Trabajo de integración curricular, previo a la obtención del título de Ingeniero en Mecatrónica

Diseño e implementación de una máquina enchapadora de cantos para paneles de melamina

Caso de aplicación: Novocentro Cayambe

Roland Steven Quinatoa Valladares

Daniel Alejandro Sánchez Mejía

Directora: Ing. Mayra Elizabeth Comina Tubón, PhD

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica — ESPE

1922 ECUADOR

ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS

INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Agenda

01 **Introducción**
Problema, objetivos y alcance del proyecto

02 **Metodología**
VDI 2206, QFD y herramientas de diseño

03 **Diseño mecánico**
Conceptual, fuerzas, CAE y piezas clave

04 **Diseño eléctrico y de control**
Esquema eléctrico, protecciones y PID

05 **Implementación**
Construcción del prototipo e interfaz HMI

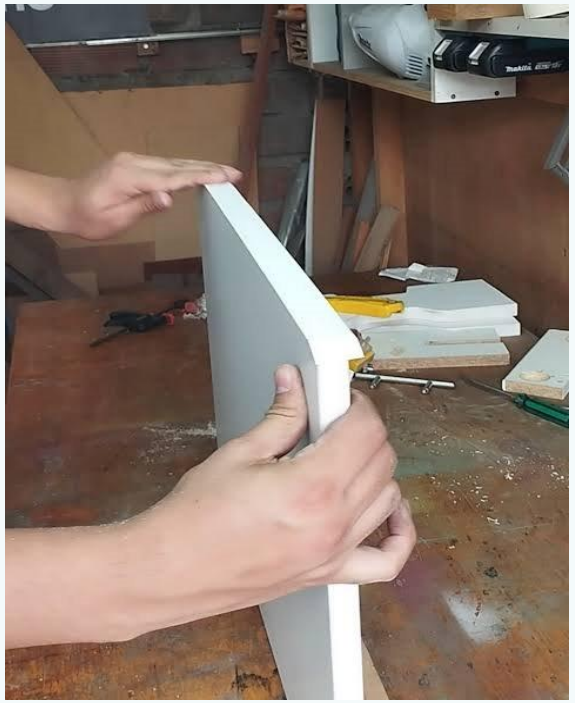
06 **Resultados y conclusiones**
Control de temperatura, DOE de laminado

El problema en Novocentro Cayambe

1. **Alta demanda**
2. **Baja disponibilidad**
3. **Laminado manual**





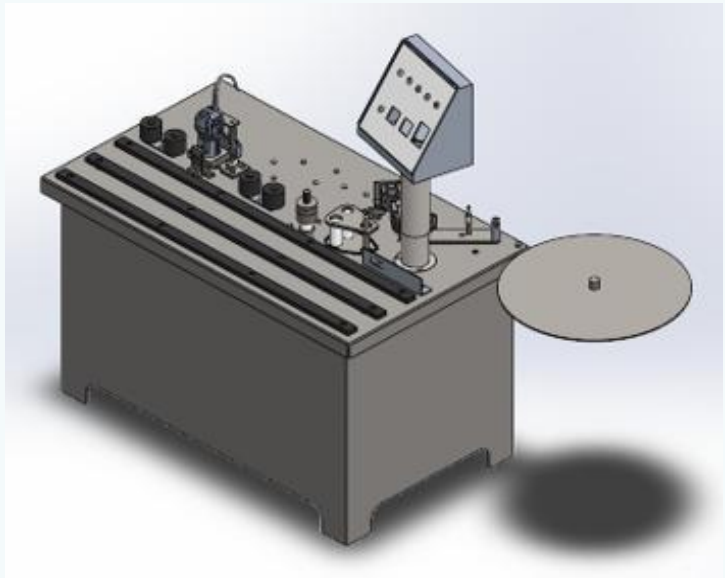


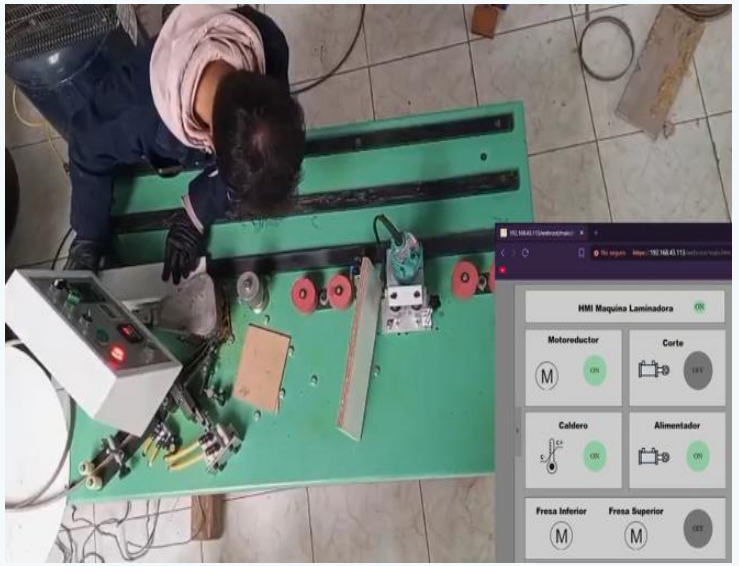
Objetivos del proyecto

OBJETIVO GENERAL Diseñar e implementar una máquina enchapadora de cantos semiautomática para Novocentro Cayambe, optimizando calidad de acabado.

1. Realizar el estado del arte.
2. Diseñar el sistema mecánico, electrónico y de control.
3. Implementar y validar el prototipo funcional.







Alcance del proyecto

01

Investigación y diseño



02

Construcción



03

Pruebas y ajustes



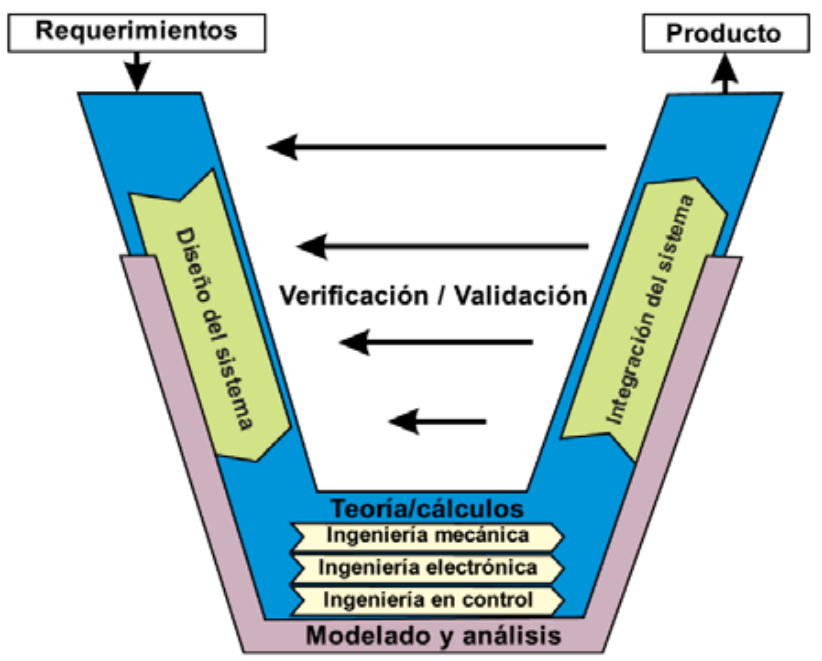
04

Documentación

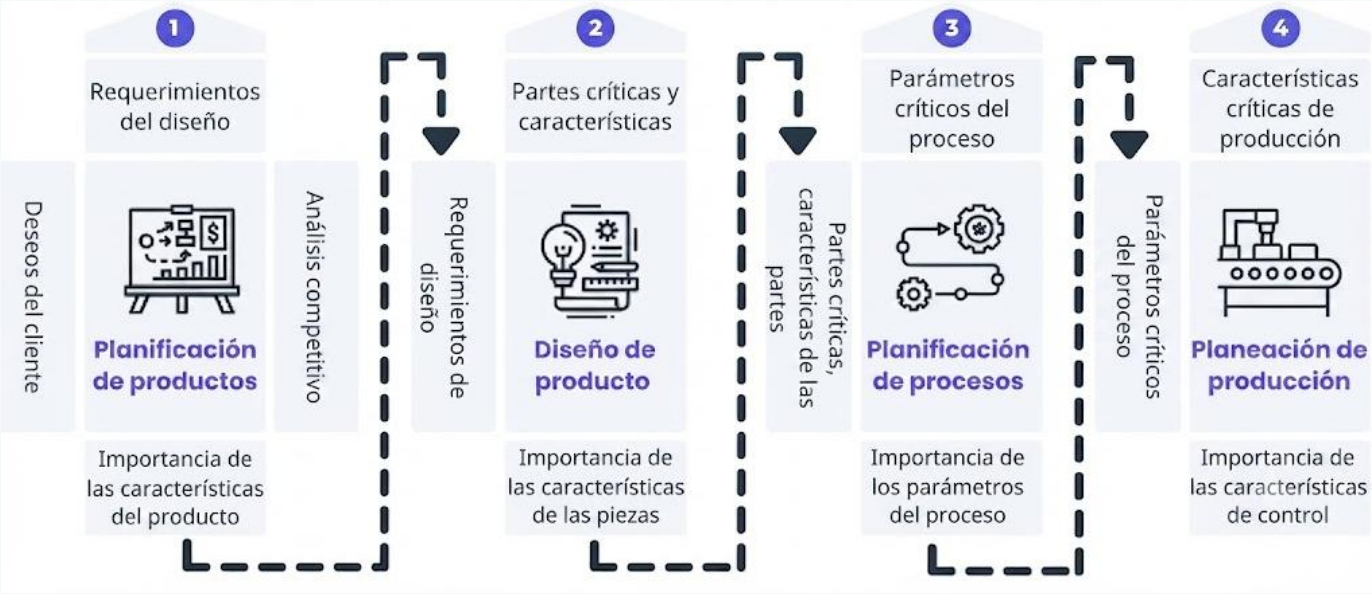


Herramientas de Diseño

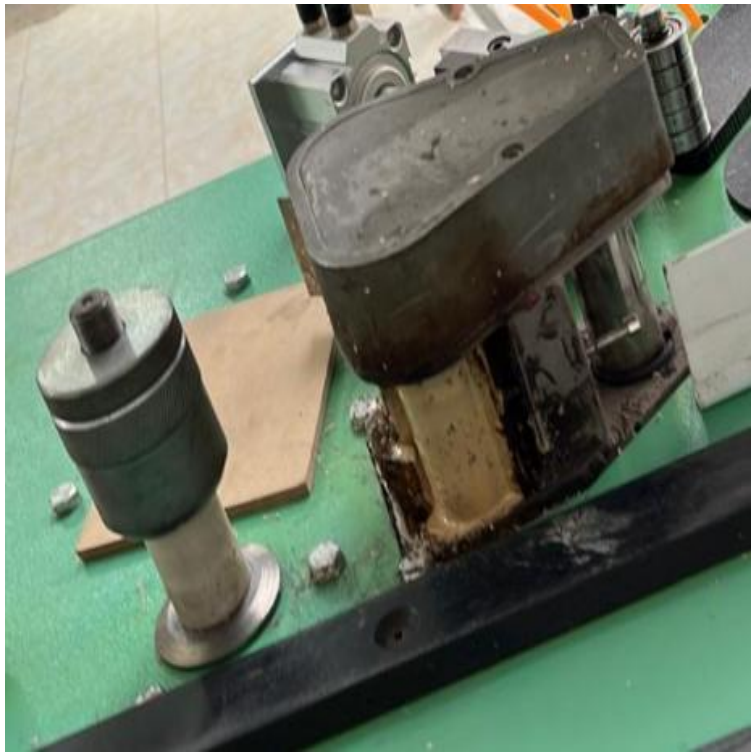
1 VDI 2206



2 MATRIZ QFD



Tres subsistemas, un solo equipo



Encolado (Gluing)

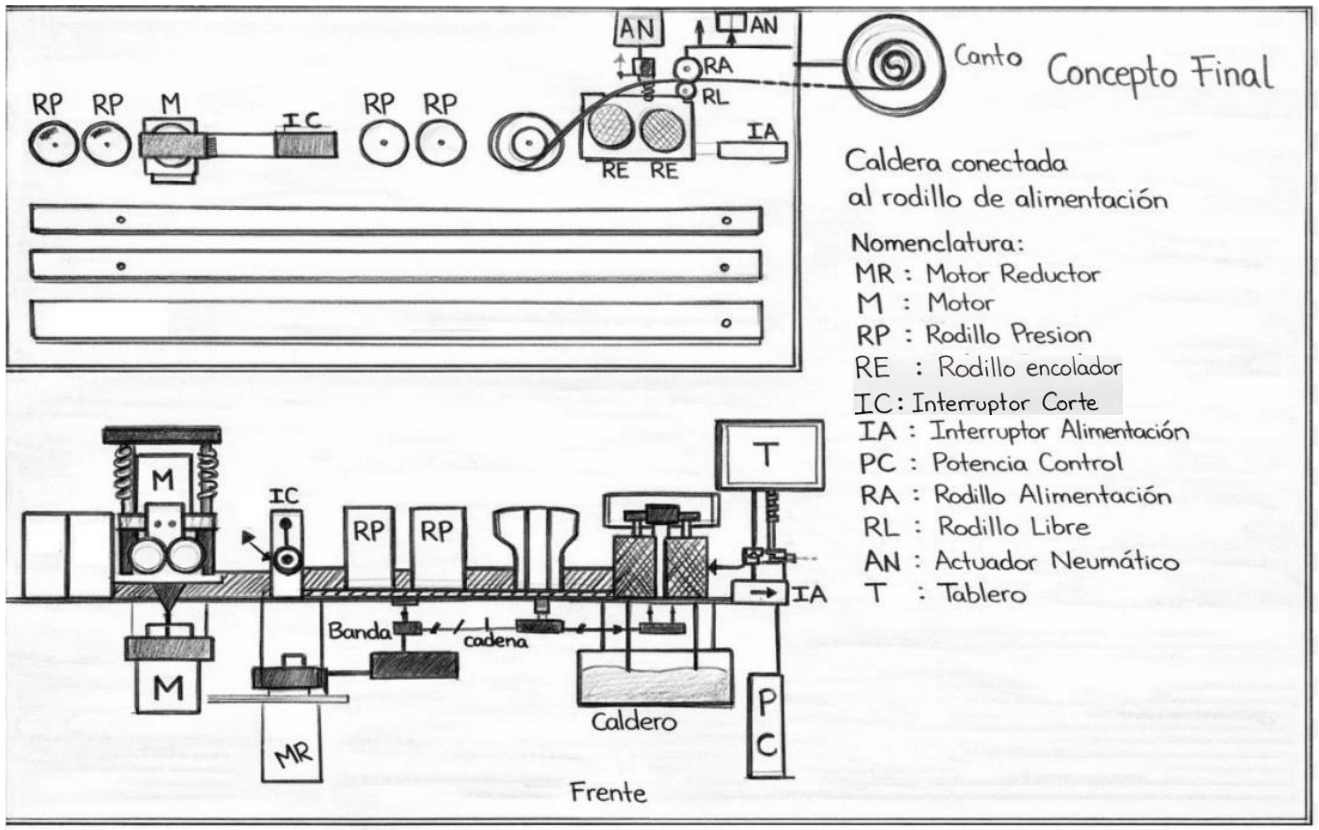


Corte de extremos (End Cutting)



Recorte (Trimming)

Diseño conceptual y parámetros de operación

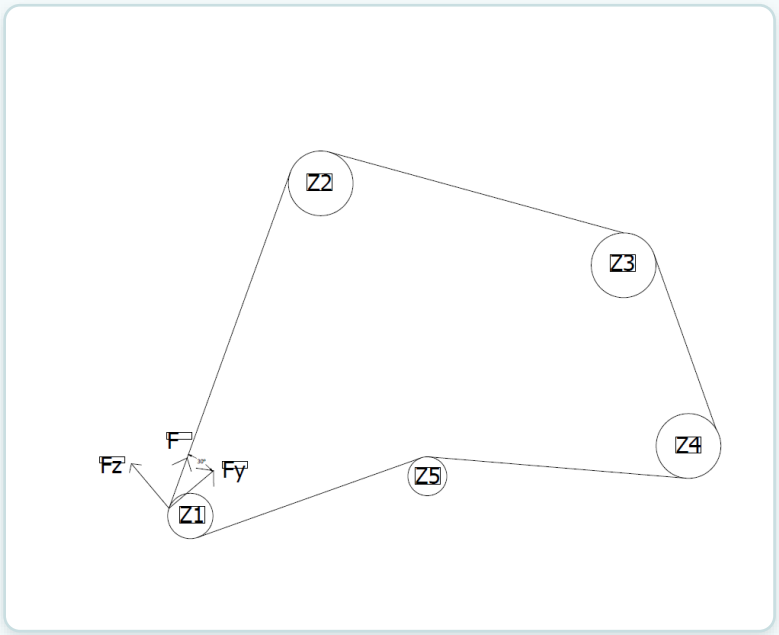


Concepto final — caldera conectada al rodillo de alimentación

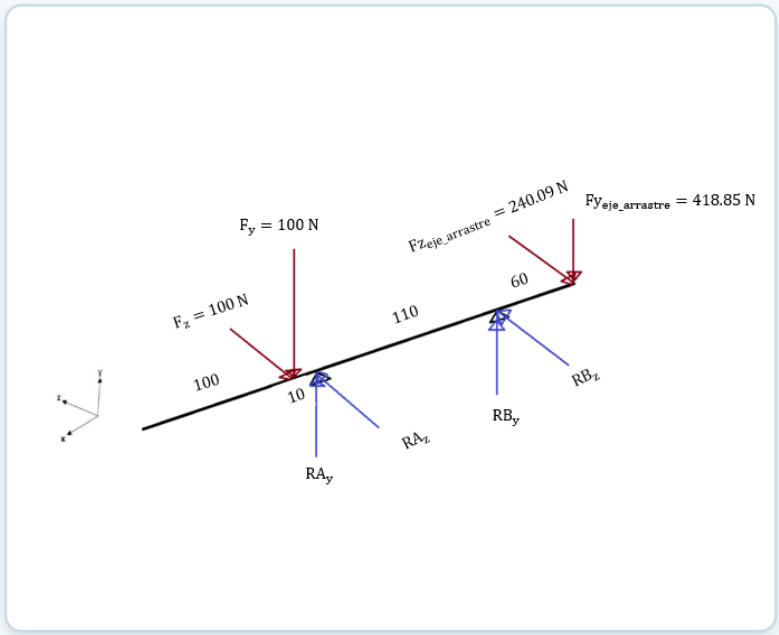
PARÁMETROS DE OPERACIÓN (Tabla 22)

Velocidad de diseño	**5 m/min**
Espesor del panel	**9 – 36 mm**
Ancho del tapacanto	**10 – 50 mm**
Temperatura	**150 – 200 °C**
Presión neumática	**6 bar**
Factor de seguridad	**2**

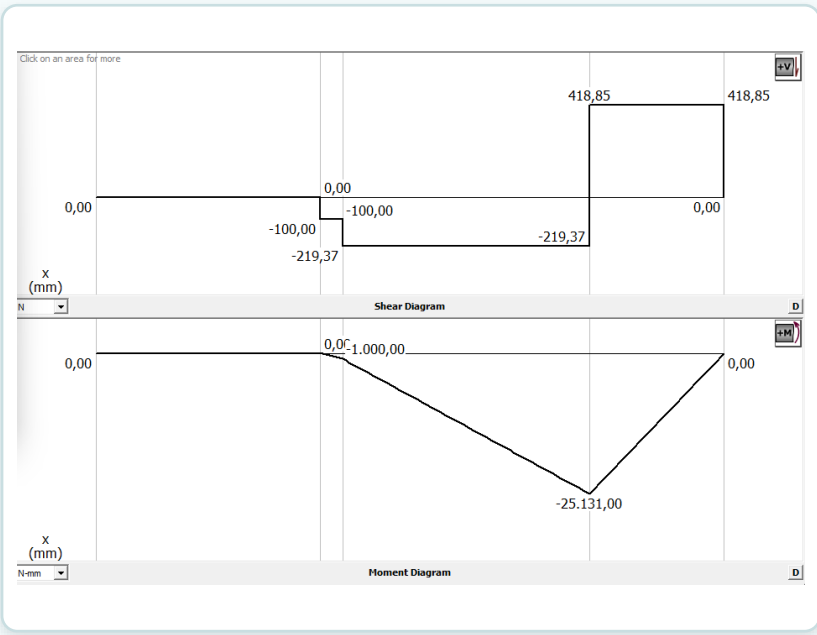
Diseño del eje motriz: análisis de fuerzas



Descomposición de fuerzas en piñones



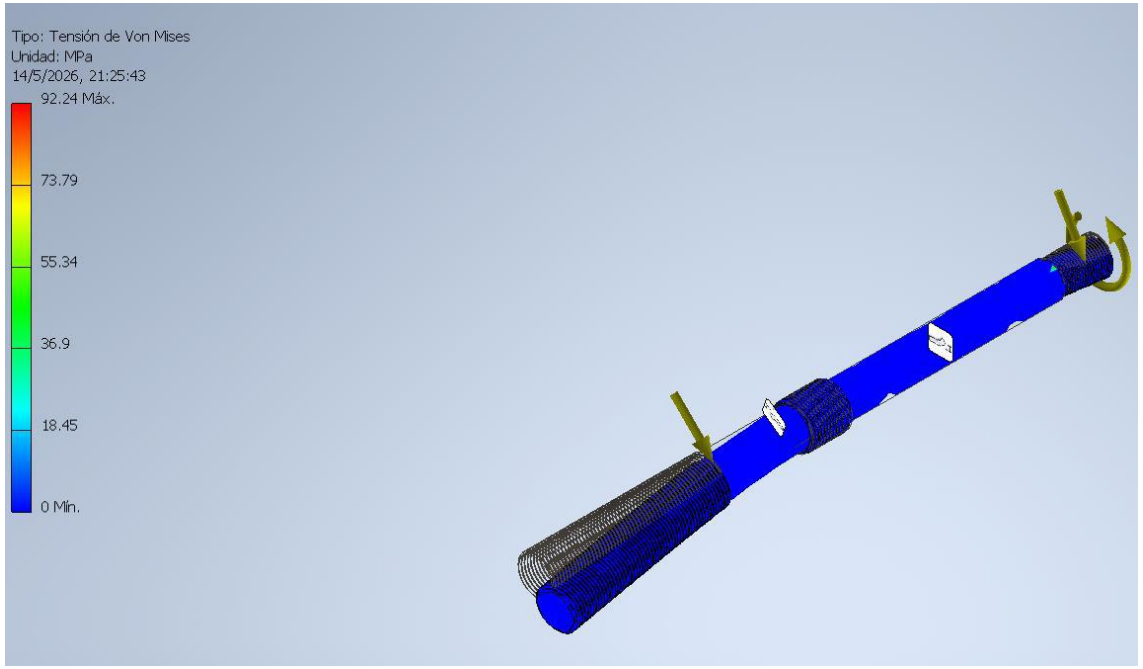
Cargas en el eje (plano x-y)



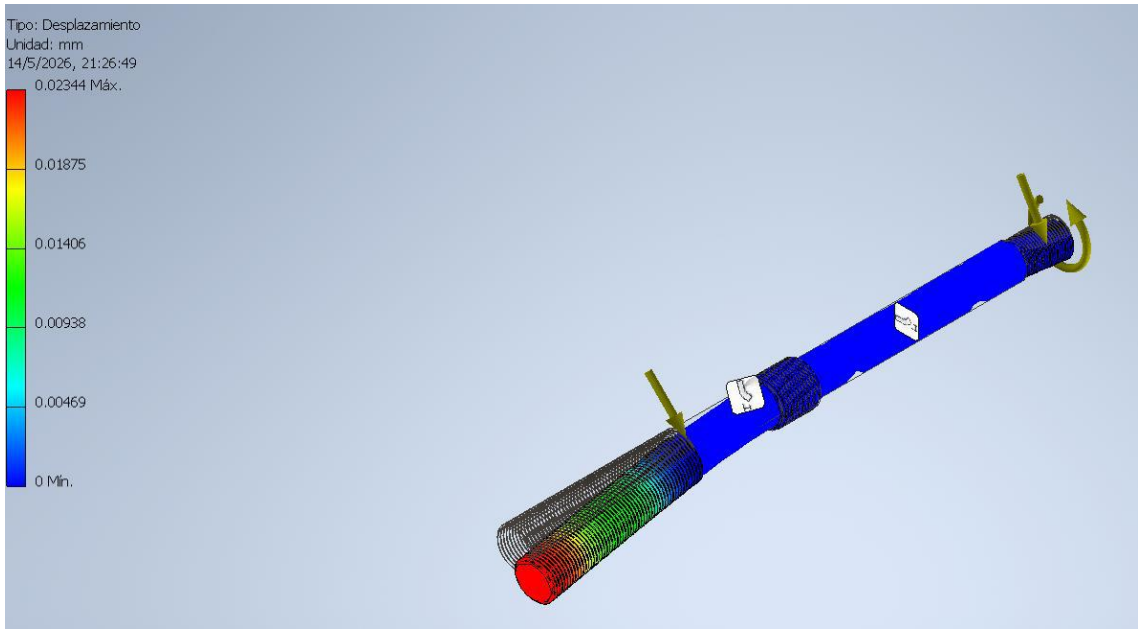
Diagramas de corte y momento

- Reacciones calculadas en los apoyos A y B a partir de la fuerza resultante sobre el rodillo de arrastre.
- Momento máximo ≈ 28,96 N·m, usado para dimensionar el diámetro mínimo del eje con FS = 3.

Validación estructural del eje de arrastre



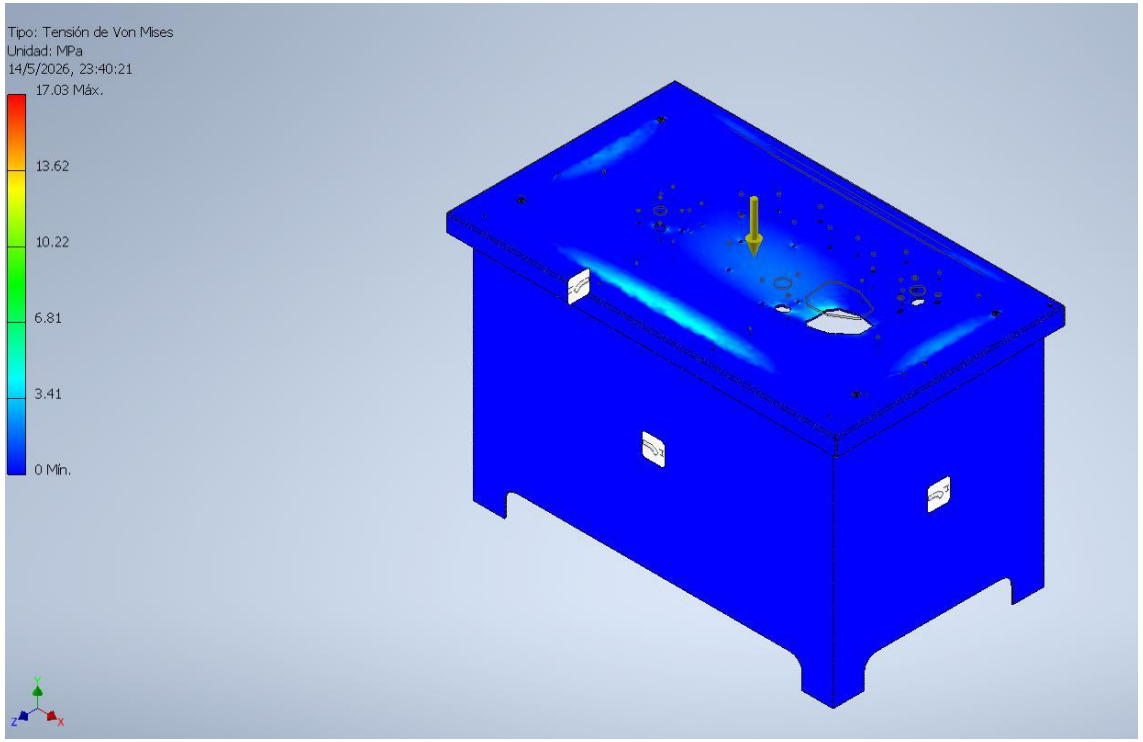
Tensión de Von Mises



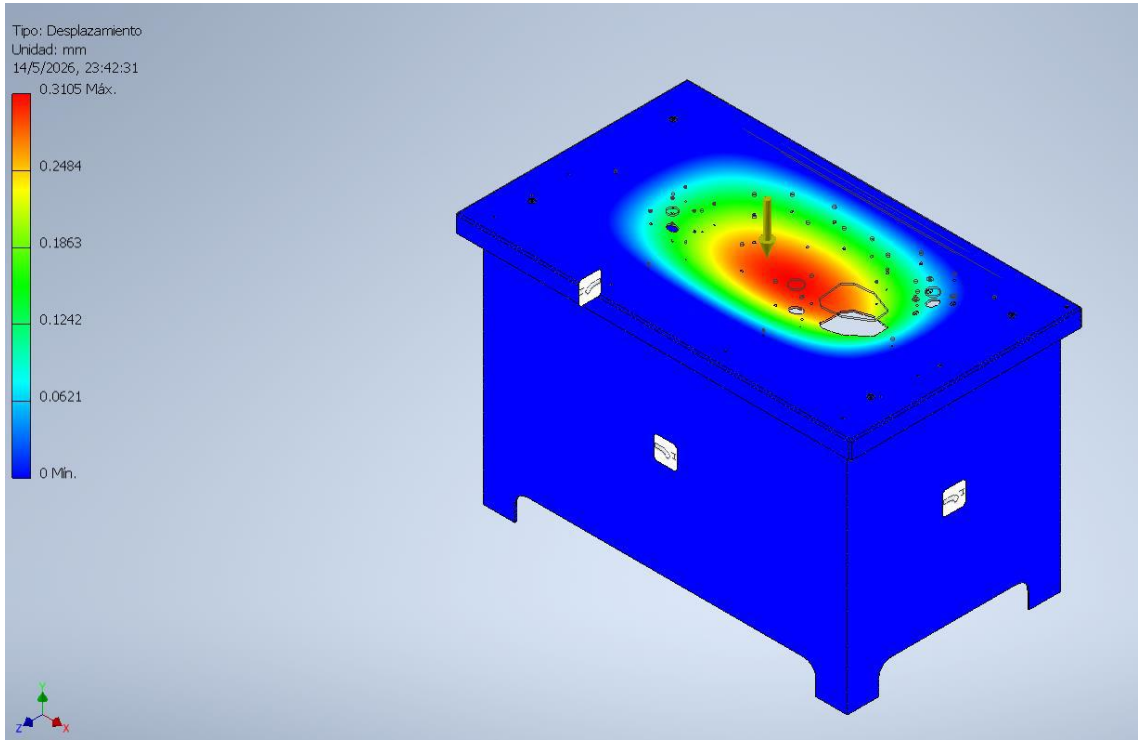
Desplazamiento resultante

Tensión máxima muy por debajo del límite de fluencia del material → factor de seguridad amplio en el eje motriz.

Análisis CAE de la estructura de la máquina

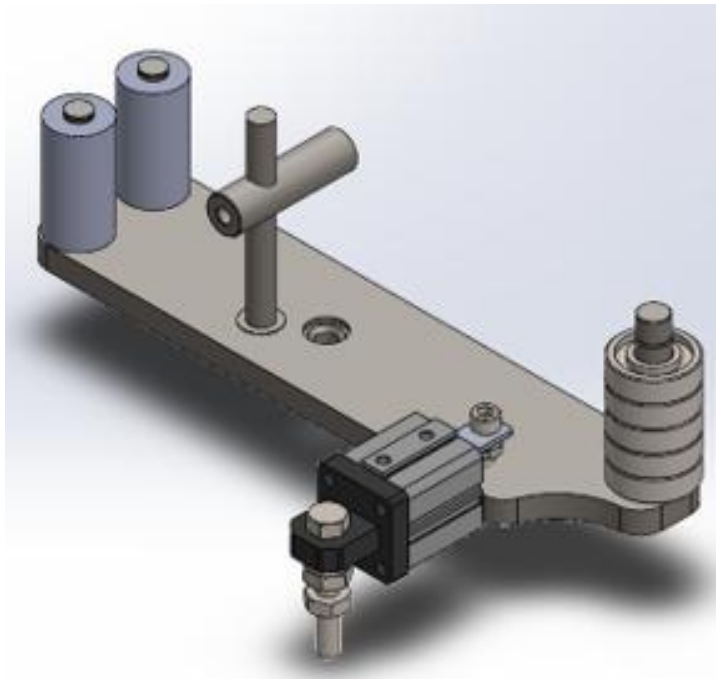


Tensión de Von Mises — estructura

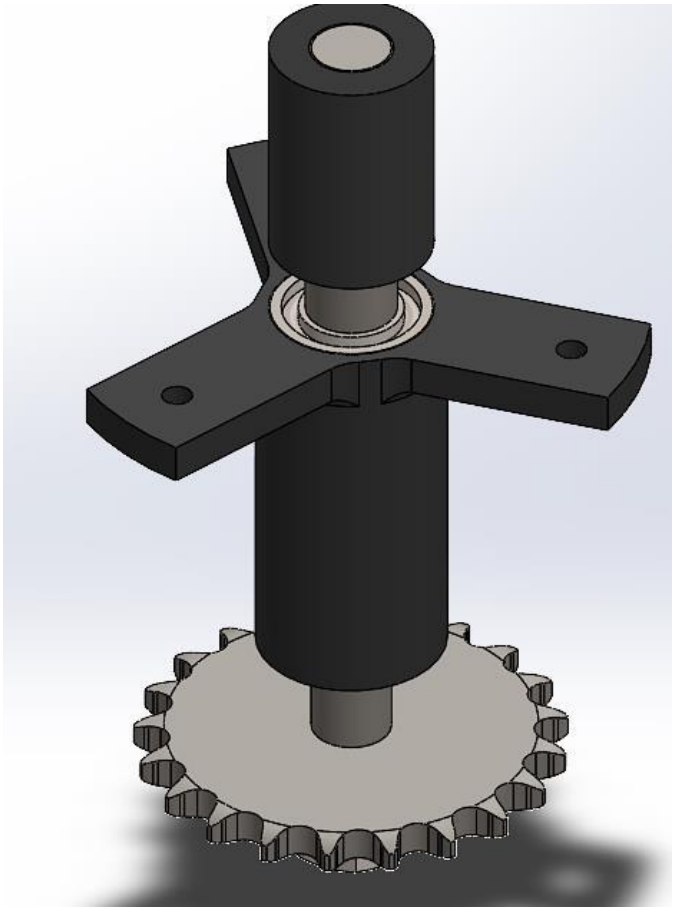


Desplazamiento — estructura

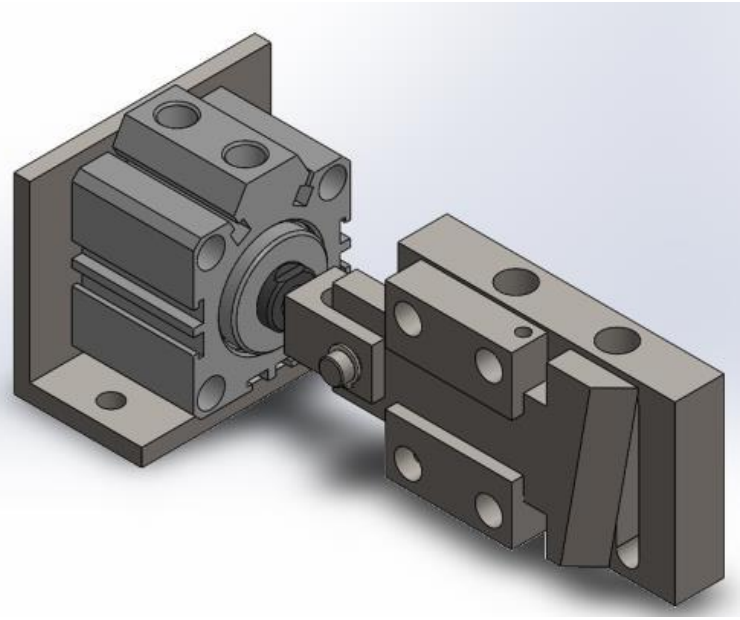
Piezas clave: arrastre y corte de extremos



Ensamble entrada canto

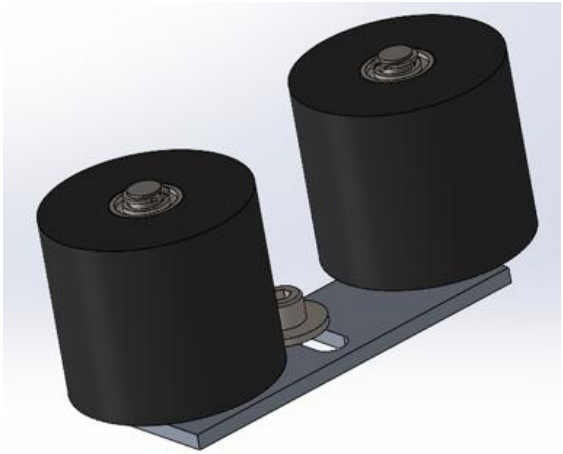


Rodillo de arrastre

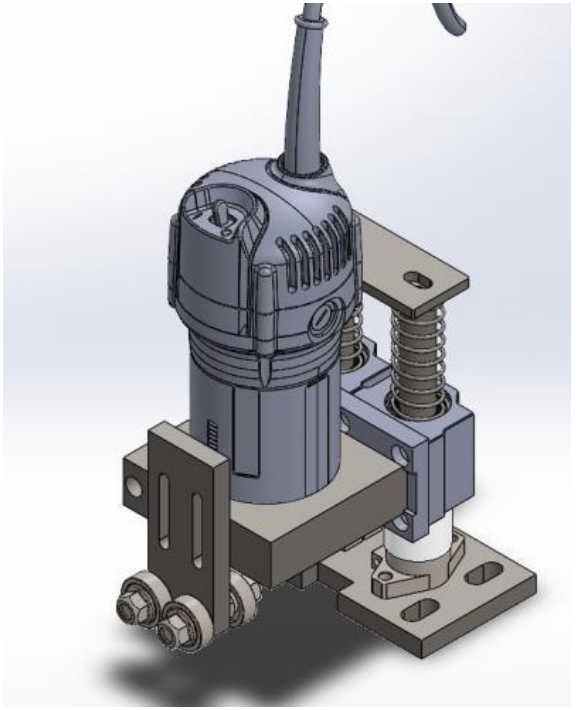


Ensamble end cutting

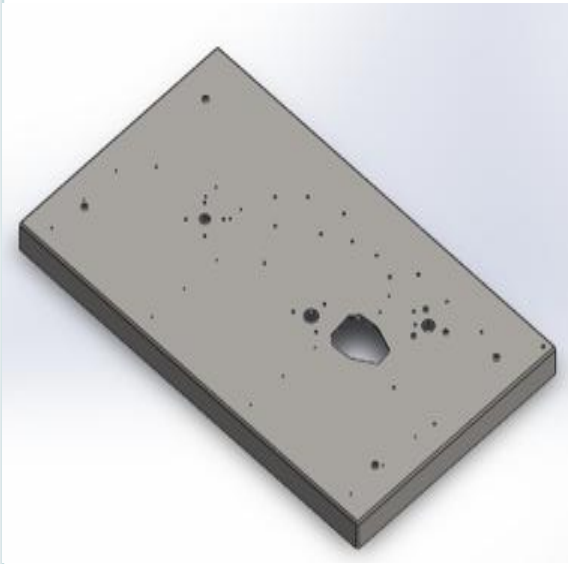
Piezas de recorte y estructura soporte



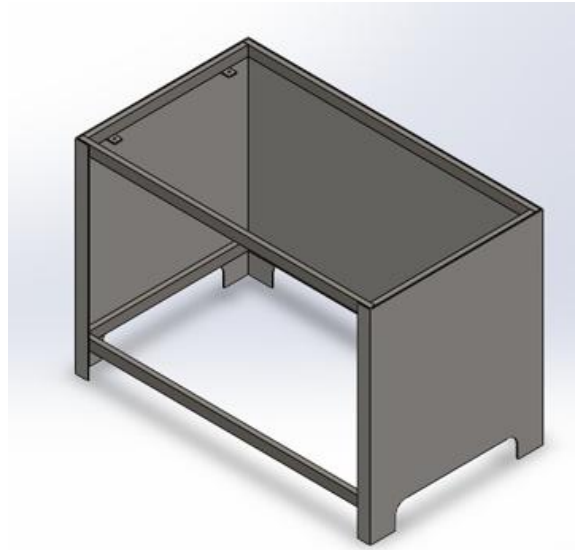
Rodillo Presión



Unidad de fresado



Mesa



Estructura

Diseño del sistema eléctrico



Esquema eléctrico de potencia y control

PROTECCIONES Y CONTACTORES

Disyuntor principal	**25 A · 3P · curva C**
Fusible de control	**2 A · tipo gG**
KM1 — Calderín	**AC-1 · 12 A · 220 VAC**
KM2 — Motorreductor	**AC-3 · 12 A · 220 VAC**
KM3 — Fresadoras	**AC-3 · 12 A · 220 VAC**

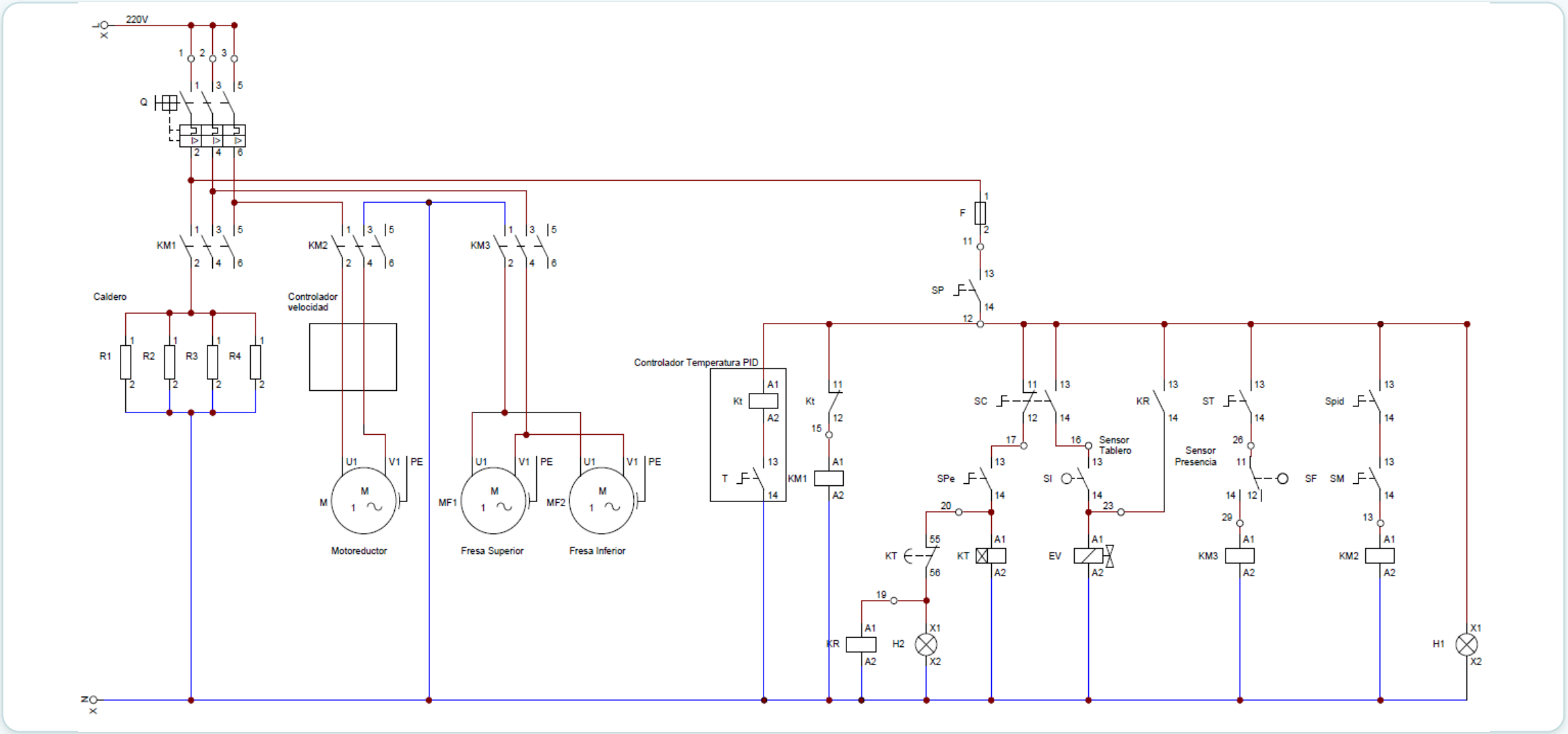
CORRIENTE TOTAL INSTALADA

19,23 A

Conductores:

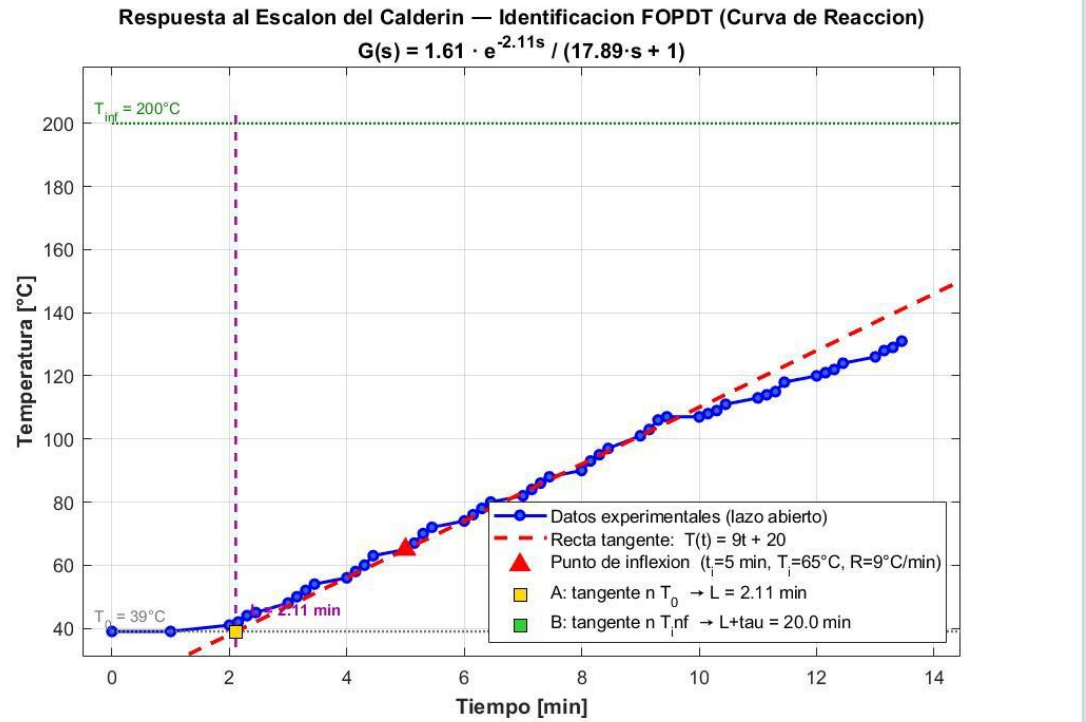
- *6 mm² Cu (líneas de potencia)*
- *2,5 mm² Cu (líneas de control)*

Diseño del sistema eléctrico

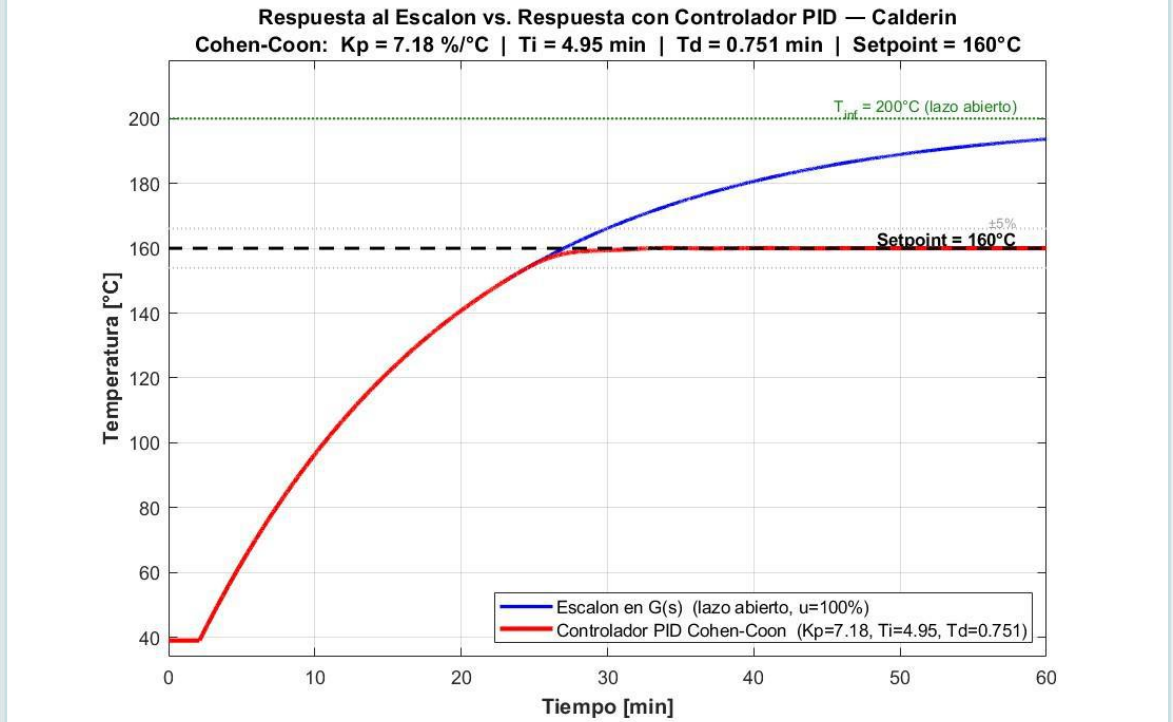


Esquema eléctrico de potencia y control

Modelado y sintonización del controlador PID



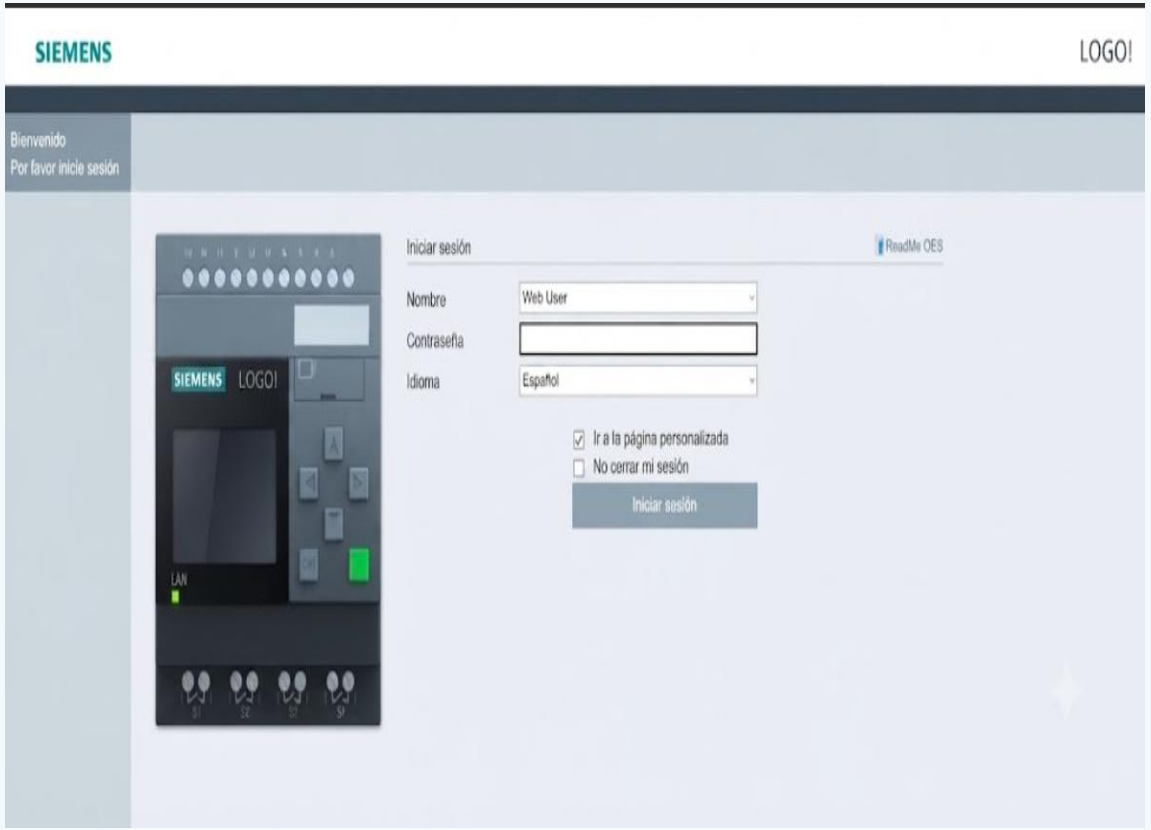
Identificación FOPDT — curva de reacción del calderín



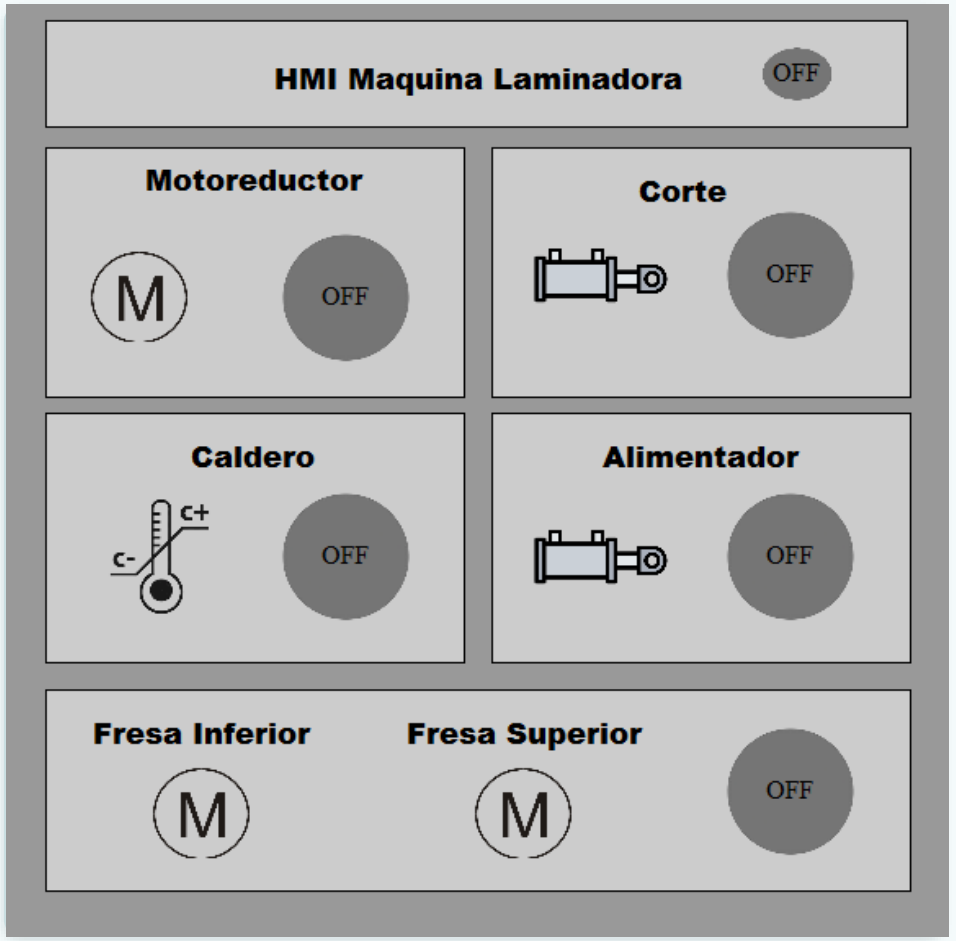
Respuesta simulada con sintonía Cohen-Coon

$G(s) = 1.61 \cdot e^{-2.11s} / (17.89s + 1)$ Kp = 7.18 %/°C Ti = 4.95 min Td = 0.751 min

Interfaz gráfica HMI



Login — Logo Web Editor



HMI web — Logo Web Editor

Módulos y estructura



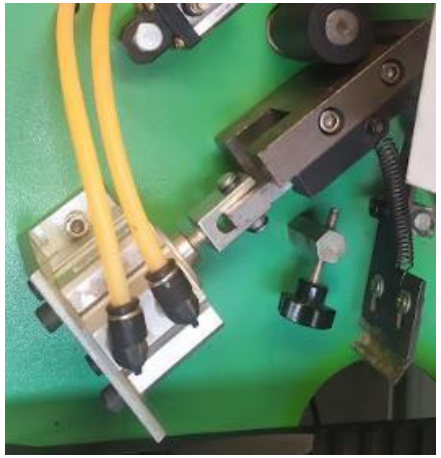
Estructura soporte



Mesa de trabajo



Módulo de encolado



Corte de extremos

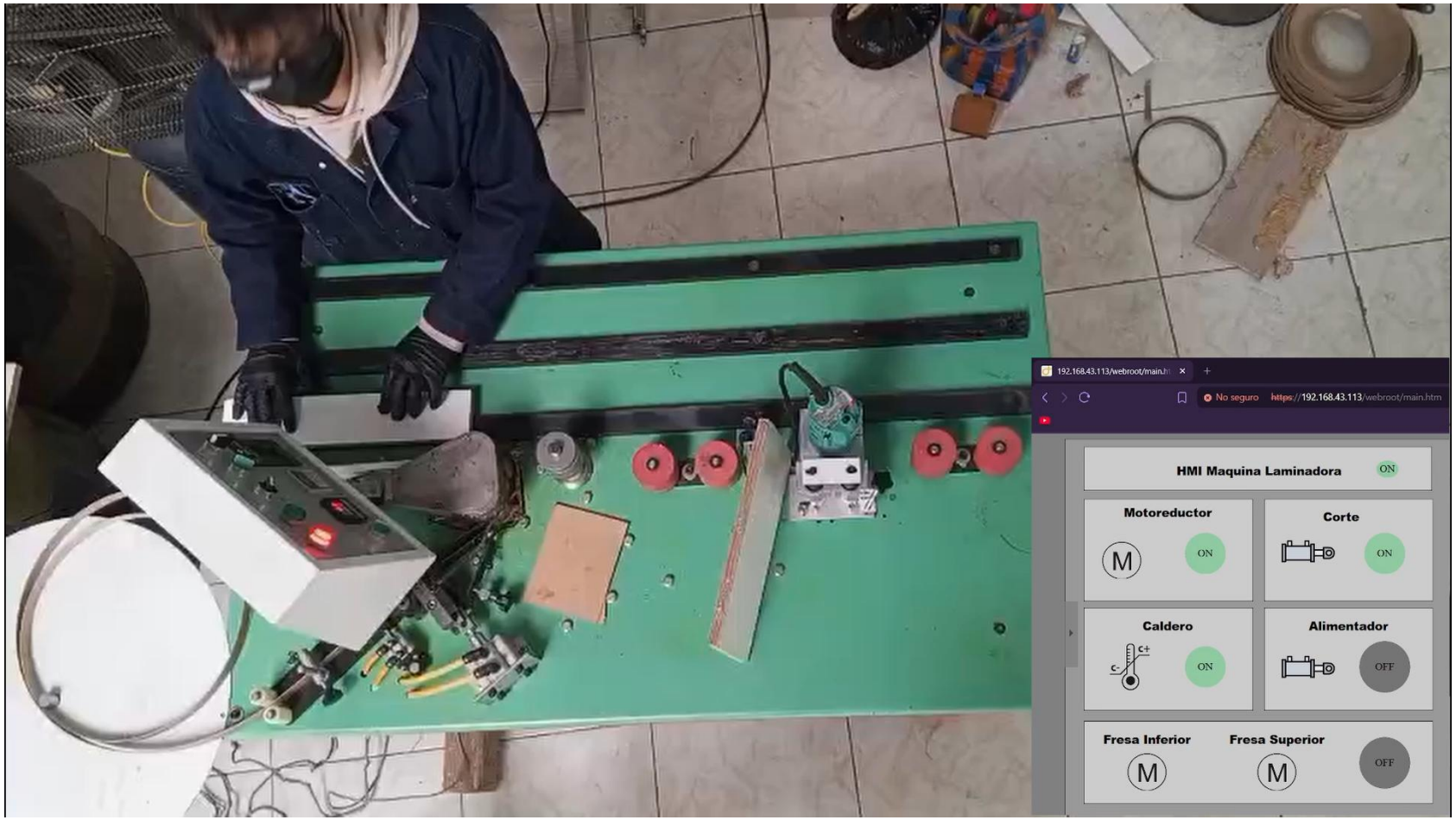


Estación de recorte

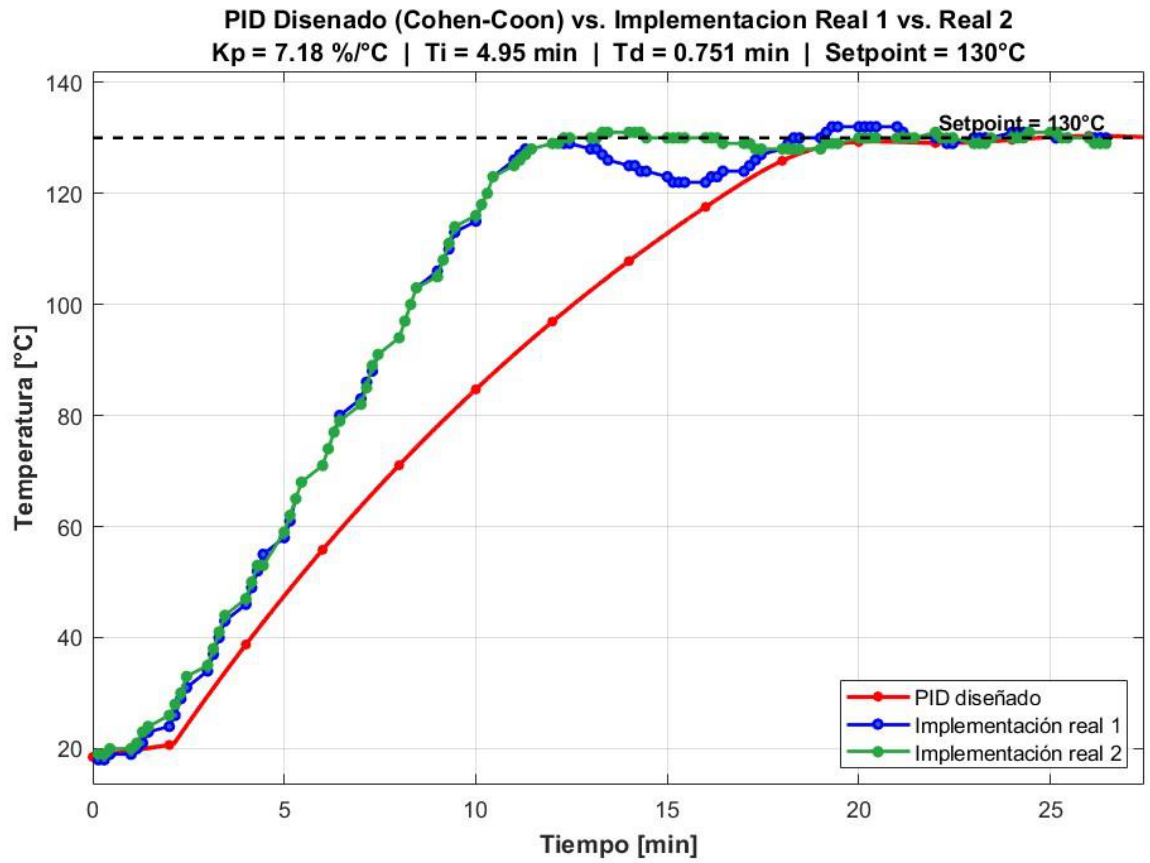


Tablero de control

Video de funcionamiento



Resultados: control de temperatura



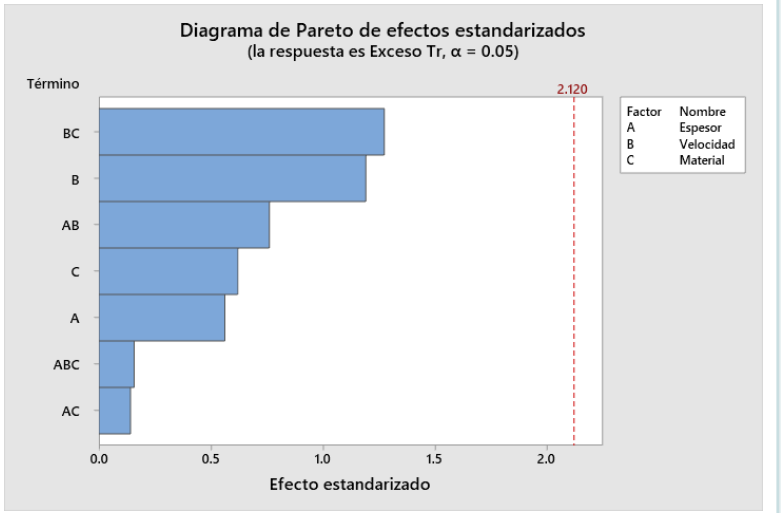
PID diseñado vs. implementación real (Real 1 y Real 2)

ERROR EN RÉGIMEN PERMANENTE

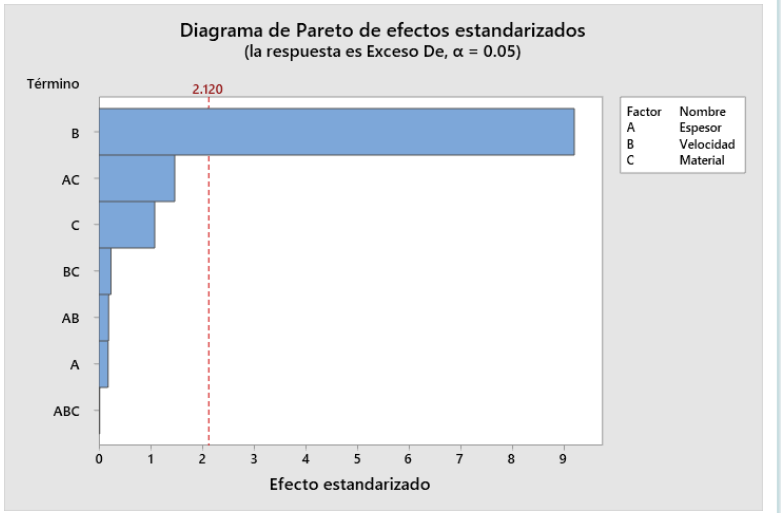
Real 1 (ON=5s)	**0,83 °C**
Real 2 (ON=20s)	**0,31 °C**
RMSE (Real 1 / 2)	**16,08 / 16,92 °C**
MAE (Real 1 / 2)	**11,15 / 12,10 °C**

Ambos escenarios convergen a menos de 1 °C del setpoint en estado estable.

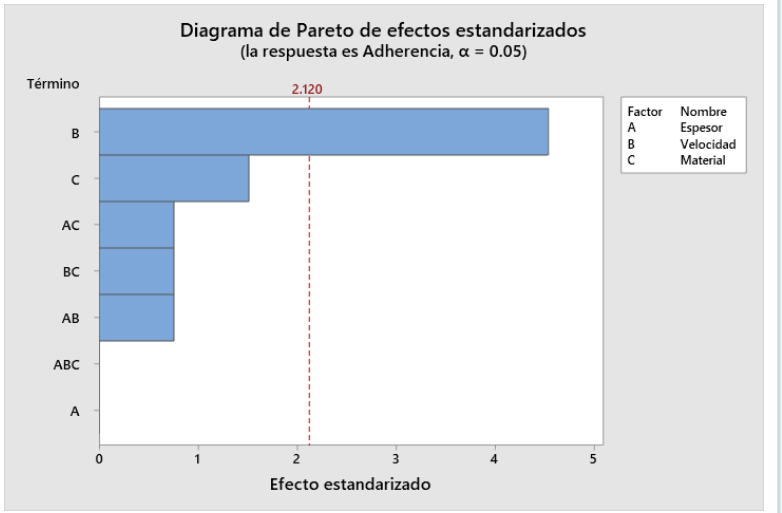
Resultados: DOE factorial 2^3 del laminado



Exceso de canto trasero



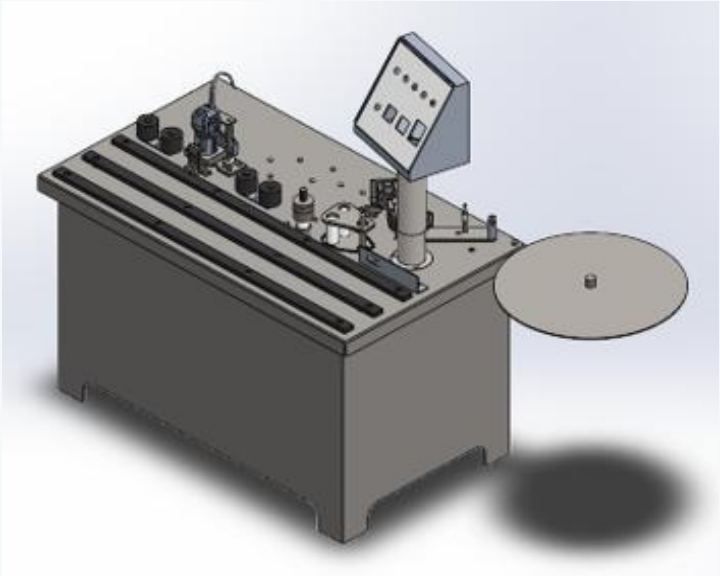
Exceso de canto delantero



Calidad de adherencia

- Factores: espesor de canto (1,5 / 2,5 mm), velocidad de avance (20% / 40%) y material (PVC / ABS) — 24 corridas aleatorizadas.
- La velocidad de avance es el único factor significativo en el exceso delantero y en la adherencia ($p < 0,05$).

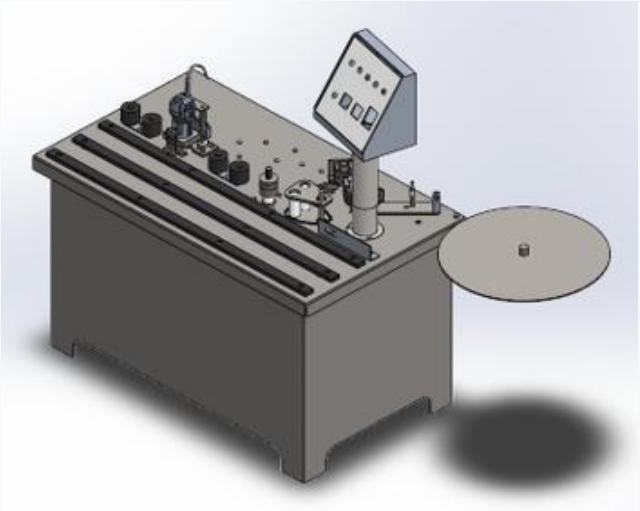
Análisis de costos



Nº	Descripción	Fabricante/ proveedor	Cantidad	Precio Unit.	Precio Total
1	Fresadora de husillo (Tupi)	LCSC Electronics	2	30.61	61.22
2	Cilindro Neumático doble efecto	Applied automation controls	2	29.3	58.6
3	Fin de carrera de potencia	Indunexo	1	2.7	2.7
4	Contactor de estado solidos ssr	Mercadolibre	1	45	45
5	Termocupla	Amazon	1	15	15
6	Resistencias eléctricas calefactora	Amazon	4	31	124
7	Unidad FLR	Amazon	1	38.6	38.6
8	Disyuntor 3P	Amazon	1	16.4	16.4
9	Contactores	Amazon	2	19.6	39.2
10	Controlador Temperatura	Mercadolibre	1	25	25
11	Luz piloto	Robotics	4	2.5	10
12	Selectores	Amazon	4	15	60
13	Borneras	Mercadolibre	20	1.2	24
14	Rodamientos	Amazon	15	1.5	22.5
15	Pedal	Mercadolibre	1	8.18	8.18
16	PLC logo	Mercadolibre	1	315	315
17	Estructura	-	1	200	200
18	Soportes y ejes maquinados	-	1	200	200
19	Costos adicionales	-	1	200	200
Total					1465.4

Análisis de costos

Implementación



Costo: 1465.4$

My06B GOODFUNG



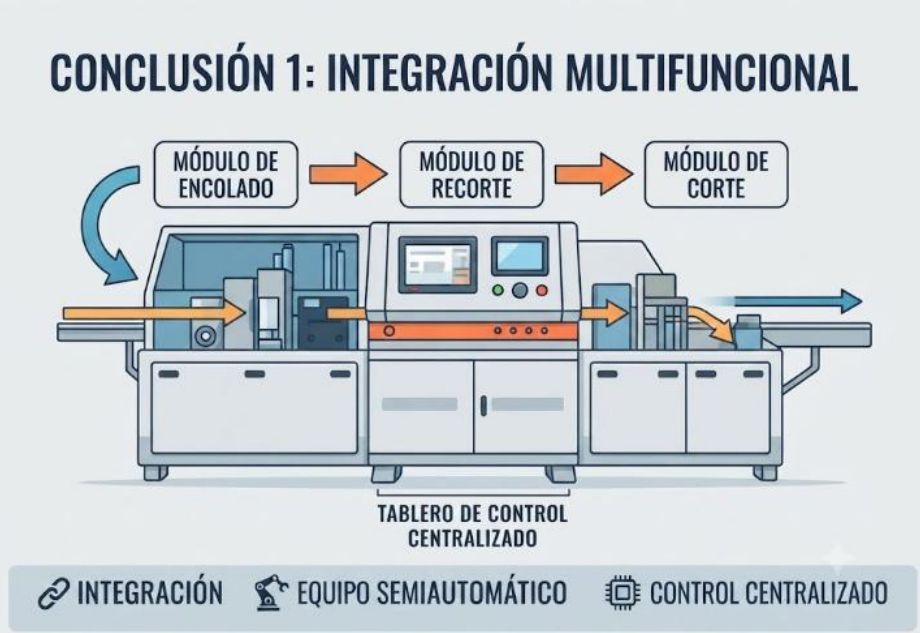
Costo: 1200$

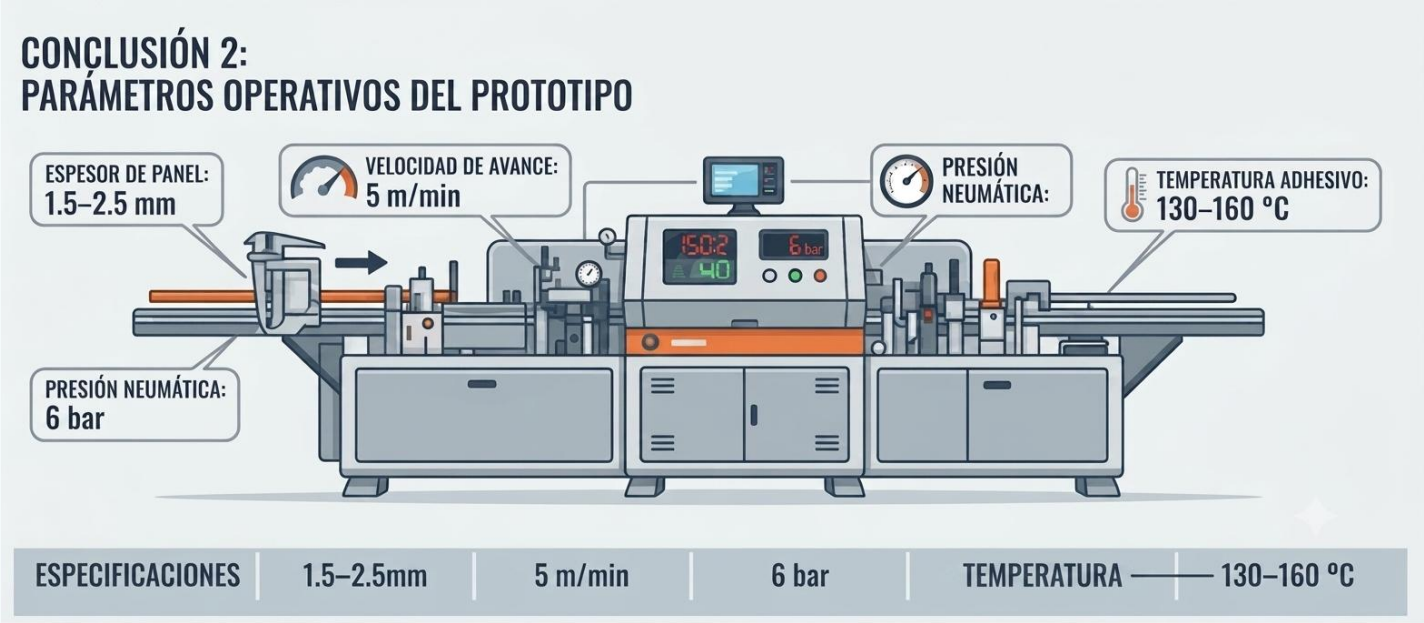
My07 PRO GOODFUNG



Costo: 2645$

Conclusiones









Gracias

Preguntas y discusión

Roland Steven Quinatoa Valladares · Daniel Alejandro Sánchez Mejía

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE — Ingeniería en Mecatrónica