



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTROMECAÁNICA

TEMA: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA AUTOMÁTICA PARA EL SECADO DE CACAO TIPO PLATAFORMA CON CAPACIDAD DE 100 LIBRAS, PARA MEJORAR LOS TIEMPOS DE PRODUCCIÓN EN LA HACIENDA SAN FRANCISCO, DE LA PARROQUIA PUCAYACU CANTÓN LA MANÁ.

AUTOR: GÓMEZ URGILEZ ERICK JOSÉ



- Diseñar y construir una máquina secadora de grano de cacao tipo plataforma de una capacidad de 100 libras, mediante el diseño mecánico estructural, con implementación de un controlador se monitoreará el secado y se visualizará el proceso en una pantalla HMI, para optimizar los tiempos de productividad.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar la estructura y el diagrama eléctrico de la máquina.
- Construir la máquina de acuerdo con normas y estándares mecánicos.
- Implementar el sistema de automatización, control y monitoreo.
- Realizar pruebas del proceso de secado de los granos de cacao.



Mediante el diseño y construcción de la máquina se podrá controlar y monitorear por medio de un HMI el proceso de secado del grano de cacao, permitiendo reducir los tiempos de producción.

- **Variable independiente**

Diseño de una máquina para el secado de la pepa de cacao.

- **Variable dependiente**

Control de las diferentes etapas de secado para mejorar tiempos de producción.

PROBLEMÁTICA

- En la actualidad se observa como el proceso de secado del cacao se lo realiza de manera artesanal, aprovechando la radiación directa del sol, pero se tienen épocas de cosecha que coinciden con temporadas lluviosas, provocando que aumente el tiempo de secado a semanas y generando pérdidas económicas.
- Con la implementación de este sistema se busca mejorar tiempos de producción, así como también cuidar la calidad final del producto, asegurando condiciones adecuadas de temperatura y humedad sin importar la estación climática en que se realice la cosecha, brindando al productor un control total de estas variables en un entorno seguro y confiable.



- El proyecto busca aplicar los conocimientos de automatización de procesos industriales, implementando una pantalla HMI que permita monitorear y controlar la temperatura y la humedad en el proceso de secado de los granos de cacao.
- Además, con el empleo de maquinaria en el proceso de secado, ofrece a los productores de cacao aumentar rentabilidad en sus ingresos económicos reduciendo tiempos de producción.

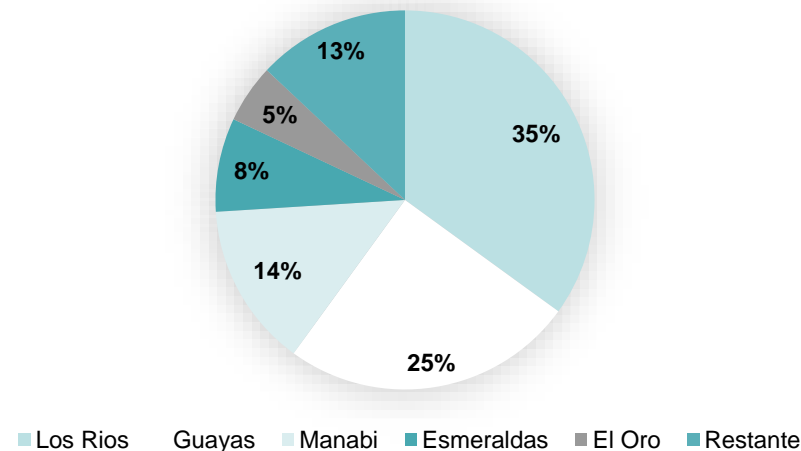


- **CACAO**

El cacao tiene su origen en América del Sur, abarca países como Colombia, Ecuador, Perú y Brasil.

Cacao en el Ecuador

13% restante está entre las provincias de Pichincha, Cotopaxi, Bolívar, Chimborazo, Cañar, Azuay y el Oriente.



- **TIPOS DE CACAO**

Cacao fino de aroma

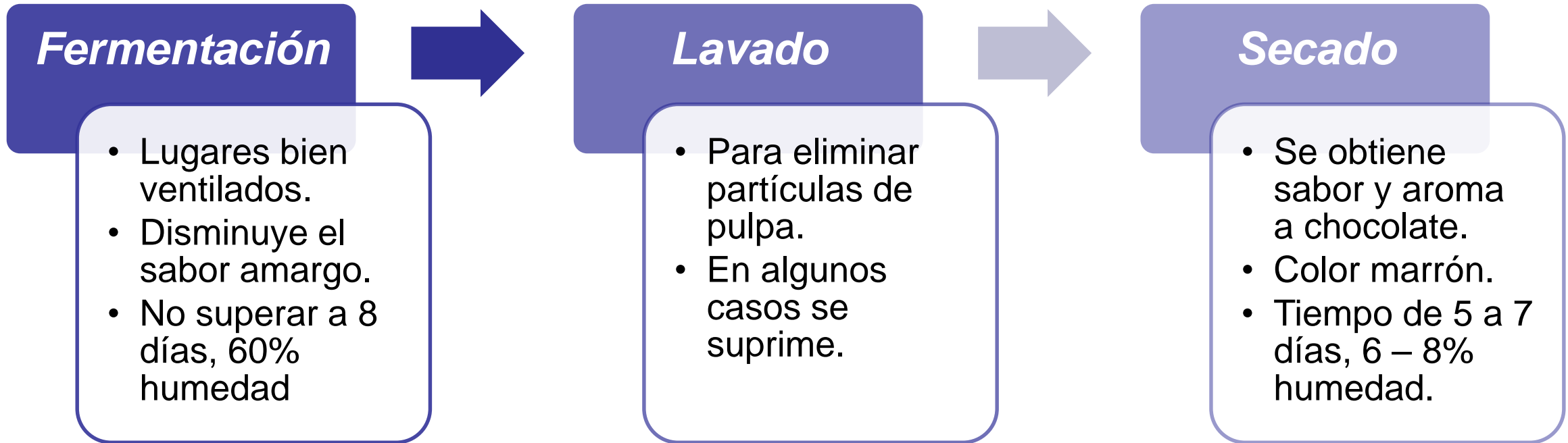
Ecuador es productor por excelencia de cacao fino de aroma con una producción del 63% de la producción mundial, es empleado en todos los chocolates de calidad premium o gourmet.

Cacao CCN-51

Es un cacao clonado de origen ecuatoriano que en el 2005 fue declarado, mediante acuerdo ministerial, un bien de alta productividad, el clon CCN-51 es denominado como cacao ordinario, corriente o común con una exportación del 25%.



• PROCESO DE SECADO



- **SECADO**



Secado Natural

- Se lo realiza en tendales, aprovechando la radiación directa del sol.
- Proceso conlleva mas tiempo y una área extensa.
- Proceso se detiene por mal tiempo.



Secado Artificial

- Uso de maquinaria.
- Utiliza un área menor de secado.
- Incremento en la producción.

INTRODUCCIÓN TEÓRICA

Secado artificial

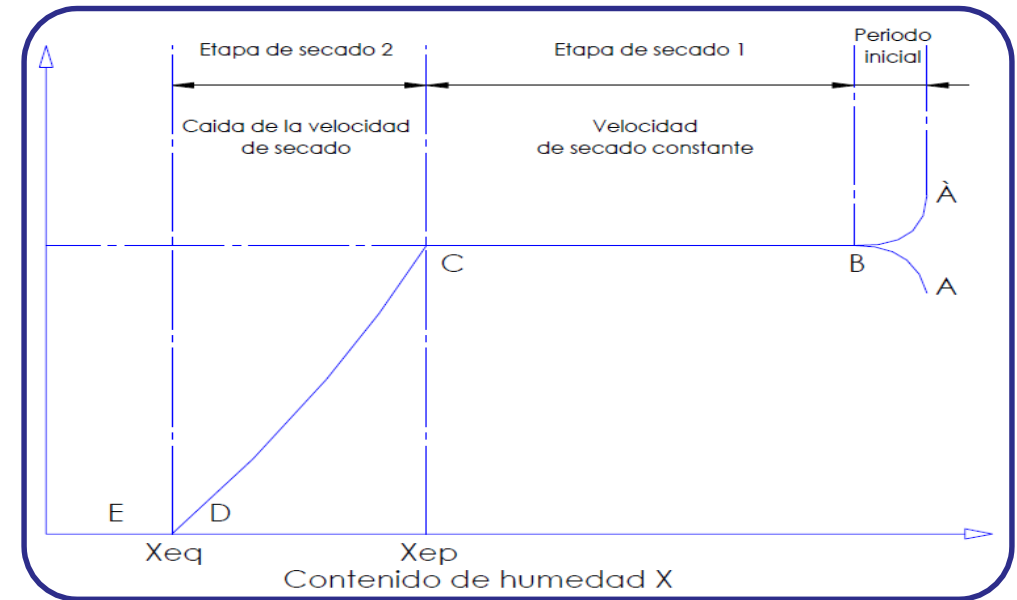
Método directo:

Se alcanza unión directa entre el grano y gases calientes

Método indirecto:

El calor se traslada a través de una pared de retención.

Curva de secado del grano



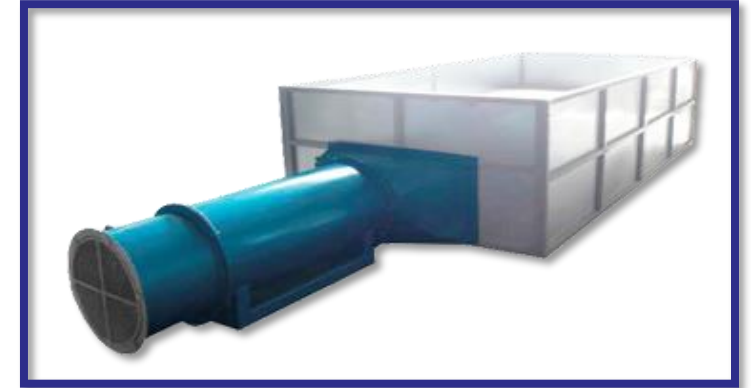
- TIPOS DE MÁQUINAS DE SECADO

Secadora de cacao rectangular

- Cámara de secado.
- Acero inoxidable.
- Combustible GLP o diésel.

Secadora de cacao cilíndrica

- Movimiento continuo de paletas
- Temperatura constante
- Acero inoxidable.



- **CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE FERMENTACIÓN Y DE SECADO**

Dimensiones

Bandeja de fermentación

Largo: 120cm

Ancho: 90cm

Profundidad: 10cm

Superficie de secado

Área bruta de 20m² descubierto.

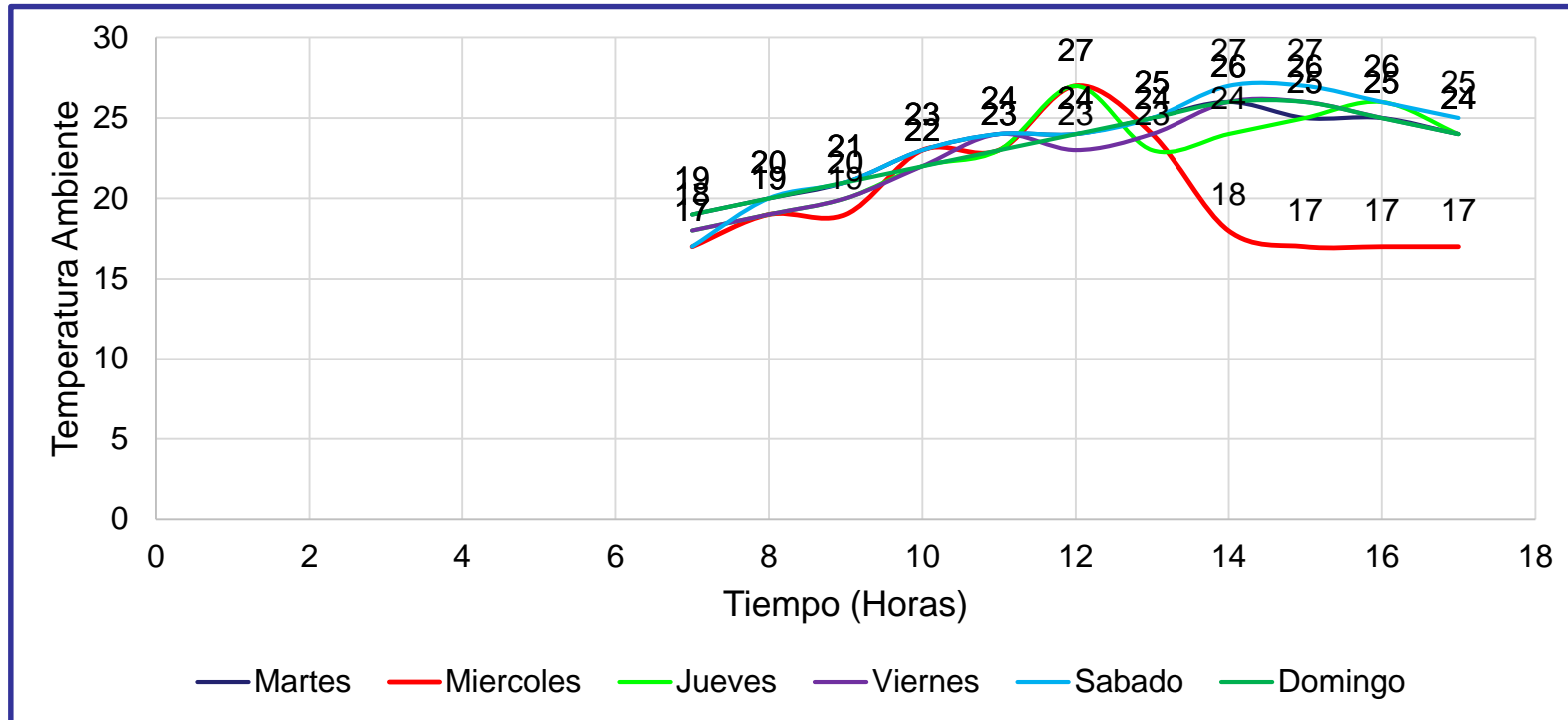
Características

Bandejas tipo Rohan, madera de laurel con capacidad de 200lb.

Superficie de cemento para el secado del grano.



INVESTIGACIÓN DE CAMPO



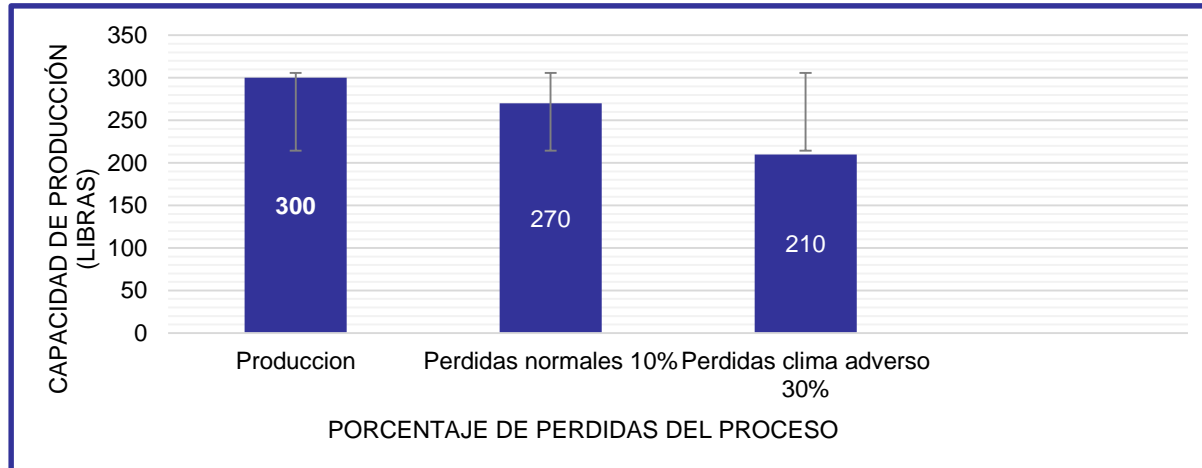
Causales para la perdida de calidad del grano.

- La hacienda san francisco no cuenta con un eficiente proceso de secado, lo que representa una de las posibles causas de baja rentabilidad en esta actividad.
- Sin control de variables físicas de temperatura y humedad.
- El grano entra en contacto con líquidos, por extender el tiempo de almacenamiento del producto lo que produce la aparición moho.

MUESTRA (Grano de Cacao)	RESULTADO DE HUMEDAD
Muestra 1	11.01% de humedad
Muestra 2	10.22% de humedad
Muestra 3	10.13% de humedad
Muestra 4	13.15% de humedad
Muestra 5	10.34% de humedad



INVESTIGACIÓN DE CAMPO



ANÁLISIS ECONÓMICO

- El costo de la venta por cada 100lb de grano de cacao seco es de \$50 dólares americanos.
- El servicio de secado artificial por cada 100lb de grano de cacao es de \$40 dólares americanos.

Nombre	Cantidad	Costos	
		Secado natural	Secado artificial
Hacienda San Francisco	100 lb	\$5.00	\$40.00

Hacienda San Francisco	SECADO ARTESANAL				
	Porcentaje de perdida	Cantidad (lb)	Costo (Dólares)	Costo de secado	Ganancia total
	0%	300	\$150	\$5	\$145
	10%	270	\$135	\$5	\$130
	30%	210	\$105	\$5	\$100
SECADO ARTIFICIAL					
5%	285	\$142.5	\$114	\$28.5	



- VALORACIÓN DEL DISEÑO (MATRIZ DE DECISIÓN)

CRITERIOS	ALTERNATIVAS DE DISEÑO			
	SECADORA TIPO CILINDRO A GAS	SECADORA TIPO CILINDRO A RESISTENCIAS	SECADORA TIPO PLATAFORMA A GAS	SECADORA TIPO PLATAFORMA A RESISTENCIAS
Factibilidad Técnica	1	1	1	1
Cumple requerimiento del usuario	-1	-1	1	1
Factibilidad de fabricación	-1	-1	1	1
Costo producción	1	-1	1	-1
Mantenibilidad	-1	-1	1	1
Usabilidad	-1	-1	1	-1
Interfaz al usuario	-1	-1	1	-1
Suma positivos	2	1	7	4
Suma negativos	-5	-6	0	-3
SUMA GENERAL	-3	-5	7	1



• SELECCIÓN DE SENSORES DE TEMPERATURA

PT-100

Sensor RTD PT100						
Rango de medición	Resolución	Tiempo de respuesta	Señal de salida	Resistencia	Material	Cable
0°C a 1250 °C	0.01 °C	0.18s	Necesita acondicionamiento	Resistencia a la presión	Acero inoxidable	Cubierta de malla

Ofrece las características técnicas que requiere la máquina, en función al tiempo de respuesta en los cambios de temperatura, ya que los datos son monitoreados en vivo, también los rangos de medida, y el uso en el que es utilizado es industrial.



• DIMENSIONAMIENTO DEL ÁREA DE SECADO

Fracción de vacío E

$$E = \frac{\text{Volumen de vacios en la cama}}{\text{Volumen total de la cama (vacios y sólidos)}}$$

Para determinar el espacio de vacío entre granos se realizó una prueba la cual consiste en llenar un recipiente de un volumen dado con granos de cacao más agua, hasta que cubra todo el volumen de los granos.

$$E = \frac{220\text{cm}^3}{525\text{cm}^3}$$

$$E = 0.419$$

Altura ideal de la cama de grano de cacao 0,095m.

$$V_{sol} = \frac{ms}{\rho g} \rightarrow V_{sol} = \frac{68.025\text{kg}}{770\text{kg/m}^3}$$

$$V_{sol} = 0.088\text{m}^3 \approx 0.09\text{m}^3$$

Volumen de cama compacta

$$V_c = \frac{V_{sol}}{1-E} \rightarrow V_c = \frac{0.09\text{m}^3}{1-0.419} \rightarrow V_c = 0.155\text{m}^3$$

$$b = 0.095 \quad a = 1.16\text{m}$$

$$V_c = a \times h \times b$$

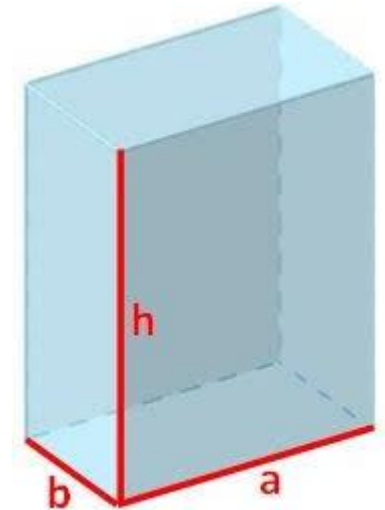
$$h = \frac{0.155\text{m}^3}{1.16\text{m} \times 0.095\text{m}}$$

$$h = 1.40\text{m}$$

Ancho (a): 1.16m

Largo (h): 1.40m

Altura (b): 0.095m



• DISEÑO MECÁNICO DE LA ESTRUCTURA

AISI - 316

Propiedad	Valor	Unidades
Limite elástico	172368932.3	N/m ²

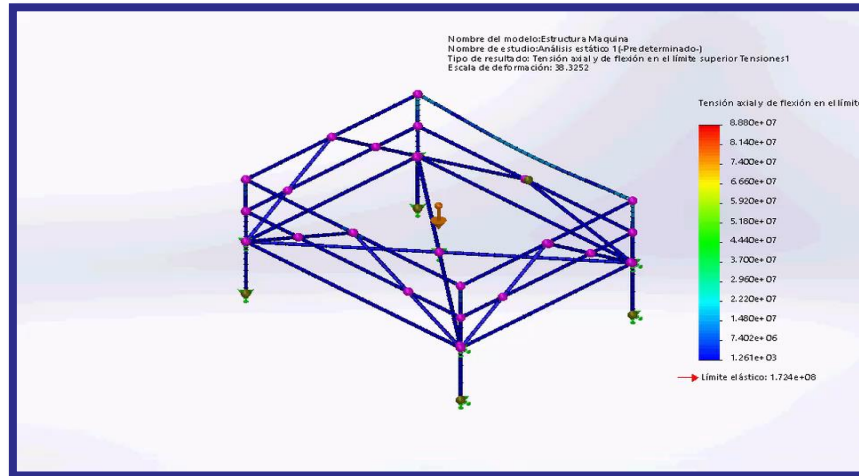
$$F = \sum W_m + \sum W_y + \sum KF_v$$

Factores de servicio	
Maquinaria ligera con eje de transmisión o motor	K≥2
Soporte de maquinaria de movimiento alternativo	K≥1.50

$$F = (42.7178kg) + (0.50kg) + (68,03kg \times 2)$$

$$F = 176.2778kg$$

$$F = 1729.2852N$$



Factor de seguridad

Para garantizar el diseño y evitar fallas en la estructura.

Conocimiento de las cargas	Conocimiento o del esfuerzo	Conocimiento o del entorno	Conocimiento del material	Factor de seguridad
Determinación precisa	Determinación precisa	Condiciones controlables	Muy conocido	1.25-1.5
Determinado fácilmente	Determinado fácilmente	Razonablemente constante	Muy conocido	1.5-2.0
Determinable	Determinable	Ordinario	Promedio	2.0-2.5

$$nd = \frac{\sigma}{\sigma_{perm}} \rightarrow nd = \frac{172368932.3}{88800000}$$

$$nd = 1.94$$

$$nd \approx n$$

$$n = 2$$

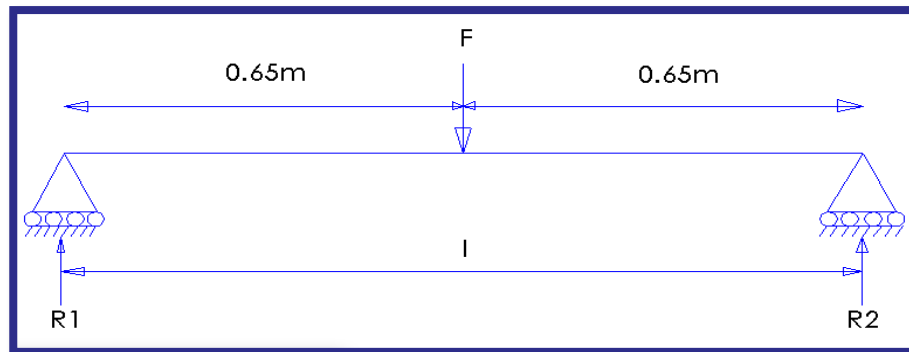


• DISEÑO MECÁNICO DEL SISTEMA DE PORTICO

ST – 37 Acero Estructural

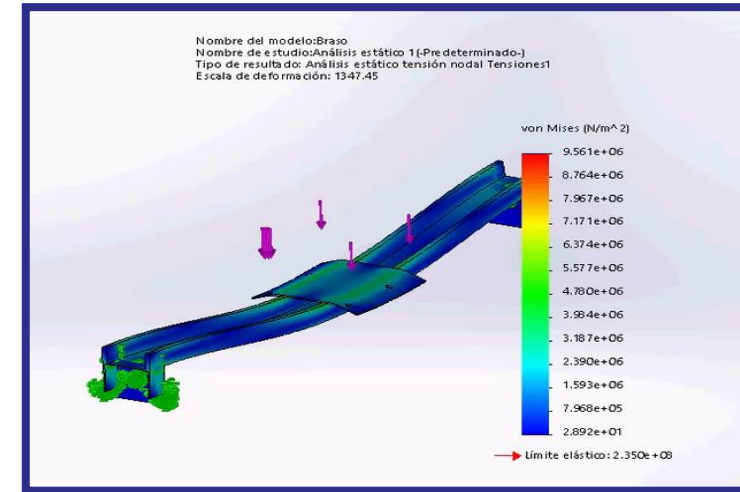
Propiedad	Valor	Unidades
Limite elástico	235000000	N/m ²

$$F = 29.108kg \times 9,81 \frac{m}{s^2} \Rightarrow F = 285.54N$$



$$R1 + R2 - 285.54N = 0$$

$$R2 = R1 = 142.77N$$



Factor de seguridad

$$nd = 24.57$$

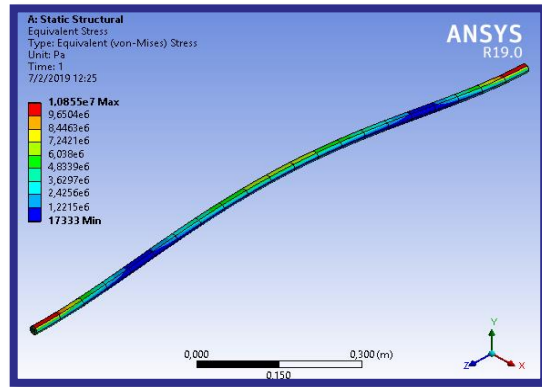
$$nd \approx n$$

$$n = 25$$

• DISEÑO MECÁNICO DEL EJE Y LAS PALETAS

AISI - 316

$$F = 88.89N$$



Factor de seguridad

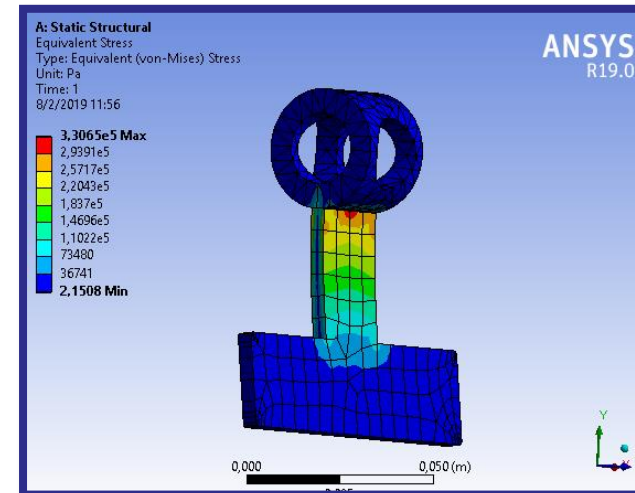
$$nd = 15.87$$

$$nd \approx n$$

$$n = 16$$

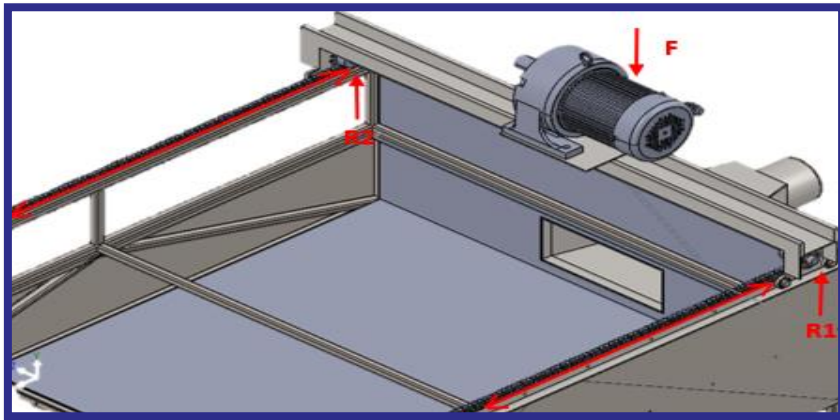
$$F = 20 \text{ granos} \times 2.6gr \rightarrow F = 52gr$$

$$F = 0.052kg \times 9.81 \frac{m}{s^2} \rightarrow F = 0.513N$$



• SELECCIÓN DE LA CADENA DE RODILLO

Se tomo en cuenta para la selección que tienen una vida larga y la capacidad para impulsar varios ejes que es lo que se necesita en la transmisión de la máquina.

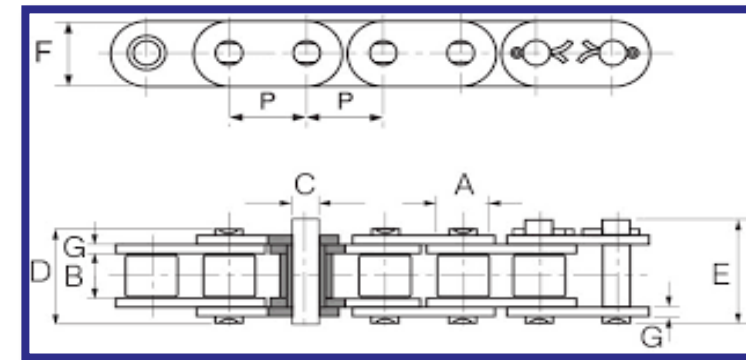


$$F = \sum W_{motor} + \sum W_{portico} + \sum W_R$$

$$F = 71.108kg \times 9,81 \frac{m}{s^2} \rightarrow F = 697.569N$$

Número de cadena ANSI	Paso, pulg (mm)	Ancho, pulg (mm)	Resistencia mínima a la tensión, lbf (N)	Peso promedio, lbf/pie (N/m)	Diámetro del rodillo, pulg (mm)
40	0.500 (12.70)	0.312 (7.94)	3130 (13920)	0.42 (6.13)	0.312 (7.92)

Se selecciona el número de cadena ANSI 40 de torón sencillo con un paso de 12.70mm, con una resistencia mínima a la tensión de 13920N con una lubricación tipo A que corresponde por goteo o manual.



• SELECCIÓN DE LA CATARINA

Se debe conocer previamente las características de la cadena de rodillo.

Numero de dientes

$$N = \frac{180}{\text{Sen}^{-1}\left(\frac{p}{D}\right)}$$

D : Diámetro de paso de la catarina, que se ha tomado como referencia la altura que necesita el sistema de pórtico.

$$D = 59.58\text{mm} \approx 60\text{mm} \rightarrow D = 2.3622\text{in}$$

$$N = 14.71 \approx 15 \text{ dientes}$$

Velocidad de la catarina, rpm	Numero de la cadena ANSI		
	40	100	120
50	2.88	5.52	9.33

$$H_{tab} = 2.88\text{hp} \text{ Capacidad nominal de potencia}$$

Factores de corrección de los dientes K_1

Número de dientes en catarina impulsora	Potencia pre-extrema, K_1	Potencia pose-extremo, K_1
15	0.87	0.83

Factores de torones múltiples K_2

Número de torones	K_2
1	1.0

Se calcula la potencia permisible H_a

$$H_a = K_1 K_2 H_{tab}$$

$$H_a = 2.5056 \text{ hp}$$

La potencia de entrada es de 1hp y la permisible de la catarina calculada es de 2.5hp



• SELECCIÓN COJINETES DE BOLAS

Se toma en cuenta el diámetro interior, que se obtiene del diámetro del eje y la carga axial la que este debe soportar, en este caso el diámetro es de 0.75in y una carga radial R1.

Diámetro interior mm	DE mm	Anch o mm	Radio del entalle , mm	Diámetro del hombro		Clasificación de carga, kN			
				d_s	d_h	Ranura profunda		Carga angular	
						C_{10}	C_0	C_{10}	C_0
19	47	14	1.0	25	41	12.7	6.20	13.3	6.55

Factores de carga radial equivalente para cojinetes de bolas

$$F_r = 0.14277 \text{ kN}$$

$$F_a = 0.0843 \text{ kN}$$

$$\frac{F_a}{C_0} = \frac{0.0843}{6.20} = 0.0135$$

$\frac{F_a}{C_0}$	X_1	Y_1	X_2	Y_2
0.014	1.00	0	0.56	2.30

Cargas combinadas axial – radial

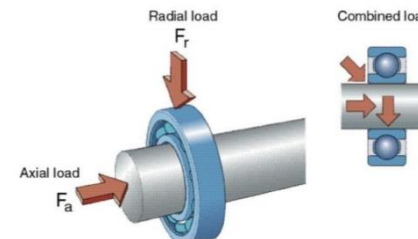
$$F_e = (X_2 \times (V)Fr) + (Y_2 \times Fa)$$

V: Factor de rotación es 1 cuando el anillo interior gira y 1.2 cuando el anillo exterior gira.

$$F_e = 0.2738 \text{ kN}$$

Para determinar si el cojinete de bolas es capaz de resistir a las cargas radiales y de empuje

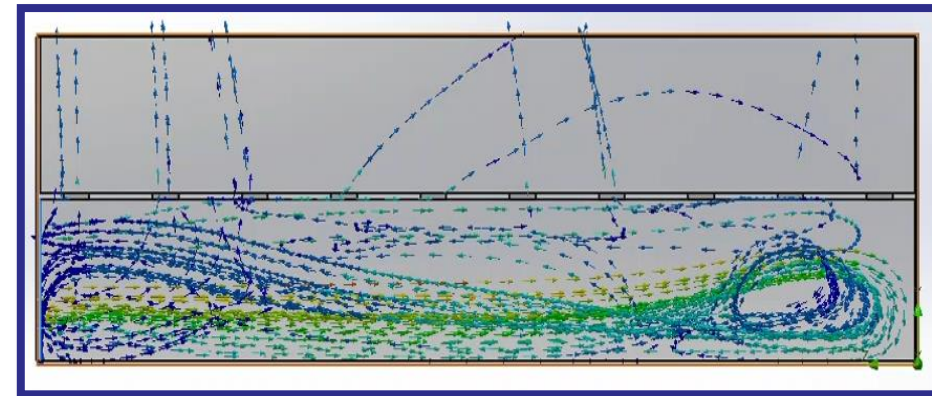
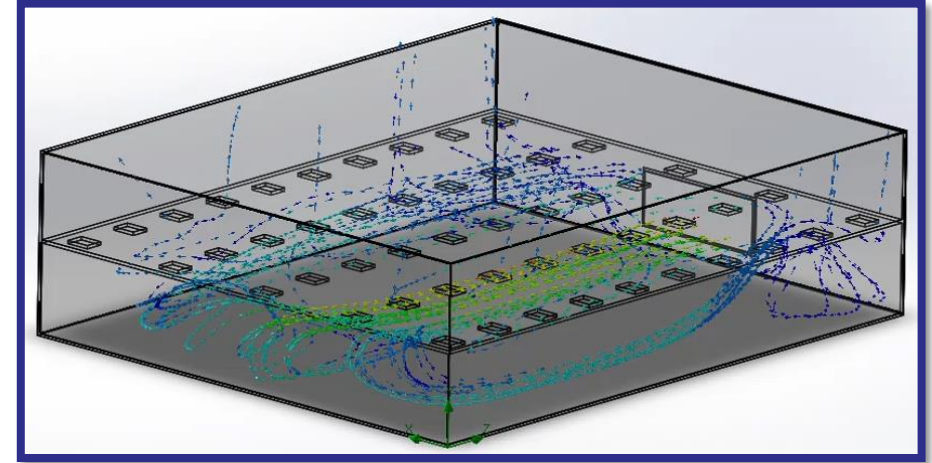
$$F_e > F_r \quad \rightarrow \quad 0.273 \text{ kN} > 0.1427 \text{ kN}$$



• DISTRIBUCIÓN DEL FLUJO DE AIRE



Para la simulación se utilizó el complemento de SolidWorks, Flow Simulation con datos conocidos como la velocidad de salida de 25 m/s, el área de la cámara de secado, el tipo de fluido en este caso es el aire y la temperatura de salida de 85 °C o 358 °K



Parameter	Value
Parameter Definition	User Defined
Thermodynamic Parameters	
Parameters	Pressure, temperature
Pressure	10 Pa
Temperature	358.15 K
Velocity Parameters	
Parameter	Velocity
Velocity in X direction	0 m/s
Velocity in Y direction	0 m/s
Velocity in Z direction	25 m/s
Turbulence Parameters	

Navigator

- Analysis type
- Fluids
- Wall conditions
- Initial conditions

• ANALISIS TÉRMICO

Lana de Vidrio		
Conductividad térmica	0.032	W/mK

Para el análisis térmico se considera las características térmicas del material, así como también el área de la cámara de secado, la temperatura inicial del flujo en este caso del aire, la temperatura de pared.

$$A = 4.3639m^2$$

Diferencia de temperatura

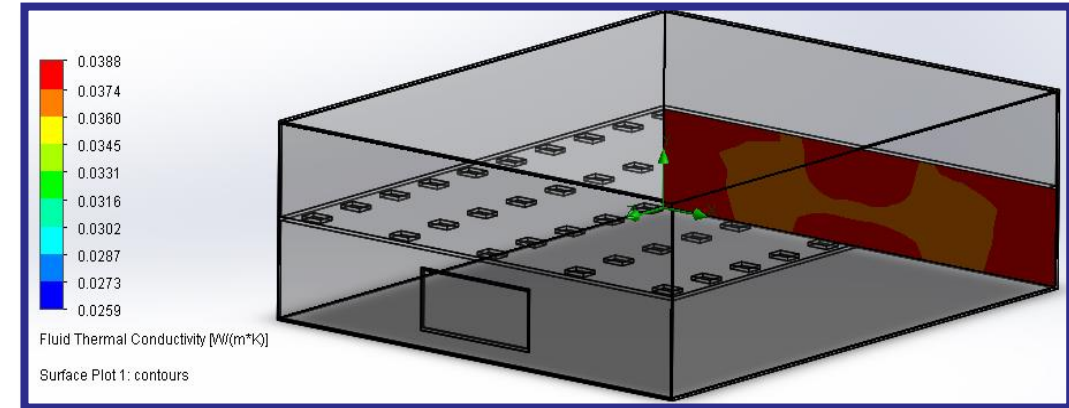
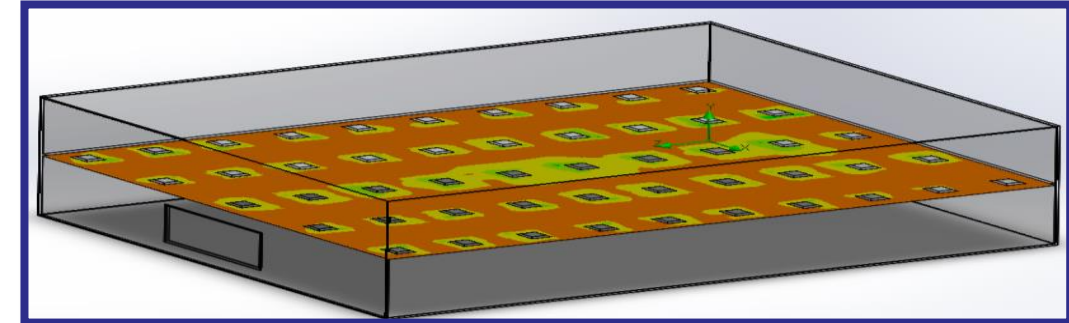
$$\delta t = (348.15^{\circ}K - 318.15^{\circ}K) \quad \delta t = (358.15^{\circ}K - 348.15^{\circ}K)$$

$$\delta t = 30^{\circ}K \quad \delta t = 10^{\circ}K$$

k: Coeficiente térmico del aislante

$$q = \frac{k \times A \times \delta t}{X} \quad q = 178.2699W \quad q = 59.42W$$

33%



Se cumple que $\lambda < 0,08 \text{ W/m}\cdot^{\circ}\text{K}$, la conductividad térmica y el espesor de la pared son los correctos.

- **POTENCIA DEL SOPLADOR**

$$Q = V \times S \rightarrow Q = 428.74 \frac{\text{pie}^3}{\text{min}}$$

$$S = 8.10 \times 10^{-3} \text{m}^2$$

$$hp = \frac{Q \times SP}{6356 \times n}$$

SP: Presión estática 12 plg ca ACT (pulgadas de columna de agua)

N: Eficiencia del ventilador (0.85)

$$hp = 0.952 \approx 1$$



• CALIBRE DEL CONDUCTOR

$$I_N = \frac{P}{\sqrt{3} \times V \times \cos\varphi} \quad I_{N1} = 2.27A$$

Corrientes de diseño

$$I_{d1} = 1.25 \times 2.27A \quad I_{d1} = 2.83A$$

$$I_{d2} = 2.83A$$

$$I_{dT} = 1.25 \times I_{d1} + I_{d2}$$

$$I_{dT} = 6.36A$$



Calibre de los conductores			
Numero AWG	Diámetro (mm)	Sección (mm ²)	Capacidad (A)
10	2.588	5.26	15
12	2.053	3.31	9.5
14	1.628	2.08	6.0

Conductor 12 AWG para el circuito de potencia y el calibre 14 AWG para el circuito del mando.

• SELECCIÓN RELÉ DE SOBRECARGA BIMETÁLICO

Relación de voltajes

$$I = 2.7A \text{ (Dato de placa conexión delta)}$$

$$V = 220V/254V \text{ (Dato de placa conexión delta)}$$

$$fr = 60Hz \text{ (Dato de placa)}$$

$$V_{real} = 218.2 \text{ (Voltaje medido)}$$

$$|V\Delta| = (V_{real} - V_{min}) / (V_{max} - V_{min}) \quad |V\Delta| = 0.7$$

Corriente a plena carga.

$$I = I_N + (I_{min} + I_{max}) \times |V\Delta|$$

$$I = 5.04$$



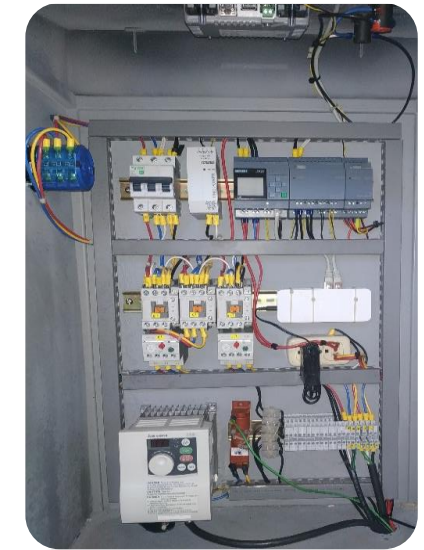
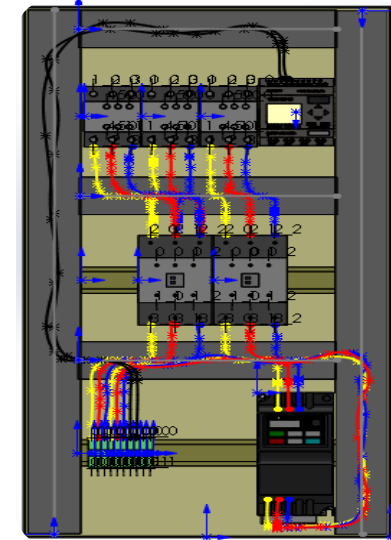
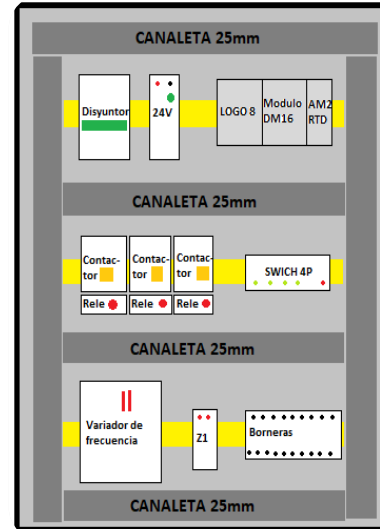
Se requiere un relé de sobrecarga bimetalico con una regulación de corriente entre 4A a 6A, ajustando la corriente en 5A, LS – MT32/2H5.

- **Selección contactor trifásico**

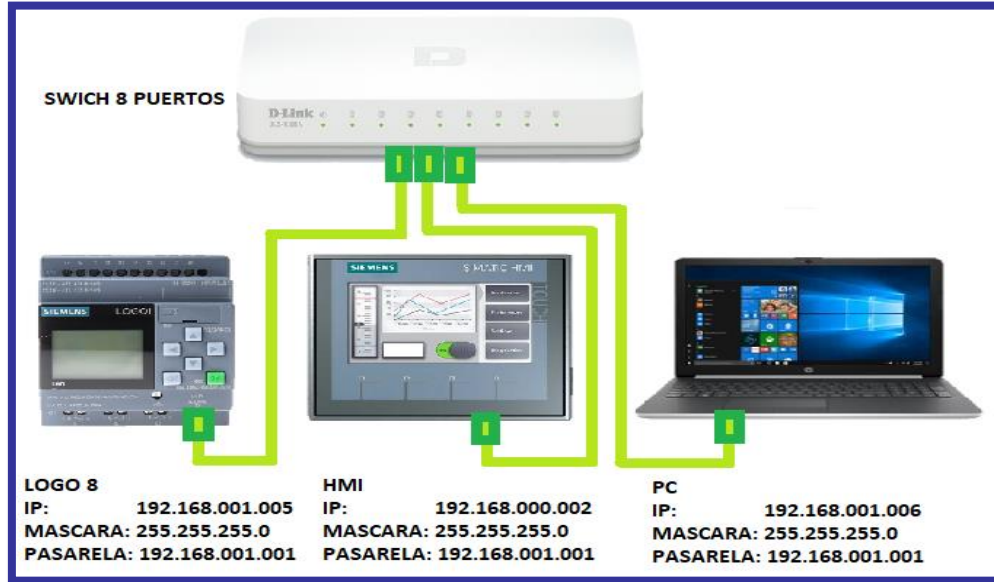
Se selecciono con una categoría de servicio en este caso AC3, para motores asíncronos (Rotor jaula de ardilla) e inversión de marcha.

- **Diseño tablero control.**

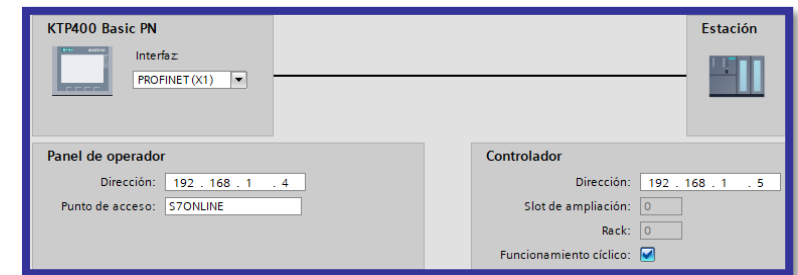
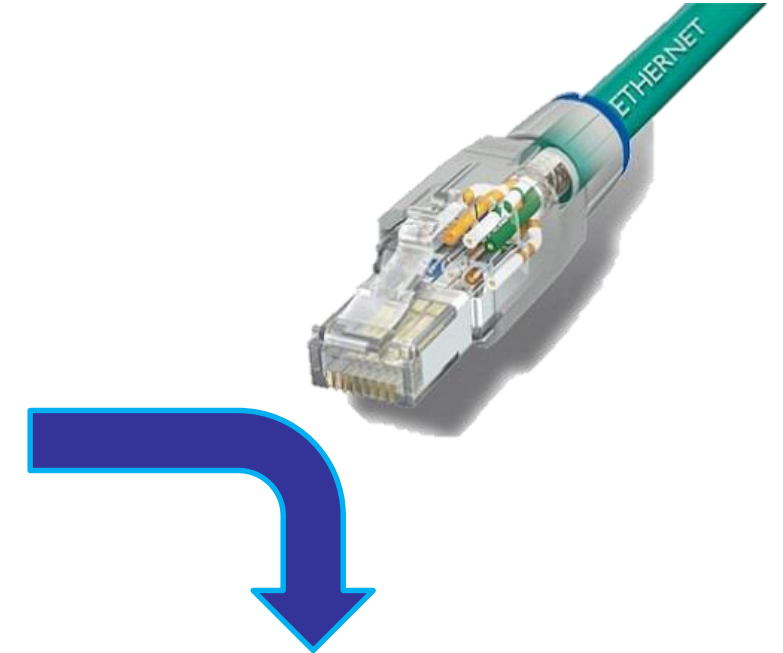
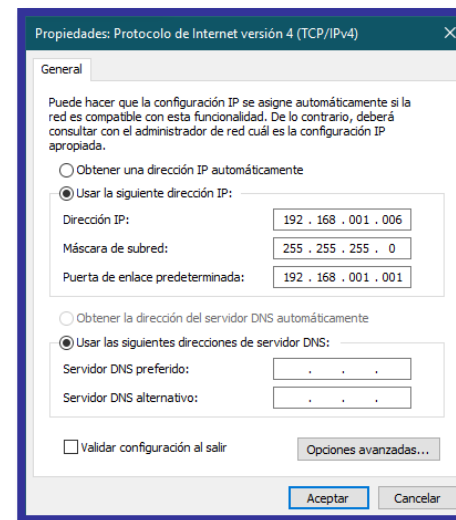
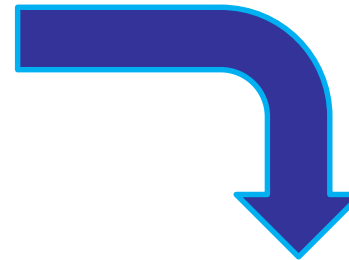
Se diseño bajo distancias de seguridad que deben existir entre ellos, como es el caso del variador de frecuencia que debe guardar distancias de 10cm en la parte superior e inferior y 1cm en cada uno de sus costados



• COMUNICACIÓN ETHERNET



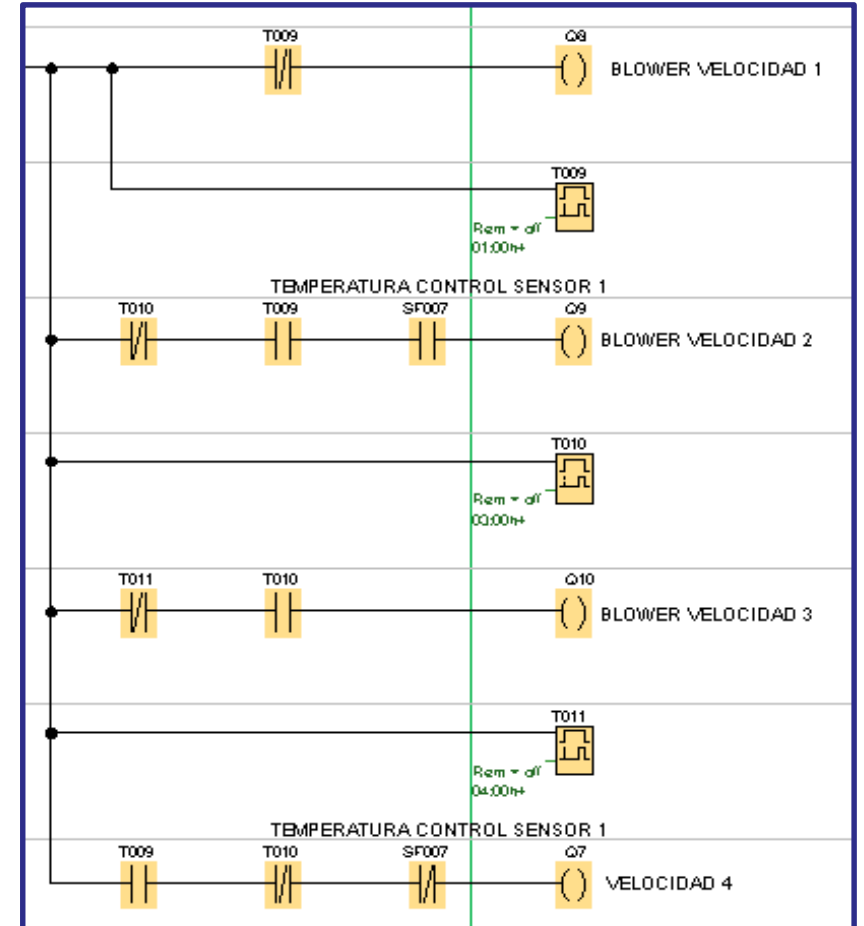
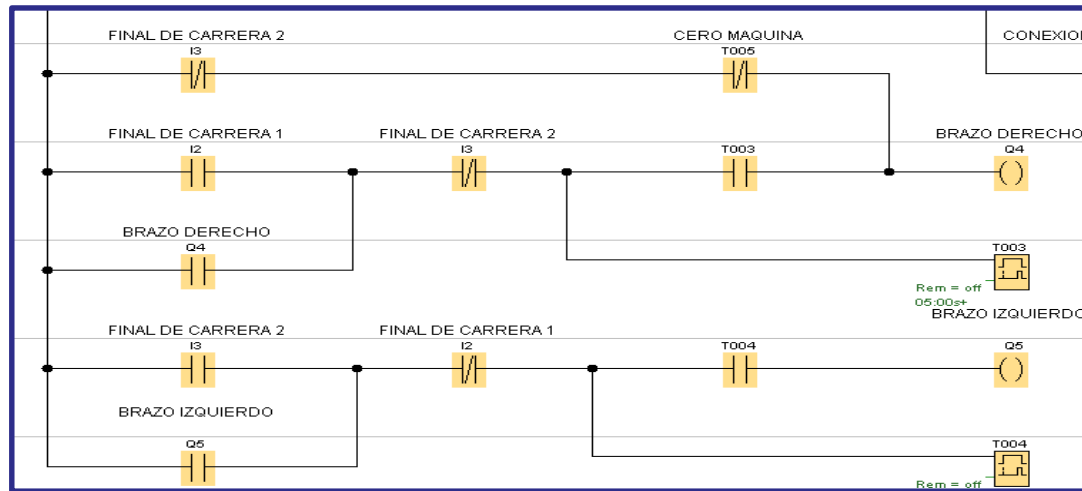
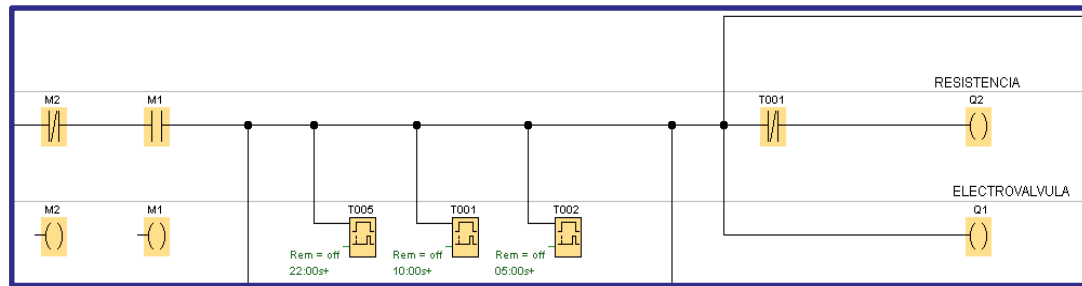
La dirección pasarela (gateway) tiene que ser la misma entre los tres dispositivos siendo 192.168.001.001, ya que esta dirección es una puerta de enlace que realiza la interfaz de conexión entre los dispositivos, y posibilita compartir los datos entre ellos.



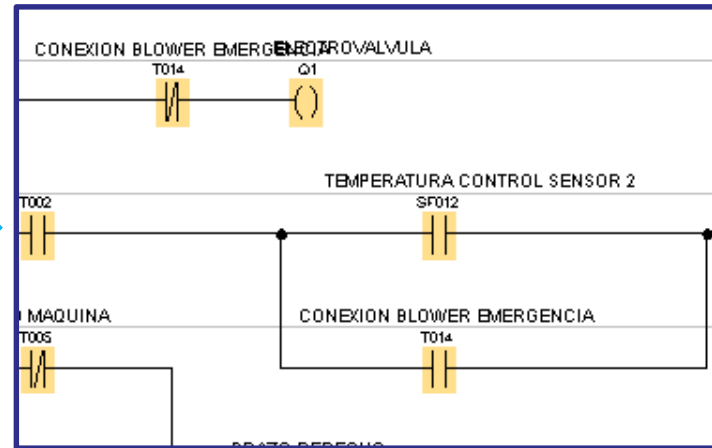
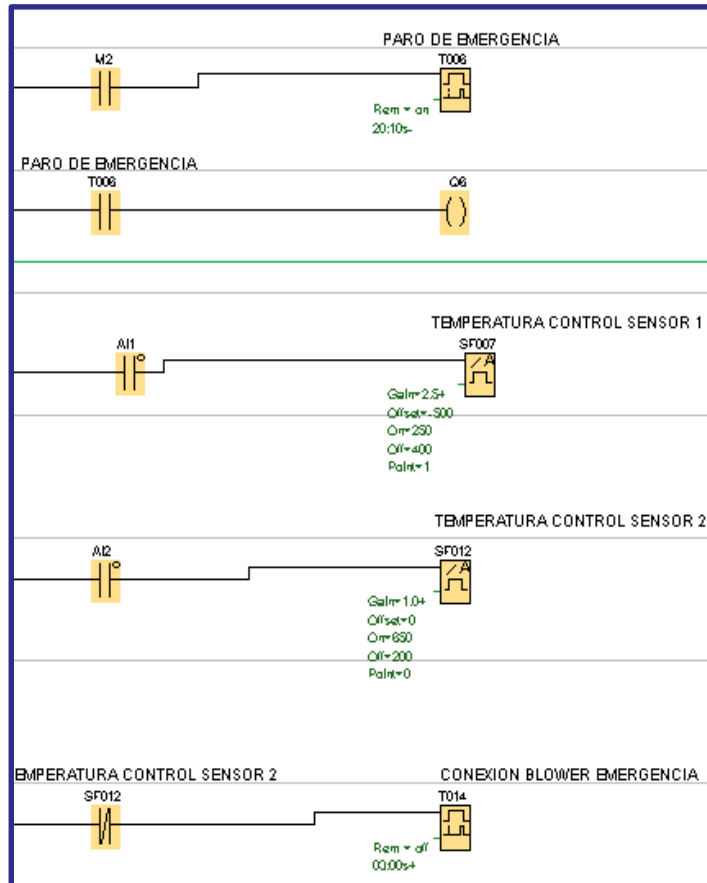
• PROGRAMACIÓN LOGO 8

Funcionalidad

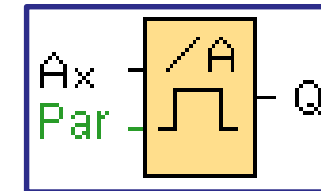
Seguridad



• PROGRAMACIÓN LOGO 8



Conmutador analógico de valor de umbral



Parámetro

Nombre de bloque:

Sensor

Sensor: PT100/PT1000

Configuración analógica

Rango de medida	Parámetro
Mínimo: -500	Gain: 2,50
Máximo: 2000	Offset: -500

Unidad

Celsius
 Fahrenheit

Resolución

x 1
 x 0,1

Valor umbral

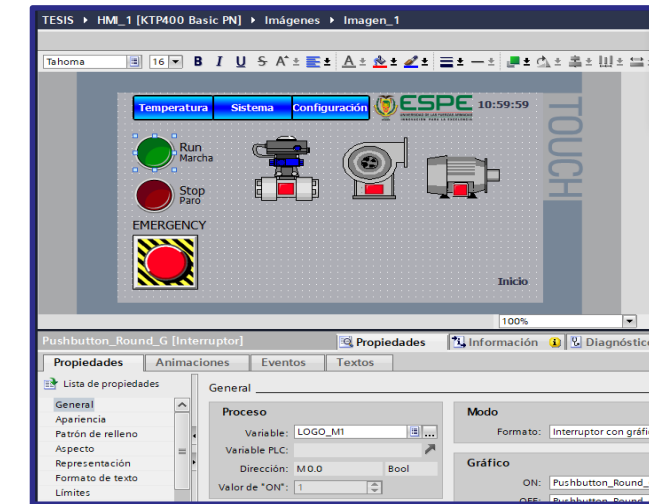
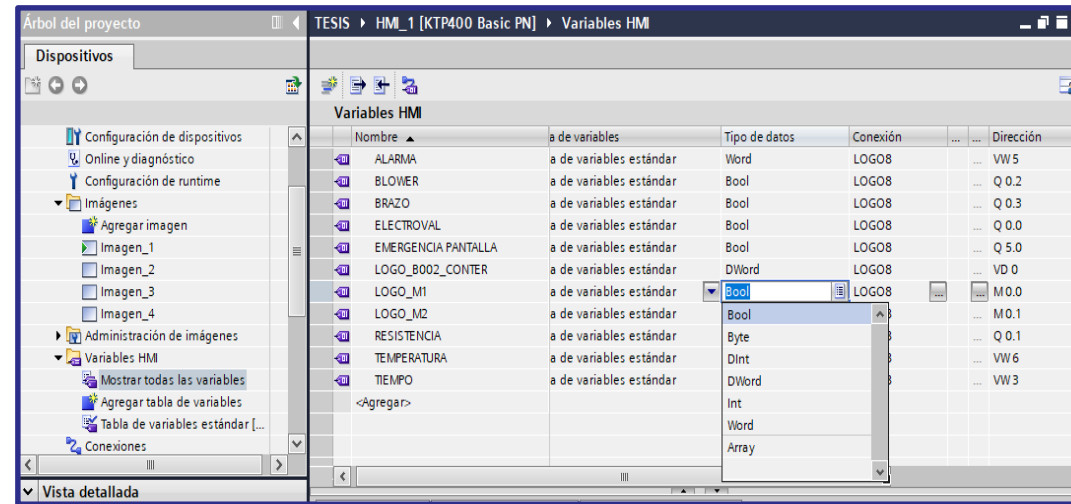
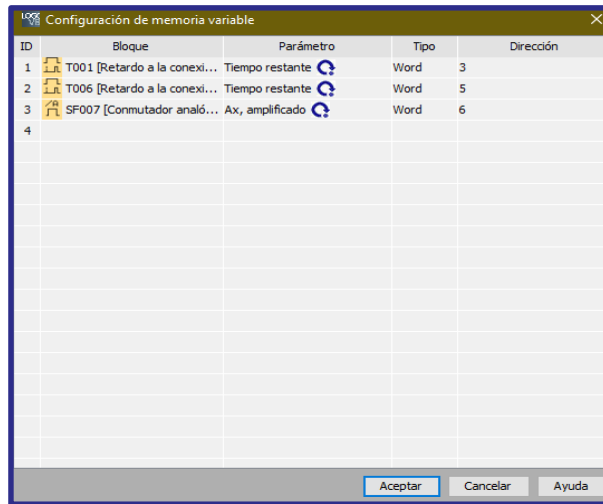
ON: Referencia

OFF: Referencia

La salida Q se pone en 1, caso contrario Q se pone de nuevo a 0 cuando el valor alcanza o rebasa por defecto el lumbral de desconexión.

• DISEÑO DE LA PANTALLA HMI

La pantalla HMI es por donde se controlará la funcionalidad y monitoreará las variables de temperatura de la máquina, cuidando siempre una interfaz limpia y amigable para el usuario.

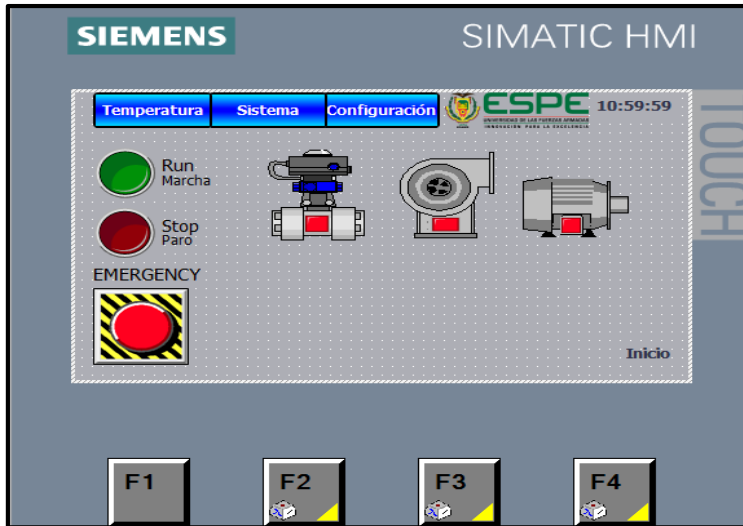


Registro variables
LOGO SOFT

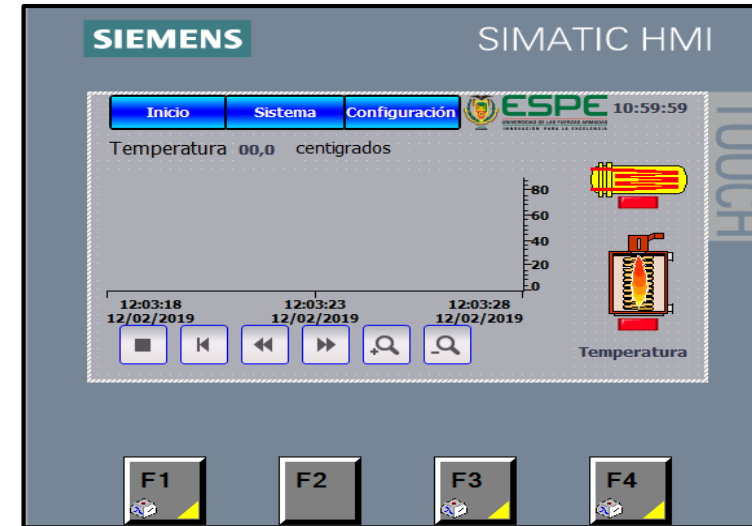
Registro variables
TIA PORTAL

Ingreso de objetos

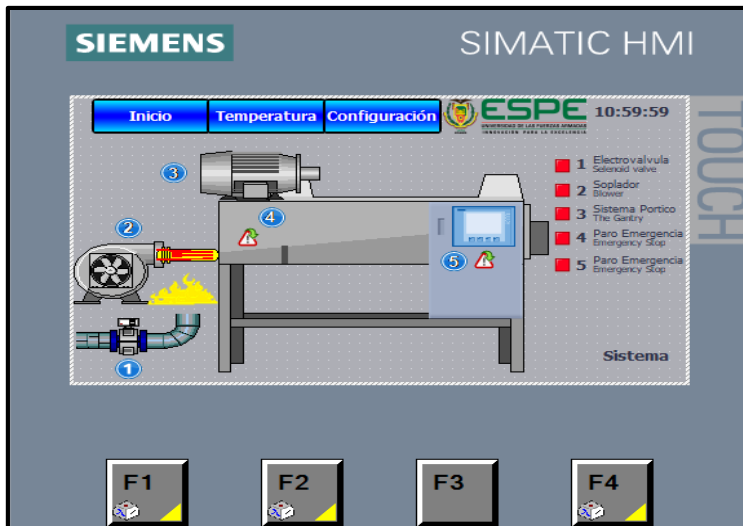
1



2



3



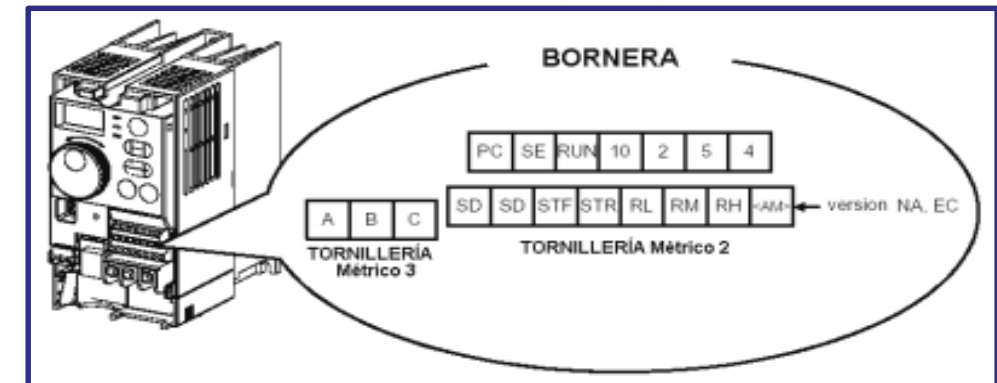
4



• PROGRAMACIÓN VARIADOR DE FRECUENCIA MITSUBISHI ELECTRIC

Parámetro	Función	Rango de ajuste	Ajuste
0	Aumento del torque manual	0-15%	4/5/6%
1	Frecuencia máxima de salida	0-120 Hz	60 Hz
2	Frecuencia mínima de salida	0-120 Hz	0 Hz
3	Curva V/f (frecuencia nominal)	0-120 Hz	60 Hz
7	Tiempo de aceleración	0-999 s	5 s
8	Tiempo de frenado	0-999 s	5 s
9	Ajuste de la intensidad para el interruptor electrónico protector del motor	0-50 A	2 A
30	Indicación de los parámetros del área de funciones ampliado	0: Indicación bloqueada 1: Indicación liberada	1
79	Selección del modo de funciones	0-4 / 7 / 8	0

Parámetro	Función	Rango de ajuste	Ajuste
4	1ª Preselección del número de revoluciones o velocidad RH.	0-120 Hz	50HZ
5	2ª Preselección del número de revoluciones o velocidad RM.	0-120 Hz	40 Hz
6	3ª Preselección del número de revoluciones o velocidad RL.	0-120 Hz	60 Hz
24	4ª Preselección del número de revoluciones o velocidad.	0-120 Hz	40 Hz



Parámetro	Nombre	Valor
60	RH.	0
61	RM.	1
62	RL.	2

• ANALISIS DE PRUEBAS

Prueba 1

- Temperatura inicial 45 – 50 °C.
- Velocidad del aire primera etapa 18.75 m/s.
- Temperatura ciclo constante 50 °C.
- Velocidad del aire segunda etapa 20.83 m/s – 16.6m/s.
- Temperatura final 40 °C.
- Velocidad del aire final 16.6m/s.
- Espesor de la cama del grano 0.090m.

Tiempo (min)	Humedad (%)	Temperatura C
0	55.6	25
20	45.8	43,5
40	35,6	45,2
100	22,5	49,8
120	20,5	50
140	18,4	51,1
160	17,2	49,3
180	15,4	50,2
200	13,6	50,6
260	9,7	44,9
280	9,0	40,2
300	8,3	38,5

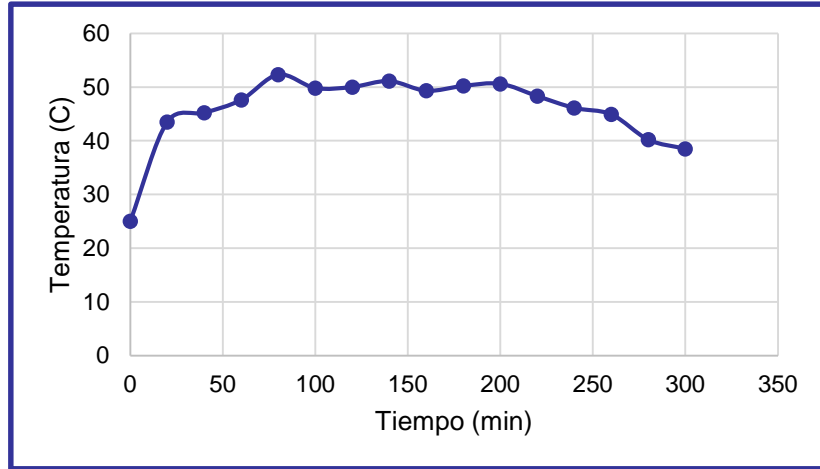
Prueba 2

- Temperatura inicial 50 °C.
- Velocidad del aire primera etapa 20.5 m/s.
- Temperatura ciclo constante 60 °C.
- Velocidad del aire segunda etapa 25.2 m/s – 16.6m/s.
- Temperatura final 40 °C.
- Velocidad del aire final 16.6m/s.
- Espesor de la cama del grano 0.090m.

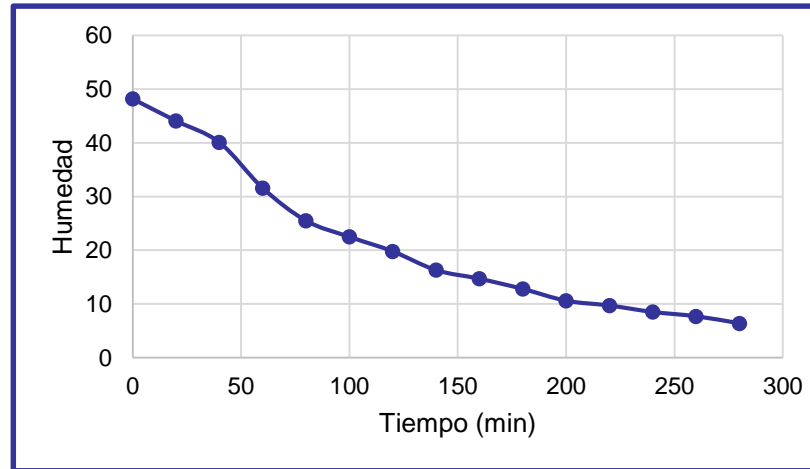
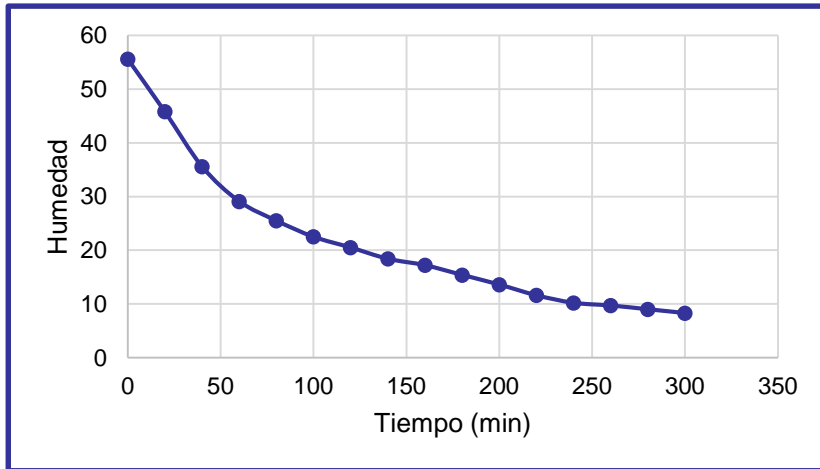
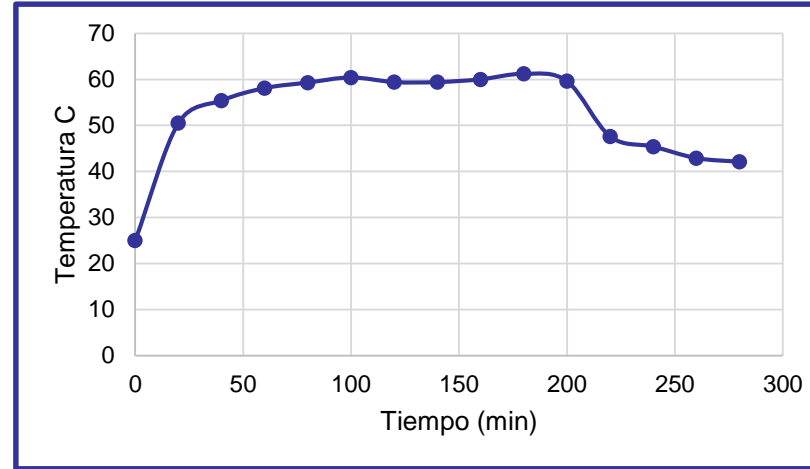
Tiempo (min)	Humedad (%)	Temperatura C
0	55,3	25
20	44,1	50,5
40	40,1	55,4
100	22,5	60,4
120	19,8	59,4
140	16,3	59,4
160	14,7	60,0
180	12,8	61,2
200	10,6	59,6
260	7,7	42,9
280	6,5	42,1



Prueba 1



Prueba 2



ANÁLISIS ECONÓMICO

Elemento	Potencia	Kw
Blower	1hp	0.745
Moto-reductor	1hp	0.745
Potencia instalada		1.49kw

$$\text{Consumo mensual} = \frac{\text{Potencia}(W) \times \text{horas de uso por dia} \times \text{dias uso al mes}}{1000}$$

$$\text{Consumo mensual} = 13.70 \text{ Kw h/m es}$$

$$\text{Costo} = 13.70 \text{Kwh} \times \$0.10$$

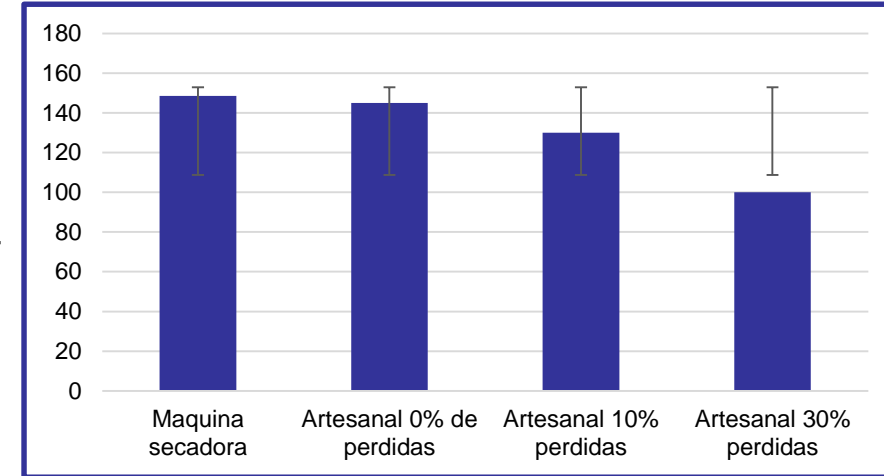
$$\text{Costo} = \$1.37 \text{ por cada } 100\text{lb } \$0.68$$

Se determinó de manera experimental que, por cada dos procesos de secado, esto quiere decir por 200lb se usan 15kg de GLP (Un cilindro de gas doméstico).

$$\text{Costo } 15\text{kg GLP} = \$1.60$$

$$\text{Costo } (1\text{q}) \text{ GLP} = \$0.80$$

Establecimiento	Cantidad	Costo
Hacienda San Francisco	100lb	\$1.48



Análisis del valor actual neto (VAN)

Año	Flujo beneficio	Flujo de costo	Flujo de beneficio neto
0	\$0	\$2250	\$-2250
1	\$1800	\$1504,40	\$295,60
2	\$1800	\$754,40	\$1045,60
3	\$1800	\$52,80	\$1747,20

$$\text{VAN} = \$7059.33$$

Análisis de la tasa interna de retorno (TIR)

$$\text{TIR} > k(\text{tasa de descuento})$$

$$50\% > 12\%$$



El proyecto es viable y rentable económicamente.

RESULTADOS



COMPROBACIÓN DE LA HIPÓTESIS

“Mediante el diseño y construcción de la máquina se podrá controlar y monitorear por medio de un HMI el proceso de secado del grano de cacao, permitiendo reducir los tiempos de producción.”

El diseño de la máquina secadora de grano de cacao, comprende una pantalla HMI con un diseño de interfaz bastante intuitivo, en donde se puede observar el proceso de secado que comprende de tres etapas, la primera etapa con un tiempo de 80 minutos, dentro de esta etapa la temperatura varía desde los 25°C hasta los 59 °C, obteniendo una humedad del grano de cacao del 55% hasta los 25%, en una segunda etapa la temperatura es controlada para que se mantenga constante en los 60 °C +-1 °C con un tiempo de duración de 120 minutos y con una humedad que va desde los 22% hasta el 10%, la última etapa tiene una duración de 80 minutos con una temperatura decreciente desde los 60 °C hasta los 42 °C, lo que permite que el grano de cacao llegue a su humedad óptima del 10% hasta el 6%, cumpliendo con un tiempo de proceso de 4 horas con 40 minutos, disminuyendo notablemente de tres días de secado a 4 horas con 40 minutos.

Con la reducción del tiempo de producción se podrá aumentar la cosecha del cacao en un 33% aumentando las ganancias económicas en un 33.31% y con pérdidas de grano seco entre 2 y 3% el cual es un porcentaje aceptable, de esta forma la hipótesis queda demostrada.



CONCLUSIONES

- Para el diseño de la estructura de la máquina secadora se consideró una sumatoria de cargas muertas, vivas y dinámicas con una carga total de 1729N, obteniendo un factor de diseño de 1.94 y un factor de seguridad de 2, cumpliendo con los factores de seguridad sugeridos para maquinaria ligera con eje de transmisión o motor.
- El tiempo requerido para el secado de 100lb de grano de cacao al 60% de humedad en la máquina secadora es de 4 horas con 40 minutos divididas en tres etapas debidamente automatizadas, una de 80 minutos, 120 minutos y 80 minutos donde en la primera etapa la temperatura se eleva de los 25 °C a los 65°C llegando a una humedad del grano del 25%, la etapa dos la temperatura es constante en 60°C llegando a una humedad del 10% y en la etapa tres se tiene un descenso de temperatura hasta los 42°C con una humedad final del 6.5% siendo esta la óptima.
- En comparación con el tiempo de secado artesanal, el tiempo requerido es de 6 días cuando las condiciones climáticas son óptimas, con el uso de la máquina secadora se obtiene un tiempo a 4 horas con 40 minutos teniendo una reducción del 80.56%, lo que favorece a un aumento en la producción del 33% de grano seco de cacao.
- El costo de la máquina es de 4500\$ dólares americanos los que se cancelan dentro del flujo neto de costo en los tres primeros años, se tiene un valor actual neto (VAN) a 10 años de 7059.3\$ dólares americanos con un aumento en las ganancias del 33.31%, obteniendo una tasa interna de retorno (TIR) del 50% el cual es mayor a la tasa de interés efectivo del banco del 12%, es decir el proyecto es rentable económicamente.



RECOMENDACIONES

- Para realizar todo el proceso de secado en la máquina secadora se debe considerar que el grano de cacao debió pasar por el proceso de fermentación y el mismo se debe encontrar con una humedad entre el 55% - 60%, lo que garantiza que el grano llegue a su humedad óptima.
- Se recomienda no maniobrar la válvula de paso del gas de la regulación establecida, ya que esto puede ocasionar que la temperatura no se pueda controlar y la misma aumente provocando que el grano pueda llegar a dañarse.
- No sobrepasar la carga de grano máxima de 150lb establecida, ya que esto provocará que el secado no sea homogéneo, y el grano de cacao no llegue a su humedad óptima del 7% al 6% establecida por la norma.

