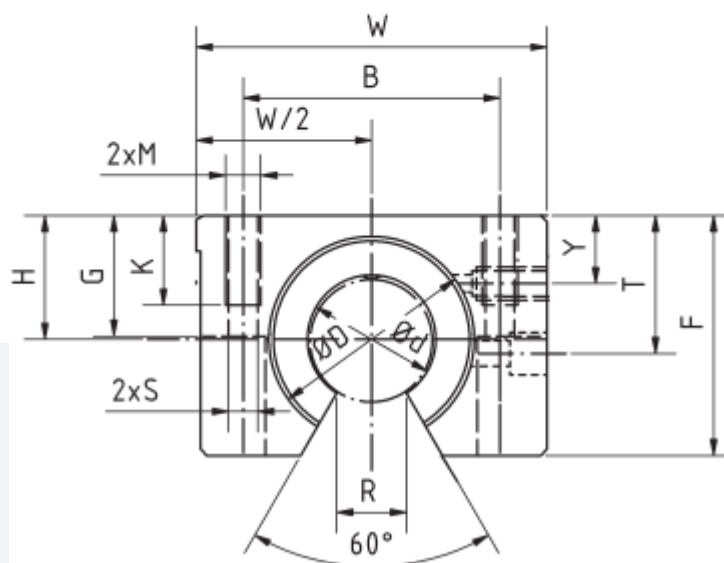
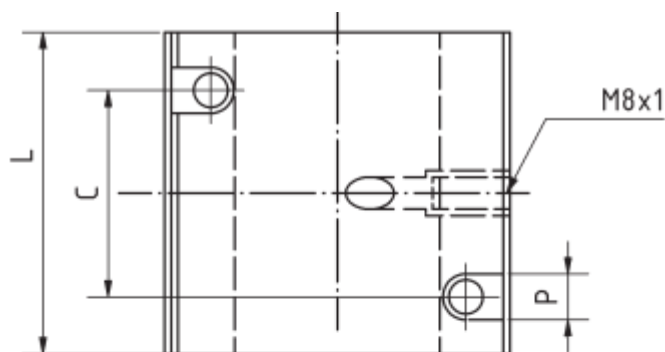


Imagen 102. Soporte abierto

Imagen 103. Esquema de soporte abierto
para rodamiento lineal

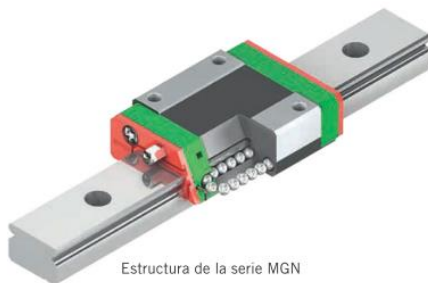
Referencia	Dimensiones [mm]									
	$\varnothing d$	$\varnothing D H6$	$H \begin{smallmatrix} +0,01 \\ -0,02 \end{smallmatrix}$	W	$L \begin{smallmatrix} +0,3 \end{smallmatrix}$	F	G	Y	T	B
LSE12UU-OP	12	22	18	43	39	28	23,5	8	16,65	32
LSE16UU-OP	16	26	22	53	43	35	30	12	22	40

Tabla 13. Dimensiones y referencia de soporte abierto para rodamiento lineal

Dimensiones [mm]						Capacidad de carga dinámica [N]	Capacidad de carga estática [N]	Peso [g]	Referencia
C	M	P	K	S	R +0,6				
23	M5	8	11	4,2	7	416	784	145	LSE12UU-OP
26	M6	10	13	5,2	9,4	432	892	218	LSE16UU-OP

Tabla 14. Dimensiones y características de soporte abierto para rodamiento lineal

- Rodamientos Hiwin MGN12



Estructura de la serie MGN

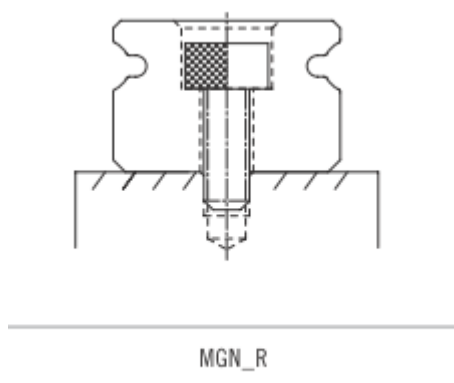
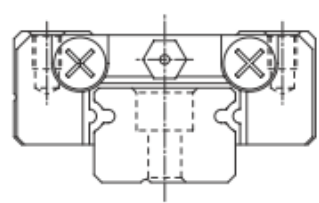


Imagen 104. Rodamiento Hiwin

Imagen 105. Esquema rodamiento Hiwin

Tipo	Series / Tamaño	Estructura	Altura (mm)
Tipo cuadrado	MGN-C MGN-H		3,2-16

MGN07, MGN09, MGN12

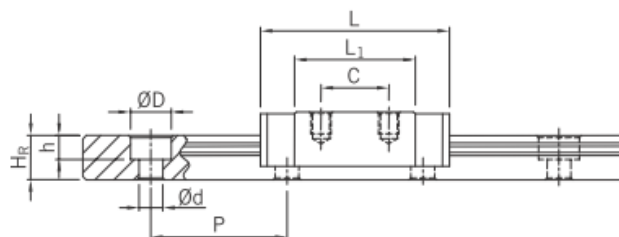
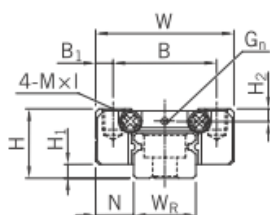


Tabla 3.84 DIMENSIONES DEL PATÍN

Series / tamaño	Dimensiones instalación (mm)			Dimensiones del patín (mm)										Capacidades de carga (N)		Peso (kg)
	H	H ₁	N	W	B	B ₁	C	L ₁	L	G	G ₁	M × I	H ₂	C _{dyn}	C ₀	
MGN05C	6	1,5	3,5	12	8	2,0	-	9,6	16,0	-	Ø0,8	M2 × 1,5	1,0	540	840	0.008
MGN05H							-	12,6	19,0					670	1.080	0.010
MGN07C	8	1,5	5,0	17	12	2,5	8	13,5	22,5	-	Ø 1,2	M2 × 2,5	1,5	980	1.245	0,010
MGN07H							13	21,8	30,8					1.372	1.960	0,020
MGN09C	10	2,0	5,5	20	15	2,5	10	18,9	28,9	-	Ø 1,4	M3 × 3	1,8	1.860	2.550	0,020
MGN09H							16	29,9	39,9					2.550	4.020	0,030
MGN12C	13	3,0	7,5	27	20	3,5	15	21,7	34,7	-	Ø 2	M3 × 3,5	2,5	2.840	3.920	0,030
MGN12H							20	32,4	45,4					3.720	5.880	0,050

Tabla 15. Dimensiones, cracterísticas y referencias

- **Raíl para soporte abierto para rodamiento lineal de bolas abierto estándar**

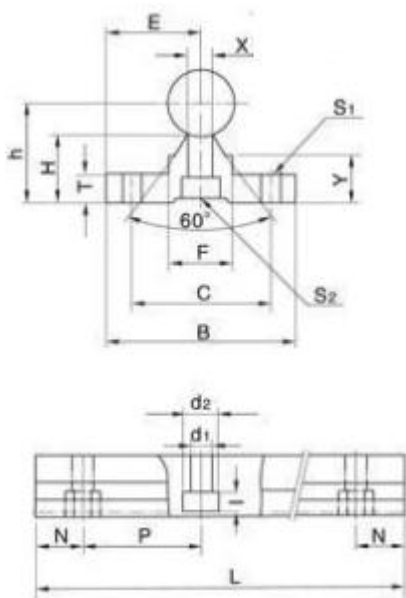


Imagen 104. Esquema rail lineal de bolas abierto



Imagen 105. Rail para rodamiento

支撑型号 Support Designation	轴径尺寸 Shaft Dimensions	尺寸 Dimensions (mm)											重量 Weight (kg/m)
		E	h	B	H	T	F	X	Y	C	S ₁	S ₂ d ₁ × d ₂ × L	
SBR 16	φ16	20	25	40	17.8	5	18.5	8	11.7	30	φ5.5	5.5×9.5×5.4	1.00

Tabla 16. Dimensiones, cracterísticas y referencias del rail

2. ACOPLAMIENTO HUSILLOS Y SOPORTES



Imagen 106. Acoplamiento

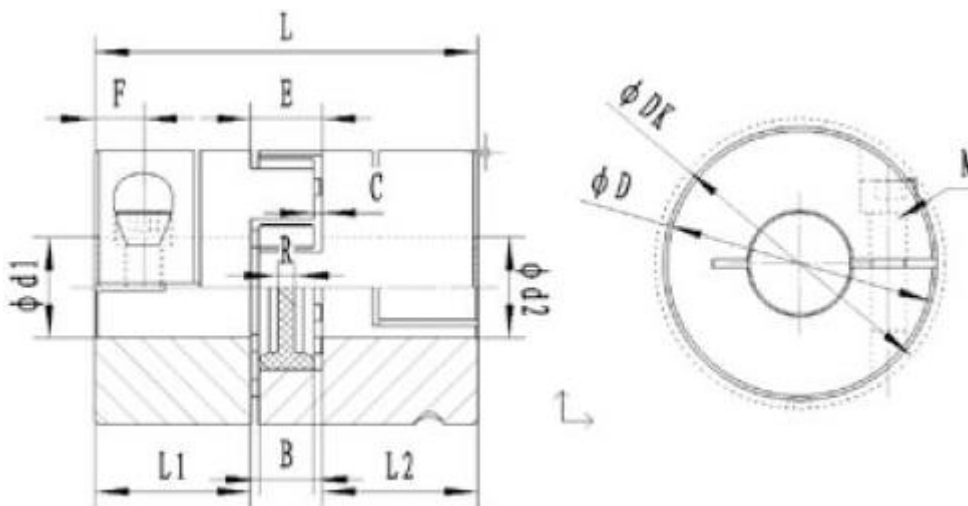


Imagen 107. Esquema de acoplamiento

Model	Aperture				D	L	L1	L2	F	E	B	C	R	DK	G	M	Tightening torque (N.M)
	d1		d2														
	MIN	MAX	MIN	MAX													
CM25C	4	12	4	12	25	34.0	11.0	11.0	5.0	12.0	10.0	1.0	2.0	26.5	—	M3	1.5
CM30C	5	16	5	16	30	35.0	11.0	11.0	5.0	13.0	10.0	1.5	2.0	31.4	—	M3	1.5
CM40C	6	24	6	24	40	66.0	25.0	25.0	12.0	16.0	12.0	2.0	4.0	47	—	M5	8.0

Tabla 17. Dimensiones, características y referencias del acoplamiento

Seleccionaremos el acople que se ajuste al diametro de los husillos a utilizar
CM25C

Soporte BK12+BF12

MODELO BK



Imagen 108. Modelo BK

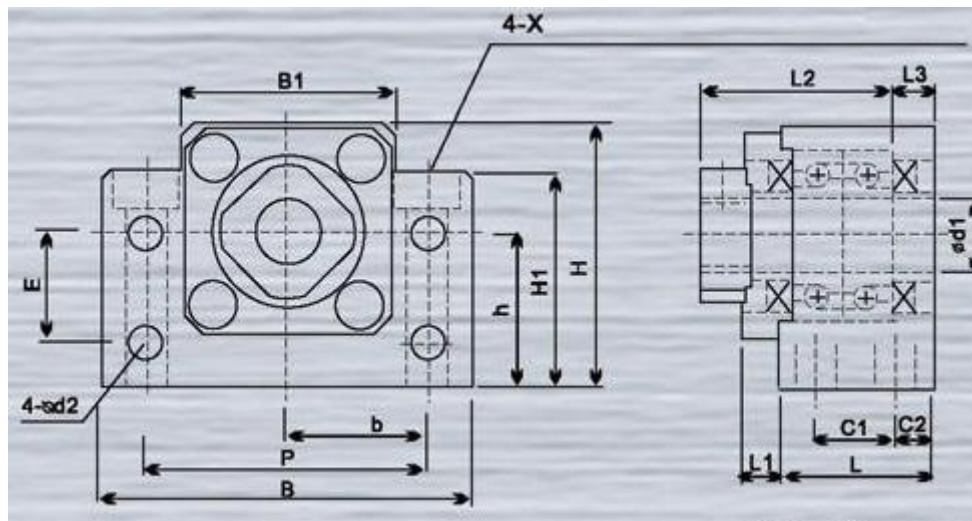


Imagen 109. Esquema del soporte BK

Ref. CNC-Robotica	Model No.	d1	L	L1	L2	L3	C1	C2	B	H	b ^{+0.02}	H ^{+0.02}	B1	H1	E	P	d2	X	Y	Z
CNC30092	BK12	12	25	5	29	5	13	6	60	43	30	25	34	32.5	18	46	5.5	6.6	10.8	1.5

Tabla 18. Dimensiones y referencias del soporte

MODELO BF



Imagen 110. Modelo BF

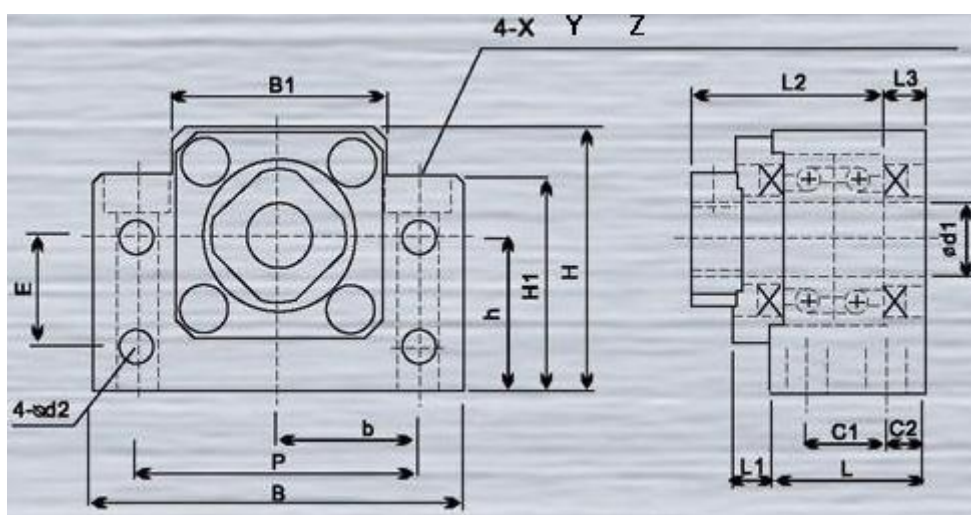


Imagen 111. Esquema del soporte BF

Ref. CNC-Robotica	Model No.	d1	L	B	H	b ^{+0.02}	h ^{+0.02}	B1	H1	E	P	d2	X	Y	Z
CNC30092	BF12	12	20	60	43	30	25	34	32.5	18	46	5.5	6.6	10.8	1.5

Tabla 19. Dimensiones y referencia del soporte

HUSILLO DE BOLAS

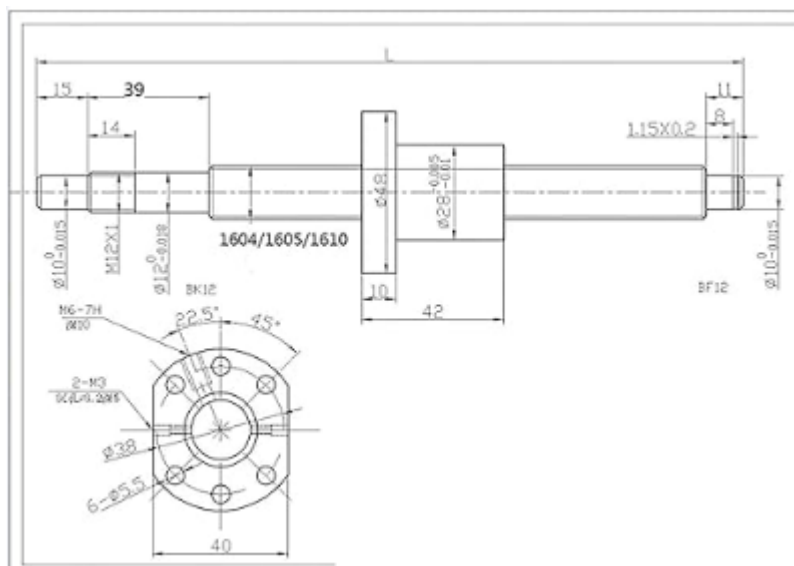


Imagen 112. Plano del husillo de bolas y su tuerca



Imagen 113. Detalle del husillo de bolas y su tuerca

3. MOTORES

MOTOR DE FRESADO

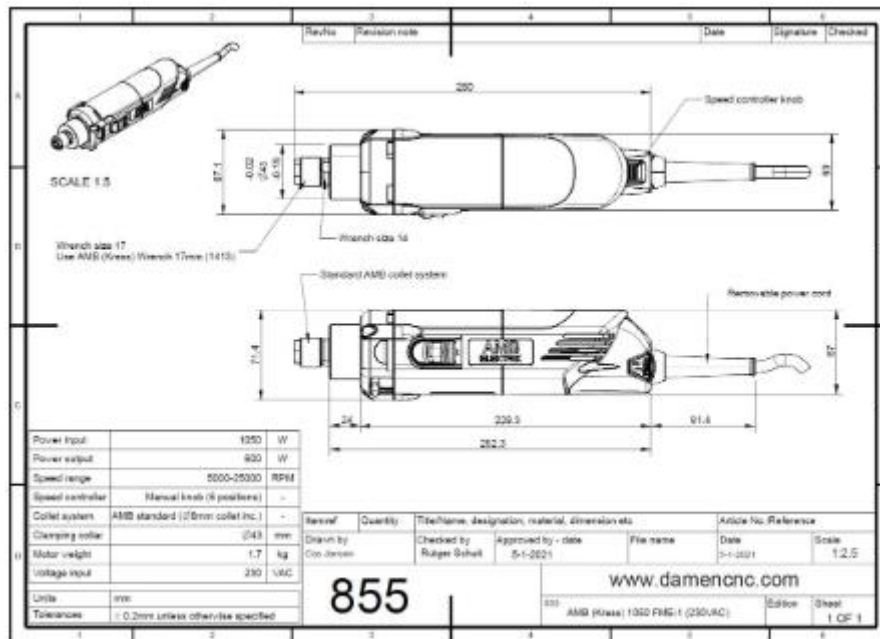


Imagen 114. Plano y esquema de la herramienta utilizada



Imagen 115. Herramienta utilizada

MOTOR PASO A PASO

103H7124-01

Stepping Motors



56 mm sq. (2.20 inch sq.)

1.8° /step RoHS

Unipolar winding, Lead wire type

Bipolar winding, Lead wire type ▶ p. 70

Customizing

Hollow Shaft modification

Decelerator Encoder

Varies depending on the model number and quantity. Contact us for details.

Unipolar winding, Lead wire type

Model number		Holding torque at 2-phase energization	Rated current	Wiring resistance	Winding inductance	Rotor inertia	Mass (Weight)	Motor length (L)
Single shaft	Dual shaft	[N·m (oz·in) min.]	A/phase	Ω /phase	mH/phase	[$\times 10^{-4}$ kg·m ² (oz·in ²)]	[kg (lbs)]	mm (in)
103H7121-0140	103H7121-0110	0.39 (55.2)	1	4.8	8	0.1 (0.55)	0.47 (1.04)	41.8 (1.65)
103H7121-0440	103H7121-0410	0.39 (55.2)	2	1.25	1.9	0.1 (0.55)	0.47 (1.04)	41.8 (1.65)
103H7121-0740	103H7121-0710	0.39 (55.2)	3	0.6	0.8	0.1 (0.55)	0.47 (1.04)	41.8 (1.65)
103H7123-0140	103H7123-0110	0.83 (117.5)	1	6.7	15	0.21 (1.15)	0.65 (1.43)	53.8 (2.12)
103H7123-0440	103H7123-0410	0.83 (117.5)	2	1.6	3.8	0.21 (1.15)	0.65 (1.43)	53.8 (2.12)
103H7123-0740	103H7123-0710	0.78 (110.5)	3	0.77	1.58	0.21 (1.15)	0.65 (1.43)	53.8 (2.12)
103H7124-0140	103H7124-0110	0.98 (138.8)	1	7	14.5	0.245 (1.34)	0.8 (1.76)	63.8 (2.51)

103H7121-0140
103H7121-0110

Constant current circuit
Source voltage: 24 VDC
Operating current:
1 A/phase, 2-phase
energization (full-step)
 $J_L = [0.94 \times 10^{-4} \text{ kg·m}^2 (5.14 \text{ oz·in}^2)]$ use the rubber
coupling]
fs: Maximum self-start
frequency when not
loaded

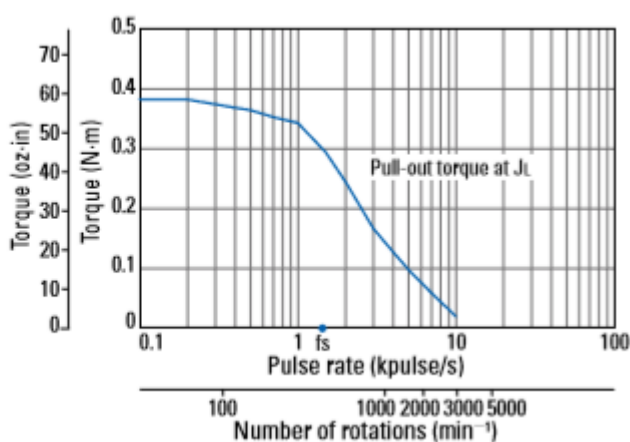
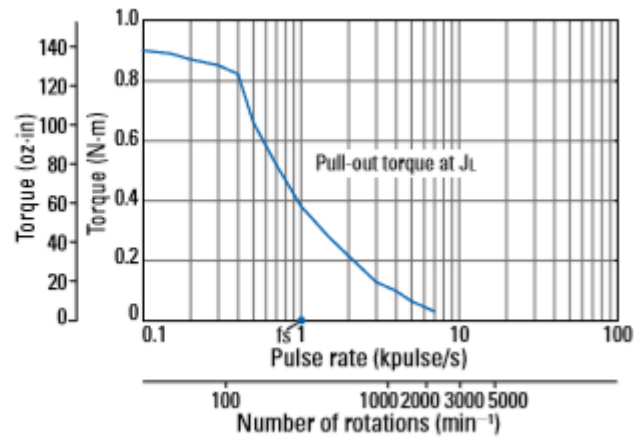


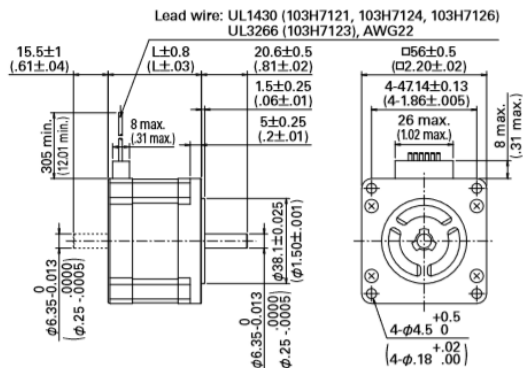
Imagen 116 y Tabla 20. Información técnica del motor

103H7124-0140
103H7124-0110

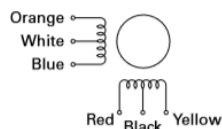
Constant current circuit
Source voltage: 24 VDC
Operating current:
1 A/phase, 2-phase
energization (full-step)
 $J_1 = [2.6 \times 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \text{ (14.22 oz} \cdot \text{in}^2)]$ use the rubber
coupling]
fs: Maximum self-start
frequency when not
loaded



■ Dimensions [Unit: mm (inch)]



■ Internal wiring



Compatible drivers

- For motor model number 103H712 ☐ -01 ☐ 0 (1 A/phase),
103H712 ☐ -07 ☐ 0 (3 A/phase)

Driver is not included.

If you require assistance finding a driver, contact us for details.

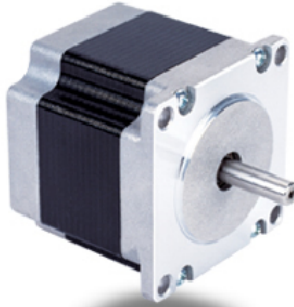
- For model number 103H712 □ -04 □ 0 (2 A/phase)

Model number: US1D200P10 (DC input)

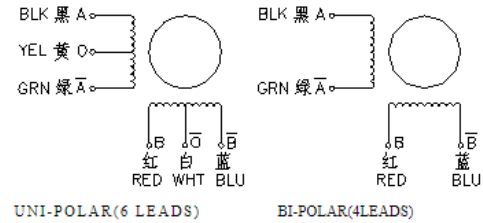
Operating current select switch setting: 0

Imagen 117. Datos complementarios del motor

- ACT 23HS2430 Stepper motor, 4 pole, 1.8 °, 4.8 V DC



Wiring Diagram:



Electrical Specifications:

Series Model	Step Angle (deg)	Motor Length (mm)	Rated Current (A)	Phase Resistance (ohm)	Phase Inductance (mH)	Holding Torque (N.cm Min)	Detent Torque (N.cm Max)	Rotor Inertia (g.cm ²)	Lead Wire (No.)	Motor Weight (g)
23HS0601	1.8	41	1.0	5.2	5.5	40	2.5	150	6	470
23HS0405	1.8	41	0.62	12	24	55	2.5	150	4	470
23HS0408	1.8	41	2.0	1.2	2.5	55	2.5	150	4	470
23HS4412	1.8	45	0.62	12	26	80	2.8	190	4	520
23HS4425	1.8	45	2.5	1.0	2.2	80	2.8	190	4	520
23HS5406	1.8	51	0.62	13	28	90	2.8	190	4	520
23HS5425	1.8	51	2.5	1.2	3.2	90	2.8	190	4	520
23HS5602	1.8	51	0.8	6.8	9.2	63	3.0	230	6	590
23HS6602	1.8	56	1.5	3.2	5.5	90	3.5	280	6	590
23HS6403	1.8	56	2.5	1.3	3.6	110	3.5	280	4	680
23HS6430	1.8	56	3.0	0.8	2.4	110	3.5	280	4	680
23HS6404	1.8	56	4.2	0.4	1.2	110	3.5	280	4	680
23HS7401	1.8	64	1.0	7.5	20	150	5.0	380	4	850
23HS7425	1.8	64	2.5	1.5	4.5	150	5.0	380	4	850
23HS7430	1.8	64	3.0	0.8	2.3	150	5.0	380	4	850
23HS7404	1.8	64	4.2	0.55	1.2	150	5.0	380	4	850
23HS8603	1.8	76	1.5	4.5	10	140	6.0	440	6	1050
23HS8425	1.8	76	2.5	1.8	6.5	180	6.0	440	4	1050
23HS8430	1.8	76	3.0	1.0	3.5	180	6.0	440	4	1050
23HS8404	1.8	76	4.2	0.6	1.8	180	6.0	440	4	1050
23HS1430	1.8	100	3.0	1.4	5.5	250	10	680	4	1250
23HS1410	1.8	100	4.2	0.8	3.0	250	10	680	4	1250
23HS2430	1.8	112	3.0	1.6	6.8	280	12	800	4	1400

Imagen 118 y Tabla 21. Modelo y especificaciones del motor



Universidad
Zaragoza



**Escuela de
Ingeniería y Arquitectura**
Universidad Zaragoza

TRABAJO FIN DE GRADO

TÍTULO:

DISEÑO DE UNA MAQUINA FRESADORA DE 3 EJES PARA USO PARTICULAR

ANEXO VI: PLANOS DE LOS COMPONENTES DE LA MÁQUINA

Autor

Carlos Javier Ostariz Salas

Directores

Paula Canalís Martínez

Javier Abad Blasco

Escuela de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de Zaragoza 2023 - 2024

Planos de las piezas

LISTADO DE PLANOS DE LAS PIEZAS QUE COMPONEN LA MAQUINA

Nº de Plano	Descripción
1	Soporte delantero motor
2	Placa central Eje X
3	Apoyo mesa de trabajo
4	Mesa de trabajo
5	Ejes guías eje Y
6	Placa unión trasera
7	Placa lateral puente
8	Placa base Eje Z

Tabla 9. Listado de planos

