



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN MECATRÓNICA

TEMA: AUTOMATIZACIÓN DEL CABEZAL DIVISOR Y EJE LONGITUDINAL DE LA FRESADORA HORIZONTAL BROWN & SHARPE PARA MEJORAR LA PRODUCCIÓN DE EJES ESTRIADOS EN LA EMPRESA CASTRO MAQUINARIA

AUTOR: RODRÍGUEZ PAZMIÑO, CHRISTOPHER ALEXANDER

DIRECTOR: ING. ACUÑA COELLO, FAUSTO VINICIO

LATACUNGA

2023



Contenido



Justificación e importancia



Demanda

- ▶ Incremento de un 20%.
- ▶ Desaprovechamiento de un 6%.



Producción

- ▶ Producción intermitente
- ▶ Mecanizado de ejes estriados

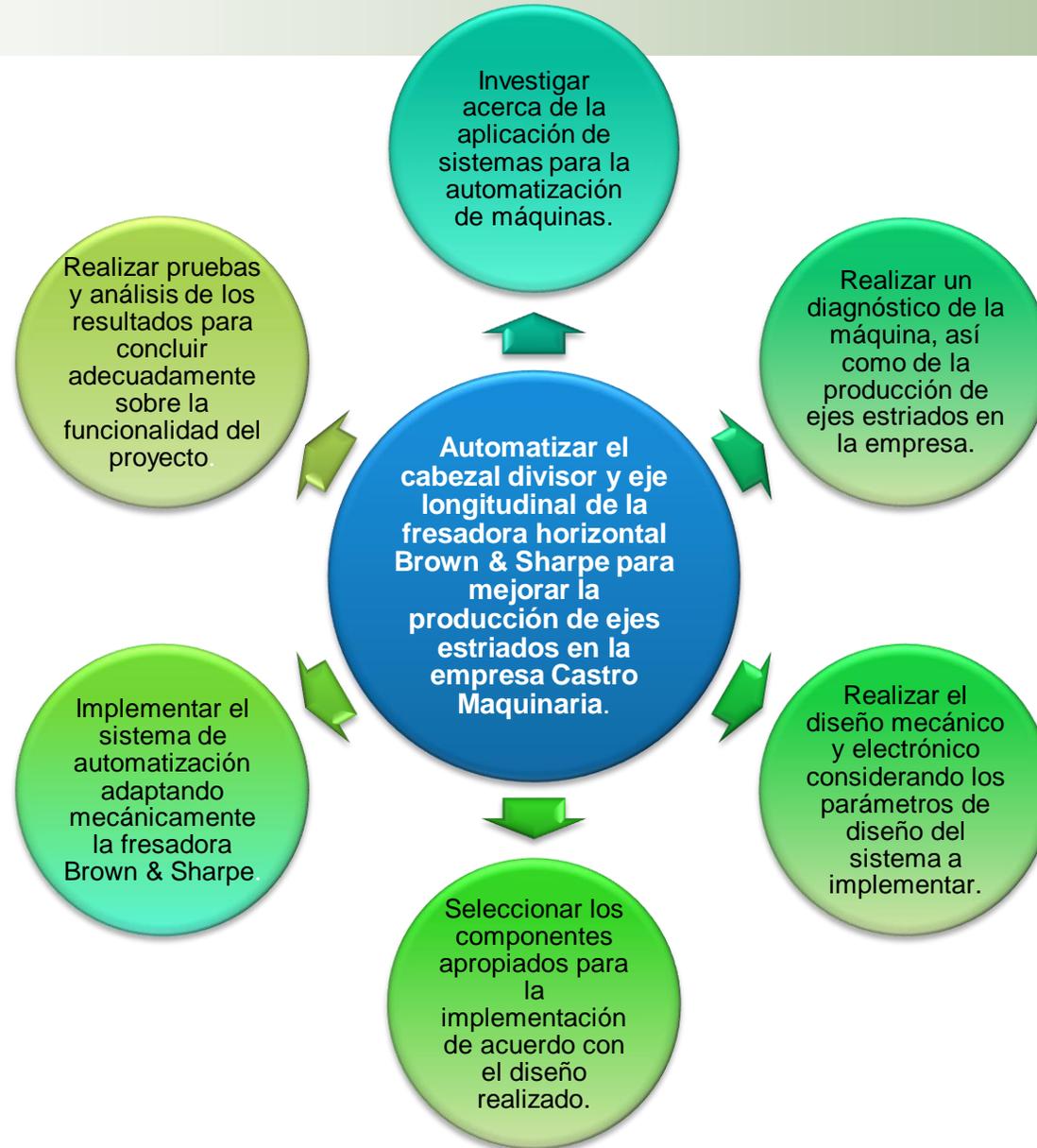


Automatización

- ▶ Eje longitudinal y cabezal divisor de la fresadora horizontal Brown & Sharpe

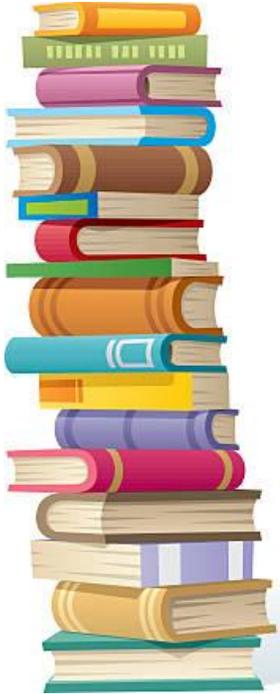


Objetivos



Fundamentación teórica

ESTADO DEL ARTE



Aspecto	Componente	Proyectos que lo usan	Consideraciones destacables
Generación de movimiento en los ejes	Motores a pasos	2 (eje longitudinal) 2 (cabezal divisor)	Empleados primordialmente en el cabezal divisor, mediante control por lazo abierto. Para el movimiento de los ejes no resulta ser la mejor opción debido a este tipo de control y a la pérdida de pasos que presentan.
	Servomotores AC	1 (eje longitudinal)	Menormente empleados debido a su elevado costo.
	Servomotores DC	5 (eje longitudinal)	Optimizan el control y la precisión que se consiguen.
Transmisión de movimiento	Husillo de bolas	6 (eje longitudinal)	Reduce el juego aumentando la precisión en los ejes.
	Tornillo – tuerca de potencia	2 (eje longitudinal)	No recomendado debido a problemas de juego.
Controlador del sistema	Controlador CNC	2 (eje longitudinal)	Posee un elevado número de ventajas siendo el más costoso.
	Computador	3 (eje longitudinal)	Requiere mayor espacio.
	PLC	2 (eje longitudinal)	Algunos se especializan en CNC.
	SBC	1 (eje longitudinal) 2 (cabezal divisor)	No recomendado en la industria.

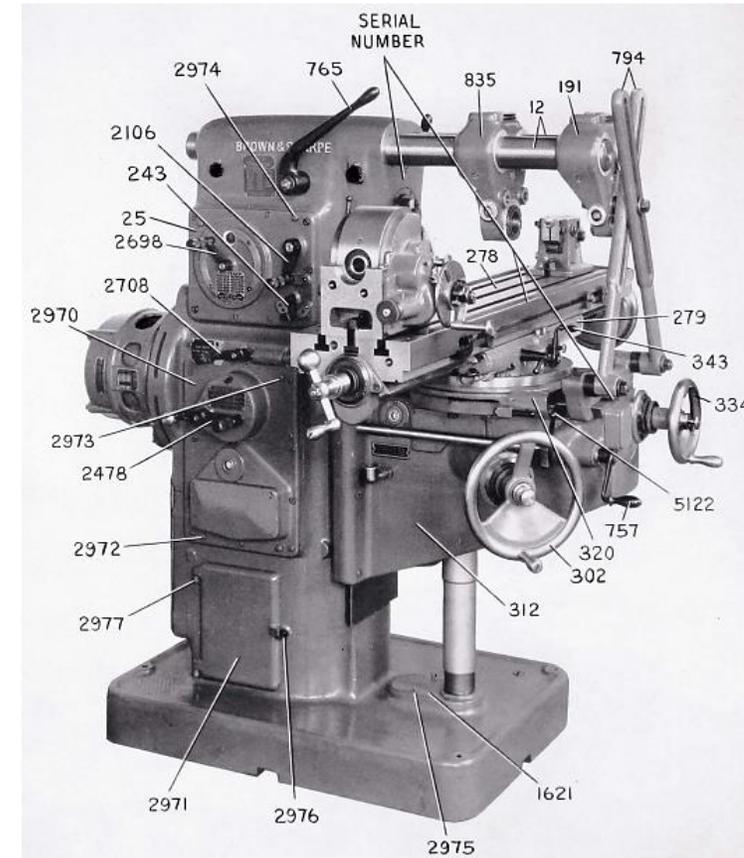


Fundamentación teórica

BROWN & SHARPE

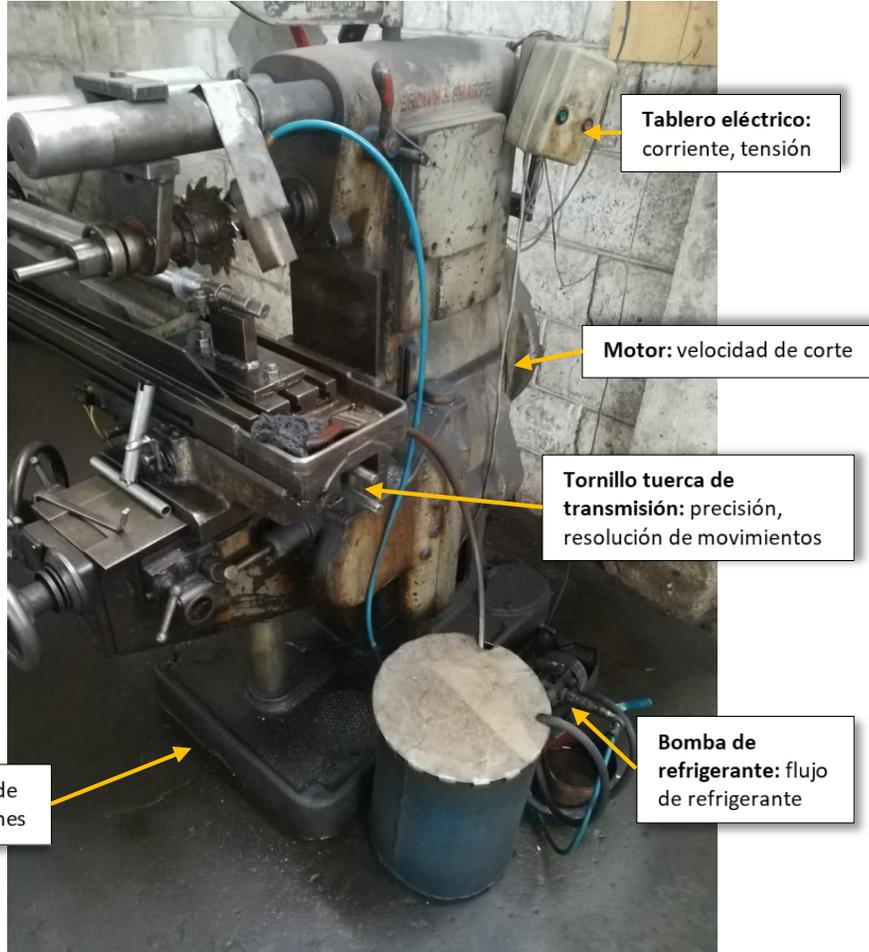
Brown & Sharpe dejó de fabricar este tipo de máquinas poco después de la segunda guerra mundial, la cual concluyó en 1945. (Cruz, Guerra, Herrera, & Meza, 2014)

La empresa Castro Maquinaria realiza la producción de ejes estriados mediante la fresadora horizontal modelo No. 2 Plain Light Type



Fundamentación teórica

DIAGNÓSTICO DE LA FRESADORA



Grietas o fisuras

Desgaste

Ruido

Lubricación y refrigeración

Juego u holgura



Fundamentación teórica

DIAGNÓSTICO DE LA FRESADORA: INSPECCIÓN DE GRIETAS O FISURAS

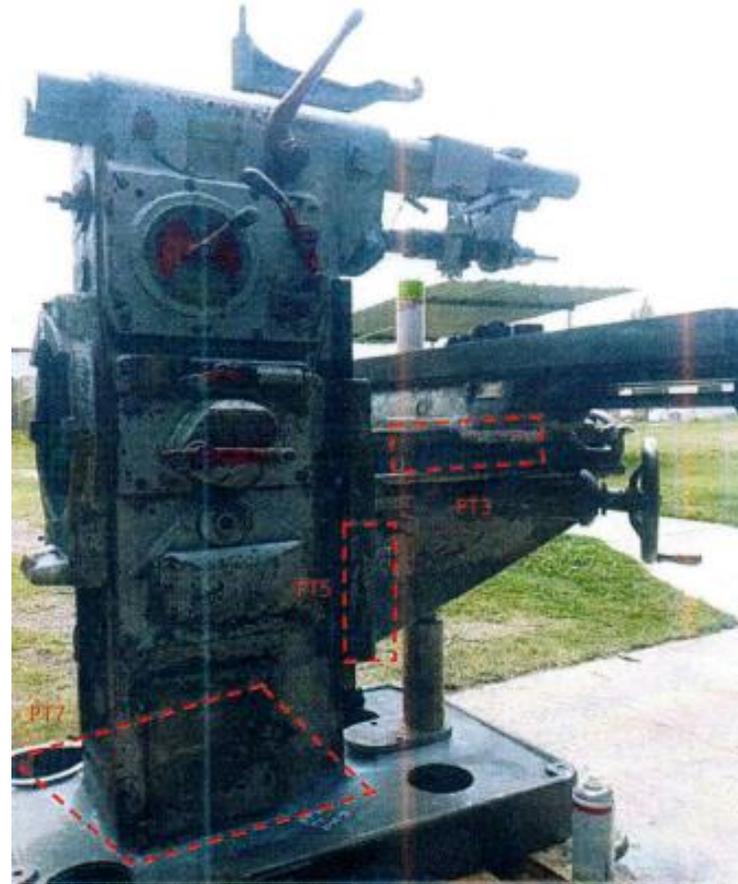
Certificación ASNT Nivel II en el método de líquidos penetrantes, empleando la norma SNT-TC-1A

Kit para ensayo por líquidos penetrantes: SKL-WP2, como líquido penetrante y SKD-S2, como el revelador



Fundamentación teórica

DIAGNÓSTICO DE LA FRESADORA: INSPECCIÓN DE GRIETAS O FISURAS



Fundamentación teórica

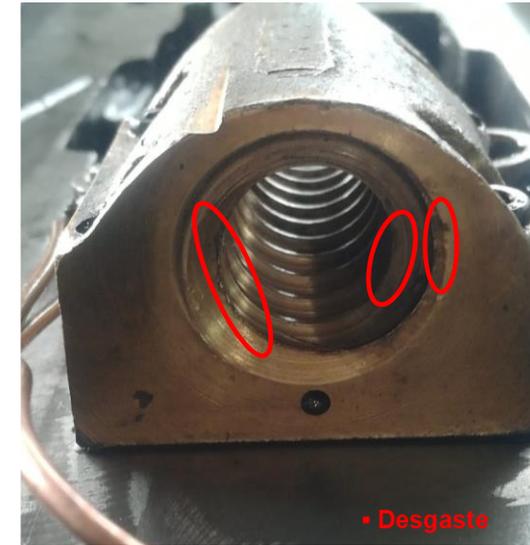
DIAGNÓSTICO DE LA FRESADORA: INSPECCIÓN DE GRIETAS O FISURAS

Elemento	Juntas	Resultado	Registro fotográfico
Soporte de árbol	PT1	Defecto de fusión incompleta	
	PT2	No muestra discontinuidades	
Ménsula	PT3	No muestra discontinuidades	
	PT4	No muestra discontinuidades	
	PT5	No muestra discontinuidades	
Base	PT6	No muestra discontinuidades	
	PT7	No muestra discontinuidades	



Fundamentación teórica

DIAGNÓSTICO DE LA FRESADORA: ANÁLISIS DE DESGASTE (TORNILLO – TUERCA DEL EJE LONGITUDINAL)



Fundamentación teórica

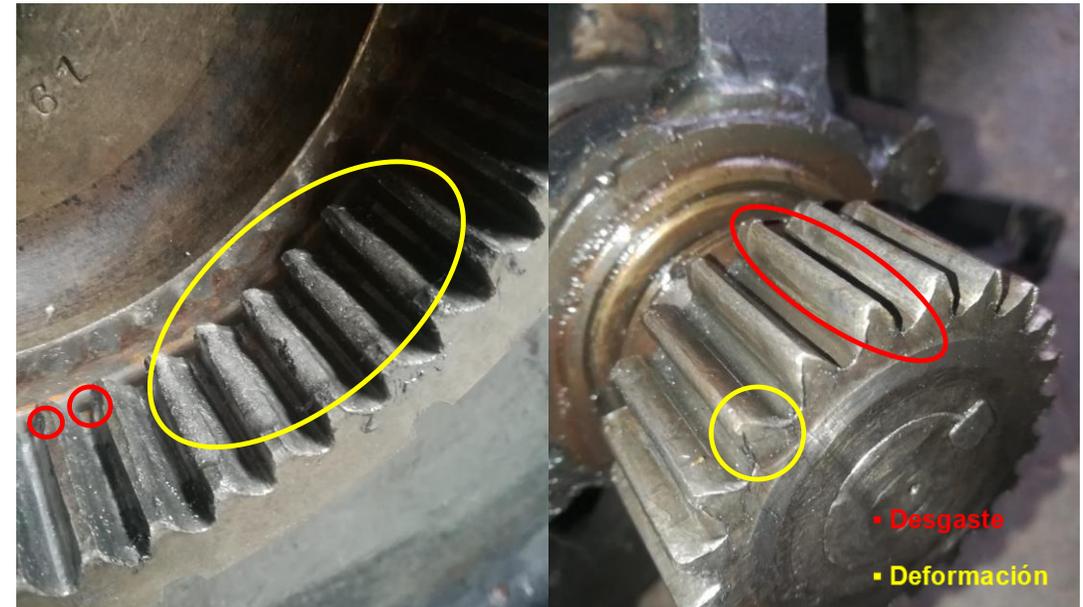
DIAGNÓSTICO DE LA FRESADORA: ANÁLISIS DE DESGASTE (CAJA DE ENGRANAJES)

Engranaje interno

- Desgaste por erosión
- Deformación plástica por flujo en caliente

Piñón

- Desgaste abrasivo
- Deformación por aplastamiento



Fundamentación teórica

DIAGNÓSTICO DE LA FRESADORA: ANÁLISIS DE RUIDOS

Desgaste y
deformación
en engranes

Ruidos
fluctuantes
e impulsivos

Ruido
intermitente en la
base de la
máquina



Zonas con ruido



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Fundamentación teórica

DIAGNÓSTICO DE LA FRESADORA: ANÁLISIS DE SISTEMAS DE LUBRICACIÓN Y REFRIGERACIÓN



Mangueras de distribución del sillín obstruidas



Contenedor de refrigerante inapropiado



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Fundamentación teórica

DIAGNÓSTICO DE LA FRESADORA: ANÁLISIS DEL JUEGO PRESENTE EN LOS EJES DE DESPLAZAMIENTO

	Eje x		Eje y		Eje z	
	Giro (°)	Desplaz. (mm)	Giro (°)	Desplaz. (mm)	Giro (°)	Desplaz. (mm)
Sentido horario	360	6.3	360	2.5	360	3
	720	12.5	720	5	720	7
	1080	19	1080	7.5	1080	10.5
	1800	31.5	1800	12.5	1800	16
	3600	63	3600	25	3600	29
Sentido antihorario	360	6.2	360	2.5	360	2.5
	720	12.5	720	5	720	6
	1080	19	1080	7.5	1080	8
	1800	31.5	1800	12.5	1800	16
	3600	63	3600	25	3600	32

EJE X: $\pm 1.38\text{mm}$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	n=10
δ	1	1	0,5	-0,5	-2,5	0	1	0,2	-0,5	-3	$\Sigma\delta^2$
δ^2	1	1	0,25	0,25	6,25	0	1	0,04	0,25	9	19,04

EJE Y: $\pm 1.16\text{mm}$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	n=10
δ	0	-0,5	-0,5	-1	-2,5	0	-0,5	-0,2	-0,8	-2,2	$\Sigma\delta^2$
δ^2	0	0,25	0,25	1	6,25	0	0,25	0,04	0,64	4,84	13,52

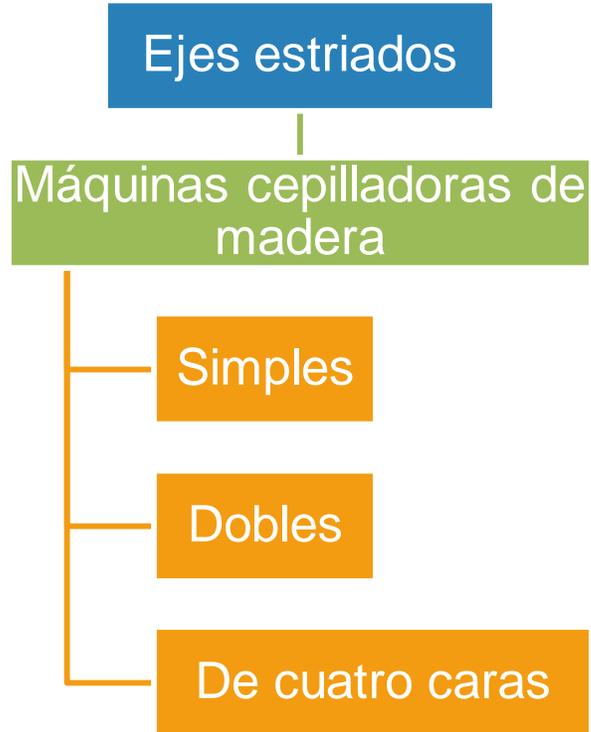
EJE Z: $\pm 1.07\text{mm}$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	n=10
δ	0	-1	-1,5	-1	1	0,5	0	1	-1	-2	$\Sigma\delta^2$
δ^2	0	1	2,25	1	1	0,25	0	1	1	4	11,5



Fundamentación teórica

DEMANDA DE EJES ESTRIADOS EN LA EMPRESA CASTRO MAQUINARIA

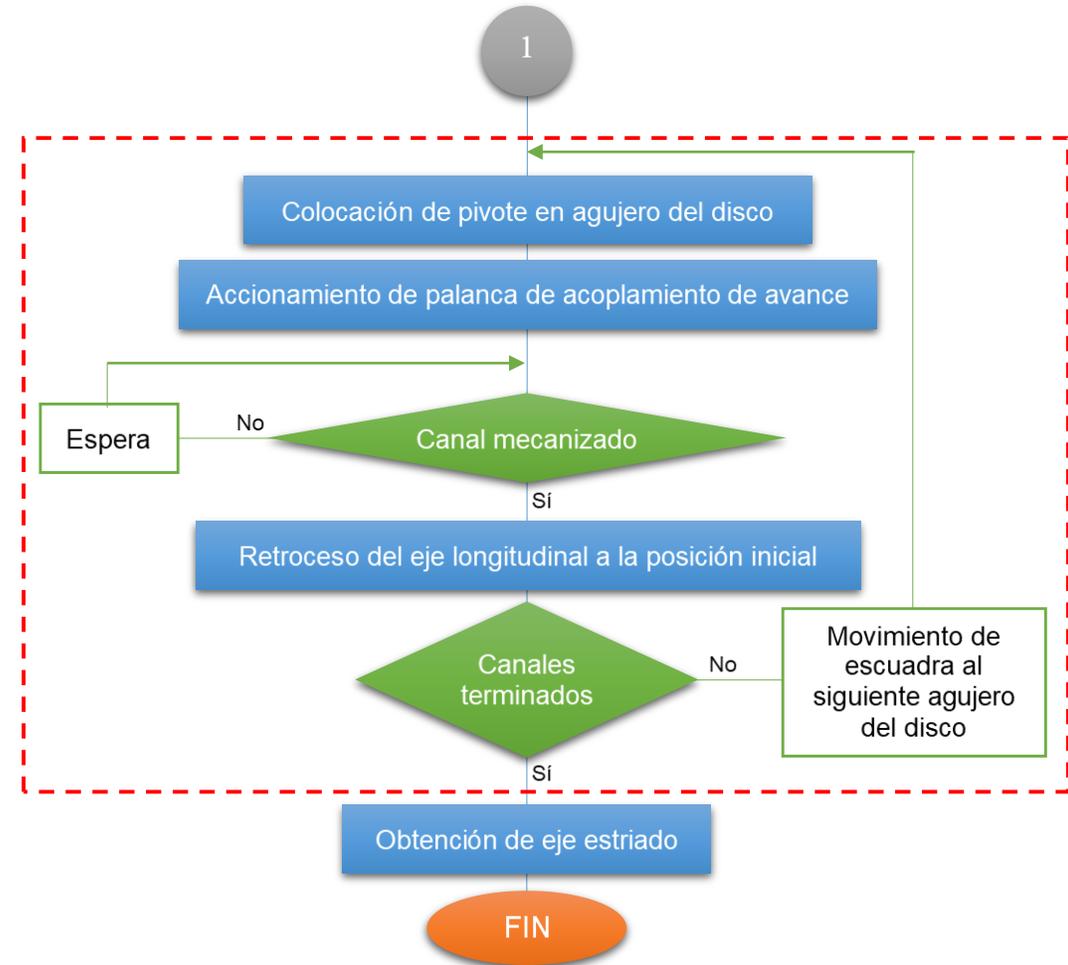


Castro Maquinaria es una empresa dedicada a la industria metalmeccánica y construcción de maquinaria para labrar madera.



Fundamentación teórica

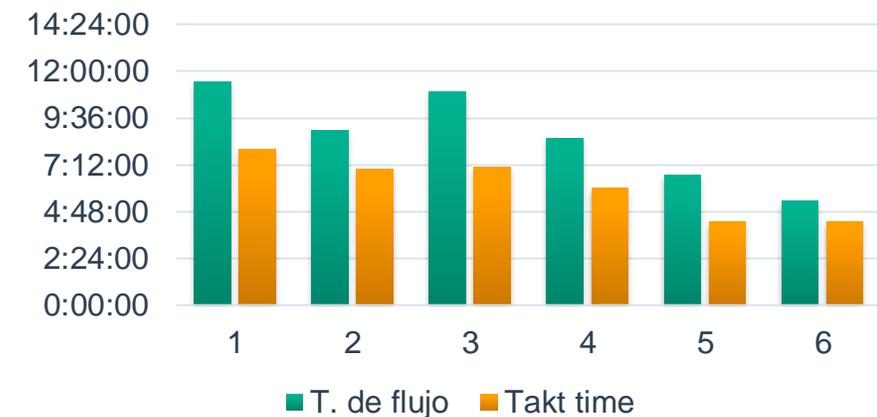
PROCESO DE PRODUCCIÓN DE EJES ESTRIADOS



Fundamentación teórica

TIEMPOS CARÁCTERÍSTICOS DEL MECANIZADO DE EJES ESTRIADOS

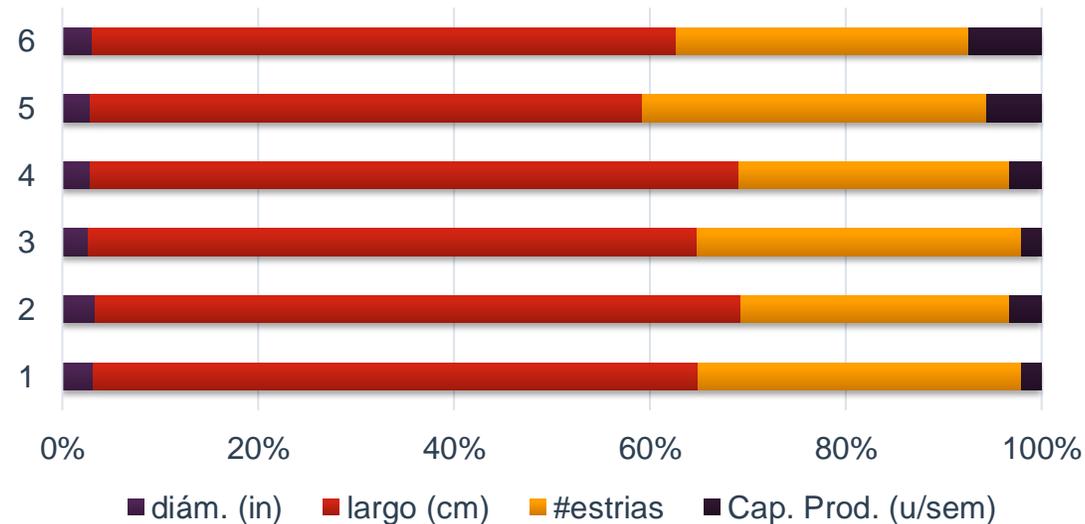
Parámetros de eje estriado			Tiempo de proceso (hh:mm:ss)	Tiempo de flujo (hh:mm:ss)	Tiempo de ciclo de proceso (hh:mm:ss)	Takt time (hh:mm:ss)
Diámetro (in)	Largo (cm)	# de estrías				
3	60	32	09:54:25	11:27:25	22:59:50	08:00:00
		25	07:45:09	08:57:00	17:59:18	07:00:00
2.5	60	32	09:53:54	10:55:54	21:56:48	07:03:32
		25	07:44:45	08:32:45	17:10:30	06:00:00
2	40	25	05:53:30	06:41:30	13:28:00	04:17:09
		20	04:43:30	05:21:30	10:48:00	04:17:09



Fundamentación teórica

CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN DE EJES ESTRIADOS EN LA EMPRESA CASTRO MAQUINARIA

Ord.	Parámetros de eje estriado			Capacidad de producción (Unidades/semana)
	Diámetro (in)	Largo (cm)	# de estrías	
1	3	60	32	2
2			25	3
3	2.5	60	32	2
4			25	3
5	2	40	25	4
6			20	5



Diseño y selección

PARÁMETROS DE MECANIZADO

Material a mecanizar

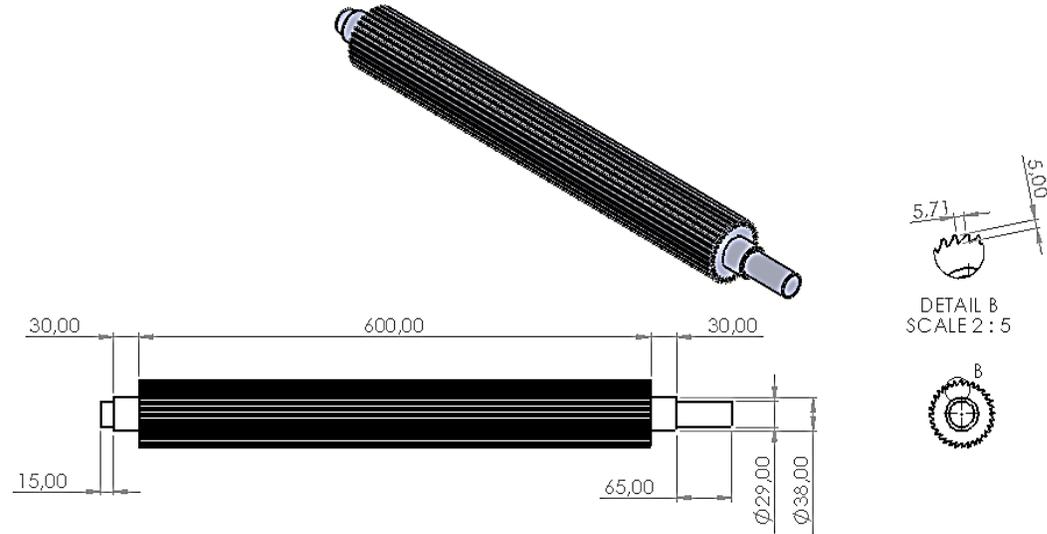
- Acero de transmisión (AISI 1018)

Operación de mecanizado

- Ranurado mediante fresado periférico en oposición

Herramientas de corte y sujeción

- Fresa de disco: R335.10-160-04.40-12, insertos 150.10-4N-14 CP600 P12 y anillos de arrastre 335.10-16340 del catálogo 2021.2 Fresado de Seco Tools



$$N = \frac{1000 \cdot V_c}{\pi \cdot d}$$

$$f = Z \cdot a_z \cdot N$$

$$T_m = \frac{L_m}{f}$$



Diseño y selección

PARÁMETROS DE MECANIZADO



- ▶ Según Salazar & Rossi (2019) al ser una fresa de dientes fresados de acero rápido que mecaniza acero AISI 1018, el cual es acero dulce que posee una resistencia mecánica de hasta 55 kg/mm^2 , la velocidad de corte recomendada se encuentra entre 18 a 25m/min (p. 15).
- ▶ Para una fresa de disco o una fresa de ranurado en fresado periférico, de acero rápido, que realiza el desbaste de acero dulce, considerando una profundidad de corte de hasta 10mm, se emplea un avance por diente de 0.1 a 0.2 mm (Urrego Ospina, 2010).

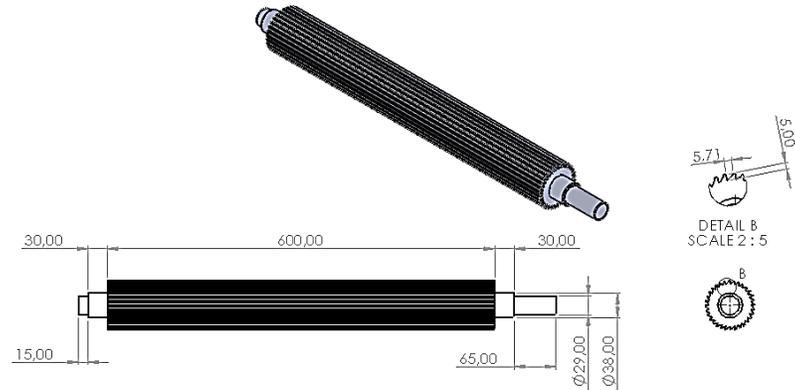
Diseño y selección

HOJA DE PROCESO DE FRESADO DE EJES ESTRIADOS CON HERRAMIENTA DE LA EMPRESA

Castro Maquinaria

Hoja del proceso de mecanizado de ejes estriados

Responsable:	Christopher Rodríguez	Revisado por:	Ing. Fausto Acuña
Fecha de Realización:	17/02/2022	Fecha de presentación:	



Operación	Parámetros	Herramientas	Esquema del proceso
Ranurado mediante fresado periférico en oposición	Vc: 18 m/min N: 40 rpm f: 47 mm/min p: 5 mm Tm: 12min40s por ranura	<u>Herramienta de corte</u> Nombre: Fresa convencional usada por la empresa <u>Sujeción de pieza</u> Nombre: Cabezal divisor y contrapunto	

Vc: velocidad de corte
N: velocidad del husillo portaherramientas
d: diámetro de la herramienta
f: velocidad de avance
Z: número de dientes de la herramienta
a_z: avance por diente
p: profundidad de corte
L_m: longitud de mecanizado
T_m: tiempo de mecanizado para cada ranurado

$$N = \frac{1000 \cdot V_c}{\pi \cdot d}$$

$$f = Z \cdot a_z \cdot N$$

$$T_m = \frac{L_m}{f}$$



Diseño y selección

POTENCIA Y RENDIMIENTO

$$P_c [kW] = \frac{A_c [mm] \cdot p [mm] \cdot f \left[\frac{mm}{min} \right] \cdot k_c \left[\frac{N}{mm^2} \right]}{60 \left[\frac{s}{min} \right] \cdot 10^3 \left[\frac{mm}{m} \right] \cdot 10^3 \left[\frac{W}{kW} \right] \cdot \rho}$$

A_c : ancho de corte

p : profundidad de pasada

f : velocidad de avance

k_c : fuerza específica de corte

ρ : rendimiento de la fresadora

$$P_c [kW] = \frac{(5mm) \cdot (10mm) \cdot \left(47.41 \frac{mm}{min} \right) \cdot \left(2200 \frac{N}{mm^2} \right)}{60 \left[\frac{s}{min} \right] \cdot 10^3 \left[\frac{mm}{m} \right] \cdot 10^3 \left[\frac{W}{kW} \right] \cdot 0.6}$$

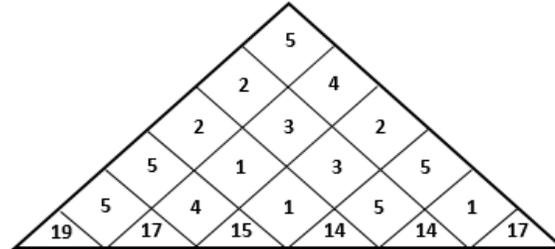
$$P_c = 0.1448kW$$



Diseño y selección

MATRIZ QFD DE PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO Y SOLUCIONES MEDIANTE EL MÉTODO ORDINAL CORREGIDO DE CRITERIOS PONDERADOS

Correlación	
Fuerte	● 9
Moderada	○ 3
Baja	▼ 1



		Importancia ponderada de los requisitos técnicos	1,4	1,2	1,1	1	1	1,2
1: bajo, 5: alto	INGENIERO ¿CÓMO?	→	Componentes de bajo costo	Controlador con software libre	Pantalla HMI con interfaz amigable	Tablero eléctrico normalizado	Dispositivos de seguridad y finales de carrera	Motores con controlador o encoders
Importancia para la empresa	EMPRESA ¿QUÉ?	↓	1	2	3	4	5	6
1	5	Presupuesto moderado	●	●	●	○	○	●
2	4	Simplicidad de programación	●	●	▼	▼	○	○
3	4	Interacción amigable	●	▼	●	○	○	▼
4	3	Seguridad adecuada	○	▼	▼	●	●	▼
5	3	Precisión idónea	●	▼	▼	▼	▼	●
Importancia ponderada respecto al cliente (Absoluta)			153	91	83	59	69	85
Importancia ponderada respecto al cliente (Relativa)			2,6	1,5	1,4	1,0	1,2	1,4
Ex. Ponderada de los requisitos del cliente	ABSOLUTA		208	111	89	59	69	103
	RELATIVA		3,5	1,9	1,5	1	1,2	1,7

Mecanismo de transmisión de movimiento: Tornillo – tuerca de potencia

Mecánica y electrónica: Motores paso a paso con sus respectivos drivers

Control del sistema: PLC

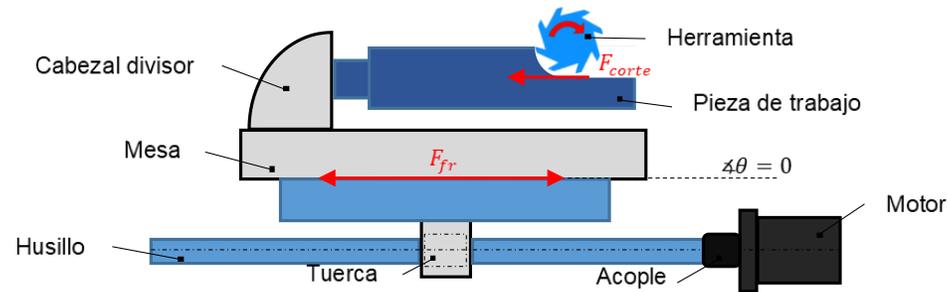
Interfaz de usuario: Pantalla HMI micro panel



Diseño y selección

DISEÑO DEL SISTEMA MECÁNICO

EJE LONGITUDINAL (EJE X):



$$F_{total} = F_A + m \cdot g(\sin \theta + \mu \cdot \cos \theta)$$

$$F_{corte}(N) = \frac{P_c(W) \cdot 60(s/min)}{V_c(m/min)}$$

$$T_{preload} = \frac{\mu_0 \cdot F_{preload} \cdot P}{2\pi}$$

$$J_{Ltotal} \approx J_{motor} + J_{acoplamiento} + J_{tornillo} + J_{carga}$$

$$T_{Lresist} = \left((F_{total} \cdot P \div (2\pi\eta)) + T_{preload} \right) \div i$$

$$T_{Lresist} = 1.876Nm$$

$$T_{acel} = J_{total} \cdot (\Delta_{velocidad} \div \Delta_{tiempo}) \cdot 2 \cdot \pi \div 60$$

$$T_{Lacel} = 4.38Nm$$

$$T_{movimiento} = T_{resist} + T_{acel}$$

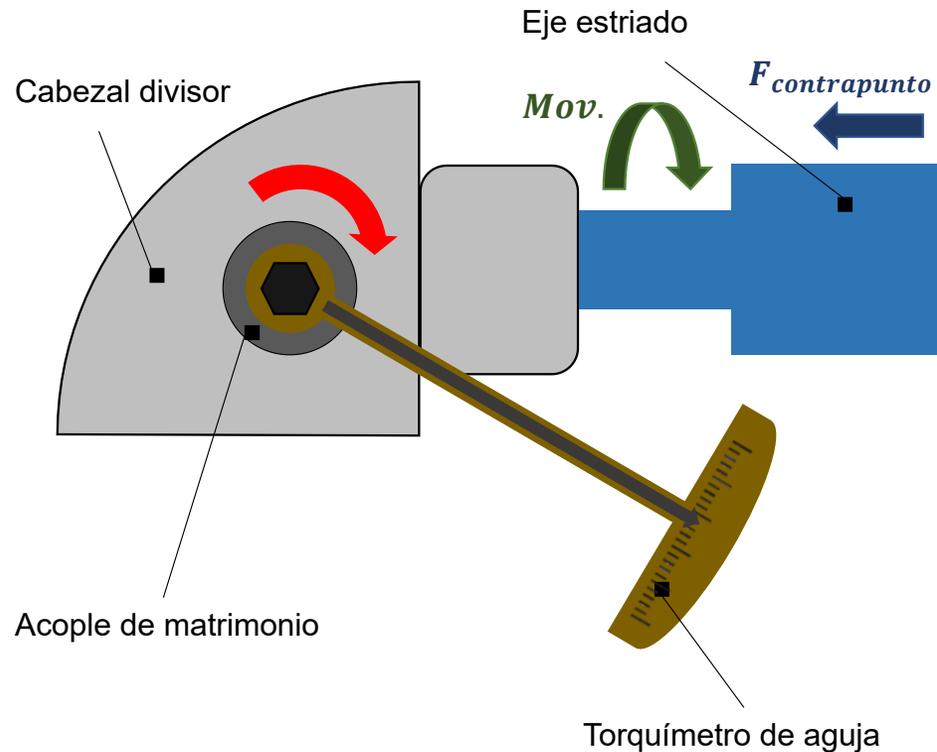
$$T_{Lmovimiento} = 6.256Nm$$



Diseño y selección

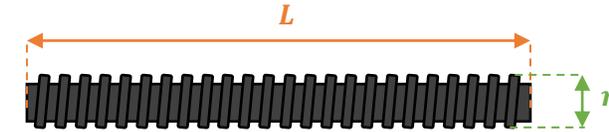
DISEÑO DEL SISTEMA MECÁNICO

CABEZAL DIVISOR (EJE A):



$$T_{Dresist} = 2,0 \text{ Nm}$$

$$J_{Dtotal} = J_{motor} + J_{acoplamiento} + J_{cabezal} + (J_{pieza} \div i^2)$$



$$J_{cabezal} \approx \pi \cdot L \cdot \rho \cdot r^4 \div 2$$

$$T_{acel} = J_{total} \cdot (\Delta_{velocidad} \div \Delta_{tiempo}) \cdot 2 \cdot \pi \div 60$$

$$T_{Dacel} = 0,001774 \text{ Nm}$$

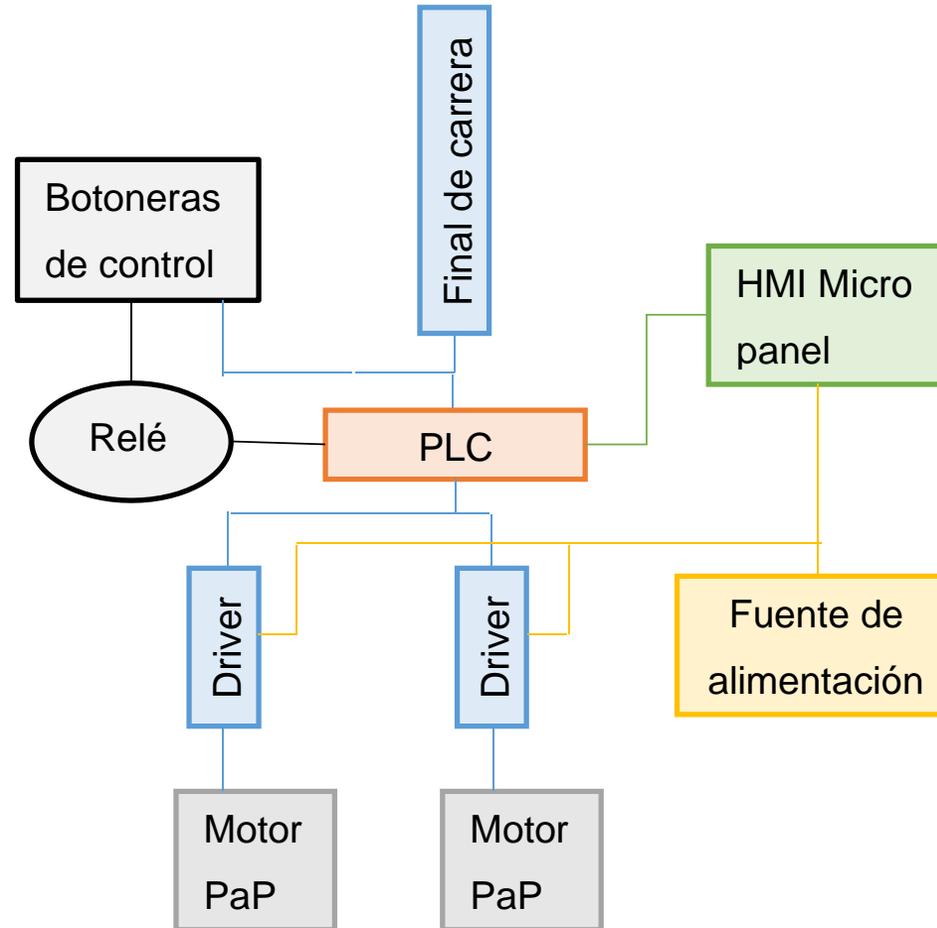
$$T_{movimiento} = T_{resist} + T_{acel}$$

$$T_{Dmovimiento} = 2,0017 \text{ Nm}$$



Diseño y selección

CONTROL DEL SISTEMA ELECTROMECAÁNICO



Diseño y selección

SELECCIÓN DE COMPONENTES



Motores Kinco
modelo:
2S86Q-85B8
Voltaje
nominal
(VDC): 24 – 48
– 60



Drivers Xinje
modelo: DP-
508
Alimentación
(VDC): 20~80
Salida de
corriente
máxima (A): 5



PLC Xinje
modelo: XD3-
16RT-E
Alimentación
(V AC): 220



Pantalla HMI
Xinje modelo
OP320-A-S
Alimentación
(V DC): 20~28
Corriente de
funcionamiento
(A): 0,2



Final de
carrera tipo
palanca
horizontal
Relé base de
enchufe
Botonera
doble y paro
de emergencia

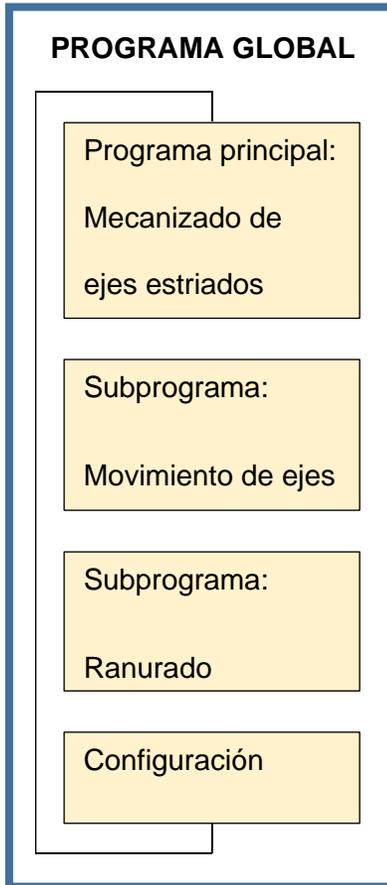


Fuente de
alimentación
Voltaje
(VDC): 24
Corriente
(A): 20

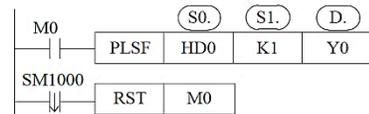
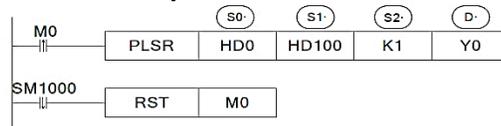


Diseño y selección

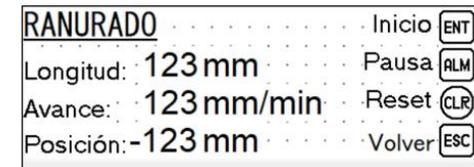
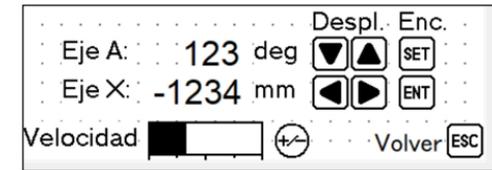
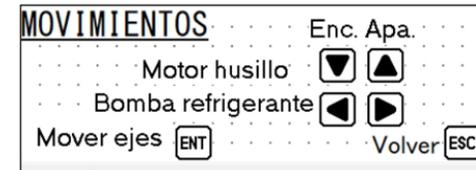
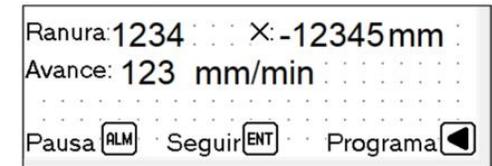
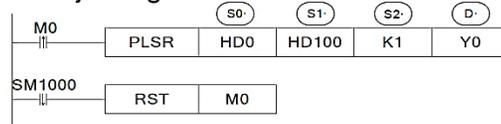
PROGRAMACIÓN DE LA MÁQUINA



En ambos ejes:



En eje longitudinal:



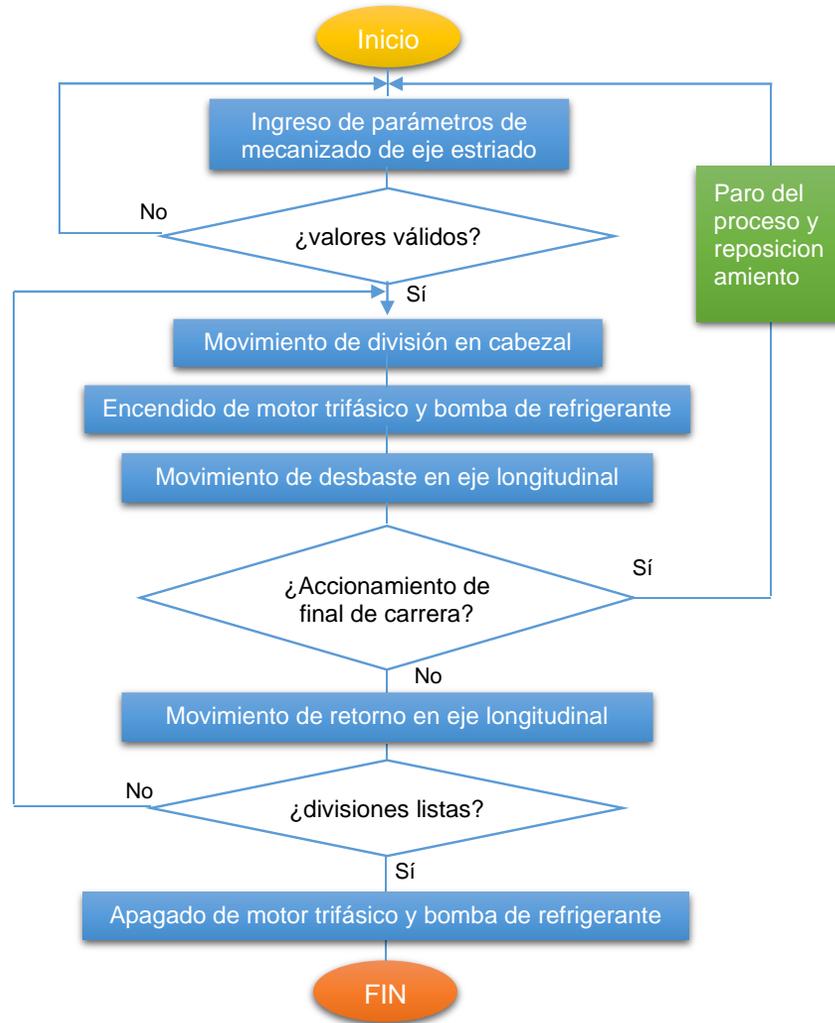
Diseño y selección

PROCEDIMIENTO REALIZADO POR EL OPERARIO PREVIO AL INICIO DEL PROGRAMA



Diseño y selección

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA PARA MECANIZAR EJES ESTRIADOS



Implementación y pruebas

CAMBIOS O ADAPTACIONES EN LA ESTRUCTURA MECÁNICA DE LA MÁQUINA



Reducción mediante poleas 9:35 al sistema de transmisión del motor trifásico y la caja de engranajes de la máquina.

Reposicionamiento de bomba de refrigeración y su contenedor en la máquina.



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Implementación y pruebas

IMPLEMENTACIÓN DE LOS EJES AUTOMATIZADOS



Implementación y pruebas

INCORPORACIÓN DE TABLEROS

Tablero eléctrico



Tablero de control



Implementación y pruebas

PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO: INSTALACIÓN U OPERACIÓN



Prueba	Componente	Resultado
Conexión	Circuito de control	Funcional
	Circuito de potencia	Funcional
Programación	PLC	Funcional
	Pantalla HMI	Funcional
Operación	Ruido	Corregido
	Bomba del refrigerante	Funcional
	Motor trifásico	Funcional
	Motores a pasos	Verificar sobrecalentamiento

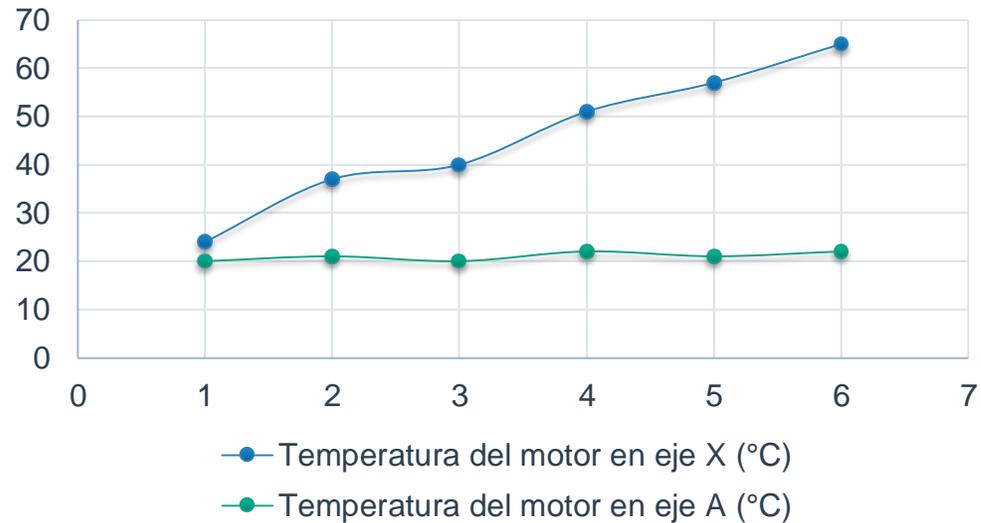


Implementación y pruebas

PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO: TEMPERATURA DE TRABAJO EN LOS MOTORES

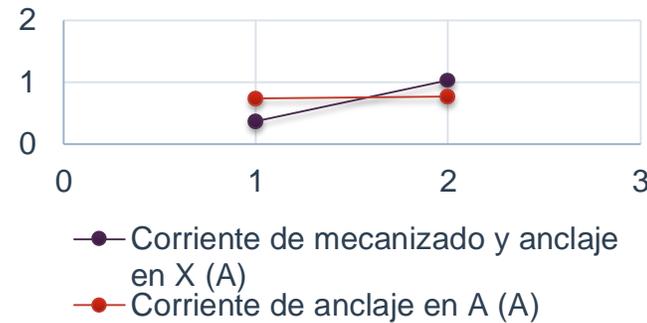


Horas de trabajo	Temperatura del motor en eje X (°C)	Temperatura del motor en eje A (°C)
1	24~28	20~22
2	32~37	20~22
3	40~45	20~22
4	50~52	20~22
5	57~60	20~22
6	62~65	20~22



Implementación y pruebas

PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO: CORRIENTE SUMINISTRADA A LOS CONTROLADORES Y MOTORES



Condición	Corriente de componentes en eje X (A)	Corriente de componentes en eje A (A)
Mecanizado o anclaje	0,37~1,03	0,73~0,76
Posicionamiento o rápido	4,79~4,82	1,31~1,33
Posicionamiento o lento	1,16~1,18	2,87~2,89



Implementación y pruebas

PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO: PRECISIÓN EN LOS EJES AUTOMATIZADOS

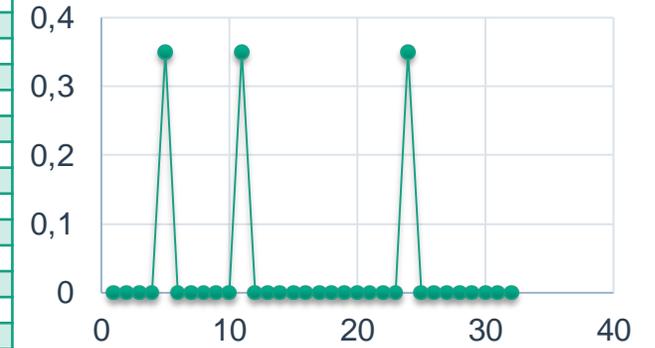
Eje longitudinal

Longitud ingresada (mm)	Longitud medida (mm)	Desviación	Desviación cuadrática
50	50,8	-0,8	0,64
100	101,3	-1,3	1,69
200	201,2	-1,2	1,44
400	401	-1	1
500	501,2	-1,2	1,44
600	601,4	-1,4	1,96



Cabezal divisor

#División	Ángulo medido (°)	Desviación	desviación cuadrática
1	11,25	0	0
2	22,5	0	0
3	33,75	0	0
4	45	0	0
5	56,6	0,35	0,1225
6	67,5	0	0
7	78,75	0	0
8	90	0	0
9	101,25	0	0
10	112,5	0	0
11	124,1	0,35	0,1225
12	135	0	0
13	146,25	0	0
14	157,5	0	0
15	168,75	0	0
16	180	0	0
17	191,25	0	0
18	202,5	0	0
19	213,75	0	0
20	225	0	0
21	236,25	0	0
22	247,5	0	0
23	258,75	0	0
24	270,35	0,35	0,1225
25	281,25	0	0
26	292,5	0	0
27	303,75	0	0
28	315	0	0
29	326,25	0	0
30	337,5	0	0
31	348,75	0	0
32	360	0	0

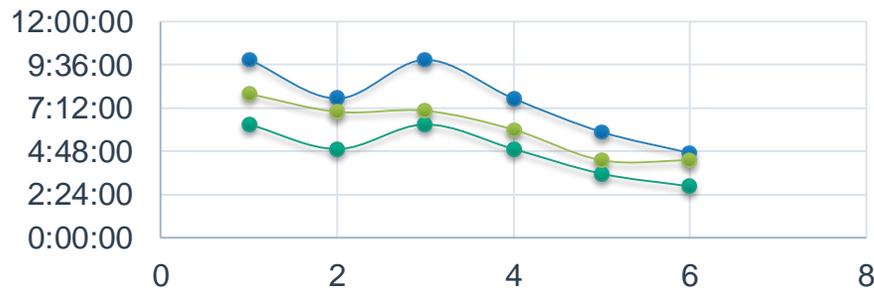


Implementación y pruebas

PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO: PRODUCCIÓN CONSEGUIDA DESPUÉS DE LA AUTOMATIZACIÓN

Tiempos de producción

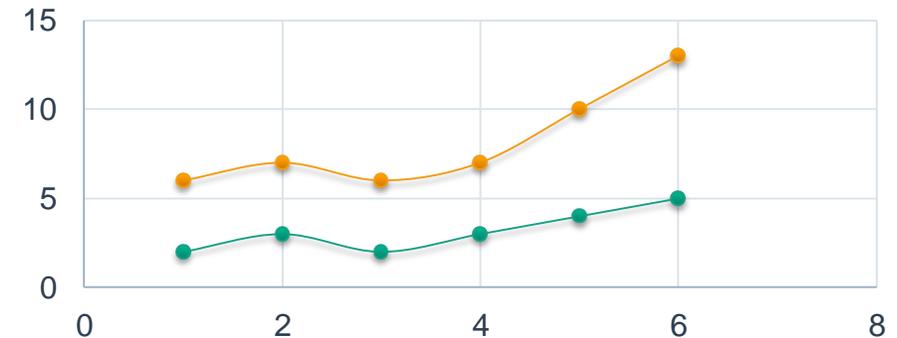
Ord.	Parámetros de eje estriado			Tiempo de proceso anterior (hh:mm:ss)	Tiempo de proceso actual (hh:mm:ss)	Takt time (hh:mm:ss)
	Diámetro (in)	Largo (cm)	# de estrías			
1	3	60	32	09:54:25	06:18:40	08:00:00
2			25	07:45:09	04:55:50	07:00:00
3	2.5	60	32	09:53:54	06:18:40	07:03:32
4			25	07:44:45	04:55:50	06:00:00
5	2	40	25	05:53:30	03:32:30	04:17:09
6			20	04:43:30	02:50:00	04:17:09



- Tiempo de proceso anterior (hh:mm:ss)
- Tiempo de proceso actual (hh:mm:ss)
- Takt time (hh:mm:ss)

Capacidad de producción

Ord.	Parámetros de eje estriado			Capacidad de producción (u/semana)	
	Diámetro (in)	Largo (cm)	# estrías	Anterior	Actual
1	3	60	32	2	6
2			25	3	7
3	2.5	60	32	2	6
4			25	3	7
5	2	40	25	4	10
6			20	5	13



- Capacidad de producción (u/semana) Anterior
- Capacidad de producción (u/semana) Actual



Análisis de resultados

ANÁLISIS DE TEMPERATURAS Y CORRIENTES DE TRABAJO EN LOS MOTORES A PASOS

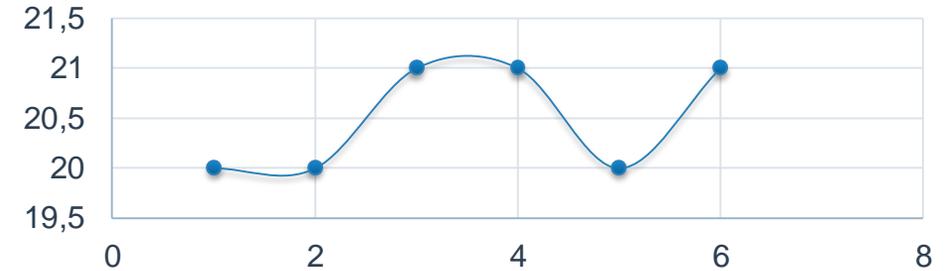
El motor en el eje X presenta una temperatura 65°C al permanecer trabajando una jornada completa

La hoja de datos del motor especifica una temperatura de funcionamiento de $-20^{\circ}\text{C} \sim +50^{\circ}\text{C}$

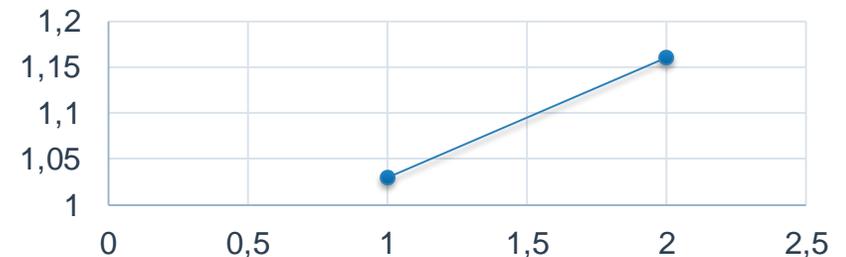


La corriente de trabajo en el posicionamiento rápido presenta picos que ocasionan el sobrecalentamiento del motor

Temperatura del motor en eje X ($^{\circ}\text{C}$)



Corriente de pos. rápido en X (A)



Análisis de resultados

ANÁLISIS DE PRECISIÓN Y PRODUCCIÓN CONSEGUIDAS (VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS)

Precisión

Existe un error de $\pm 1,33\text{mm}$ en el desplazamiento del eje longitudinal

Existe un error de $\pm 0,1^\circ$ en el posicionamiento angular del cabezal divisor

La empresa mecaniza ejes estriados a la totalidad de su longitud y admite una tolerancia de $\pm 0,2^\circ$ en divisiones

Producción

El tiempo del proceso se ha reducido aproximadamente por lo menos un 40%

El tiempo de proceso es menor por lo menos 44 minutos al takt time en cada variante de eje estriado

Se ha incrementado la capacidad de producción de los ejes de mayor cantidad de divisiones al triple y de las demás divisiones a más del doble de la capacidad anterior.



Conclusiones

La automatización de la fresadora horizontal Brown & Sharpe ha sido efectuada satisfactoriamente para la empresa Castro Maquinaria, mejorando la producción de ejes estriados al reducir el tiempo del proceso por lo menos un 40% aproximadamente, consiguiendo a su vez más del 17.5% de tiempo del takt time a favor de la empresa en la fabricación de cada eje estriado y una capacidad de producción más allá del doble de la capacidad anterior.

La fresadora Brown & Sharpe con la que cuenta la empresa Castro Maquinaria presentó desgaste en la transmisión de entrada a la caja de engranajes y ruido cercano a la zona del motor, para corregir este problema se requirió sustituir los piñones de entrada a la caja de engranajes por una transmisión mediante poleas asegurando el motor a la base de la máquina. En cuanto a la línea base de la empresa, los tiempos de producción de flujo en el mecanizado de ejes estriados antes de la automatización de la máquina sobrepasan en un 20% el Takt time, evidenciando efectivamente como se desaprovechaba la demanda,

En el diseño mecánico ha sido fundamental establecer los parámetros de corte del proceso de mecanizado de ejes estriados mediante la hoja de procesos, la cual se ha especificado en base a la fresa de disco convencional usada por la empresa, gracias a la investigación se determinó una velocidad de corte de entre 18 a 25 m/min. Permitiendo calcular una potencia de corte de 0.1448 kW, con la cual se determinaron los parámetros de diseño adecuados.

La fresadora horizontal Brown & Sharpe ha sido automatizada consiguiendo una precisión de 1.33 mm en el eje longitudinal debido al juego presente en el tornillo de potencia, y una precisión de $\pm 0.1^\circ$ en el cabezal divisor. No representando un inconveniente en cuanto a calidad para la empresa en la producción de ejes estriados

Para la implementación del proyecto resultó necesaria una reducción en el eje longitudinal debido a que el motor seleccionado presentaba un sobrecalentamiento al trabajar a una temperatura de 65°C después de una jornada completa, esto debido a que el motor trabajaba a sus valores límite de torque y velocidad en el posicionamiento rápido. Además, se han incorporado eficientemente un tablero eléctrico, el cual fue ubicado en el lateral derecho de la máquina, y un tablero de control, situado en el brazo de grúa para desplazarse del frente hacia un costado de la máquina facilitando el uso del operario

La selección de los motores a pasos parte del cálculo del torque resistivo y de aceleración requeridos para producir el movimiento de los ejes en la máquina, para el eje del cabezal divisor se ha calculado un torque necesario de 2.0017 Nm y para el eje longitudinal se ha calculado un torque necesario de 6.256 Nm,



Recomendaciones

Emplear una herramienta de corte CNC permitiría trabajar a mayores velocidades de corte, mejorando a la par los tiempos de producción, pero se deben considerar los avances máximos con los respectivos torques a los que pueden operar este tipo de motores.

Realizar una mayor cantidad de pruebas o ensayos no destructivos antes de automatizar este tipo de máquinas antiguas permitiría alcanzar un mejor diagnóstico y hasta una proyección sobre su tiempo de vida útil.

Hacer uso de herramientas CNC puede facilitar el determinar los parámetros de diseño en la automatización de máquinas convencionales ya que estas herramientas cuentan con parámetros de corte establecidos.

El cálculo del torque puede minimizarse empleando algún instrumento de medición más preciso, en este caso el torquímetro permitió determinar el torque resistivo en ambos ejes de manera experimental.

El soporte del tablero de control podría poseer una articulación que le permita adicionalmente posicionarse de manera vertical, considerando facilitar el uso del operario sin que el desprendimiento de viruta o el flujo del refrigerante tengan acceso al mismo.

Realizar el cambio a husillo de bolas en el aspecto mecánico y programar un lazo cerrado en el aspecto del sistema de control, permitirían incrementar significativamente la precisión en una máquina-herramienta convencional.



Bibliografía

Cruz García, O. A., Guerra López, E. R., Herrera Castro, R. A., & Meza Orellana, N. O. (2014). *Diseño y construcción de una fresadora con control numérico por computadora para uso didáctico*. San Salvador: Universidad de El Salvador.

Salazar, H., & Rossi, R. (2019). *Máquinas Fresadoras Taller de Mecánica I*. Universidad Nacional de Rosario.

Urrego Ospina, N. (17 de Abril de 2010). *Slideshare*. Obtenido de a Scribd company:
<https://www.slideshare.net/nurrego/fresado>

