

Localización del proyecto

Empresa nacional 'Rocka Jeans' ubicada en la ciudad de Cuenca



Construir un módulo equipado con un cabezal de corte de 15-20 capas operado mediante CNC, para optimizar el proceso corte de tela en la empresa 'Rocka Jeans'



OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar el estado del arte sobre los temas correspondientes para el desarrollo del proyecto
- Esquematizar la arquitectura del módulo equipado con el cabezal de corte en base a los componentes existentes en la estación de trabajo de la empresa
- Elegir el sistema de corte para el módulo adecuado en función de los requerimientos de la empresa
- Calcular las dimensiones adecuadas de los componentes del cabezal de corte analizando las funciones que debe realizar el cabezal en el proceso de corte en la empresa
- Establecer las características de los sistemas de transmisión mecánicos y componentes electromecánicos para el sistema de movimiento del módulo respecto a los parámetros requeridos



OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Seleccionar los componentes eléctricos, de control e interfaz con el usuario para el funcionamiento del módulo con los elementos de protección correspondientes
- Identificar un software apropiado para la transformación del archivo de imagen que emplean en la empresa en un código que interprete el módulo
- Validar la hipótesis propuesta con datos obtenidos en pruebas de funcionamiento del módulo tras su implementación



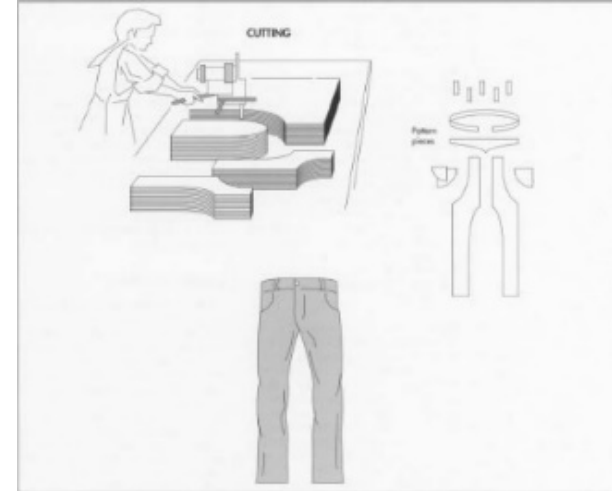
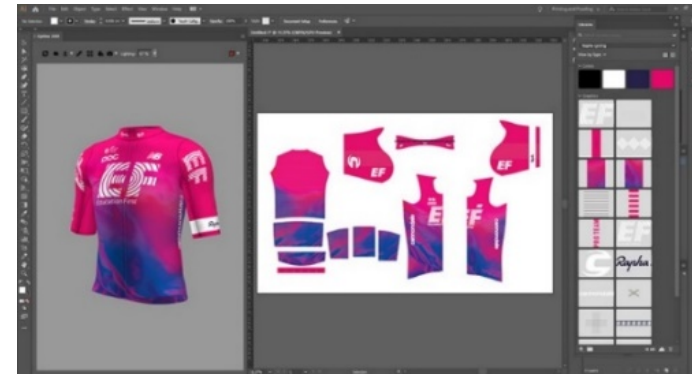
¿El diseño e implementación del módulo equipado con un cabezal de corte de 15-20 capas operado mediante CNC en la estación de trabajo de la empresa optimizará el proceso corte de tela?



Proceso corte de tela

Consiste en seccionar la tela en piezas con figuras previamente definidas mediante el uso de una herramienta de corte.

- Diseño
- Patronaje
- Reposo
- Trazo

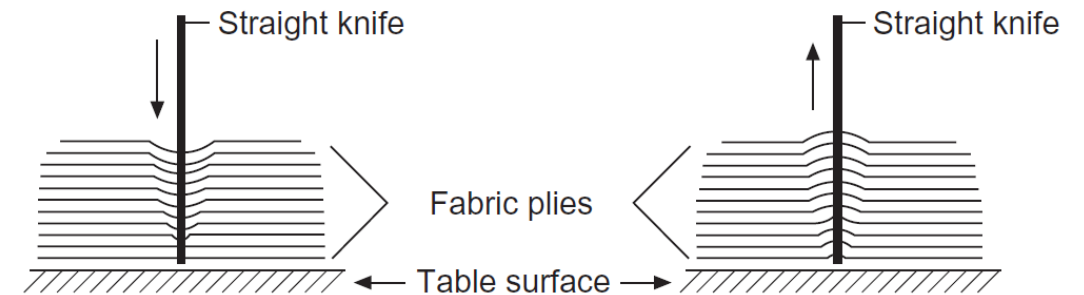


Problemas de precisión debido al proceso manual

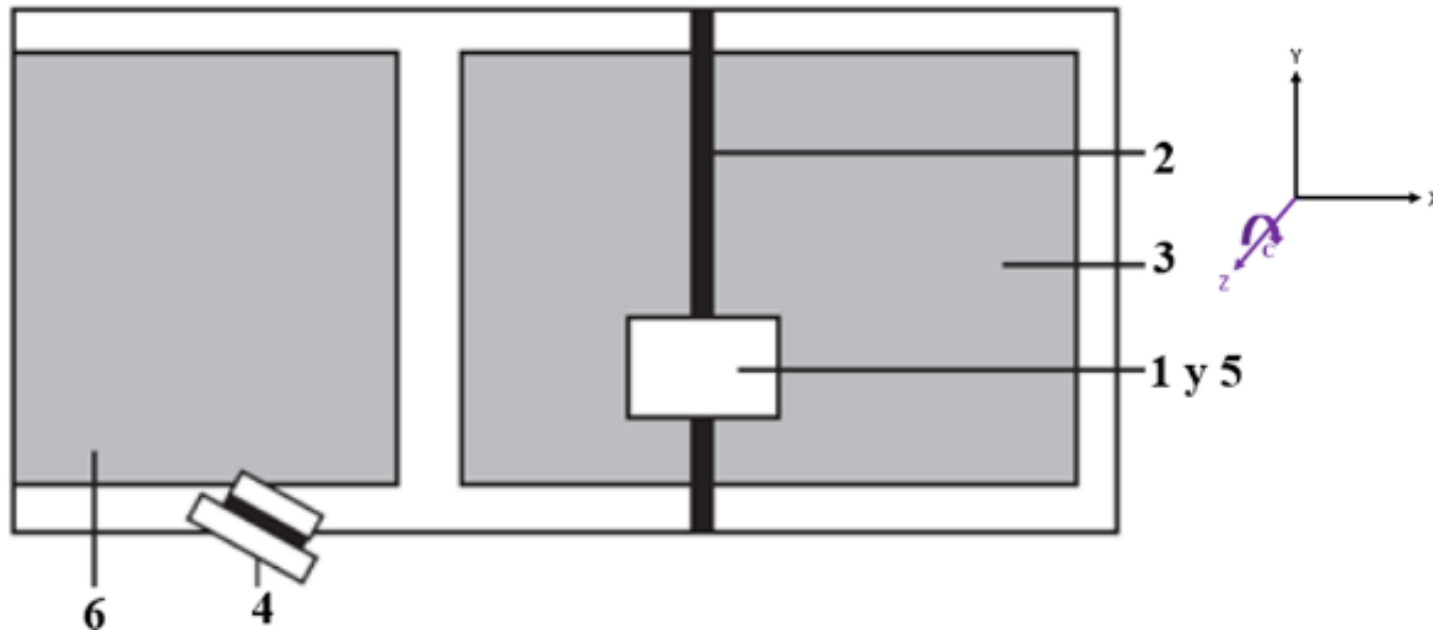
Nunca podrá alcanzar una precisión perfecta nunca podrá ser conseguido con procedimientos manuales.

La calidad del corte final es influenciada por los factores:

- Desplazamiento de las capas generado durante el proceso de tendido.
- Forma de la herramienta de corte, estas pueden ser rectas, de banda y redonda.



Sistema de corte automático y sus partes

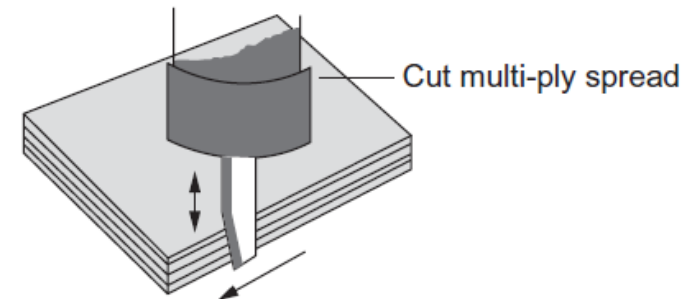
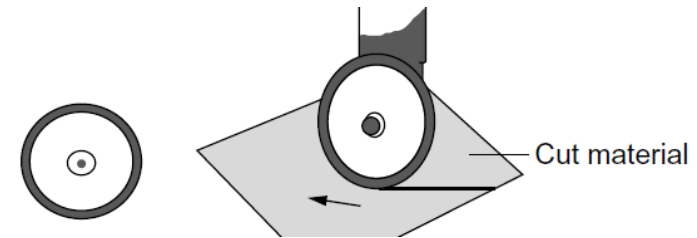
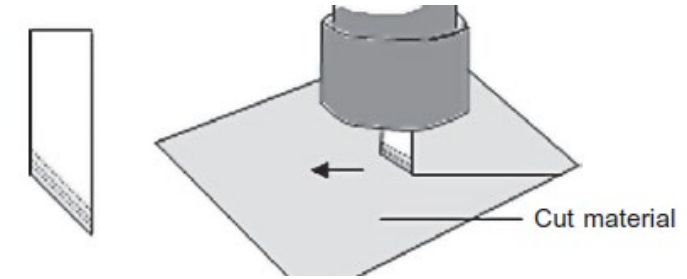


1. Cabezal
2. Viga de soporte
3. Superficie de corte
4. Panel de control
5. Herramienta de corte
6. Superficie para piezas de trabajo

Sistemas para el corte de tela automática

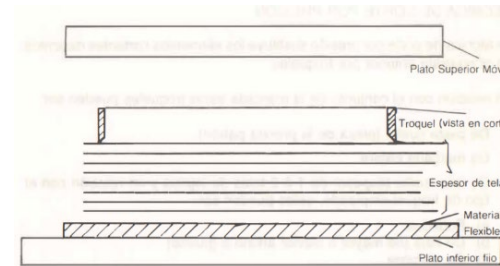
Máquinas con herramientas cortantes

- Cuchillo de arrastre
- Cuchilla redonda
- Cuchilla oscilante

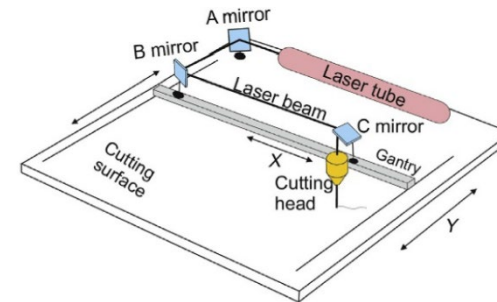


Sistemas para el corte de tela automático

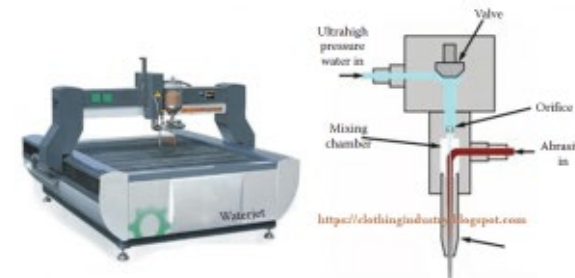
Máquina troqueladora



Máquina de corte láser



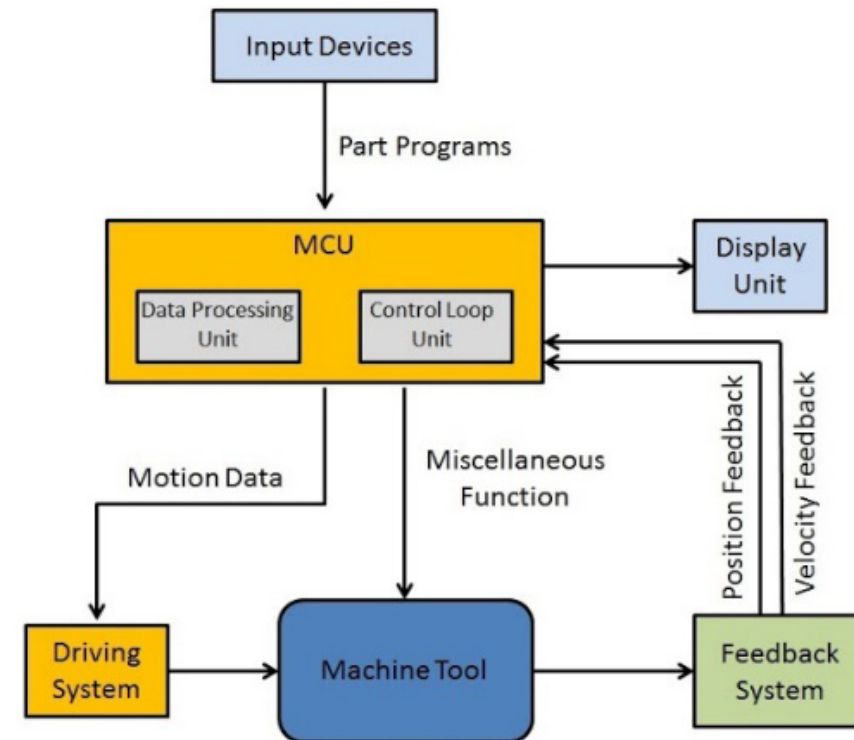
Máquina por chorro de agua



Máquinas CNC

Máquinas automatizadas mediante control numérico computarizado (CNC).

Son programables, realizan de forma automática las operaciones requeridas para un proceso determinado.

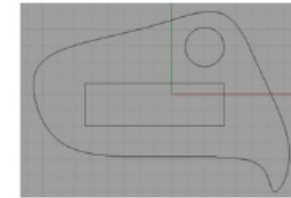


Conversión del archivo CAD en un programa para CNC

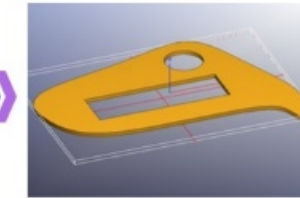
Se diseña la pieza en un software CAD, se obtiene su código con un programa CAM y finalmente se ejecuta el programa

El código normalmente se obtiene de piezas graficadas en software CAD o en un proceso de vectorización de imágenes

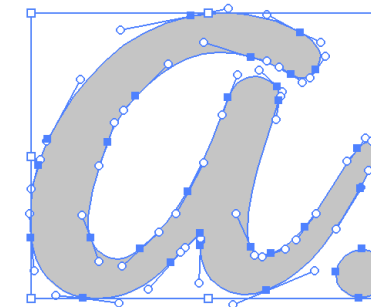
CAD drawing...



Converted to G-code...



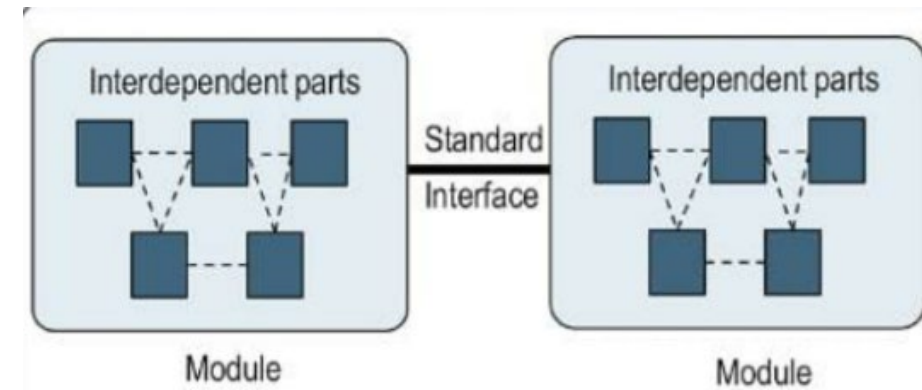
Run on the CNC machine



Arquitectura modular

La arquitectura de un producto es el esquema por el cual los elementos funcionales del producto se acomodan en trozos físicos y por medio del cual éstos interactúan.

- **Elementos funcionales:** Operaciones que sirven para el funcionamiento del producto
- **Elementos físicos:** Funciones prácticas del artículo



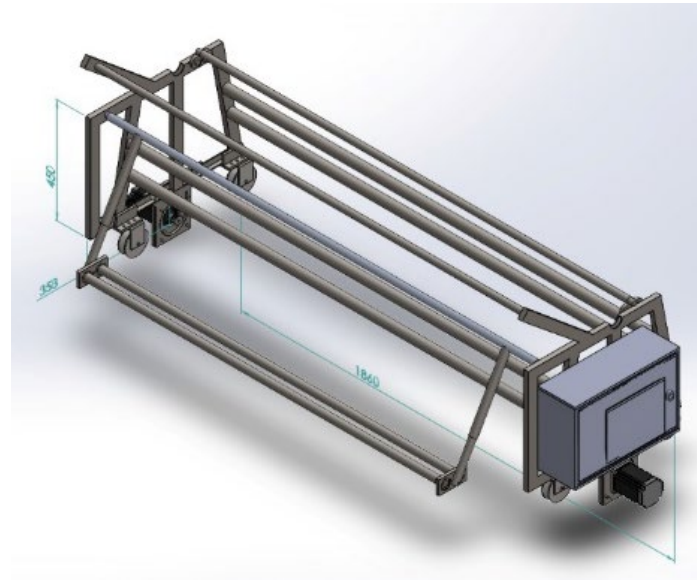
DISEÑO DEL SISTEMA DE CORTE

Estado actual de la estación de trabajo de la empresa



Estación de trabajo

Componentes mecánicos

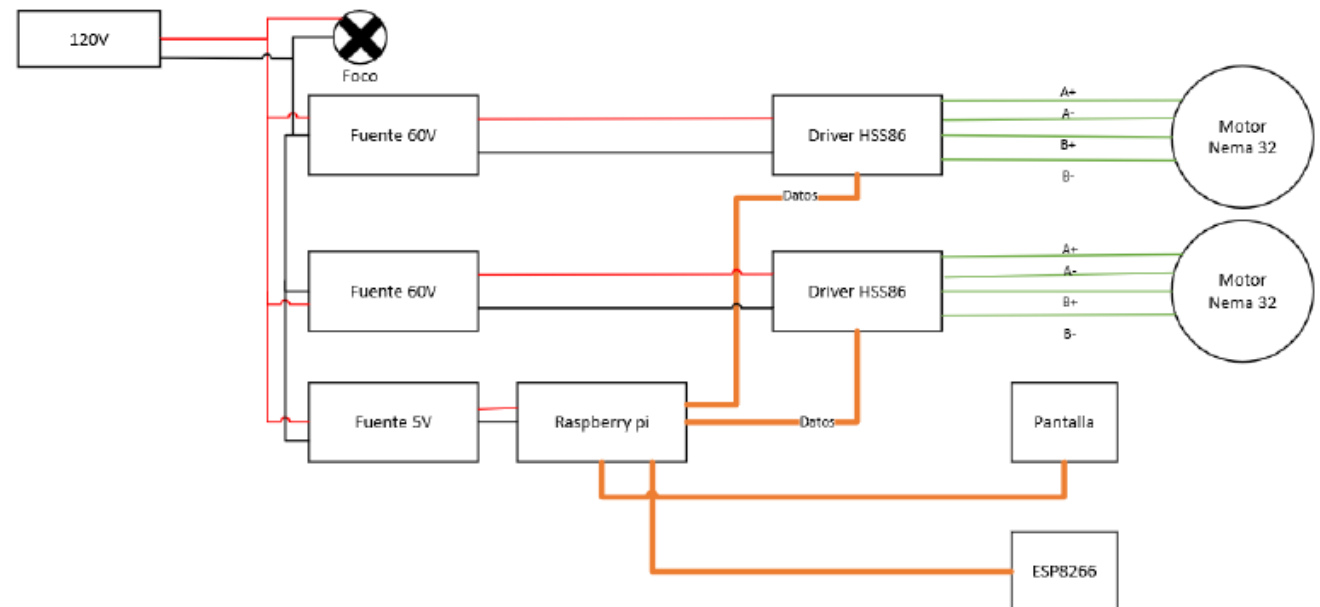


Estado actual de la estación de trabajo de la empresa

Estación de trabajo

Componentes eléctricos y electrónicos

Raspberry PI	Drivers HSS86
5 V	PUL+ y DIR+
Pin 18	PUL-
Pin 23	DIR-



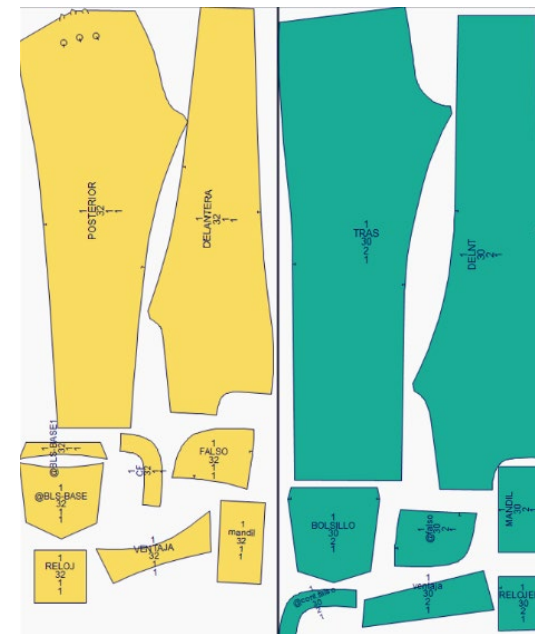
Estado actual de la estación de trabajo de la empresa

Estación de trabajo



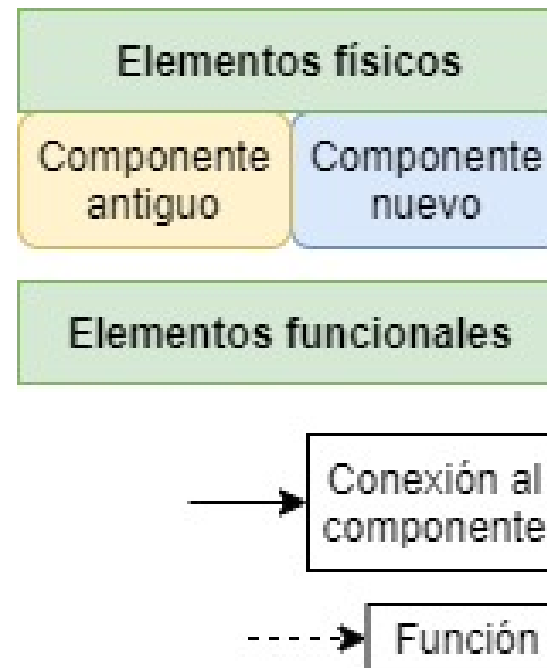
Herramientas informáticas

- Software Optitex
- Herramienta Marker



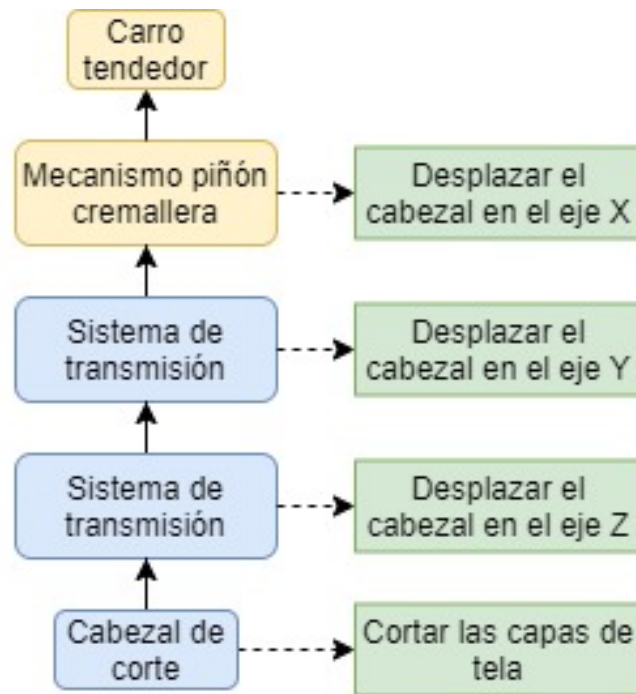
Establecimiento de arquitectura del cabezal

Representación de componentes

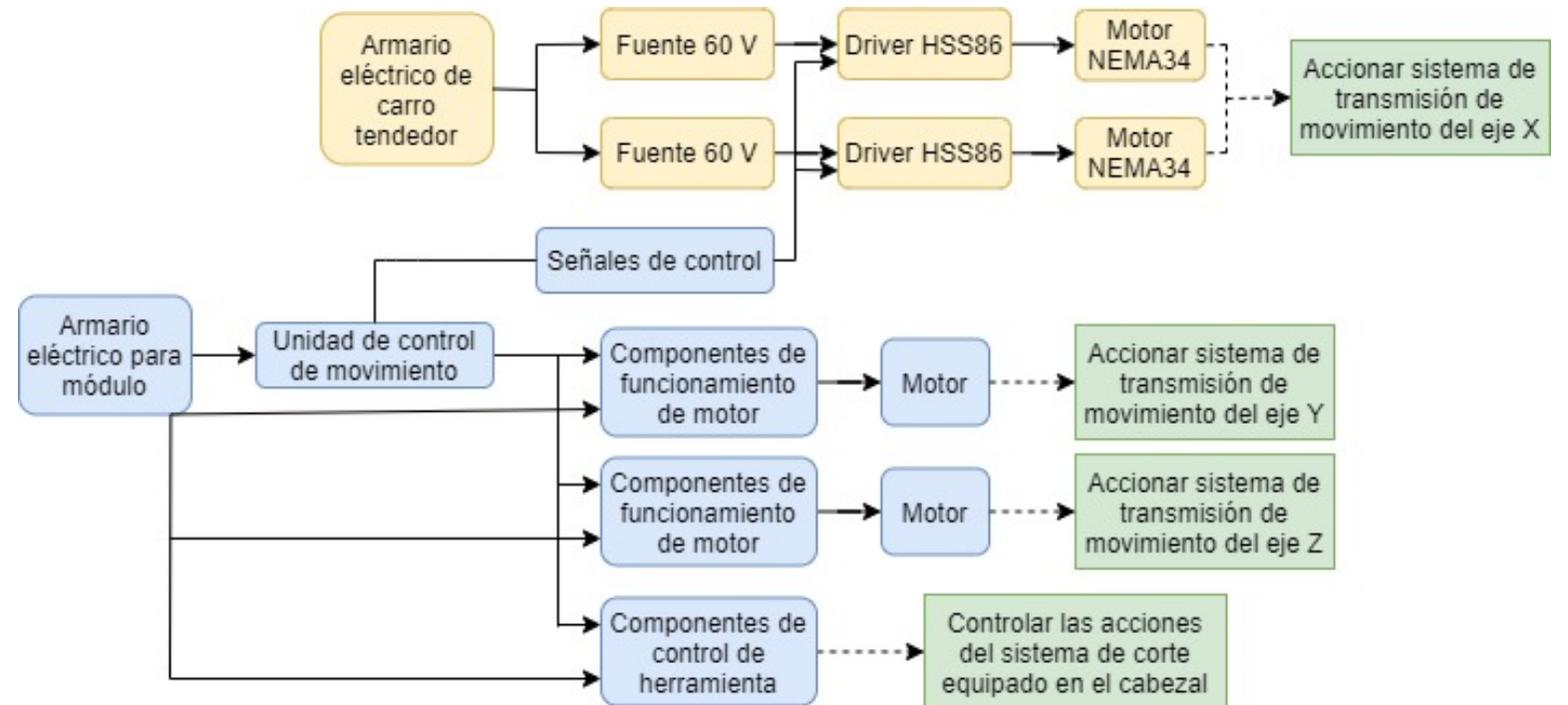


DISEÑO DEL SISTEMA DE CORTE

Parte mecánica



Parte eléctrica y electrónica



Parte de herramientas informáticas



DISEÑO DEL SISTEMA DE CORTE

Matriz casa calidad

		<table border="1"> <tr><td>2</td></tr> <tr><td>2</td><td>2</td></tr> <tr><td>4</td><td>3</td><td>3</td></tr> <tr><td>5</td><td>5</td><td>4</td><td>2</td></tr> <tr><td>13</td><td>15</td><td>16</td><td>11</td><td>9</td></tr> <tr><td>0.813</td><td>0.938</td><td>1</td><td>0.688</td><td>0.563</td></tr> </table>					2	2	2	4	3	3	5	5	4	2	13	15	16	11	9	0.813	0.938	1	0.688	0.563
2																										
2	2																									
4	3	3																								
5	5	4	2																							
13	15	16	11	9																						
0.813	0.938	1	0.688	0.563																						
		Valor de importancia del requerimiento para el usuario (1-5)	Diseño modular del cabezal de corte	Selección de sistema de corte	Diseño y selección de elementos mecánicos y eléctricos	Selección de interfaz de interacción con el usuario	Programación de componentes de control																			
¿Qué?	¿Cómo?	1	2	3	4	5																				
Facilidad de instalación en la estación de trabajo	4	5	4	3	2	1																				
Seguridad para el operador	5	3	5	4	4	3																				
Sencillez en la utilización durante el proceso de corte	5	4	4	3	5	4																				
Rapidez en el proceso de corte	4	3	5	5	2	4																				
Precisión de las piezas cortadas	4	3	5	5	3	4																				
Calidad de los cortes	4	2	5	4	2	3																				
Corte el número de capas requerido	5	4	5	5	4	1																				
Precio económico del cabezal	3	4	5	5	4	1																				
Importancia ponderada de requerimientos	Absoluta	119	161	143	113	91																				
	Relativa	18.98	25.68	22.81	18.02	14.51																				
		3	1	2	4	5																				
Evaluación ponderada de los requisitos del cliente respecto a los del producto	Absoluta	15.42	24.07	22.81	12.39	8.164																				
	Relativa	3	1	2	4	5																				



Selección sistema de corte

N°	Métrica	Importancia (I) (1-5)	Unidad
1	Facilidad de instalación	4	Subj.
2	Seguridad del operador	5	Subj.
3	Sencillez de utilización	5	Subj.
4	Velocidad en el proceso de corte	4	m/min
5	Precisión de los cortes	4	mm
6	Calidad de los cortes	4	Subj.
7	Número de capas cortadas	5	-
8	Precio	3	\$

Métrica N°	Láser	Herramienta cortante	Chorro de agua
1	2	4	3
2	1	4	3
3	5	5	5
4	600	60	6
5	0.0125	0.1	0.1
6	5	4	2
7	53	90	130
8	1	150	350



Selección sistema de corte

Métrica N°	Importancia (I) (1-5)	Láser		Herramienta cortante		Chorro de agua	
		NC	NC*I	NC	NC*I	NC	NC*I
1	4	2	8	4	16	3	12
2	5	1	5	4	20	3	15
3	5	5	25	5	25	5	25
4	4	5	20	1	4	1	4
5	4	5	20	1	4	1	4
6	4	4	16	4	16	2	8
7	5	2	10	4	20	5	25
8	3	1	3	5	15	2	6
TOTAL		107		120		99	
		NC	Nivel de cumplimiento				
		I	Importancia				



DISEÑO DEL SISTEMA DE CORTE

Selección de herramienta cortante

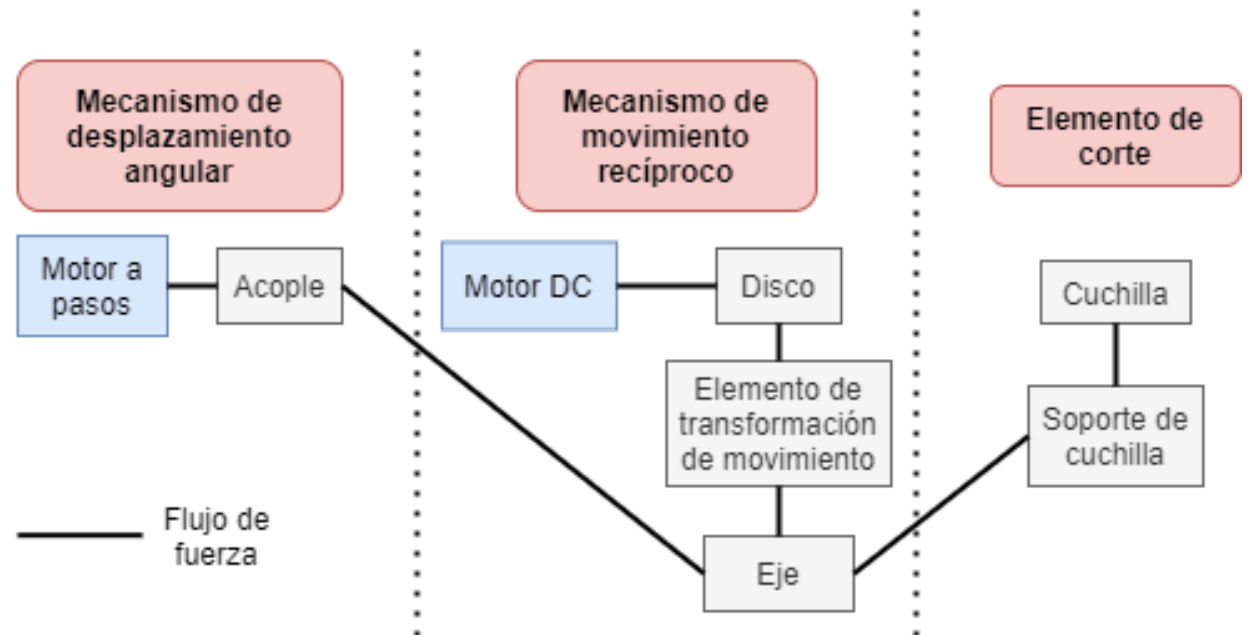
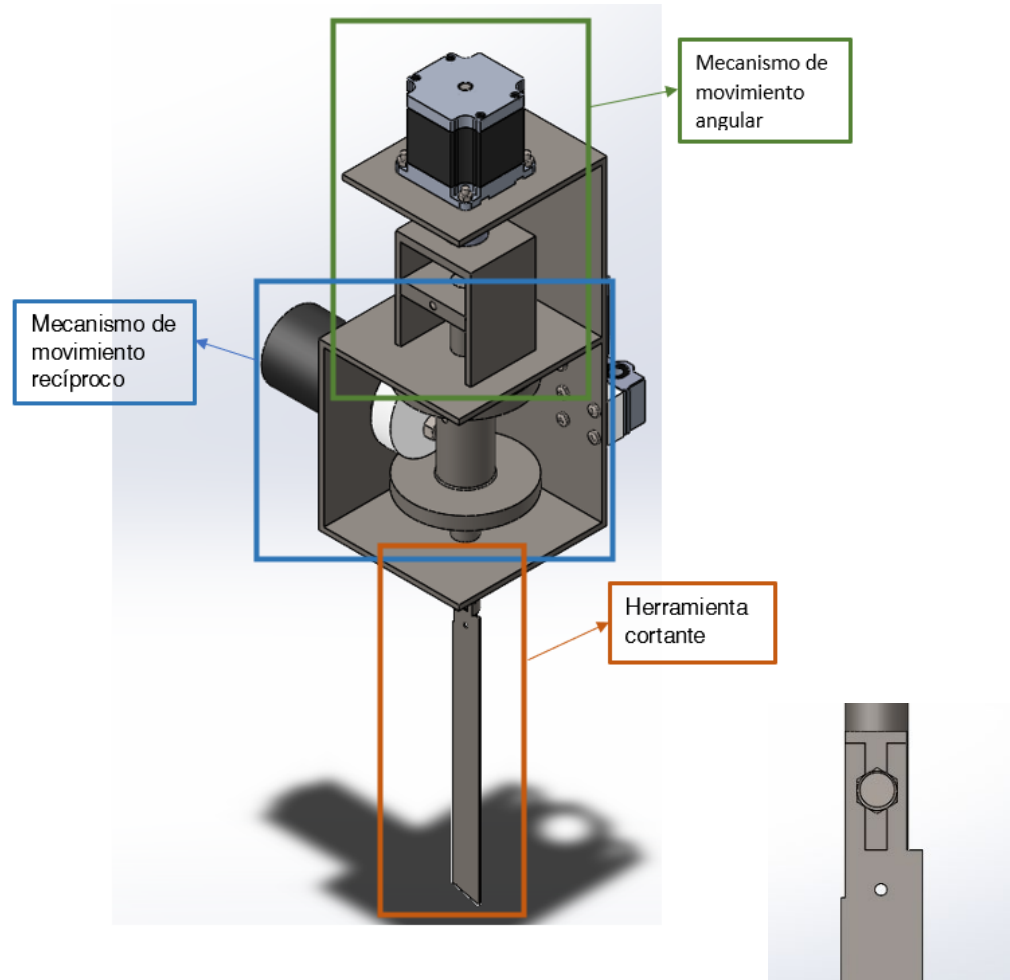
N°	Métrica	Importancia (I) (1-5)	Unidad
1	Facilidad de instalación	4	Subj.
2	Seguridad del operador	5	Subj.
3	Sencillez de utilización	5	Subj.
4	Velocidad en el proceso de corte	4	m/min
5	Precisión de los cortes	4	mm
6	Calidad de los cortes	4	Subj.
7	Número de capas cortadas	5	-
8	Precio	3	\$

		Tipo de herramienta cortante									
Métrica N°	Importancia (I) (1-5)	Cuchillo de arrastre		Cuchilla redonda		Cuchillo tangencial		Cuchilla oscilante			
		NC	NC*I	NC	NC*I	NC	NC*I	NC	NC*I		
1	4	5	20	4	16	5	20	5	20		
2	5	4	16	3	12	3	12	4	16		
3	5	5	20	4	16	5	20	5	20		
4	4	2	8	3	12	2	8	4	16		
5	4	2	8	4	16	3	12	4	16		
6	4	3	12	4	16	3	12	4	16		
7	5	3	12	4	16	4	16	5	20		
8	3	5	20	4	16	5	20	4	16		
TOTAL		116		120		120		140			
		NC	Nivel de cumplimiento								
		I	Importancia								

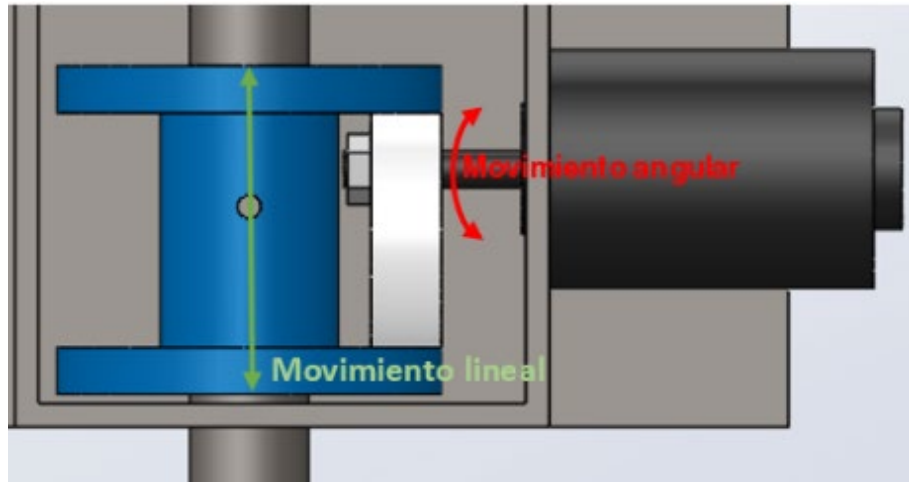


DISEÑO DEL SISTEMA DE CORTE

Diseño mecánico



Mecanismo de movimiento recíproco



Amplitud: 13 *mm* para *recorrido de 26 mm* por ciclo,

Frecuencia máxima: 50 *Hz*

Frecuencias de corte recomendadas

Tipo de tela	Descripción
Tela 1	Duo Elastic
Algodón	89%
Composición Elastomultiester	8%
Elastano	3%
Tela 2	Popelina
Algodón	98%
Composición Elastano	2%
Tela 3	Mauna
Composición Algodón	100%
Tela 4	Antifluído
Composición Poliéster	100%

Código	Composición	Frecuencia de la cuchilla de corte [Hz]
TK01	Algodón	95%
	Elastano	5%
	Algodón	95%
TK02	Elastano	5%
	Elastano	2%
	Algodón	98%
TK04	Elastano	2%
	Poliéster	60%
	TK06	Viscosa
TK07	Elastano	3%
	Poliéster	60%
	TK08	Viscosa
	Elastano	3%



Frecuencias de corte recomendadas

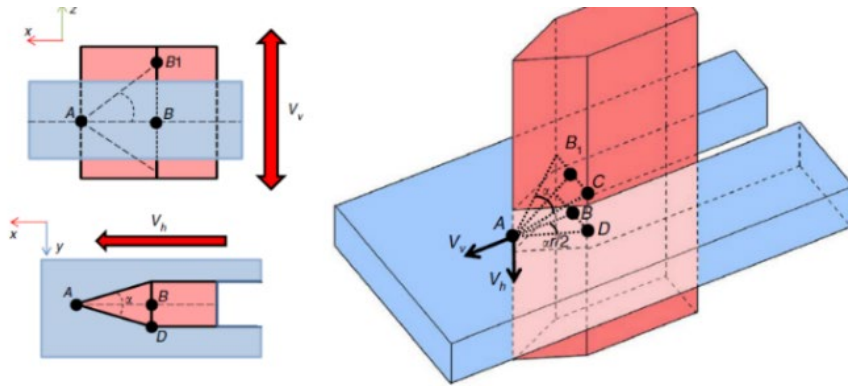
Tipo de tela	Descripción
Tela 1	Duo Elastic
Algodón	89%
Composición Elastomultiester	8%
Elastano	3%
Tela 2	Popelina
Algodón	98%
Composición Elastano	2%
Tela 3	Mauna
Composición Algodón	100%
Tela 4	Antifluído
Composición Poliéster	100%

Código	Composición	Velocidad de corte	
		[m/min]	
TK01	Algodón 95%	32	
	Elastano 5%		
TK02	Algodón 95%	32	
	Elastano 5%		
TK04	Algodón 98%	25	
	Elastano 2%		
TK06	Algodón 60%	25	
	Poliéster 37%		
TK07	Viscosa 37%	2.5	
	Elastano 3%		
TK08	Viscosa 37%	2.5	
	Elastano 3%		



Dimensionamiento de componentes

Fuerzas durante el proceso de corte



v_l : Velocidad lineal de corte $\left[\frac{mm}{min}\right]$

λ : Resistencia del material a ser cortado $[Pa]$

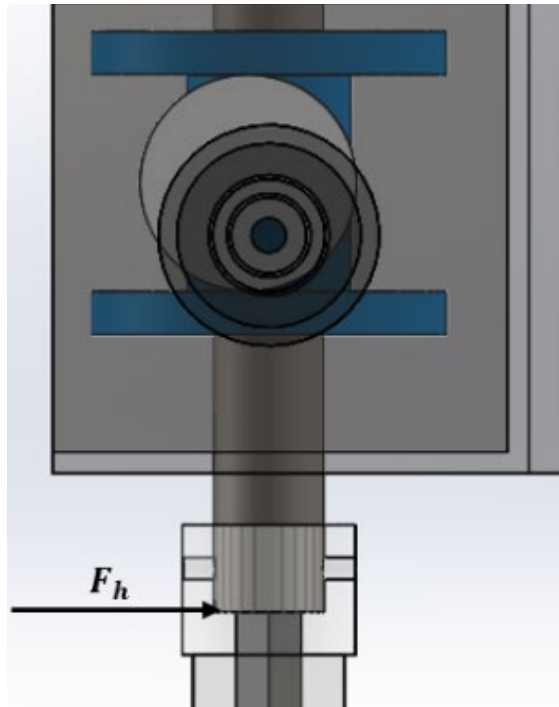
L : Distancia de la cuchilla que ingresa en la tela $[mm]$

f : Frecuencia de la cuchilla $[Hz]$

μ : Parámetro experimental respecto al desplazamiento de la cuchilla $[mm]$

$$F_{h(t)} = \frac{v_l(\lambda)L}{f} \left(1 + \frac{1}{4} \sin(4\pi ft) + \frac{\mu f}{v_l} \cos \left(4\pi ft + \frac{2\pi}{3} \right) \right)$$

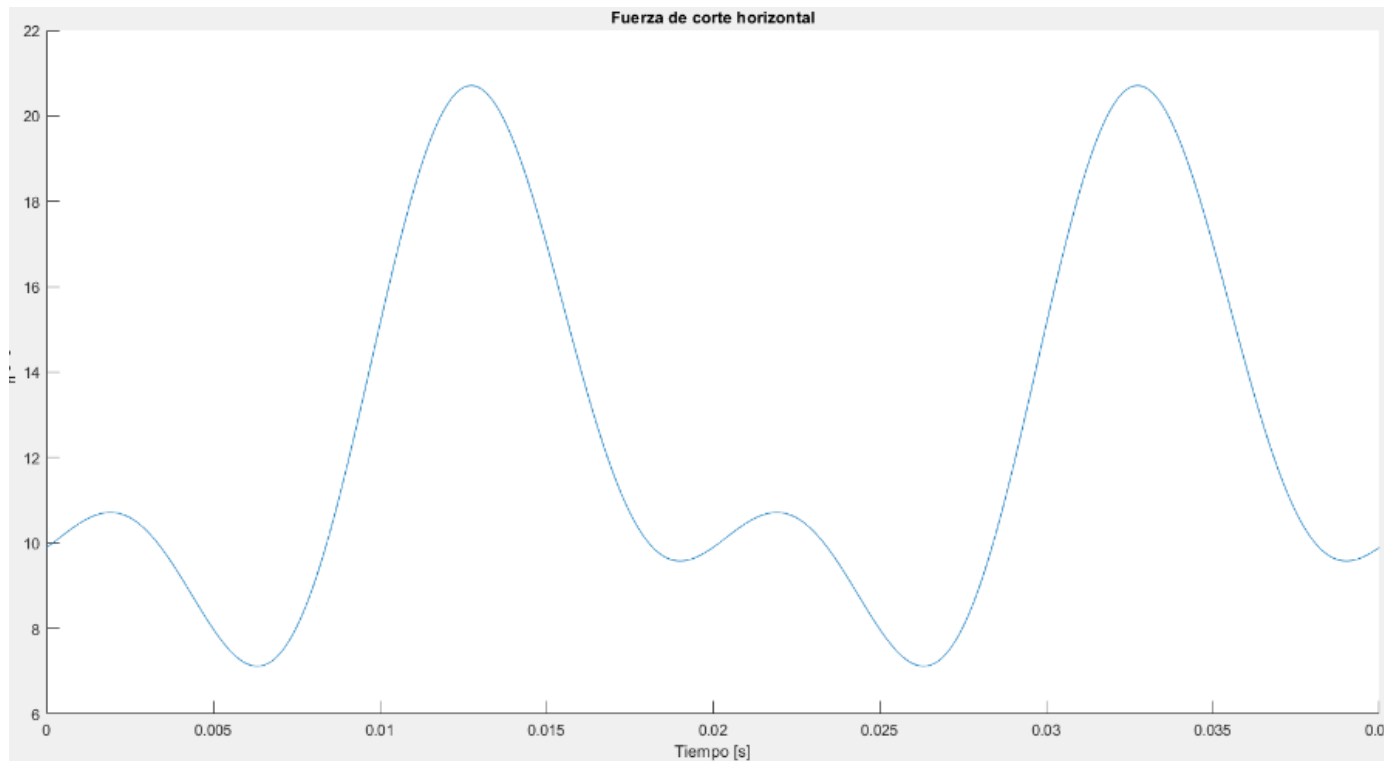
Diseño del eje



Descripción	Valor	Unidad
Velocidad lineal (v_l)	10	m/min
Resistencia del material (λ)	250	KPa
Distancia de ingreso de cuchilla (L)	15	mm
Frecuencia (f)	50	Hz
Parámetro de desplazamiento (μ)	1.4	mm

Diseño del eje

Esfuerzo al que se somete el eje



$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2}$$

$$\sigma_a = \left| \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} \right|$$

$$\sigma = \frac{Fl}{Z}$$

$$F_{max} = 20.7059 \text{ N}$$

$$F_{min} = 7.41 \text{ N}$$



Diseño del eje por criterio de flexión

$$y_{max} = \frac{-Fl^3}{3EI} \quad \left| \frac{y_{max}}{l} \right| \leq 0.0005$$

$$F_{max} = 20.7059 \text{ N}$$

$$l = 194 \text{ mm}$$

$$D \geq \sqrt[4]{\frac{64Fl^2}{0.015E\pi}}$$

$$D \geq 15.167 \text{ mm}$$

$$D = 15.875 \text{ mm} = \frac{5}{8} \text{ in}$$



Diseño del eje

Límite de resistencia a la fatiga en la ubicación crítica de la parte de una máquina (S_e)

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S_e'$$

Ecuación de Marin

- Factor de superficie k_a
- Factor de tamaño k_b
- Factor de temperatura k_c
- Factor de temperatura k_d
- Factor de confiabilidad k_e
- Factor de efectos varios k_f
- Límite de resistencia S_e



Diseño del eje

Gerber-Langer

$$n_f = \frac{1}{2} \left(\frac{S_{ut}}{\sigma_m} \right)^2 \left(\frac{\sigma_a}{S_e} \right) \left[-1 + \sqrt{1 + \left(\frac{2\sigma_m S_e}{S_{ut} \sigma_a} \right)^2} \right] \quad n_f = 9.1758$$

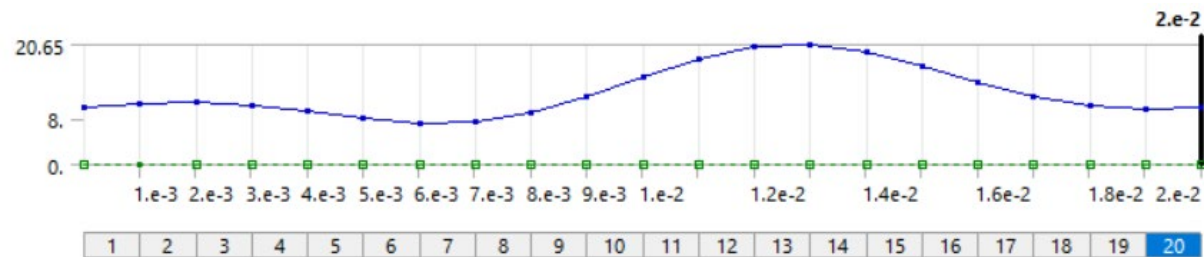
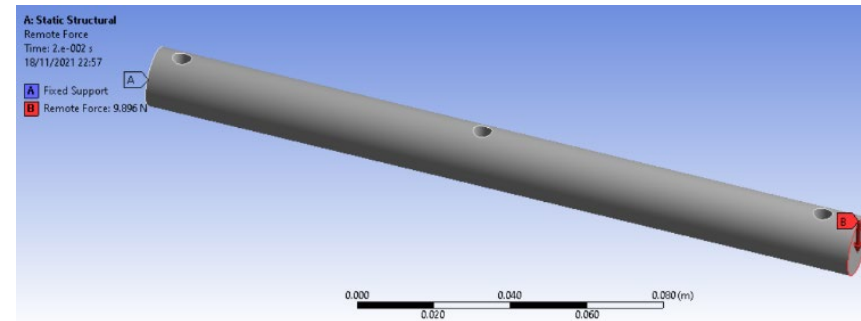
ASME-Elíptica

$$n_f = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\sigma_a}{S_e} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_m}{S_y} \right)^2}} \quad n_f = 9.3612$$



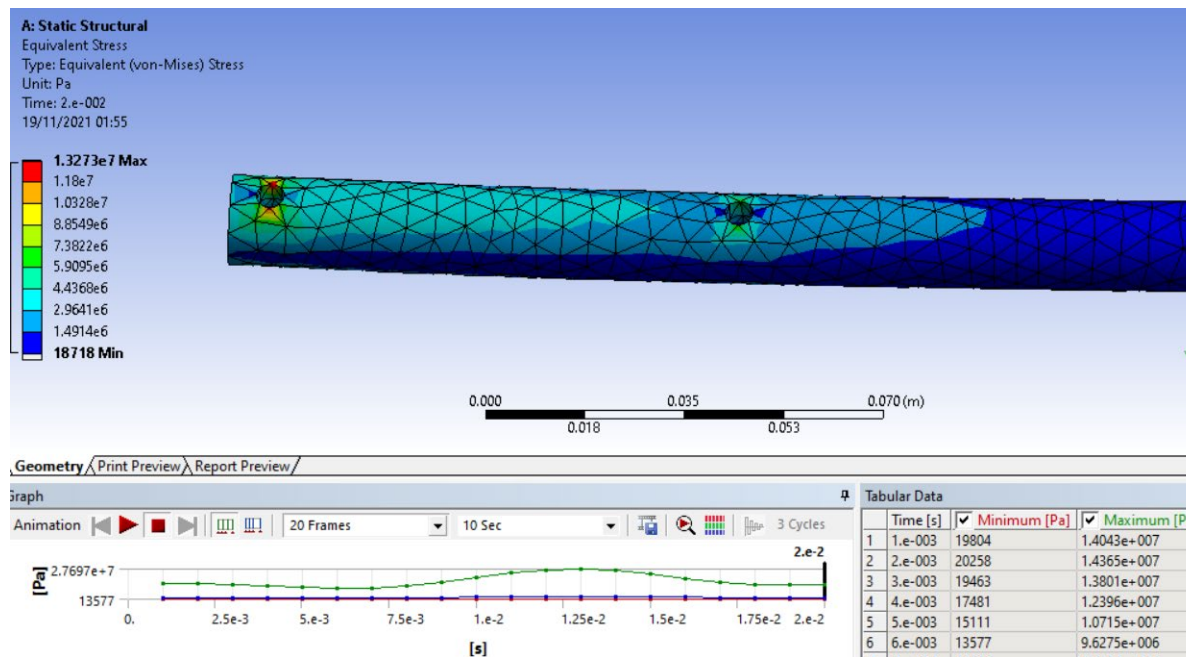
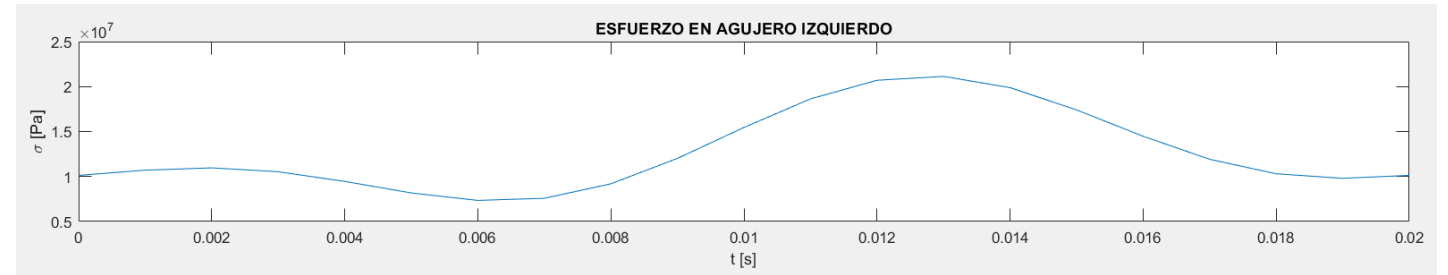
Diseño del eje

Simulación en software CAE



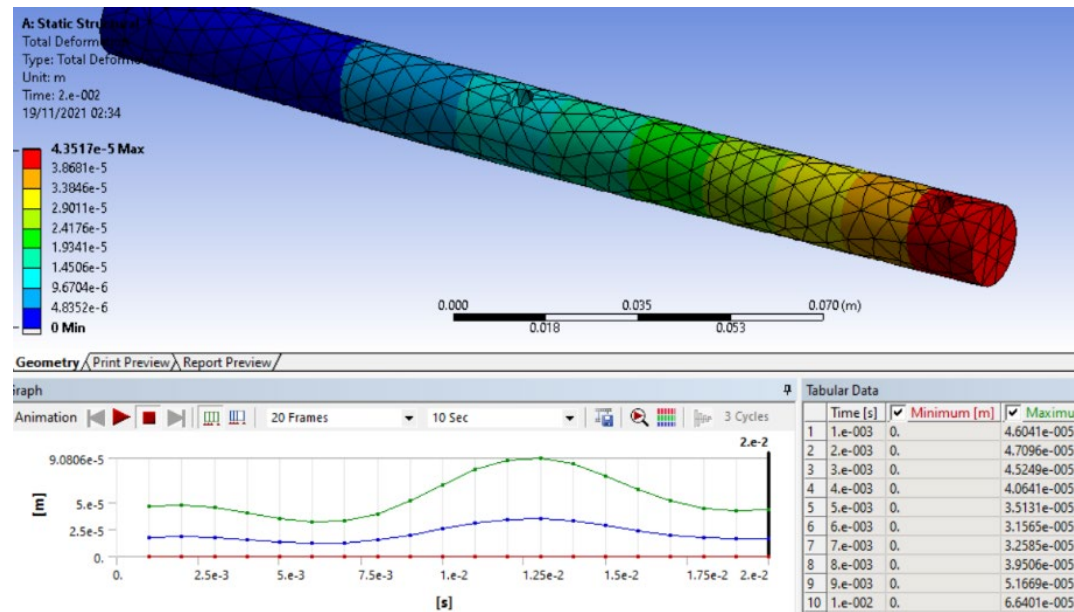
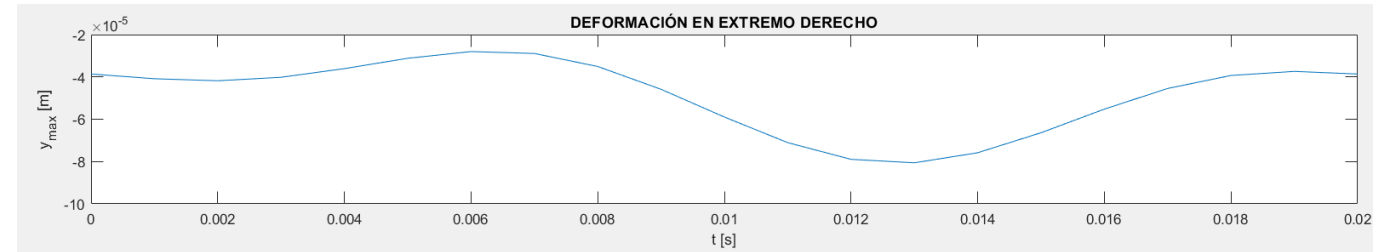
Diseño del eje

Simulación en software CAE



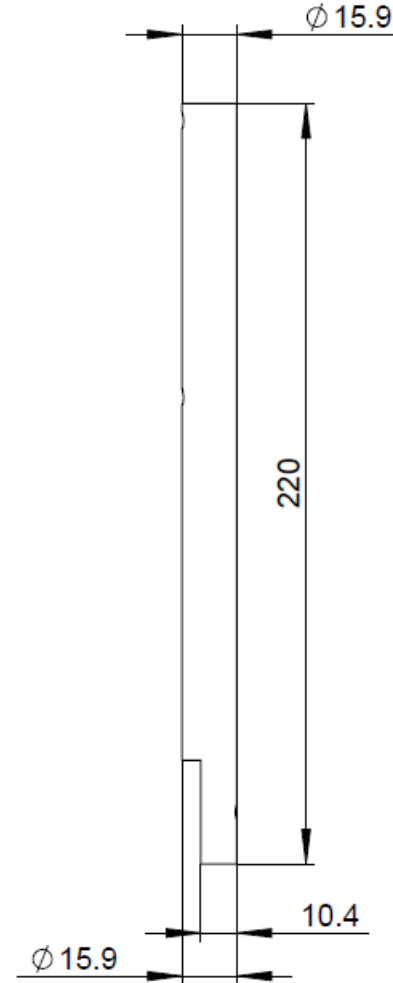
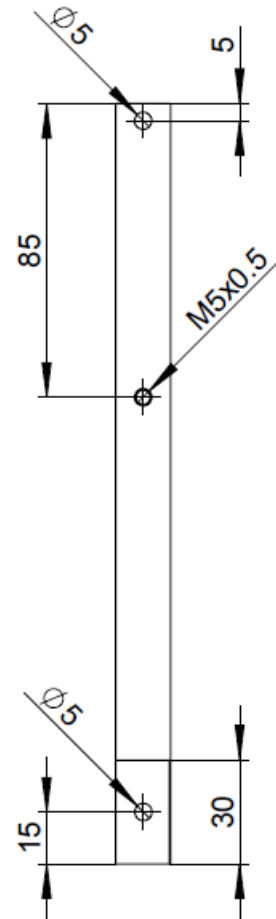
Diseño del eje

Simulación en software CAE

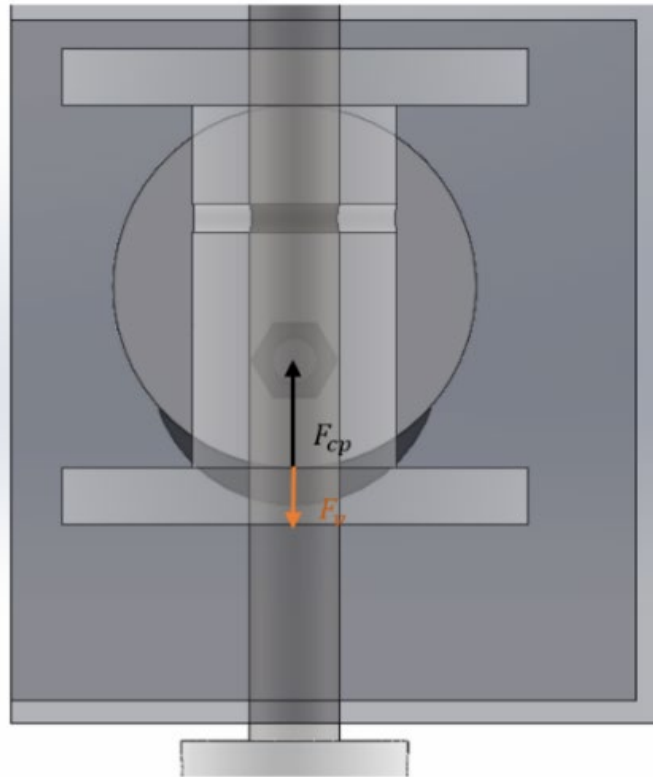


Diseño del eje

Dimensiones



Diseño del disco



$$F_{cp} = m \cdot a_{cp}$$

$$a_{cp} = \omega^2 r$$

$$a_{cp} = 1283.04857 \frac{m}{s^2}$$

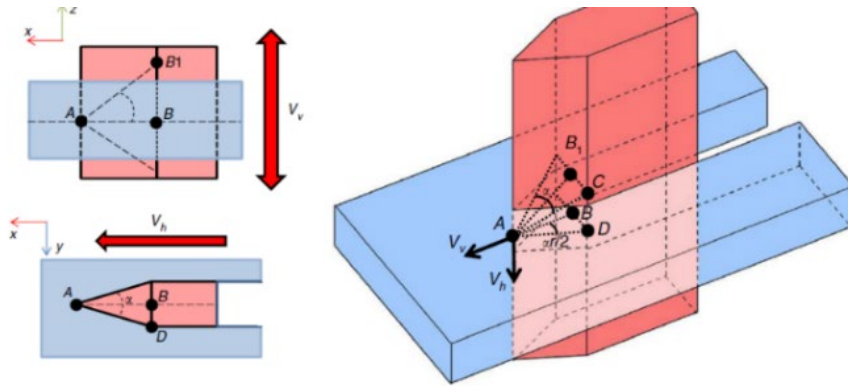
$$\omega = 100\pi \frac{rad}{s}$$

$$r = 13 \text{ mm}$$



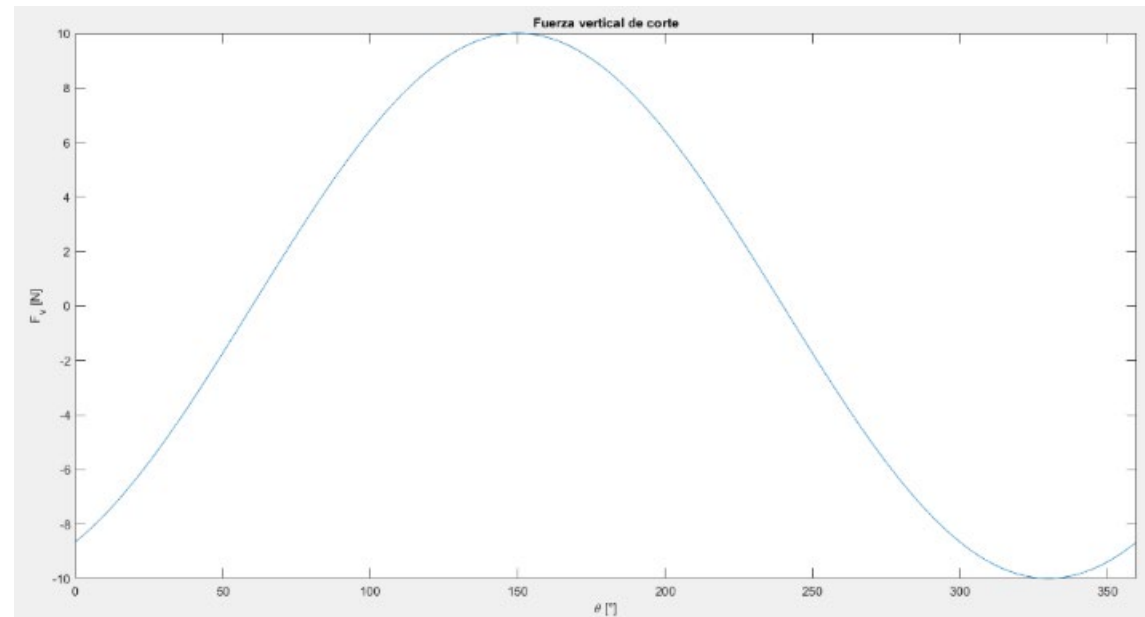
Dimensionamiento de componentes

Fuerzas durante el proceso de corte



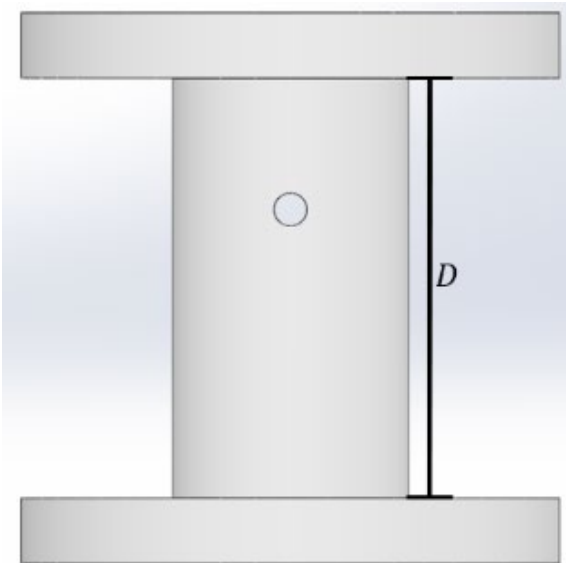
$$F_{v(t)} = \delta \left(\sin \left(2\pi f t - \frac{\pi}{3} \right) \right)$$

δ : Fuerza de rozamiento 10 N para tela Jean



Diseño del disco

Elemento de masa variable



$$m_{t(D)} = \rho \cdot V_s$$

$$V_{s(D)} = 1.0166 \cdot 10^{-4} + \pi D(0.01794^2 - 0.00794^2) m^3$$

$$F_{cp(D)} = \rho \cdot V_{s(D)} \cdot a_{cp}$$

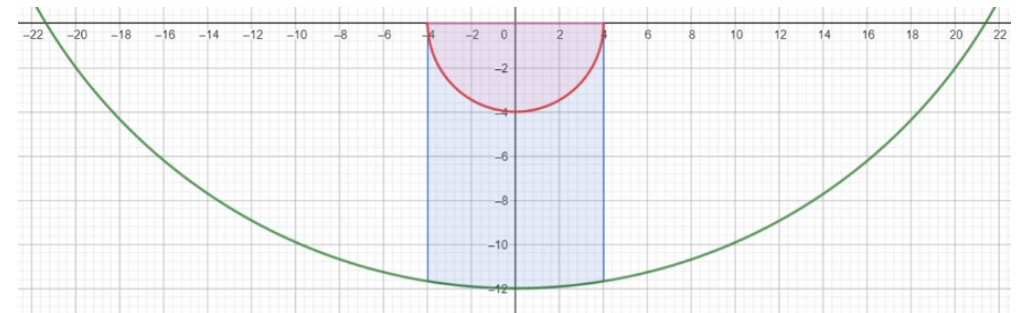


Dimensionamiento de componentes

Esfuerzo durante el proceso de corte

$$F_{total(D)} = 5 + \rho \cdot V_{s(D)} \cdot a_{cp} N$$

$$A_{(D)} = \int_{-4}^4 \left(\sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - x^2} + 13 \right) dx - 8\pi \text{ mm}^2 dD$$



Dimensionamiento de componentes

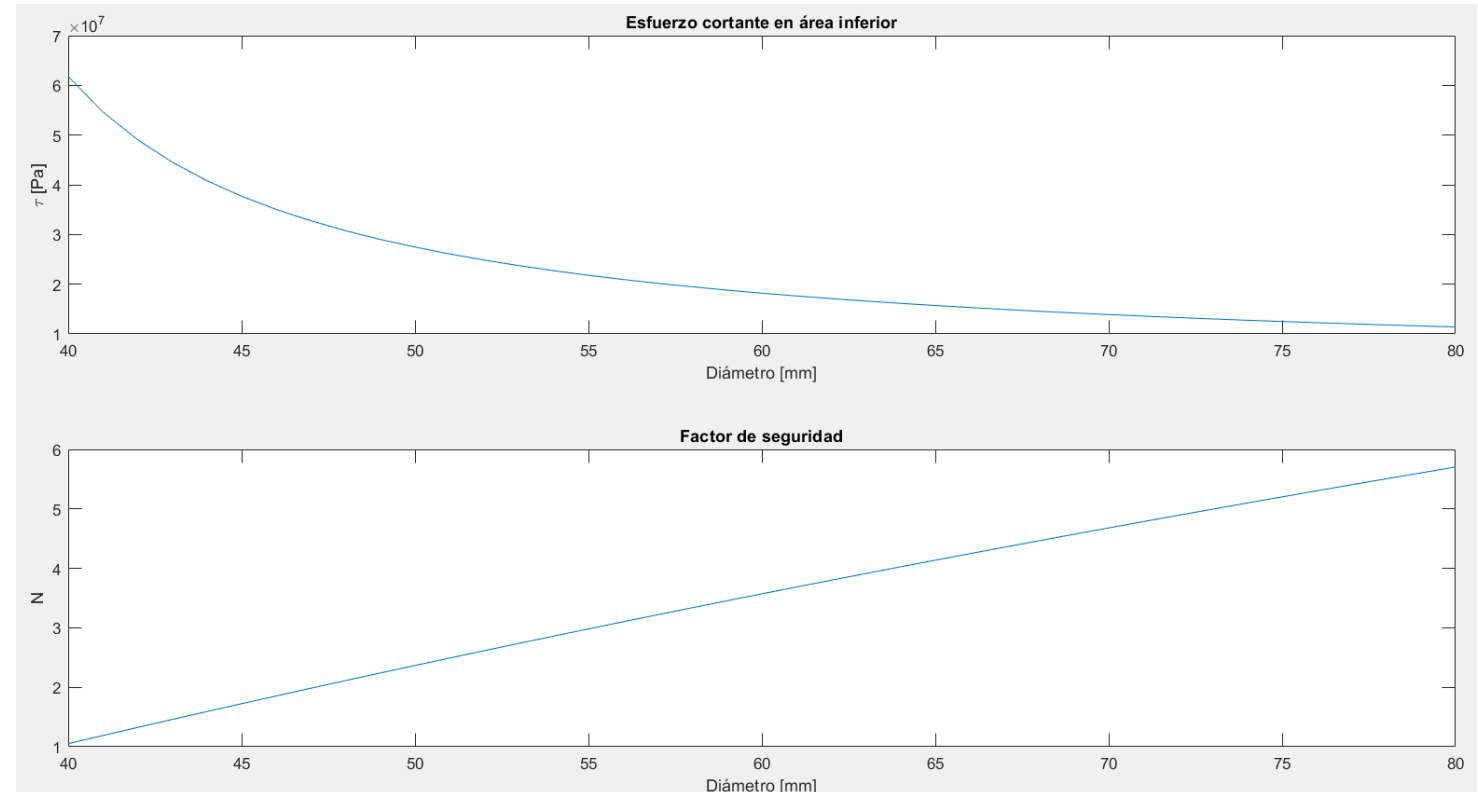
Esfuerzo durante el proceso de corte

$$\tau = \frac{F}{A}$$

$$N > 4$$

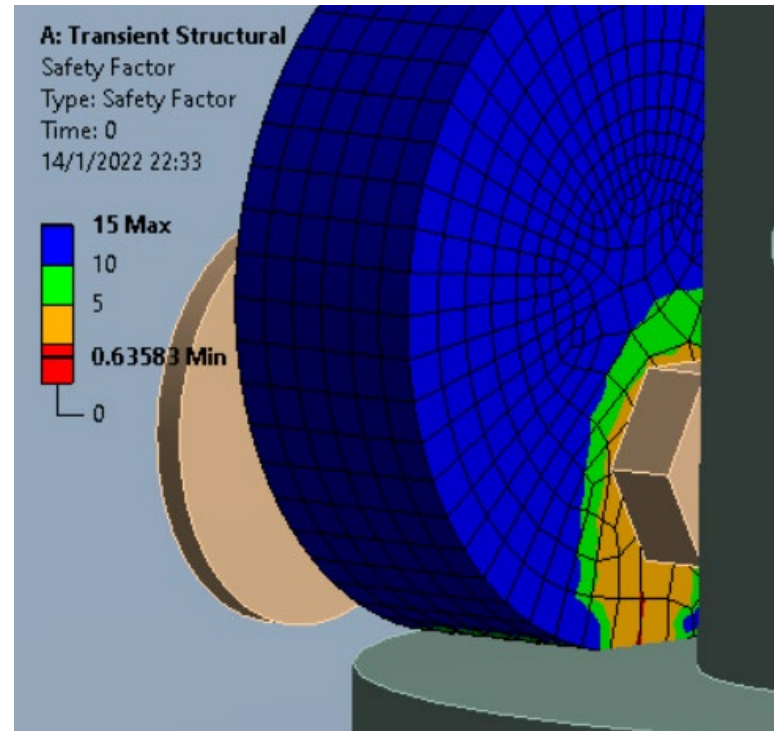
$$N = \frac{27.5 \cdot A_{(D)}}{F_{total(D)}}$$

$$D = 64 \text{ mm}$$



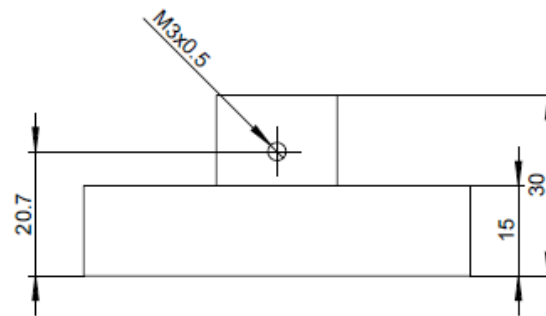
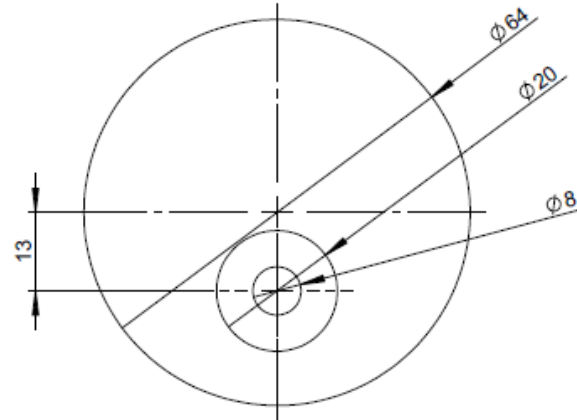
Diseño del disco

Simulación en software CAE



Diseño del disco

Dimensiones

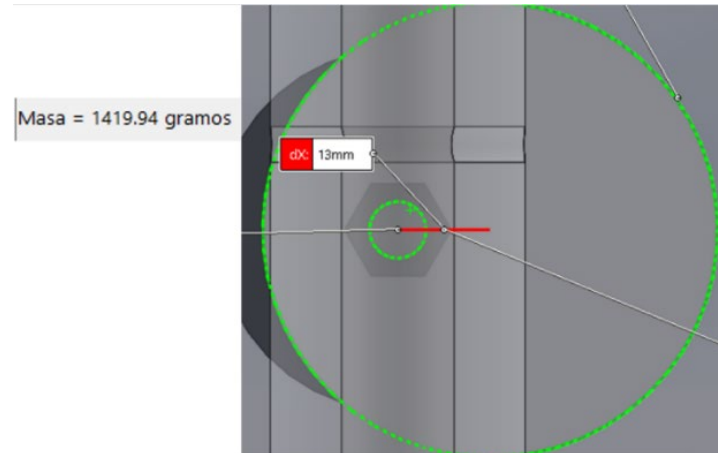


Dimensionamiento del motor

Torque

$$T = W \cdot d$$

$$T = 0.1811 \text{ Nm}$$



Velocidad angular

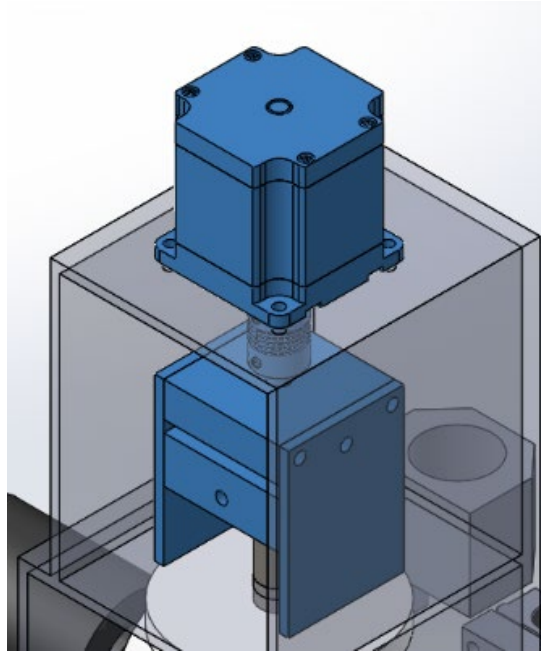
$$50 \text{ Hz} = 3000 \text{ RPM}$$

Datos nominales de motor DC XD3420

Descripción	Valor	Unidad
Velocidad angular	3500	RPM
Torque nominal	0.196	Nm



Mecanismo de movimiento angular



$$I = 87.45654 \times 10^{-4} \text{ Kg}m^2$$

$$T = 1.09 \text{ Nm}$$

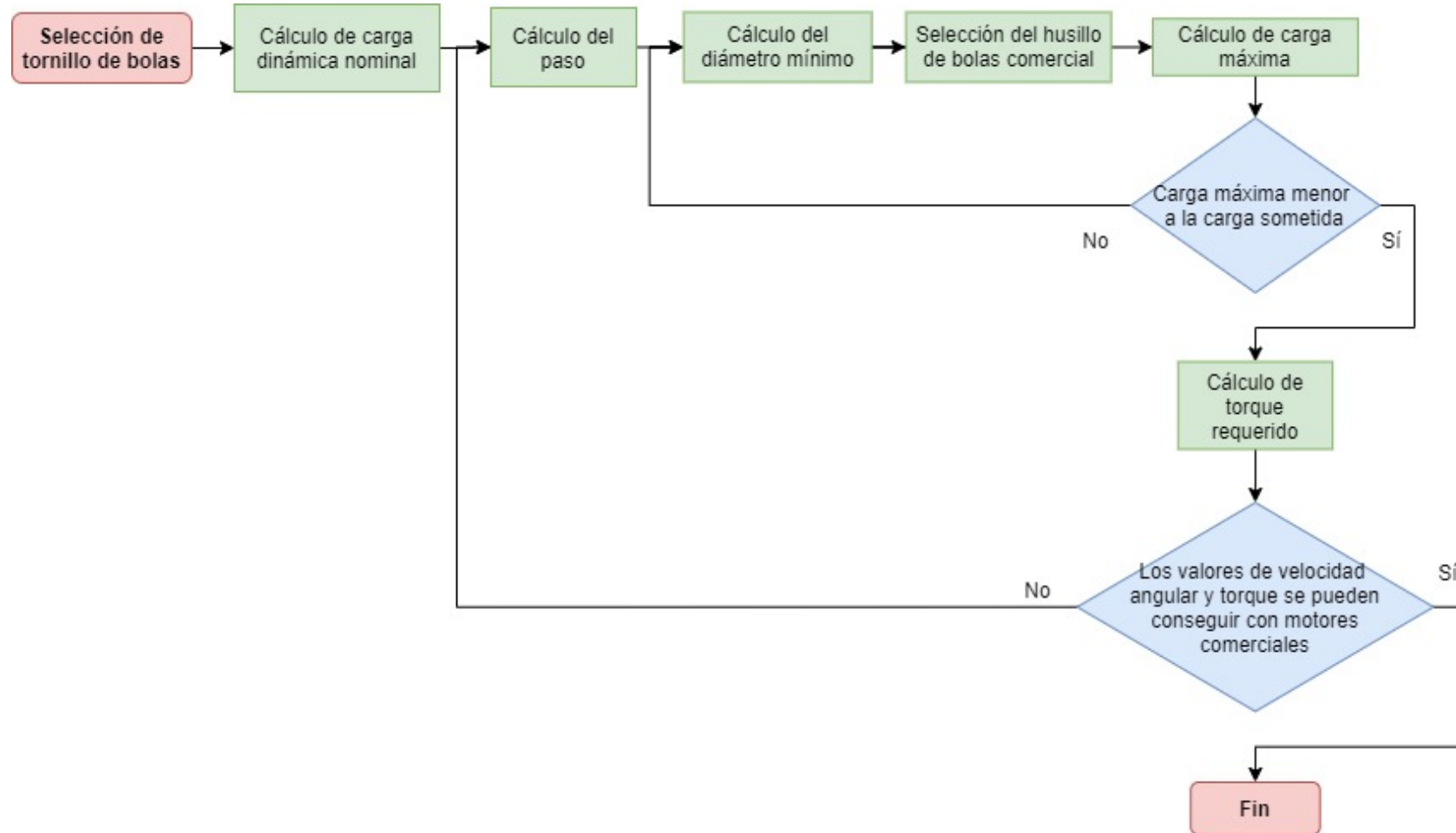
$$\text{NEMA 23: } 1 - 3 \text{ Nm}$$



DISEÑO DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO

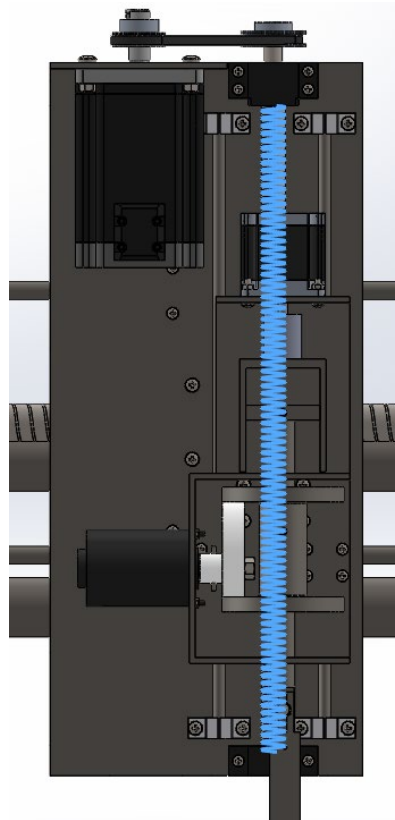
Ejes Y, Z

Diseño de husillos de bolas recirculantes



DISEÑO DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO

Sistema de transmisión en el eje Z



Descripción	Valor	Unidad
Carga (F_{eq})	80.534	N
Orientación	Vertical	-
Velocidad máxima (v_{lmax})	6	m/min
Distancia entre los rodamientos (L)	431	mm
Precisión	± 1	mm
Condiciones de trabajo	Normales	-
Ciclos de trabajo	8826880000	mm



DISEÑO DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO

Sistema de transmisión en el eje Z

SFU 1605

Carga mínima:

$$138000 \text{ N} \geq 1664.362 \text{ N}$$

Diámetro:

$$16 \text{ mm} \geq 1.935 \text{ mm}$$

Paso:

$$5 \text{ mm} \leq 6 \text{ mm}$$

Carga máxima

$$1526 \text{ N} > 80.54 \text{ N}$$

Torque y velocidad angular

$$T = 0.0712 \text{ Nm}$$

$$\omega = 1200 \text{ RPM}$$

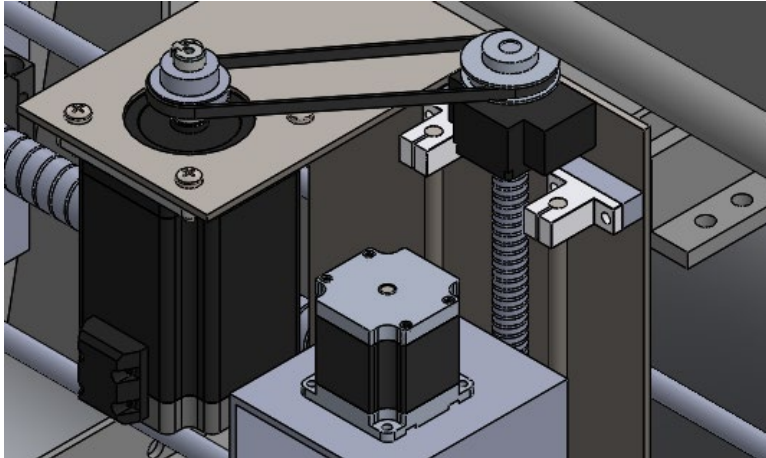


ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DISEÑO DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO

Sistema de transmisión en el eje Z

Diseño sistema de sujeción del motor



	Número de dientes	Diámetro de paso [mm]
Polea del motor	55	34.5
Polea del eje	60	38

Carga máxima polea (GT2): 56 Kg



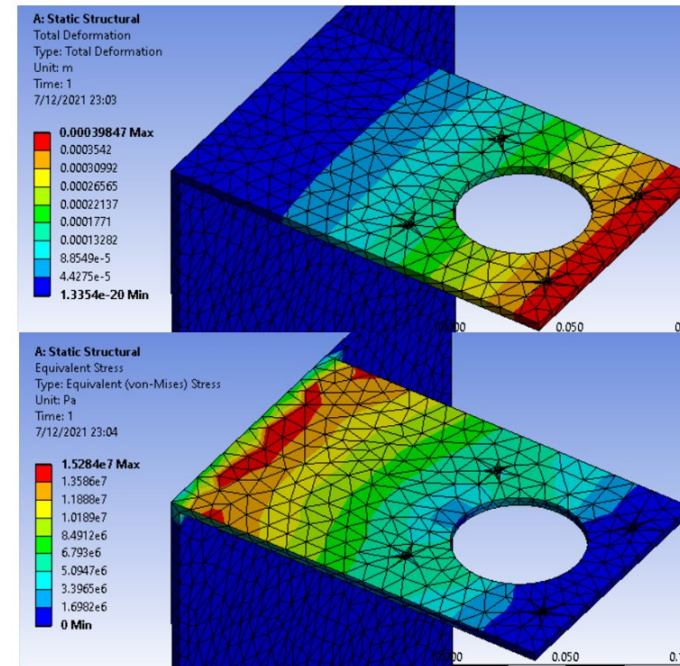
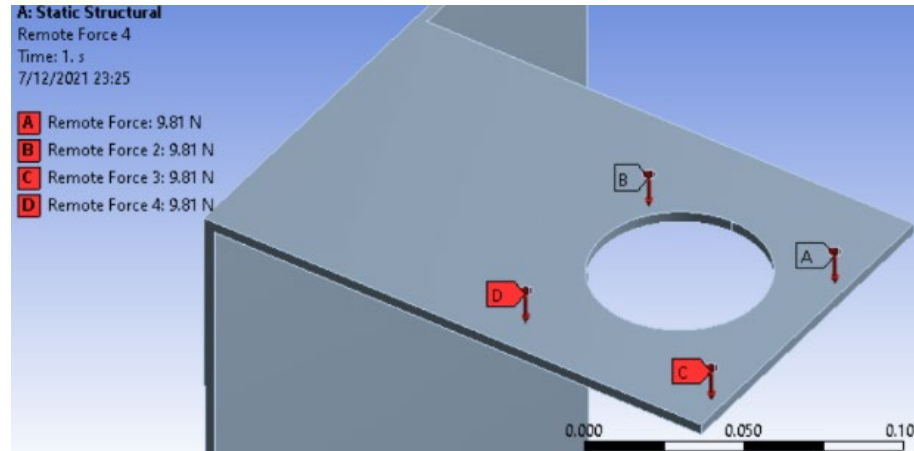
ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DISEÑO DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO

Sistema de transmisión en el eje Z

Diseño sistema de sujeción del motor

Simulación en software CAE



$$\left| \frac{y_{max}}{d} \right| \leq 0.0005$$

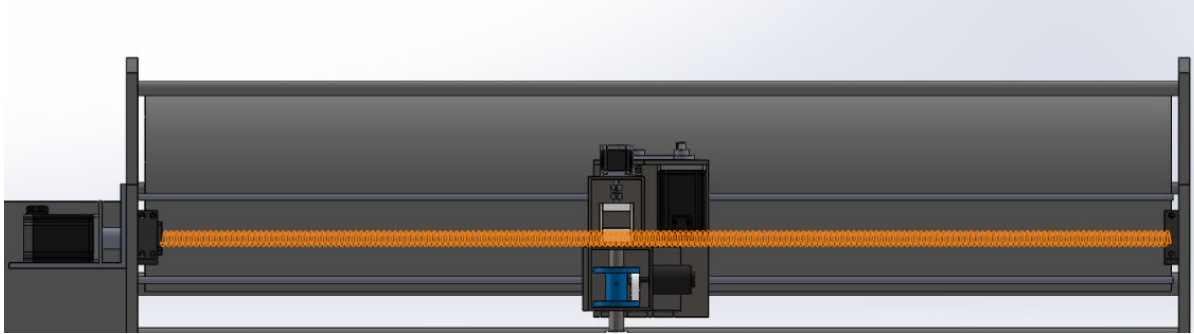
$$h \geq 3.268 \text{ mm}$$

$$h = 4 \text{ mm}$$



DISEÑO DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO

Sistema de transmisión en el eje Y



Descripción	Valor	Unidad
Carga (F_{eq})	22.277	N
Orientación	Horizontal	-
Velocidad máxima (v_{lmax})	10	m/min
Distancia entre los rodamientos (L)	1774	mm
Precisión	± 0.25	mm
Condiciones de trabajo	Normales	-
Ciclos de trabajo	18165760000	mm



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DISEÑO DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO

Sistema de transmisión en el eje Y

SFS 2510

Carga mínima:

$$163800 \text{ N} \geq 585.615 \text{ N}$$

Diámetro:

$$25 \text{ mm} \geq 23.438 \text{ mm}$$

Paso:

$$10 \text{ mm} \leq 10 \text{ mm} \wedge 10 \text{ mm} \geq 5.55 \text{ mm}$$

Carga máxima

$$4633 \text{ N} > 585.615 \text{ N}$$

Torque y velocidad angular

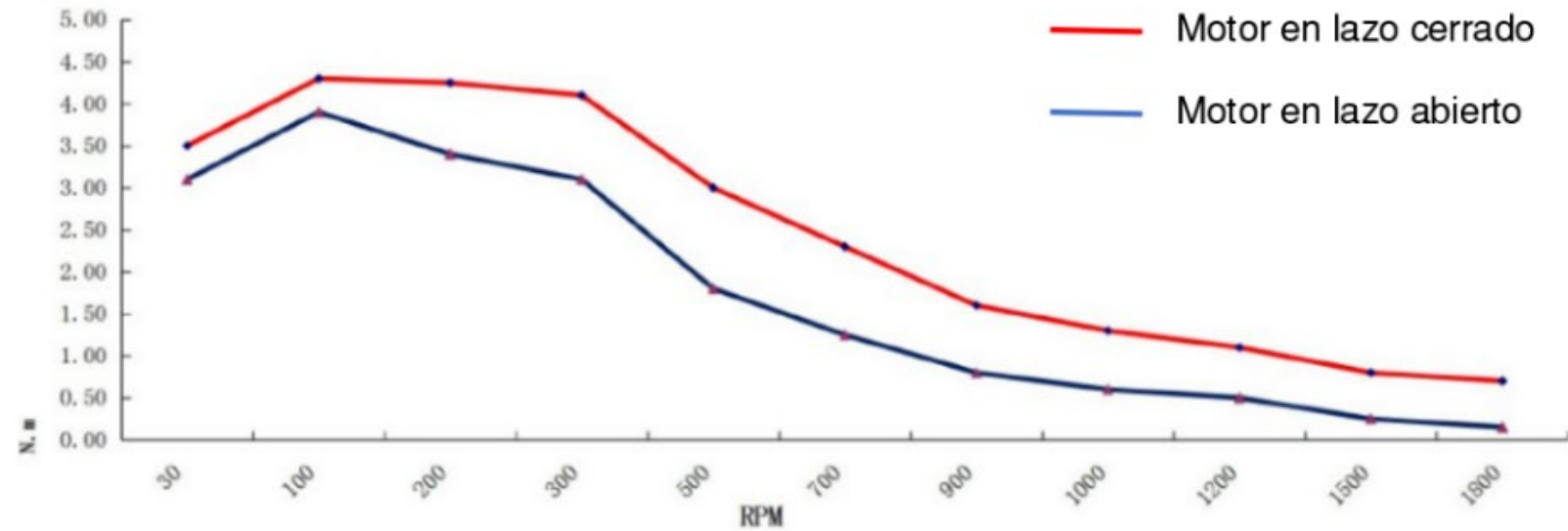
$$T = 0.0394 \text{ Nm} \quad \omega = 1000 \text{ RPM}$$



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DISEÑO DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO

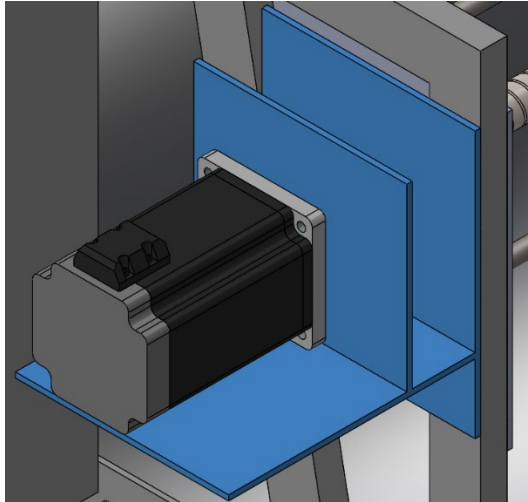
NEMA 34



DISEÑO DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO

Sistema de transmisión en el eje Y

Diseño sistema de sujeción del motor



$$h \geq \sqrt[3]{\frac{12Fd^3}{0.0015E \cdot b}}$$

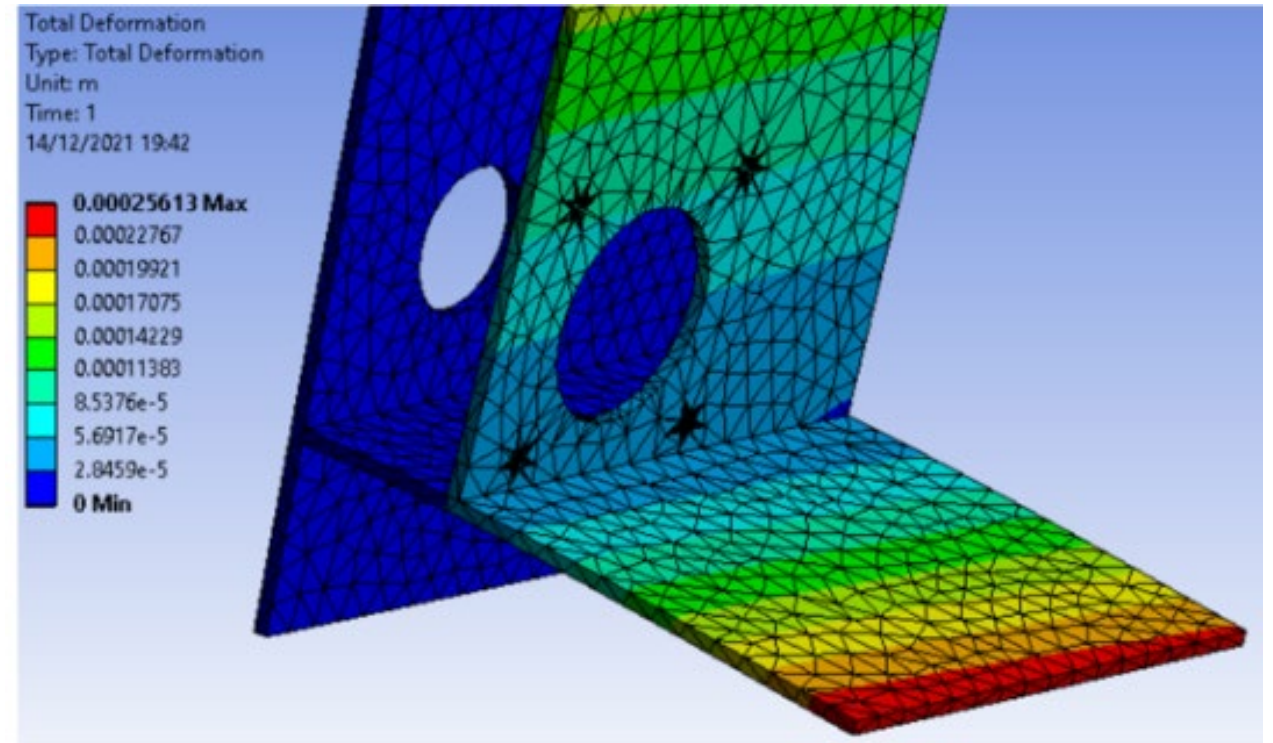
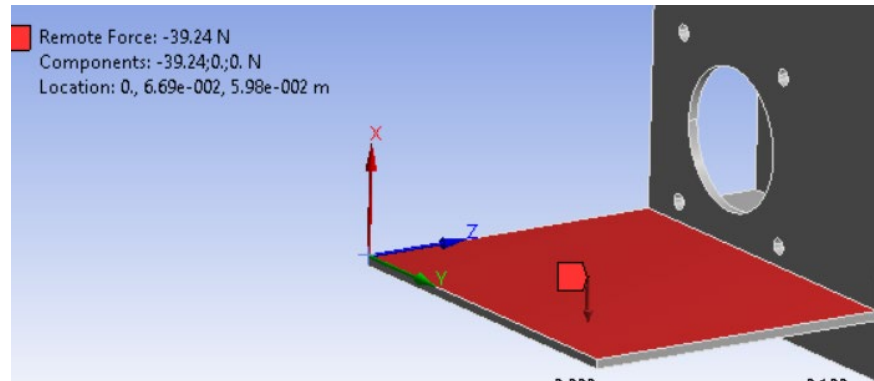
$$h \geq 2.5 \text{ mm}$$

DISEÑO DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO

Sistema de transmisión en el eje Y

Diseño sistema de sujeción del motor

Simulación en software CAE

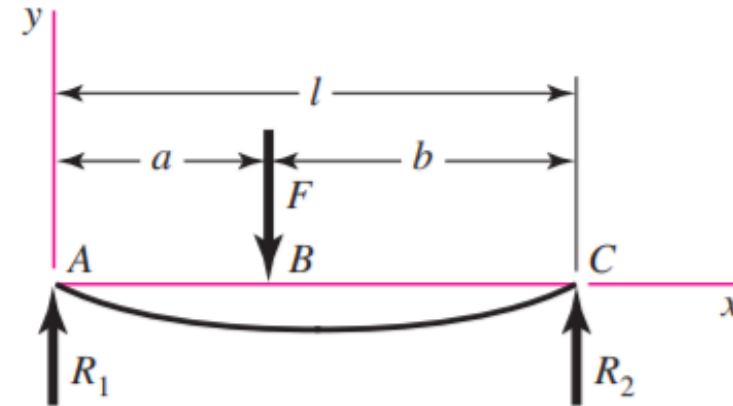
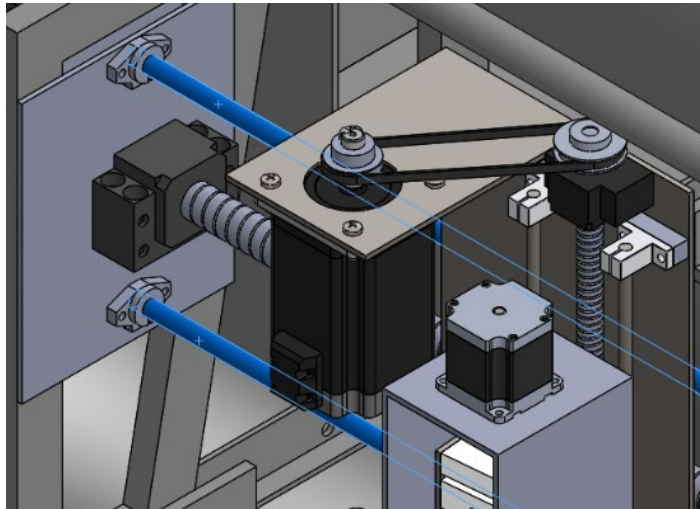


DISEÑO DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO

Sistema de transmisión en el eje Y

Diseño sistema de sujeción del motor

Diseño de guías lineales



DISEÑO DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO

Sistema de transmisión en el eje Y

Diseño sistema de sujeción del motor

Diseño de guías lineales

Ecuaciones de singularidad

$$V_{(x,a)} = R_1 - F\langle x - a \rangle^0 + R_2\langle x - l \rangle^0$$

$$M_{(x,a)} = \frac{W}{3} \left(\frac{b \cdot x}{l} - \langle x - a \rangle^1 \right)$$

$$\theta_{(x,a)} = \frac{W}{3(E \cdot I)} \left\{ \left[\frac{b}{l} \left(\frac{x^2}{2} - \frac{l^2}{6} \right) + \frac{b^3}{6l} \right] - \left[\frac{\langle x - a \rangle^2}{2} \right] \right\}$$

$$y_{(x,a)} = \frac{W}{18 \cdot E \cdot I} \left[\frac{b}{l} (x^3 - x \cdot l^2) + \frac{b^3 \cdot x}{l} - \langle x - a \rangle^3 \right]$$



DISEÑO DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO

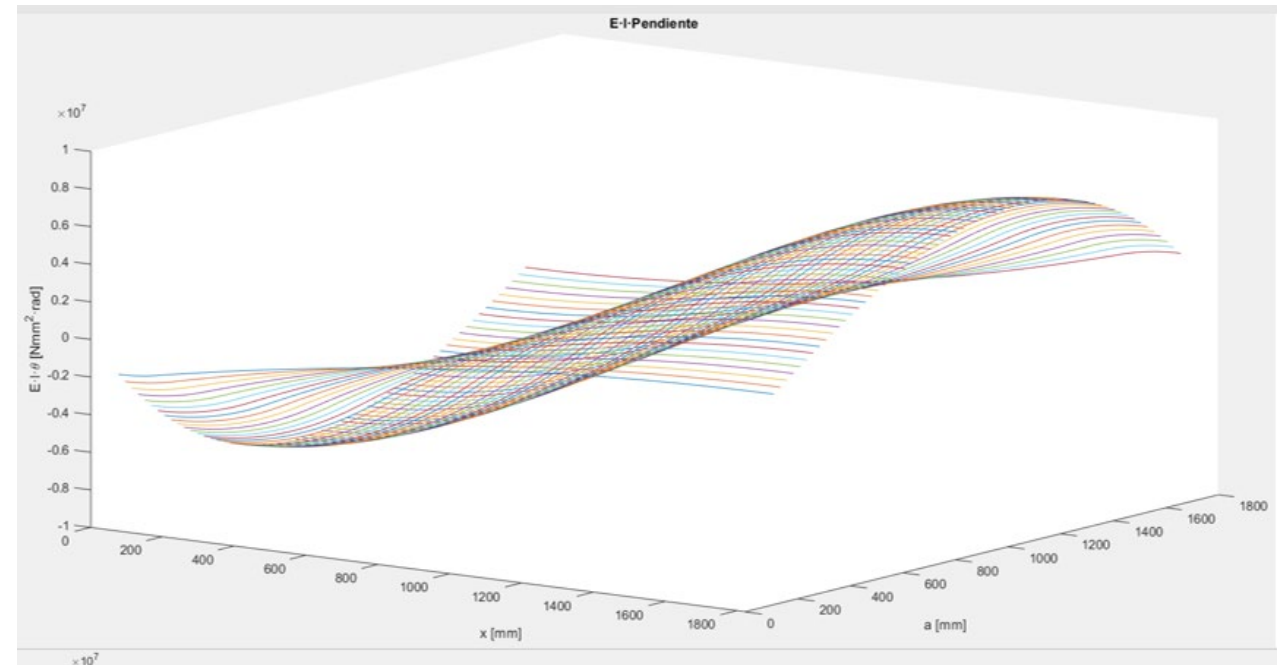
Sistema de transmisión en el eje Y

Diseño sistema de sujeción del motor

Diseño de guías lineales

Comportamiento de pendiente respecto a a y x

	Valor máximo	x [mm]	a [mm]
Momento flector [Nmm]	17101.6282	913	913
Pendiente [rad · Nmm ²]	8012998.378	0 o 1826	772 o 1054



DISEÑO DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO

Sistema de transmisión en el eje Y

Diseño sistema de sujeción del motor

Diseño de guías lineales

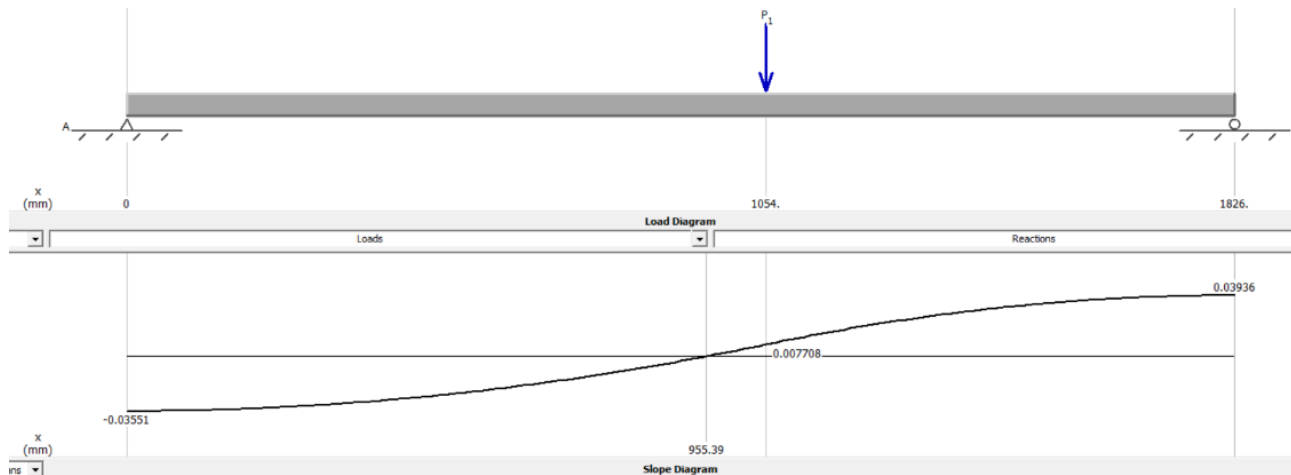
Pendientes

Rodillo ahusado	0.0005-0.0012 rad
Rodillo cilíndrico	0.0008-0.0012 rad
Bola con ranura profunda	0.001-0.003 rad
Bola esférica	0.026-0.052 rad
Bola autoalineante	0.026-0.052 rad
Engrane recto sin corona	< 0.0005 rad

$$D \geq \sqrt[4]{\frac{64 \cdot 8.013 \text{ Nm}^2}{0.052 \text{ rad} \cdot \pi \cdot 200 \cdot 10^9 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}}}$$

$$D \geq 11.193 \text{ mm}$$

$$D = 12 \text{ mm}$$



DISEÑO DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO

Sistema de transmisión en el eje X

$$F_T = m \left(a + \frac{g \cdot b}{r} + g \cdot u \right)$$

$$T = \frac{F_T \cdot d}{2}$$

$$T_d = 10.661 Nm$$

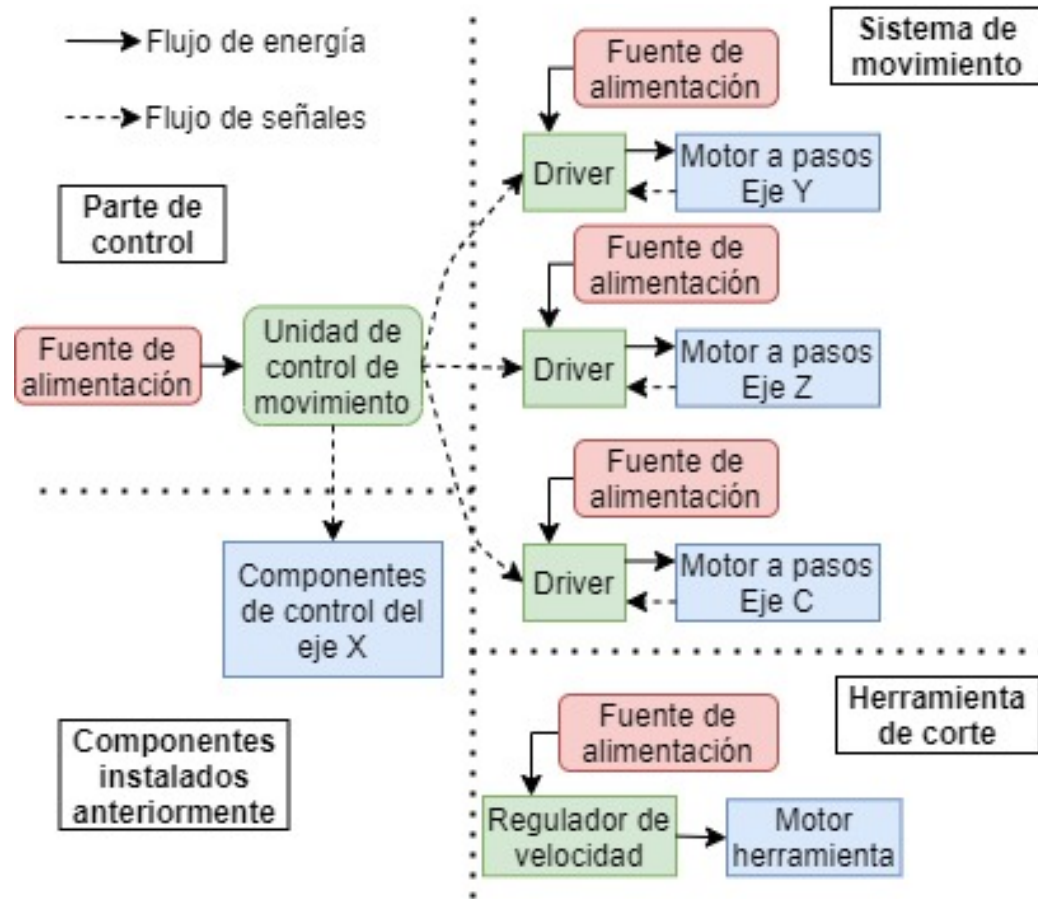
Descripción	Valor	Unidad
Masa (m)	109.05	Kg
Aceleración (a)	3.33	$\frac{m}{s^2}$
Coefficiente de resistencia a la rodadura (b)	0.25	—
Gravedad (g)	9.81	$\frac{m}{s^2}$
Radio de la rueda (r)	19.05	mm
Coefficiente de fricción (u)	0.09	—

Con los motores previamente instalados en la máquina

$$16 Nm > 10.661 Nm$$



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



Selección de componentes

Unidad de control de movimiento

N°	Métrica	Importancia (1-5)	Unidad
1	Simplicidad de implementación	4	Subj.
2	Implementación de interfaz con los datos requeridos	5	Subj.
3	Frecuencia del procesador	4	Hz
4	Precio	4	\$
5	Facilidad de uso para el operador	4	Subj.

Métrica N°	Arduino	Raspberry Pi	DDCS V3.1
1	1	2	5
2	3	4	5
3	16 Mhz	1500 MHz	500 KHz para cada eje
4	\$50	\$130	\$270
5	3	4	5



Selección de componentes

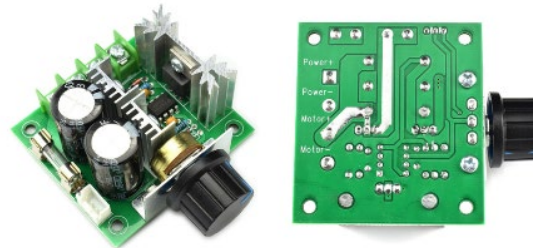
Unidad de control de movimiento



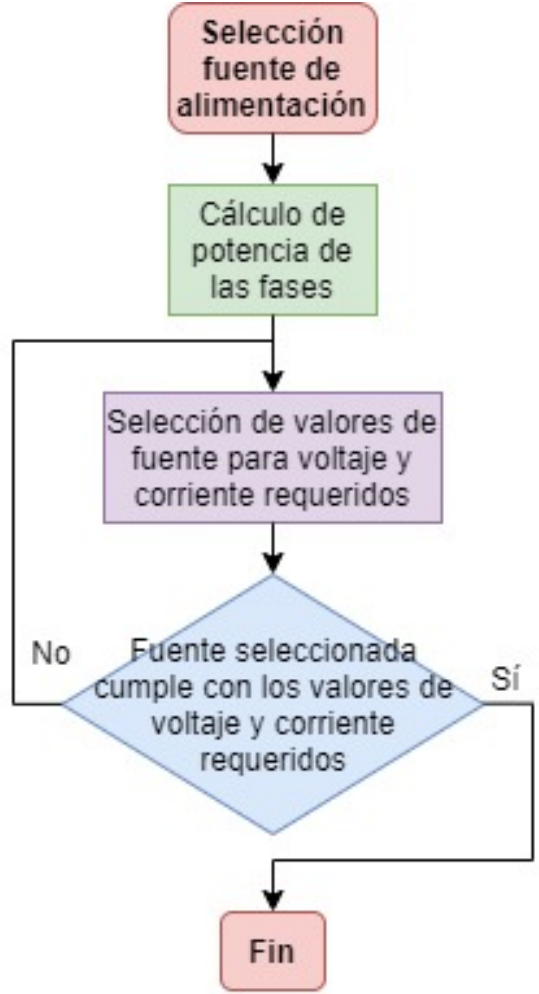
Driver para motores a pasos



Regulador de velocidad para la herramienta de corte



Dimensionamiento de fuentes de alimentación



Para motores y driver

$$P_{motor} = n \cdot 1.2 \cdot (I_{fase}^2 \cdot R_{fase})$$

$$I = \frac{N \cdot P_{motor}}{V_{Fuente}}$$

n : Número de fases del motor a pasos

I_{fase} : Corriente de fase [A]

R_{fase} : Resistencia de fase [Ω]

N : Número de motores

P_{motor} : Potencia requerida por el motor

V_{Fuente} : Voltaje de la fuente



Dimensionamiento de fuentes de alimentación

Ejes Y, Z-NEMA 34

Descripción	Valor	Unidad
Número de fases (n)	2	-
Corriente de fase (I_{fase})	6	A
Resistencia de fase (R_{fase})	0.44	Ω
Rango de voltaje DC del controlador	30 – 110	V

Fuente centralizada 60 V y 8.3 A

Ejes C-NEMA 23

Fuente centralizada 36 V y 11 A

Descripción	Valor	Unidad
Número de motores	2	-
Potencia por motor	38.016	W
Voltaje de la fuente	60	V

Unidad de control de movimiento

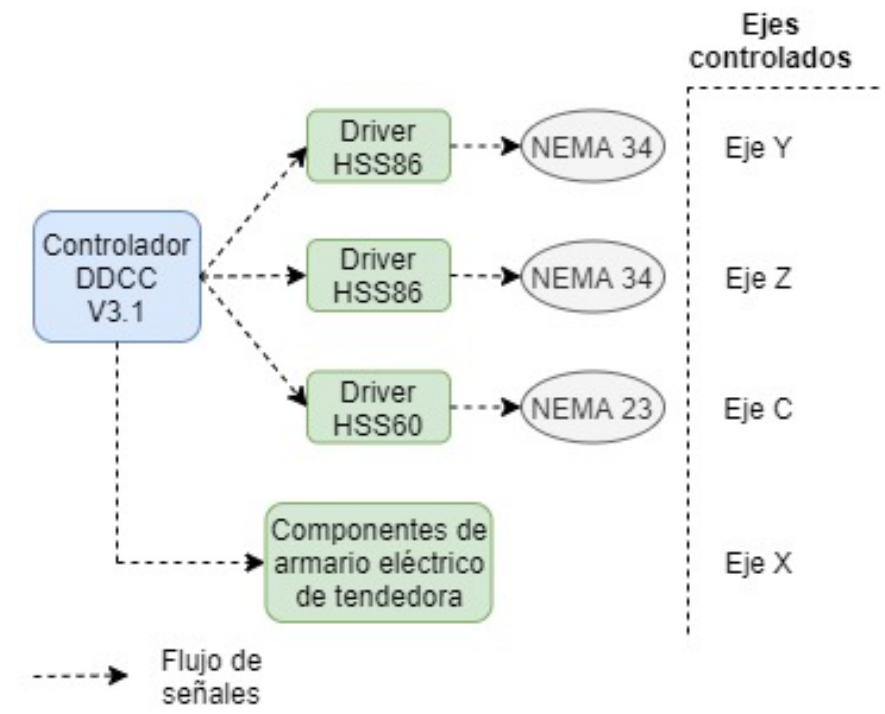
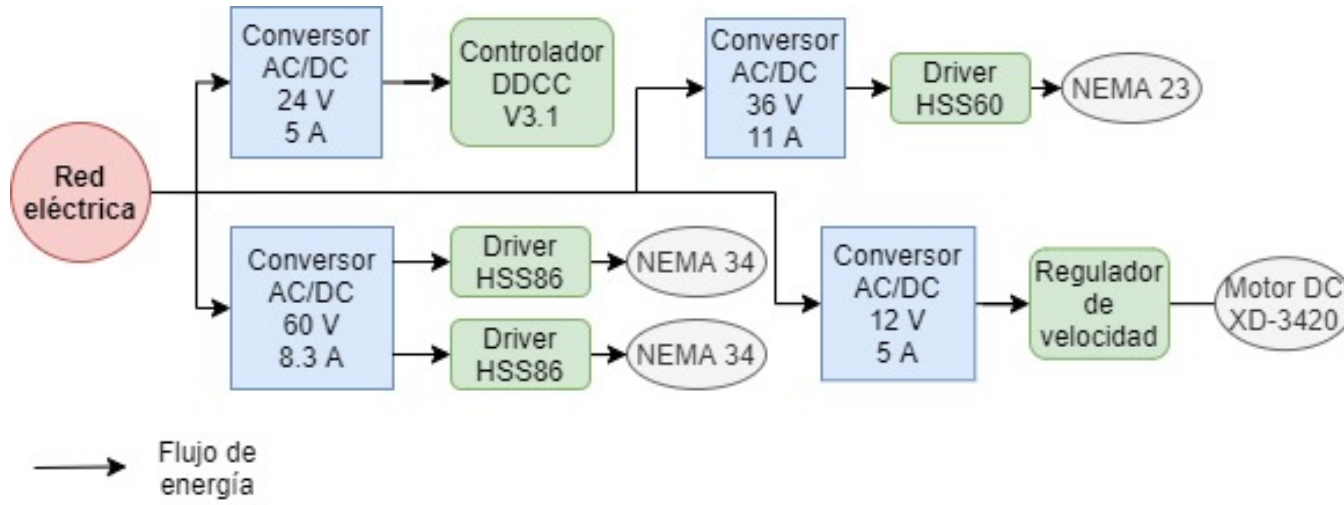
Fuente centralizada 24 V y 5 A

Motor de herramienta de corte

Fuente centralizada 12 V y 5 A



Conexión



Dimensionamiento de elemento de protección

Descripción	Votaje [V]	Corriente [A]	Potencia [W]
Fuente de controlador	24	1	24
Fuente de motores NEMA 34	60	1.2672	76.032
Fuente de motor NEMA 23	36	0.588	21.168
Fuente de motor de herramienta	12	0.4	4.8
		TOTAL	126

$$I_{fusible} = \frac{f \cdot P_{total}}{V_{red}}$$

P_{total} : Potencia total del circuito [W]

V_{red} : Voltaje de la red eléctrica [V] (120 V)

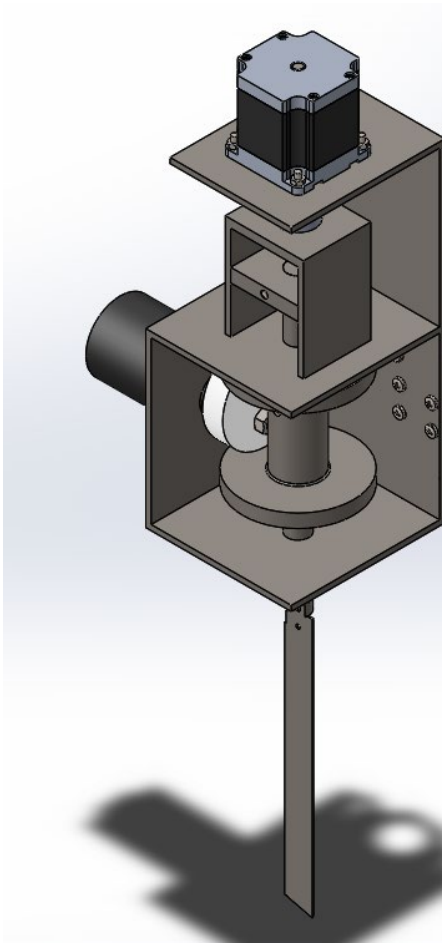
f : Factor de diseño (1.2)

$$I_{fusible} = 1.26 A$$

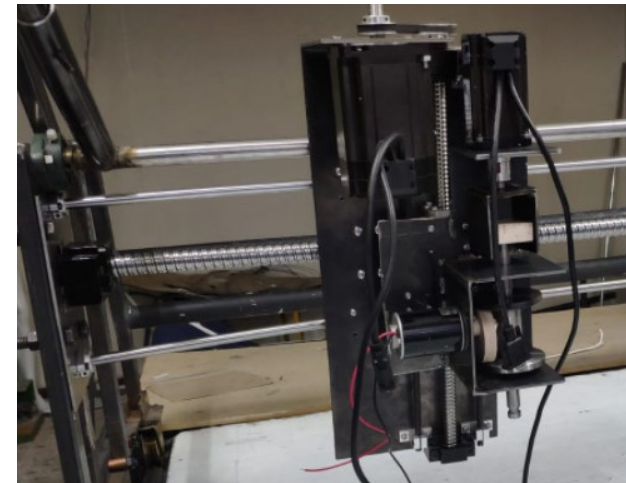
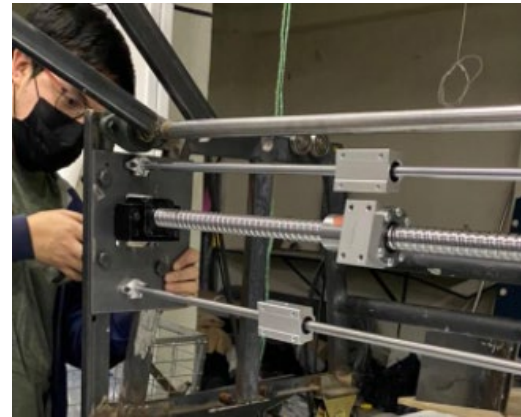
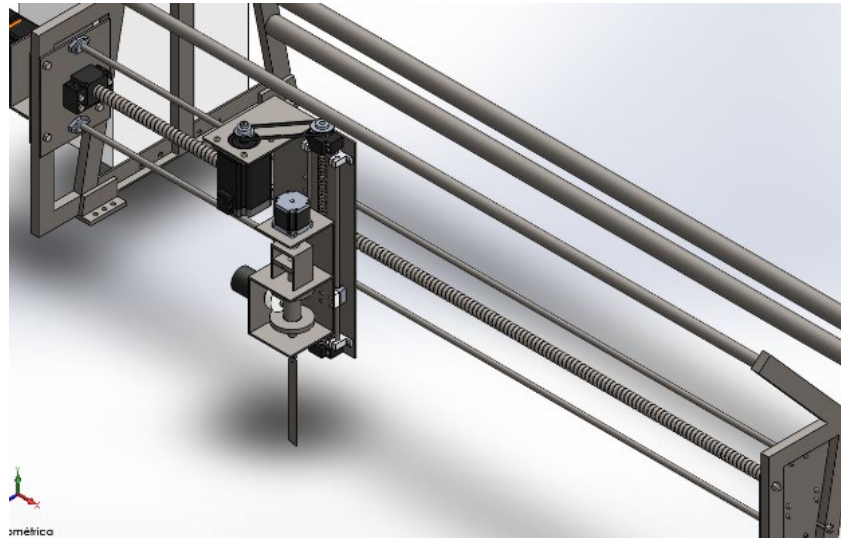
$$I_{fusible} = 2 A$$



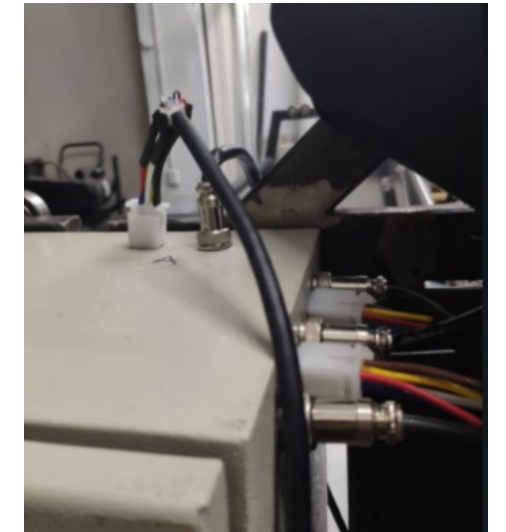
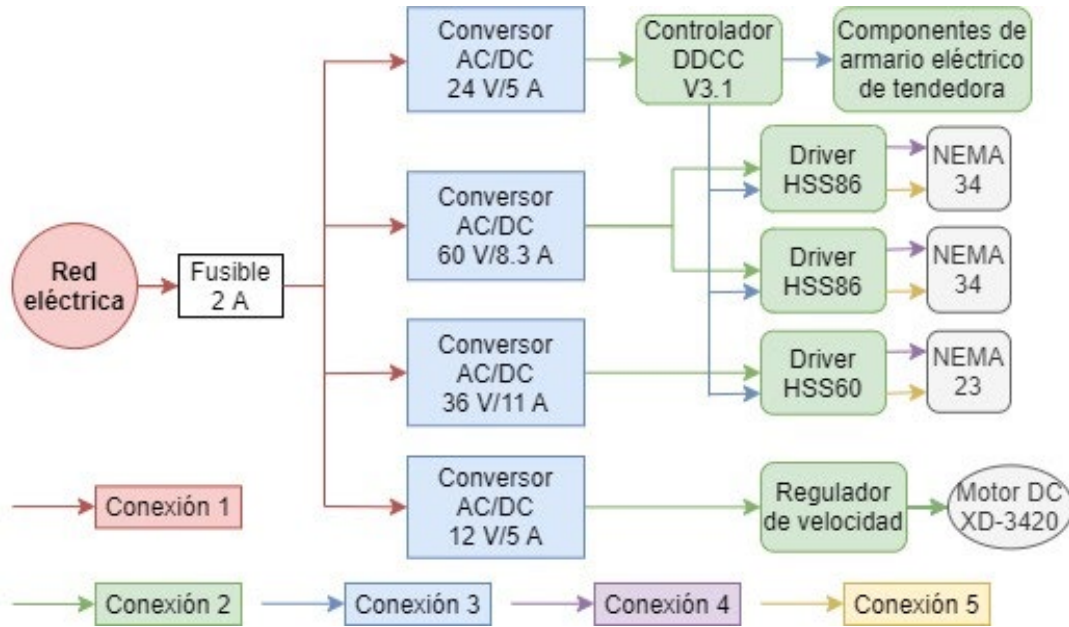
Construcción e implementación del cabezal de corte



Construcción e implementación del sistema de transmisión de movimiento

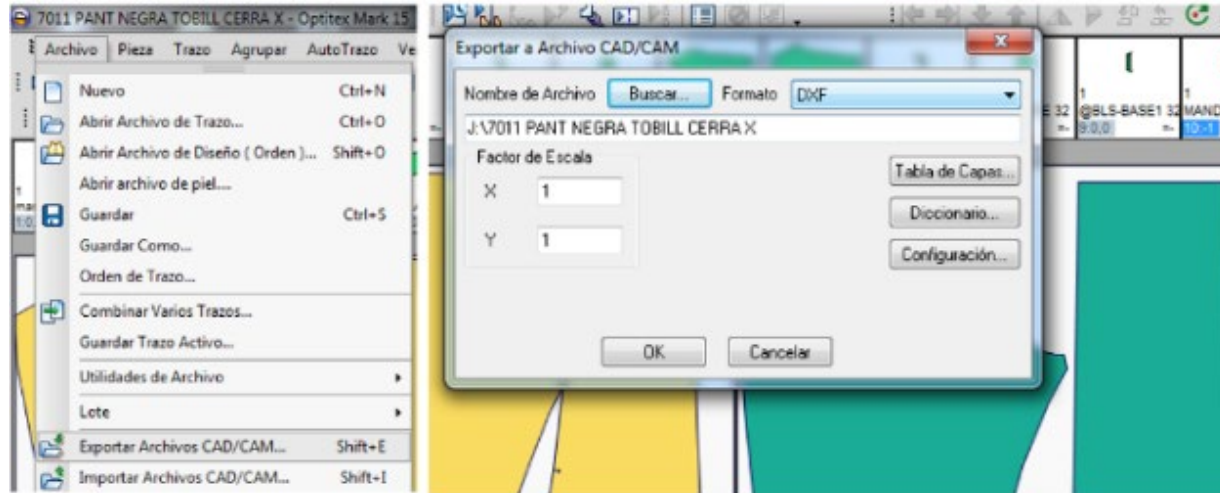


Construcción de armario eléctrico

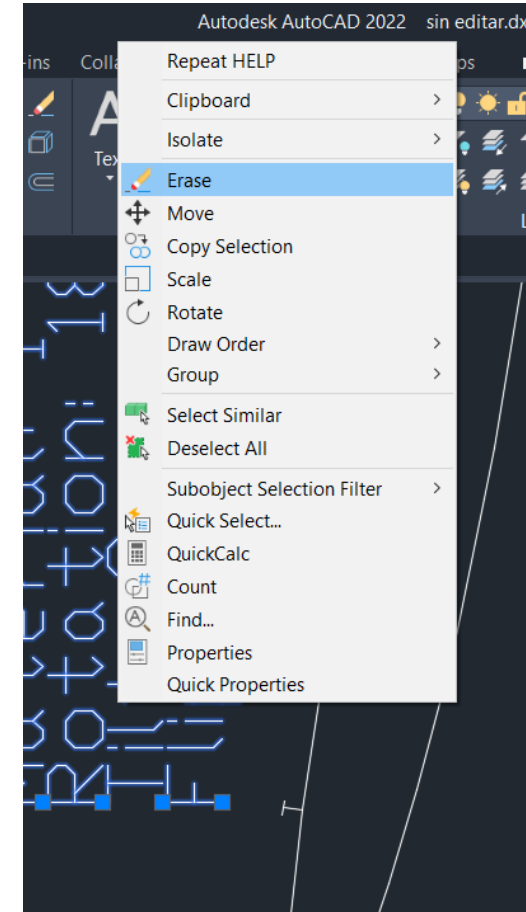


Generación de archivos de control numérico

Optitex-Marker



AutoCAD

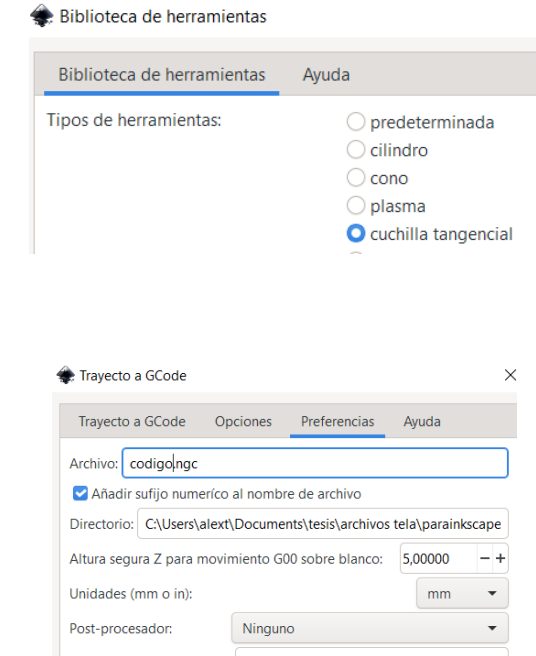
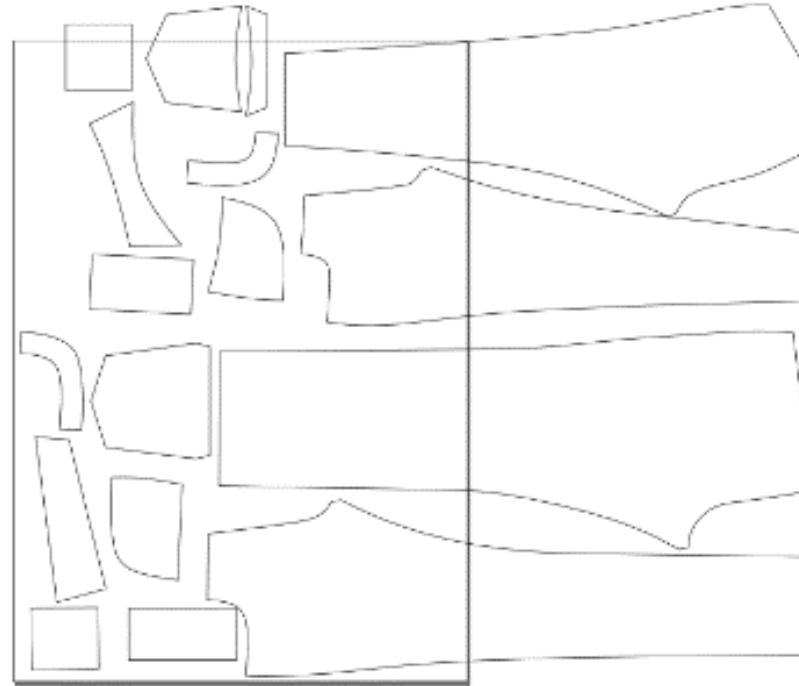


Generación de archivos de control numérico

AutoCAD



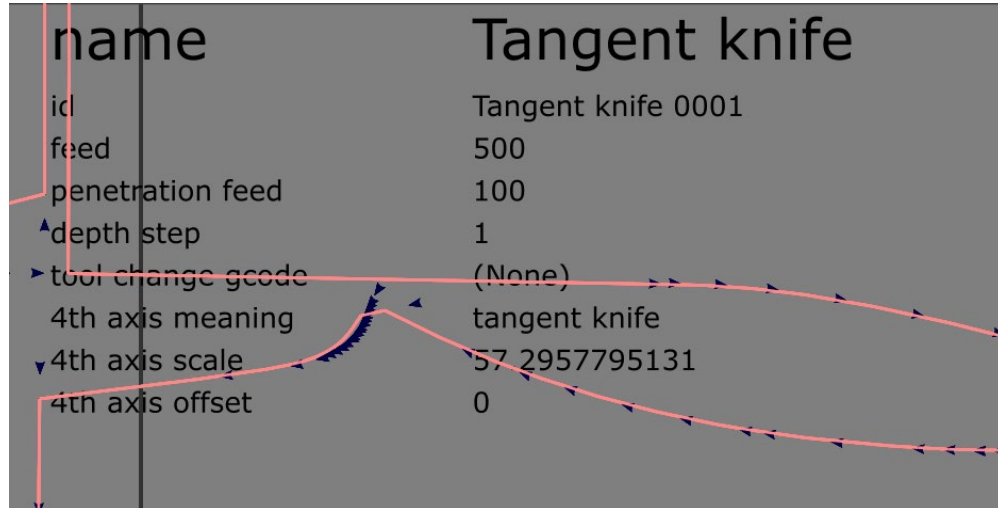
Inkscape



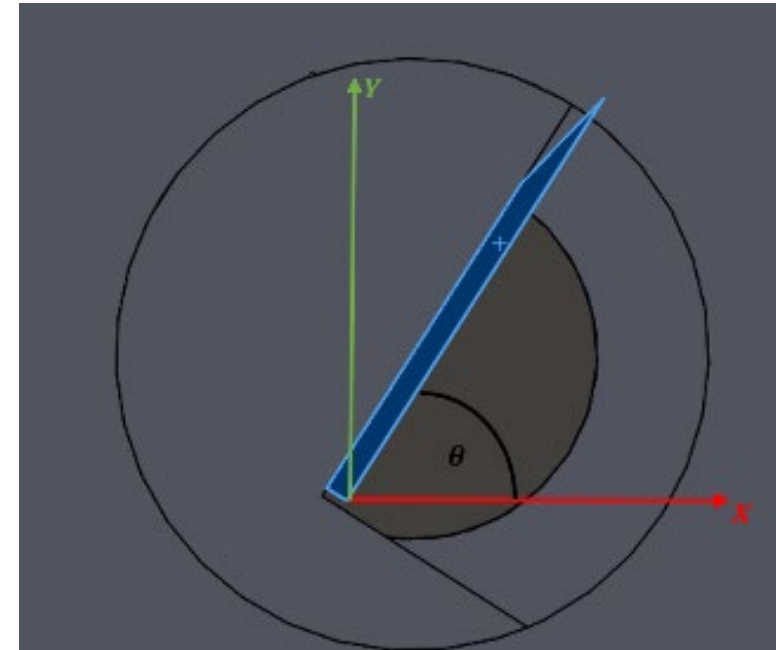
Generación de archivos de control numérico

Inkscape

name	Tangent knife
id	Tangent knife 0001
feed	500
penetration feed	100
depth step	1
tool change gcode	(None)
4th axis meaning	tangent knife
4th axis scale	57.2957795131
4th axis offset	0

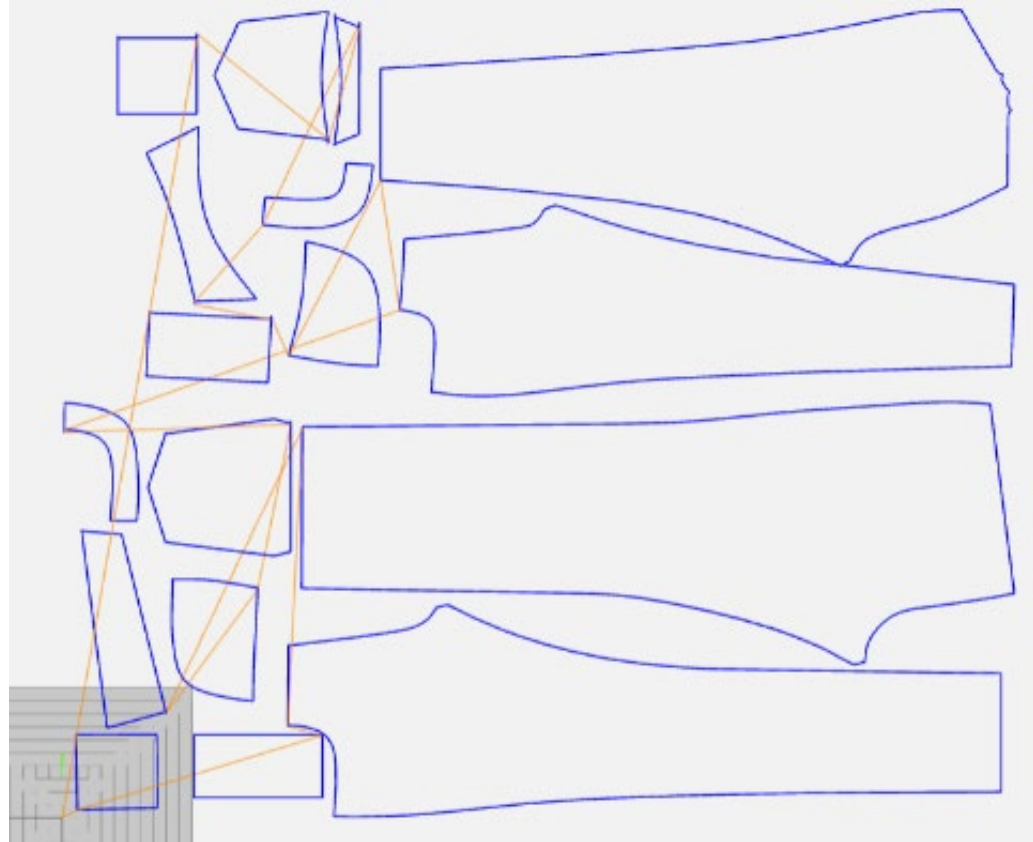


$$\frac{180}{\pi} = 57.296$$

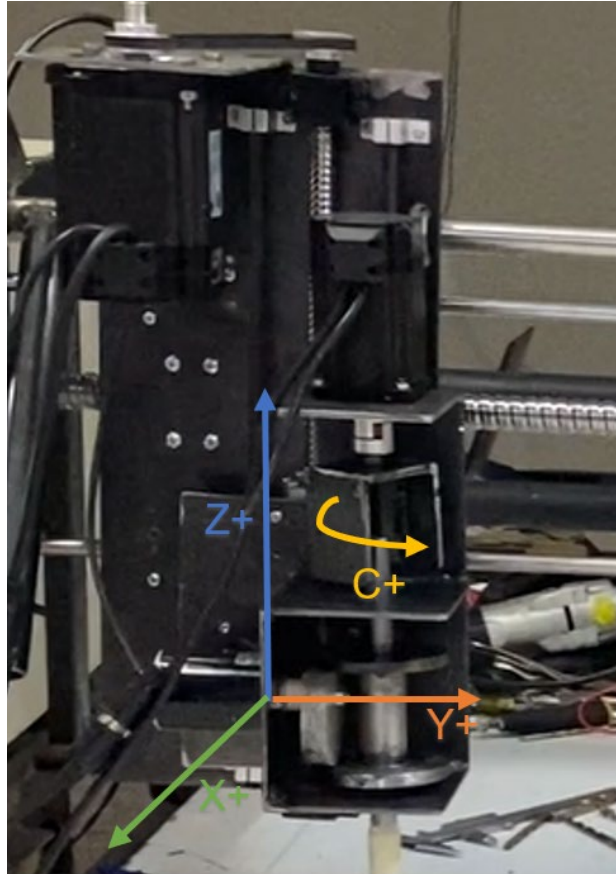


Generación de archivos de control numérico

NC Viewer



Funcionamiento de la máquina



Volumen de trabajo: $7500 \times 1420 \times 400 \text{ mm}$

Eje	Error
X	0.7 mm
Y	1 mm
Z	0 mm
C	0°



Video



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Datos obtenidos

Actividad N°	Modelo	Tamaño de la pieza [cm]	Número de piezas	Longitud de la capa [m]	Tiempo por capa (manual) [min]	Tiempo total [min]	Tiempo por capa (automático) [min]
1	Reloj	48	15	1.5	3	3	1.5
2	Ventaja	69.1	15	1.5	5	5	2
3	Ccont falso	51.4	15	1.5	4	4	1.6
4	MANDIL	48	30	1.5	3	3	1.5
5	ventaja	73.57	15	1.5	4	4	2.3
6	Relojera	56.52	15	1.5	3	3	1.7
7	Bolsillo	73.7	15	1.5	5	5	2.2
8	@falso	57.36	15	1.5	4	4	1.8
9	@BLS-BASE	64.35	15	1.5	5	5	2
10	CF	46.2	15	1.5	3	3	1.4
11	FALSO	56.13	15	1.5	3	3	1.7
12	POSTERIOR	221.4	15	1.5	10	10	6.5
13	DELANTERA	220.4	15	1.5	10	10	6.6
14	TRAS	271.8	15	1.5	10	10	8.2
15	DELNT	259	15	1.5	10	10	7.7



VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS

Datos obtenidos

Actividad N°	Modelo	Número de piezas	Tamaño de la pieza [cm]	Tolerancia permitida	Piezas con errores (manual)	Piezas con errores (automático)
1	Reloj	15	48	+1.5/-1.5	4	0
2	Ventaja	15	69.1	+1.5/-1.5	4	0
3	Ccont falso	15	51.4	+1.5/-1.5	4	0
4	MANDIL	30	48	+1.5/-1.5	4	0
5	ventaja	15	73.57	+1.5/-1.5	4	0
6	Relojera	15	56.52	+1.5/-1.5	4	0
7	Bolsillo	15	73.7	+1.5/-1.5	4	0
8	@falso	15	57.36	+1.5/-1.5	4	0
9	@BLS-BASE	15	64.35	+1.5/-1.5	4	0
10	CF	15	46.2	+1.5/-1.5	4	0
11	FALSO	15	56.13	+1.5/-1.5	4	0
12	POSTERIOR	15	221.4	+1.5/-1.5	5	0
13	DELANTERA	15	220.4	+1.5/-1.5	5	0
14	TRAS	15	271.8	+1.5/-1.5	5	0
15	DELNT	15	259	+1.5/-1.5	5	0



Establecimiento de hipótesis nula (H_0) y alternativa (H_1)

Tiempo

$$H_0: t_{manual} \leq t_{automático}$$

$$H_1: t_{manual} > t_{automático}$$

Precisión

$$H_0: p_{manual} \leq p_{automático}$$

$$H_1: p_{manual} > p_{automático}$$

Cálculo de estadístico de prueba

Prueba de hipótesis de dos muestras independientes

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}}$$

$$t = 2.21$$

\bar{X}_n : Media de las muestras

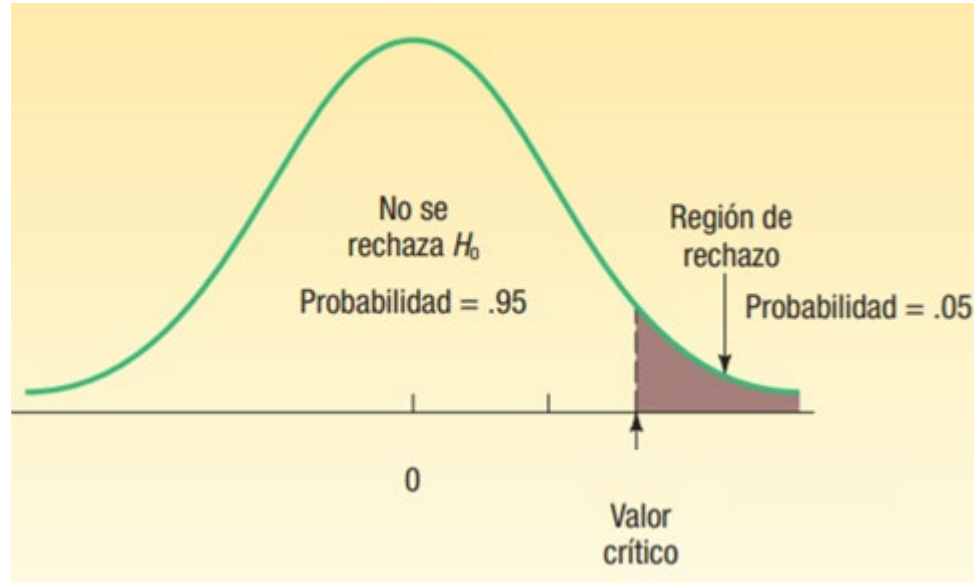
σ_n : Desviación estándar de los datos de las muestras

n : Tamaño de las muestras

$$t = 36.1$$



Regla de decisión



Valor crítico

Para 15 datos, 5% significancia

$$t = 2.131$$

Tiempo

$$2.21 > 2.131$$

Precisión

$$36.1 > 2.131$$

Se rechaza la hipótesis nula en ambos casos



CONCLUSIONES

- A partir de las investigaciones realizadas el proyecto consta de un módulo equipado con cabezal de corte, sistema de transmisión en cuatro ejes, control de posición de corte la tela por medio de herramientas informáticas mediante el software Inkscape el cual se adaptó a la estación de trabajo de la empresa.
- De la selección de alternativas se establece, el sistema de corte de herramientas cortantes tipo cuchilla tangencial por el número de capas de tela requerido por la empresa.
- Los cálculos mecánicos de los componentes del sistema de corte determinan una carga máxima de 50 Hz , producida por el movimiento recíproco de la cuchilla con una velocidad de avance de 10 m/min durante el proceso de corte.
- El sistema de transmisión implementado permite el desplazamiento de la herramienta de corte en cuatro ejes, que poseen sistemas de transmisión mecánica los cuales son: piñón cremallera en el eje X, husillo de bolas recirculantes en el eje Y, husillo de bolas recirculantes y poleas síncronas en el eje Z, y acople de transmisión de movimiento angular en el eje C; todos los sistemas de transmisión son impulsados mediante motores a pasos NEMA 34 con torque de 12 Nm para los ejes cartesianos y NEMA 23 con torque de 3 Nm para el eje C.



CONCLUSIONES

- El control del módulo del cabezal de corte se ejecuta mediante la unidad de control de movimiento CNC DDCS V3.1 y drivers modelo HSS los cuales son conectados a los motores a pasos de cada eje con velocidad máxima de 1800 RPM.
- Para el control numérico del proceso de corte, se emplearon los programas AutoCAD e Inkscape; mediante los cuales se realiza la edición y el proceso de vectorización de imagen exportado del archivo del software Optitex empleado en la empresa con resultados óptimos para el proceso de corte con velocidades.
- Mediante el proceso de prueba de hipótesis de dos muestras aplicado a los datos de tiempo y precisión de corte, se determinó que la hipótesis planteada es correcta con un nivel de significancia de 5%.



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

RECOMENDACIONES

- Para implementar un elemento modular en una máquina se debe analizar todos los elementos presentes de la estación de trabajo para identificar los que se pueden adaptar al equipo implementado.
- Cambiar o afilar la cuchilla antes de cada ejecución de un nuevo proceso de corte.
- Verificar que el punto 0 de la máquina se encuentre en el lugar correspondiente antes de iniciar un proceso de corte.
- Verificar si las alarmas de los drivers de los motores no se encuentran encendidas
- Verificar el estado de la cuchilla para cada proceso de corte
- Comprobar si las medidas en los programas de generación de códigos corresponden a los modelos establecidos



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA