

DISEÑO Y FACTIBILIDAD DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO PARA EL CONTROL DE LAS COMPUERTAS DE VENTILACIÓN SUPERIOR DEL HORNO ELÉCTRICO HELT – 300BSC, PARA LA MEJORA EN LOS PROCESOS DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS EN EL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y RECUPERACIÓN DE TURBINAS HIDRÁULICAS “CIRT” (CELEC UNIDAD DE NEGOCIO HIDROAGOYAN)

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

AUTOR: MONTERO MENA, ANIBAL SANTIAGO

DIRECTOR: ING. MULLO QUEVEDO, ÁLVARO MULLO

2019



Planteamiento del Problema

El Horno Eléctrico HELT – 300BSC realiza los tratamientos térmicos de turbinas hidráulicas y partes industriales en el “CIRT”, en la actualidad para la apertura de las compuertas se utiliza un puente grúa; los procesos no son automáticos lo que provoca riesgo para los operadores y la maquinaria, también el tiempo de apertura de las compuertas no es el adecuado para que el tratamiento térmico cumpla sus condiciones ideales.



Objetivo General

Analizar la factibilidad y diseñar un sistema de control automático en la apertura y cierre de las compuertas de ventilación superior, mediante un software de simulación térmica y la implementación de un sistema HMI, para la mejora en los procesos de tratamientos térmicos del Horno Eléctrico HELT – 300BSC.



Objetivos Específicos

- Analizar la factibilidad de implementación de un sistema de control automático para las compuertas de ventilación del Horno Eléctrico HELT – 300BSC.
- Diseñar un sistema para la apertura de compuertas de ventilación superior.
- Implementar un nuevo sistema HMI.
- Generar los documentos técnicos y reportes de ingeniería para la construcción del sistema automático.
- Realizar la programación para el enlace de control entre el horno y sistema de apertura.
- Generar un protocolo de pruebas que permita verificar el diseño realizado.



Hipótesis

Con el diseño y factibilidad de un sistema automático de apertura de compuertas superiores del Horno Eléctrico HELT – 300BSC, se determinara la mejora que tendrá el proceso en los tratamientos térmicos en la turbinas hidráulicas y partes industriales.

Variables de Investigación

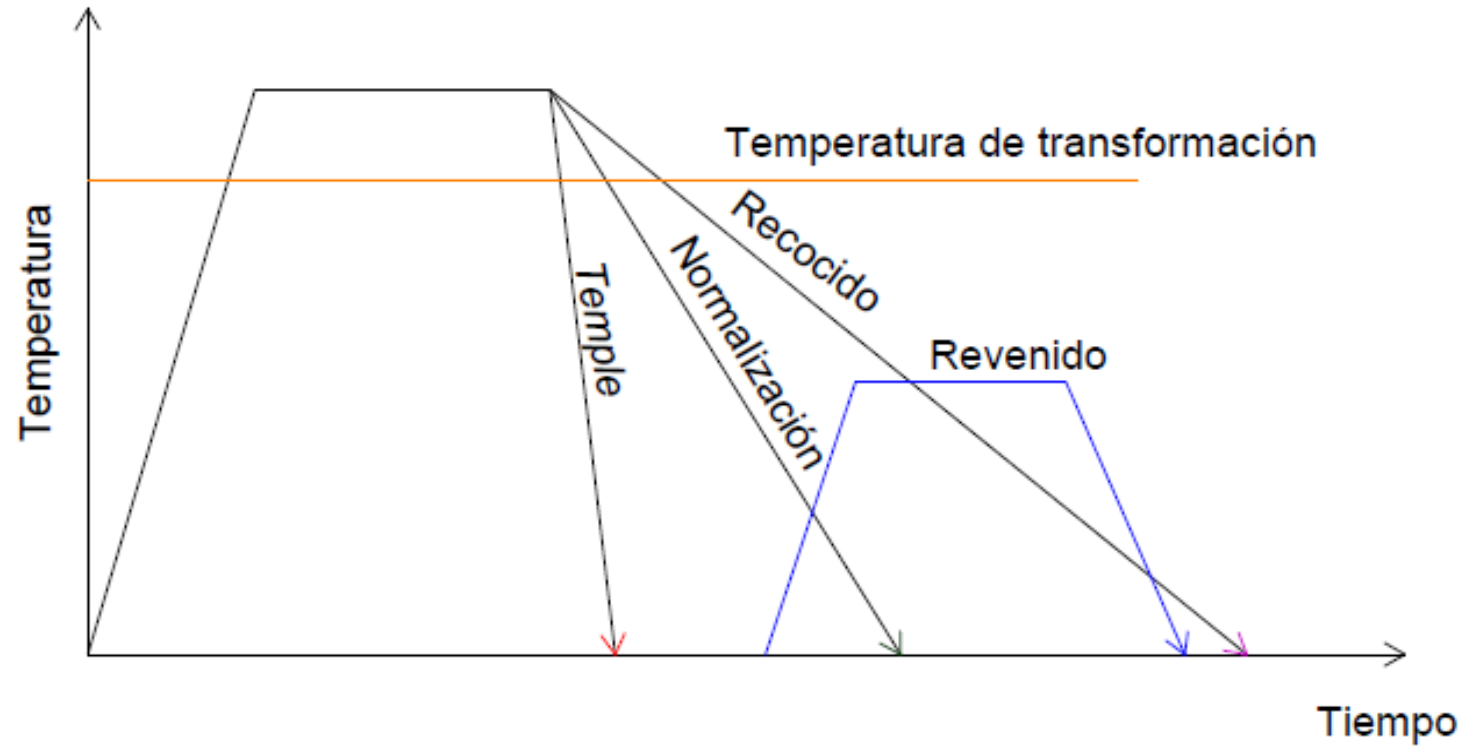
Variable Independiente: Diseño y factibilidad de un sistema automático de apertura de compuertas superiores.

Variable Dependiente: Determinar la mejora que tendrá el proceso en los tratamientos térmicos en las turbinas hidráulicas y partes industriales.



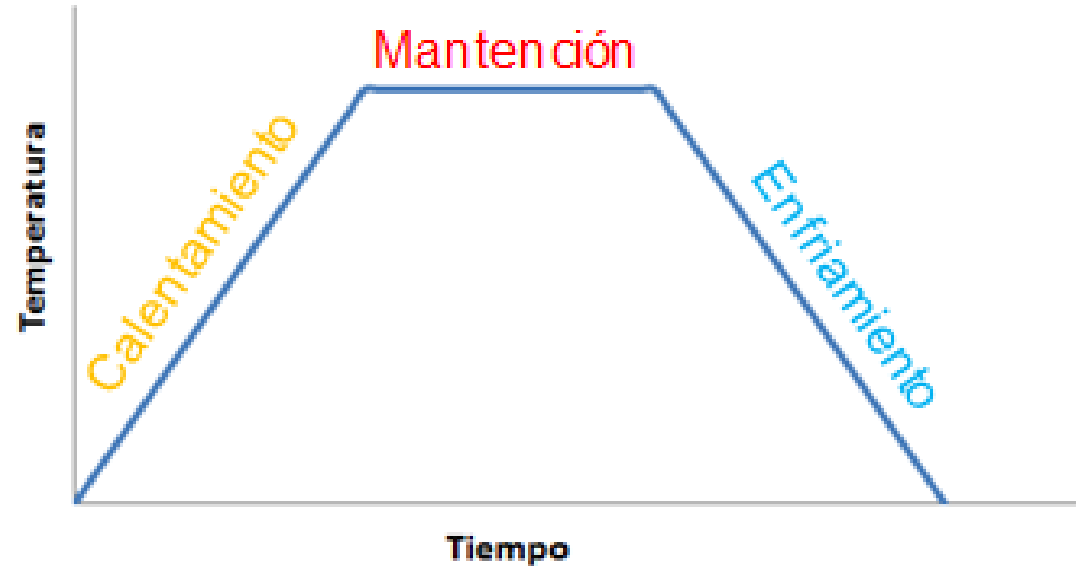
Introducción

Tratamientos térmicos



Introducción

Etapas de tratamiento térmico



Etapa 1 Calentamiento lento del metal para asegurar una temperatura uniforme.

Etapa 2 - Remojar (mantener) el metal a una temperatura dada durante un tiempo dado y enfriar el metal a temperatura ambiente.

Etapa 3 - Enfriar el metal a temperatura ambiente.



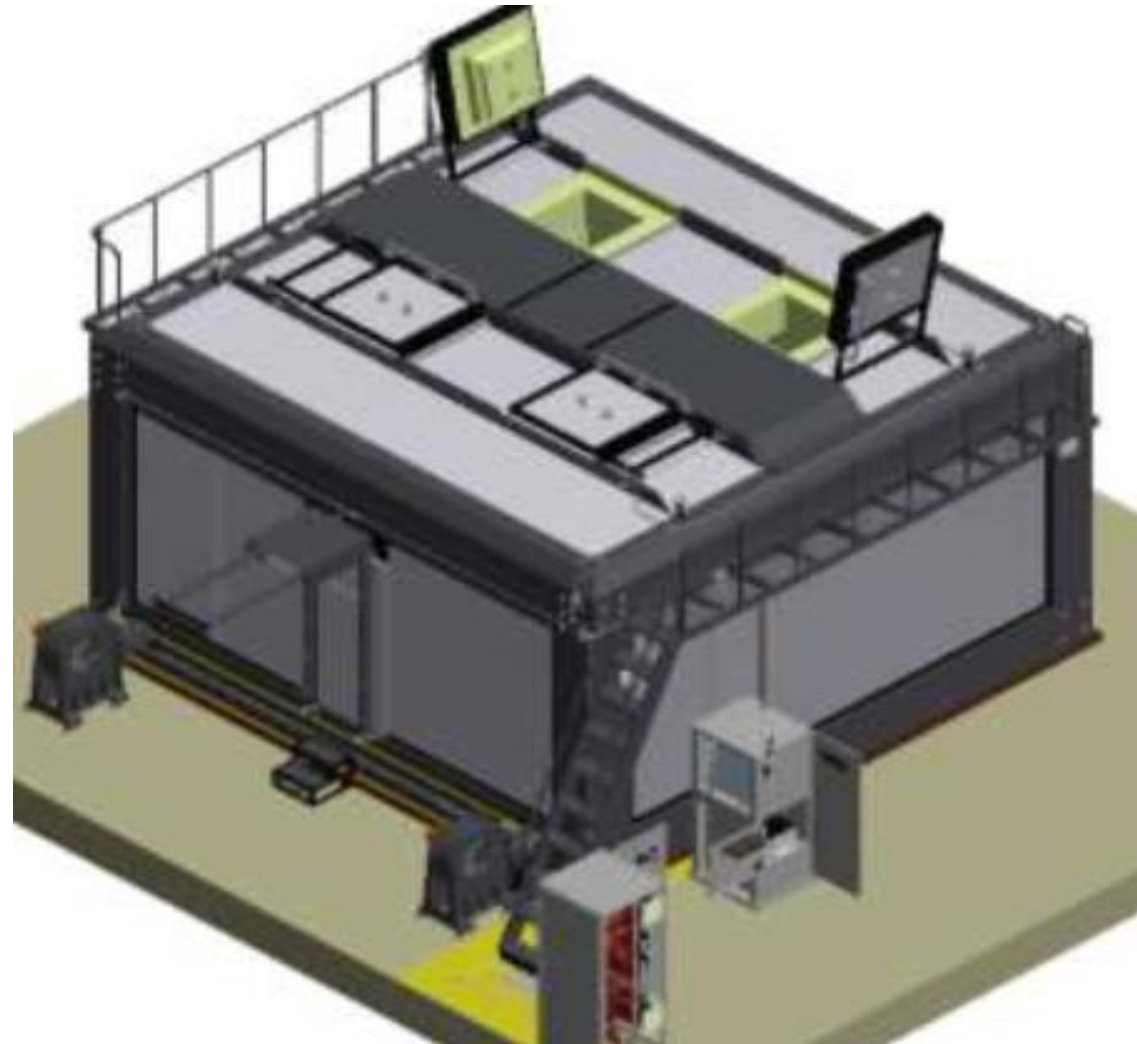
Introducción

Deterioro en rodetes de turbina



Introducción

Horno Eléctrico HELT-300BSC



Introducción

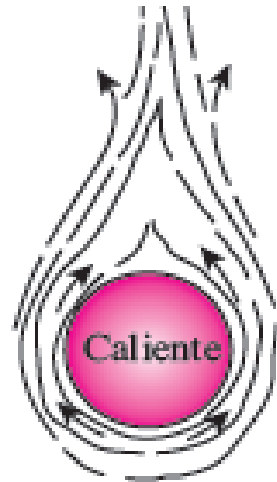
Especificaciones técnicas Horno HELT-300BSC

Tipo de Horno:	Eléctrico para alivio de tenciones
Voltaje:	480 V, 3 Fases
Potencia máxima:	300 Kw
Dimensión de cámara:	5m x 5m x 2.5m
Peso máximo de pieza:	27 TON
Temperatura máxima:	650°C
Tasa de calentamiento:	Programable de 30-50 °C/h
Tapa superior:	Independiente, desmontable, manual.
Control de temperatura:	Automático programable
Sensores:	Control de temperatura y cierre de compuertas
Enfriamiento:	Apertura de escotillas y tiro forzado

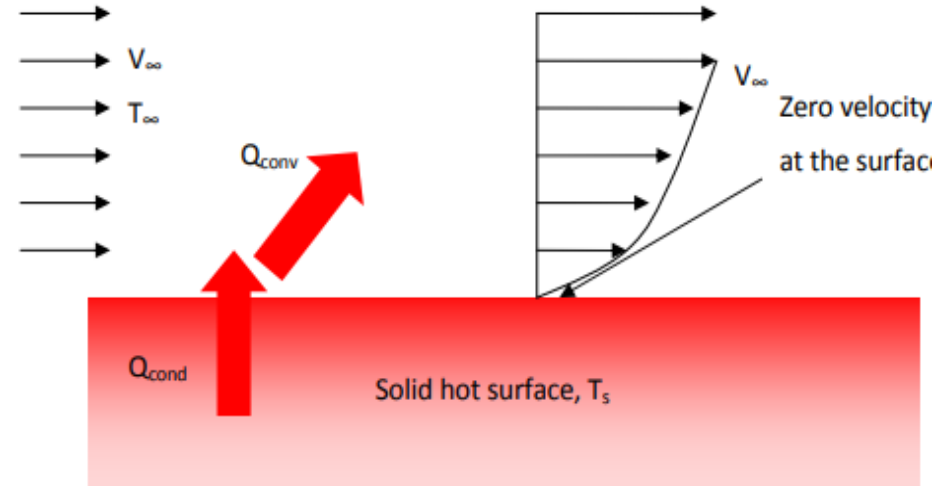


Introducción

Transferencia de calor por convección



Convección natural



Convección forzada



Análisis de resultados

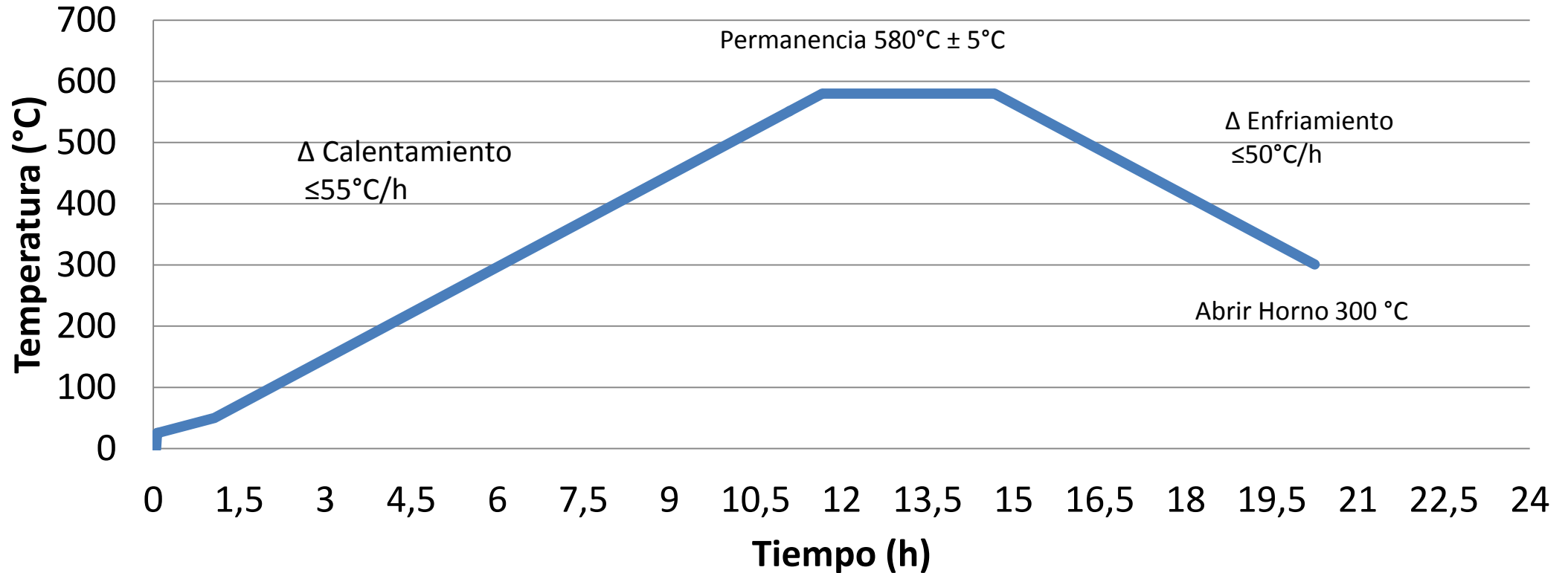
Análisis de la curva de tratamiento térmico del rodete Pelton de la Central Pucará

Instrucción del Tratamiento Térmico	
Procedimiento	CIRT-PRO-TT-01
Proyecto	CIRT17-PUC-TH-016
Equipamiento	RODETE PELTON #66326-034-09520
Cant. Pieza	1
Material	Acero inoxidable A743 CA-6NM
Tipo de Tratamiento Térmico	
<ul style="list-style-type: none">• Alivio de tensiones• Revenido Post-Soldadura• Mejorar propiedades mecánicas	
Dimensiones de la pieza (mm)	D2179 x 552.9
Espesor a ser considerado (mm)	50
Área de la pieza (m ²)	11.2
Peso (kg)	2925
Temperatura de inicio (°C)	19-21 (temperatura ambiente)
Velocidad de calentamiento (°C/h)	Max 50 hasta 580 °C
Temperatura de tratamiento (°C)	580 (±5)
Tiempo del tratamiento (h)	3
Velocidad de enfriamiento (°C/h)	Max 55
Temperatura de salida de la pieza(°C)	300
Tiempo total TT – revenido (h)	24



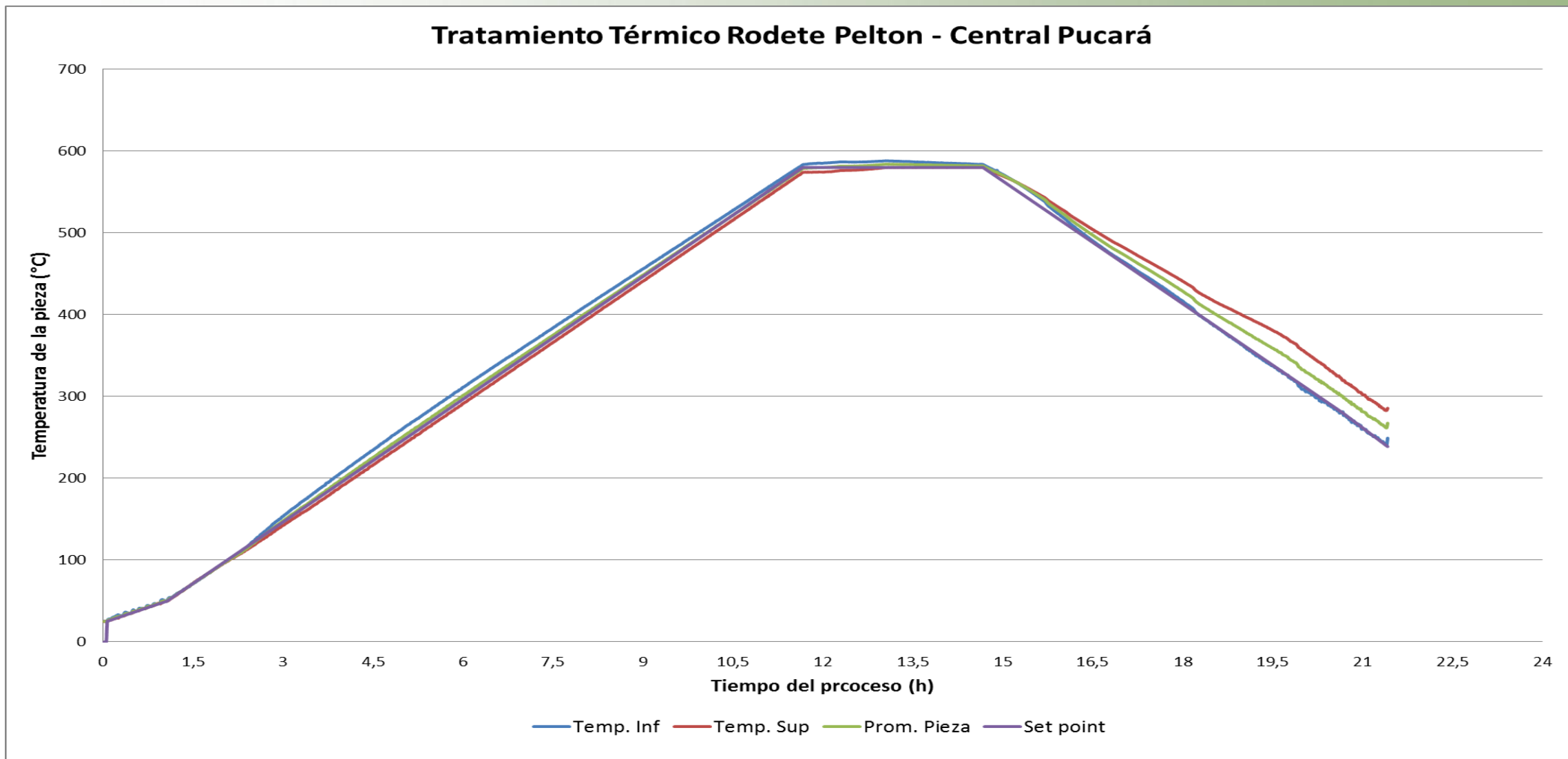
Análisis de resultados

Curva de Tratamiento Térmico Rodete Pelton Central Pucará - Hidroagoyán



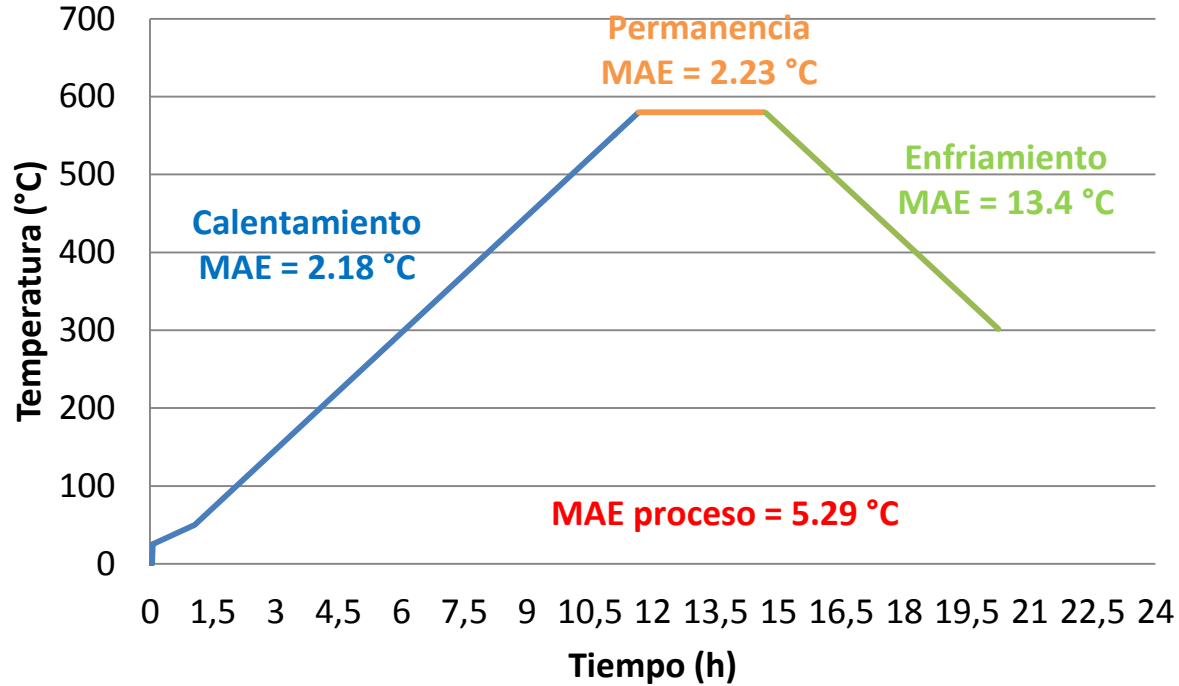
Análisis de resultados

Tratamiento Térmico Rodete Pelton - Central Pucará

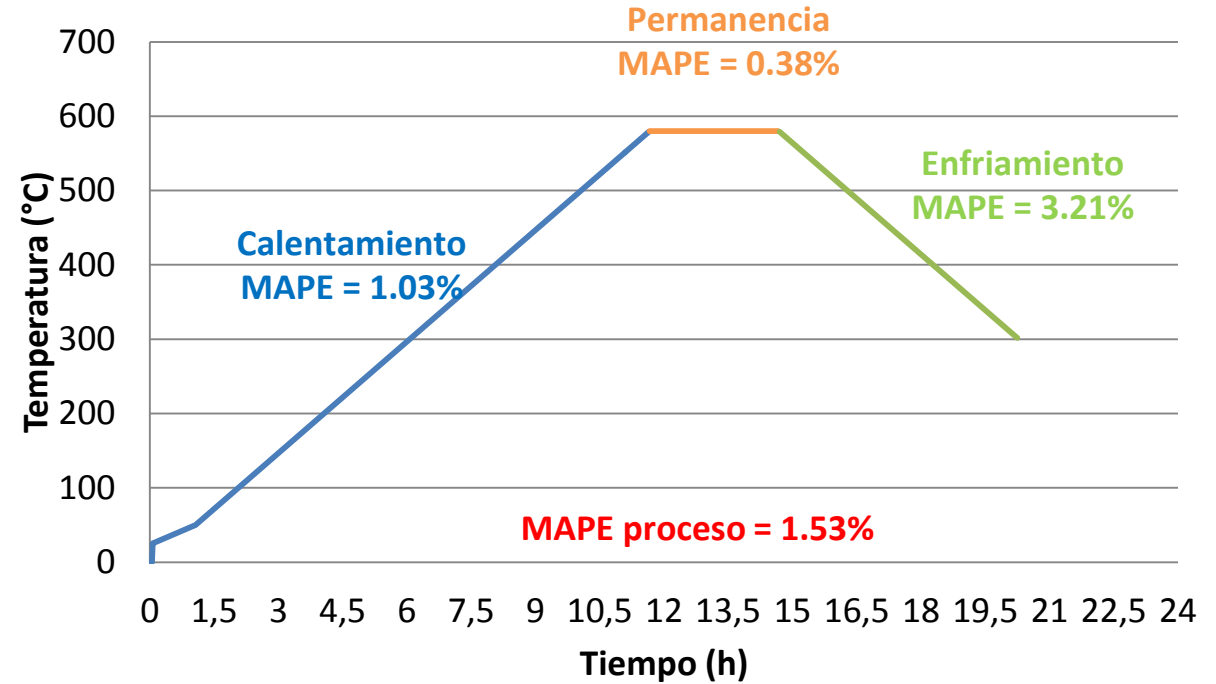


Análisis de resultados

Error absoluto medio rodete Pelton Central Pucará



Error porcentual absoluto medio Rodete Pelton Central Pucará



Análisis de resultados

Cálculo del coeficiente de transferencia de calor por convección natural

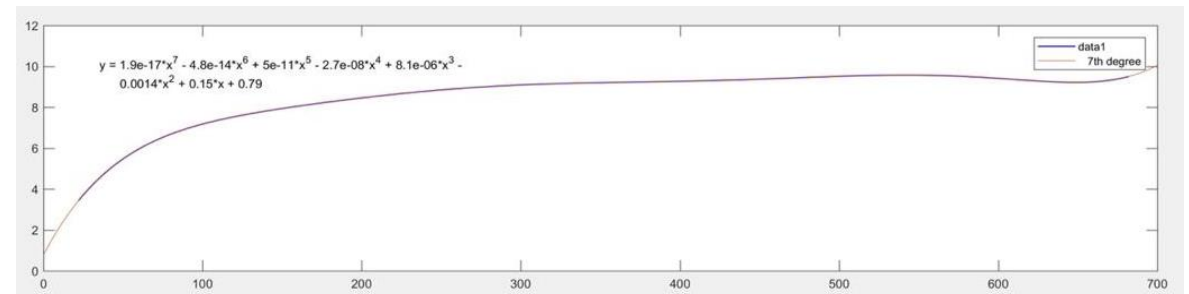
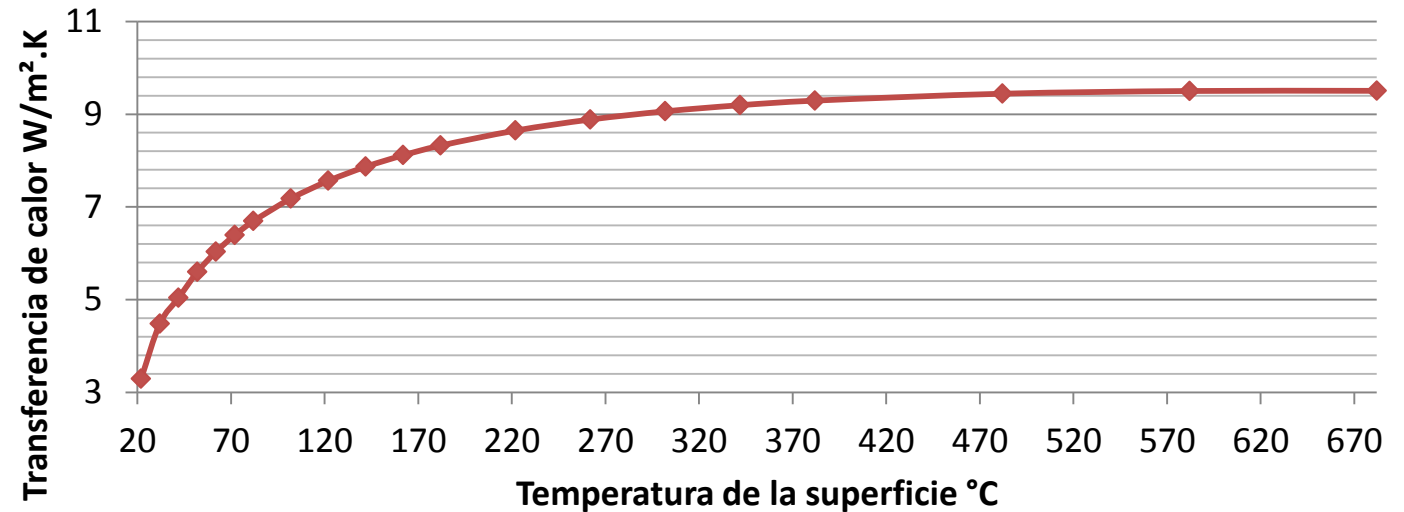
Convección Natural

$$Nu = \frac{h * D}{k}$$

$$Ra_L = \frac{g * \beta * (T_s - T_\infty) * L_c^3}{\nu * \alpha}$$

$$Nu = 0.15 * Ra_L^{1/3}$$

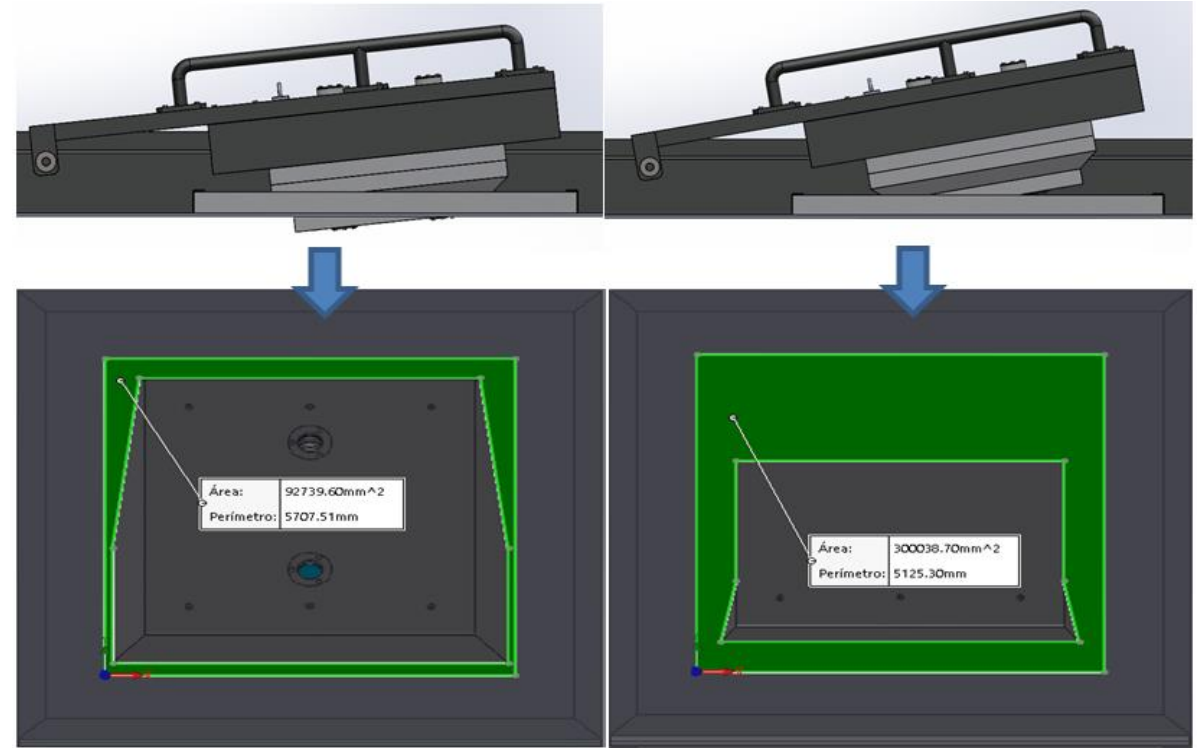
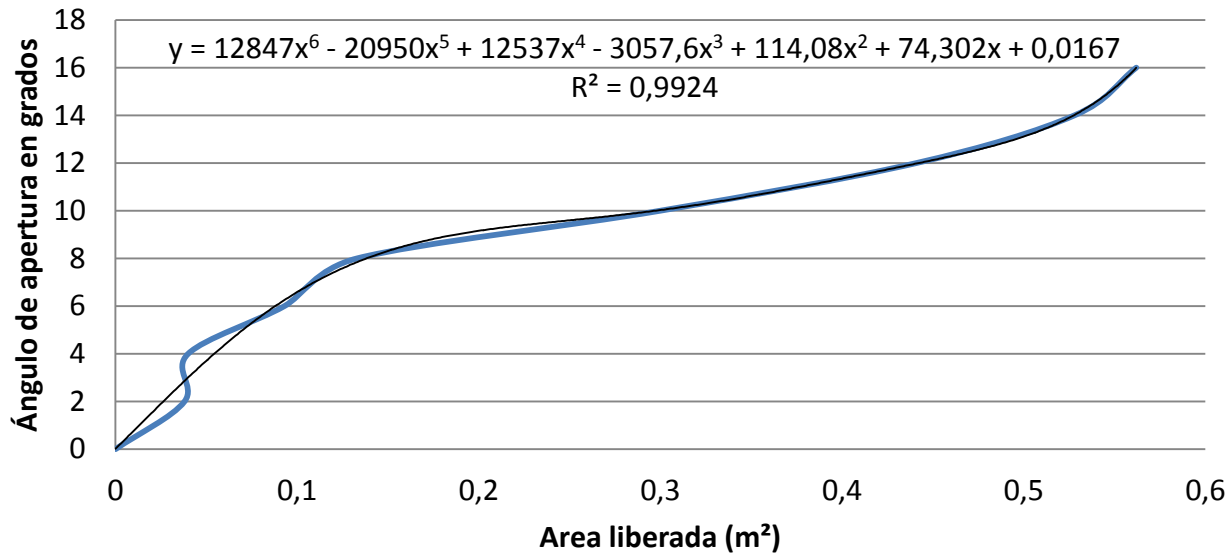
$$y = 1.9095E^{-17} * x^7 - 4.8309E^{-14} * x^6 + 4.9592E^{-11} * x^5 - 2.6662E^{-8} * x^4 + 8.1177E^{-6} * x^3 - 0.0014307 * x^2 + 0.14795 * x + 0.79181$$



Análisis de resultados

Relación entre el ángulo de apertura de las compuertas y el calor disipado

$$A_{\infty} = \frac{q_{compuertas}}{h * (T_s - T_{\infty})}$$

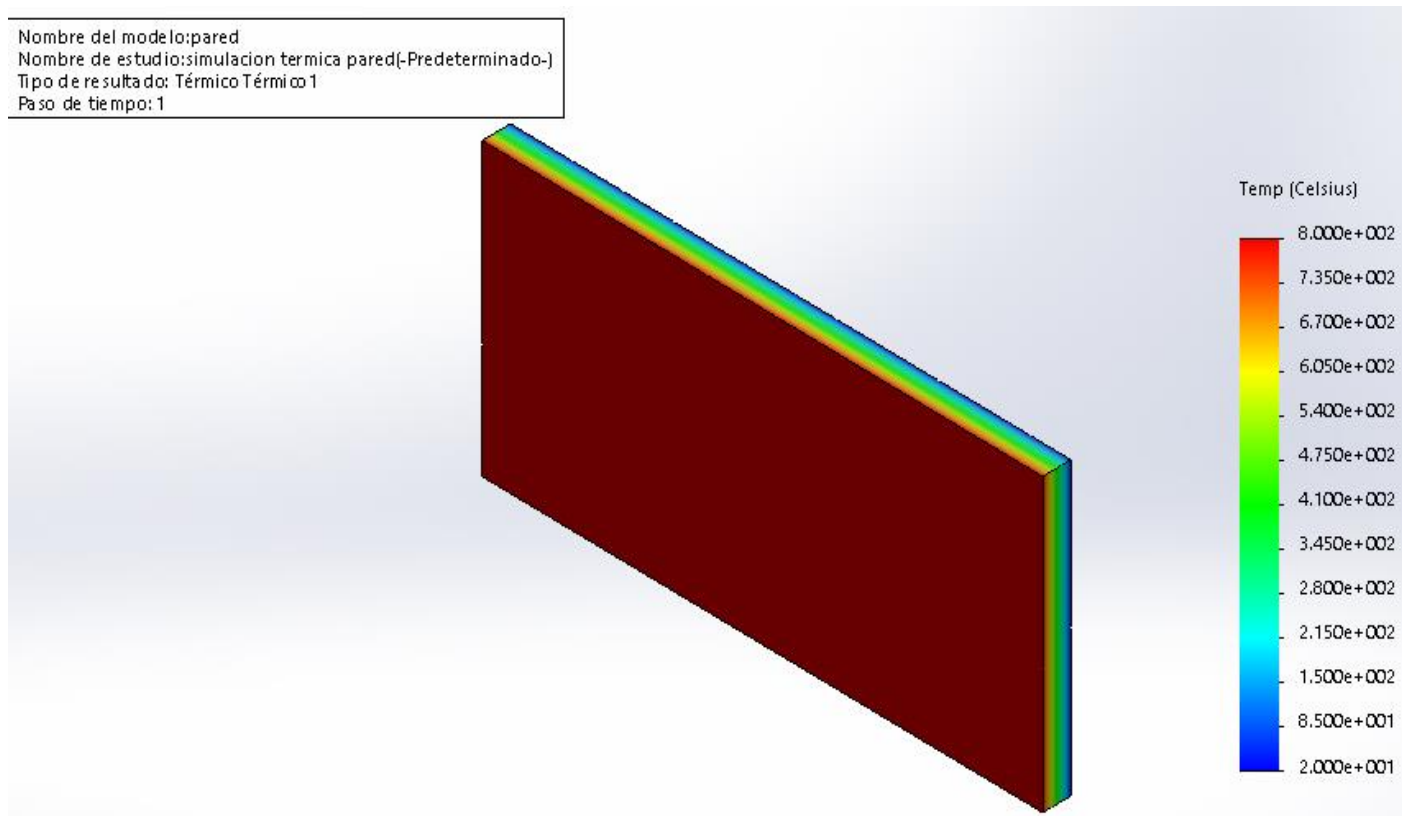


$$y = 12847 * x^6 - 20950 * x^5 + 12537 * x^4 - 3057.6 * x^3 + 114.08 * x^2 + 74.302 * x + 0.0167$$



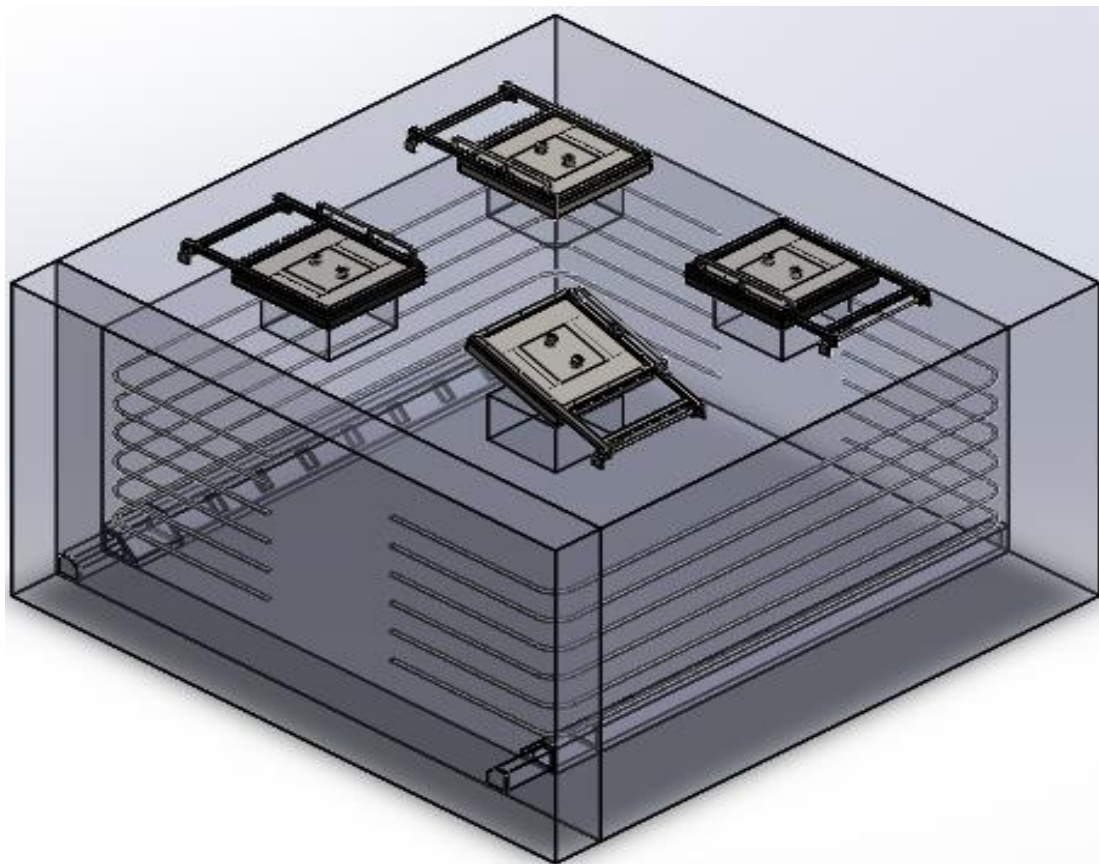
Análisis de resultados

Simulación de la transferencia de calor en las paredes del horno



Análisis de resultados

Simulación térmica del horno HELT 300-BSC



$$W_h = \text{Potencia del horno} = 300 \text{ kW}$$

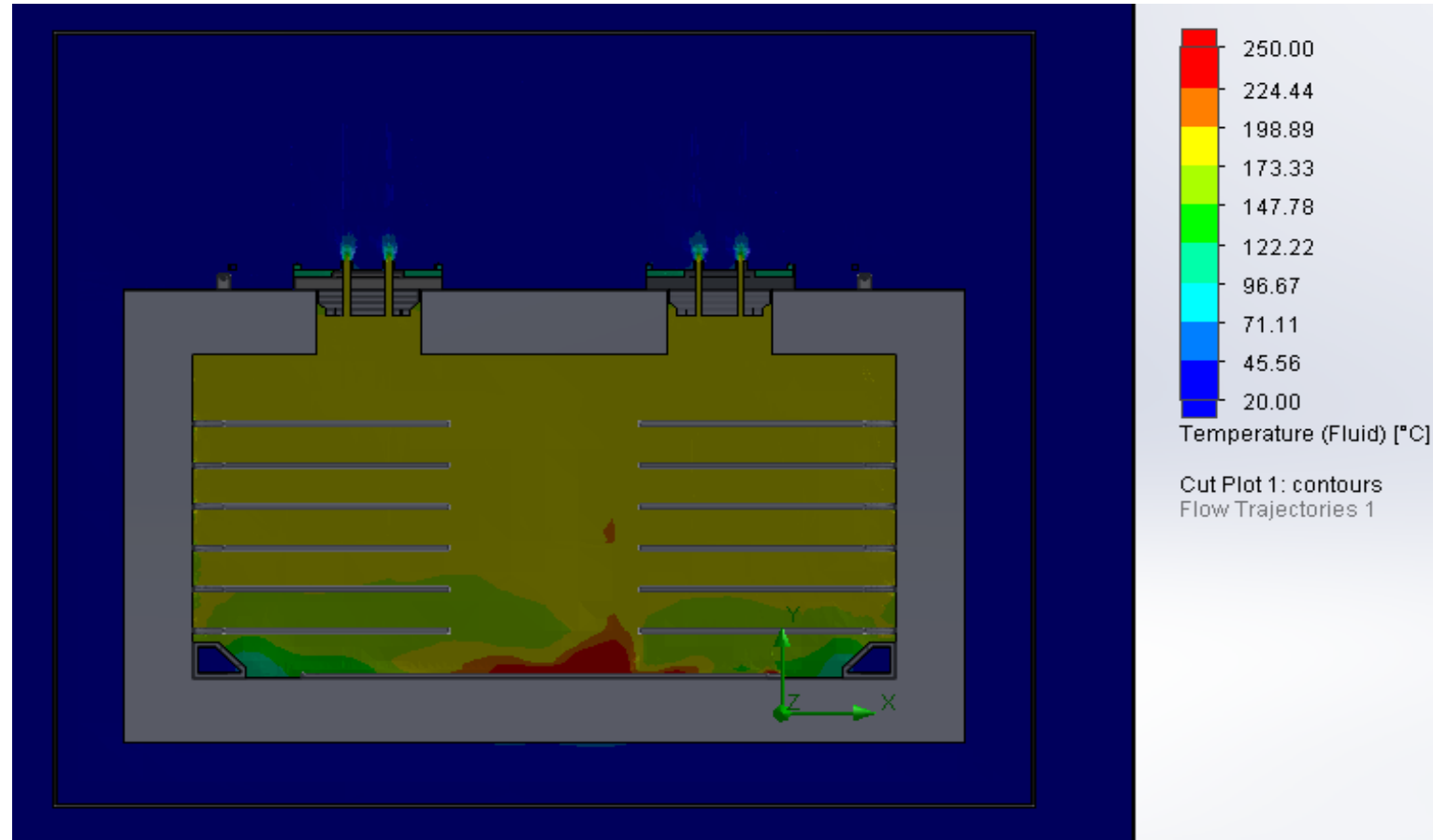
$$v_{\text{ventiladores}} = \text{Velocidad de los ventiladores} = 5 \text{ m/s}$$

$$T_{\text{ambiente}} = \text{Temperatura del ambiente} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$$



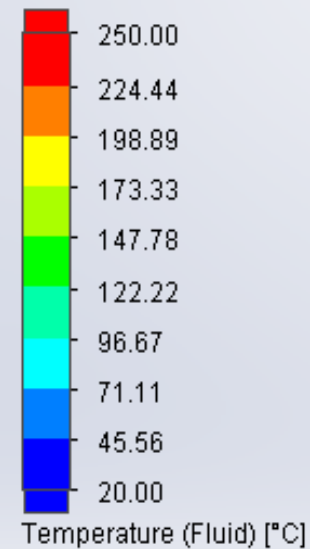
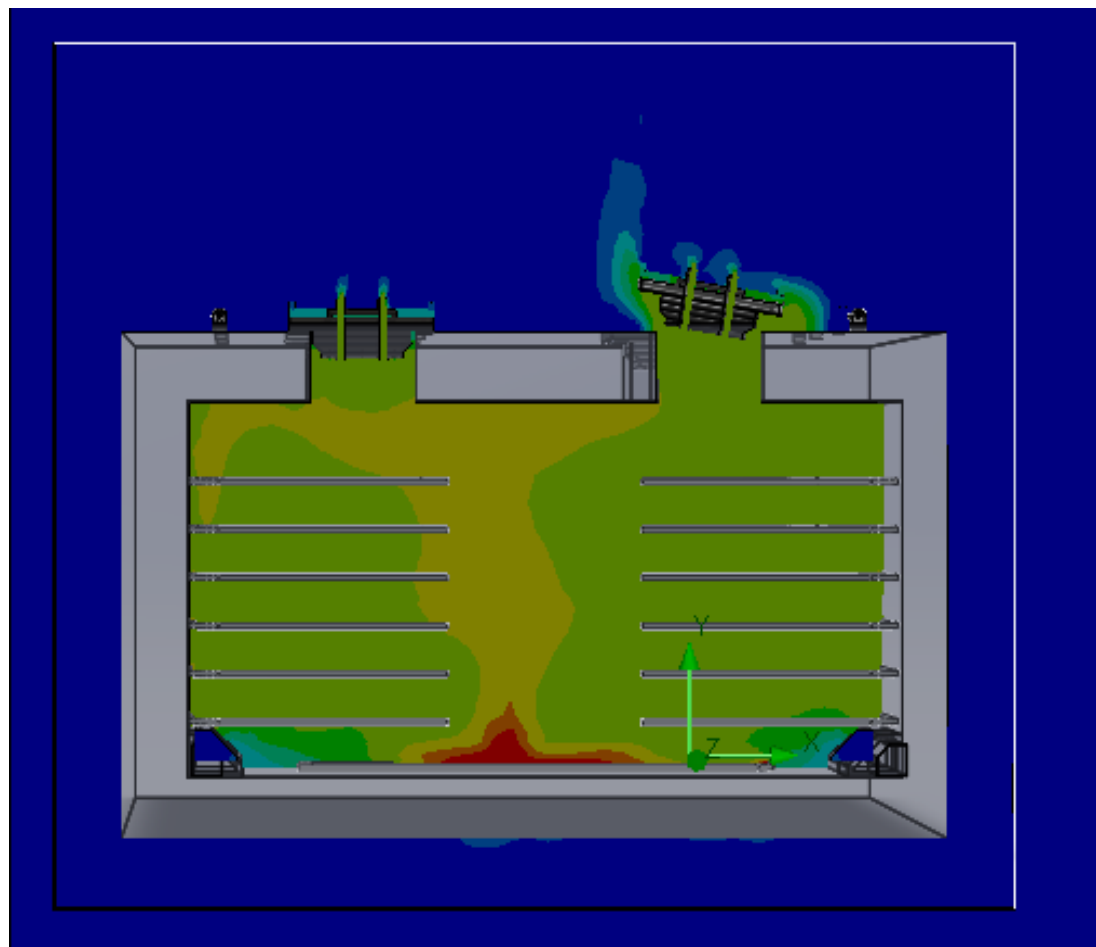
Análisis de resultados

Análisis térmico del horno con puertas cerradas



Análisis de resultados

Análisis térmico del horno compuerta a 10 grados



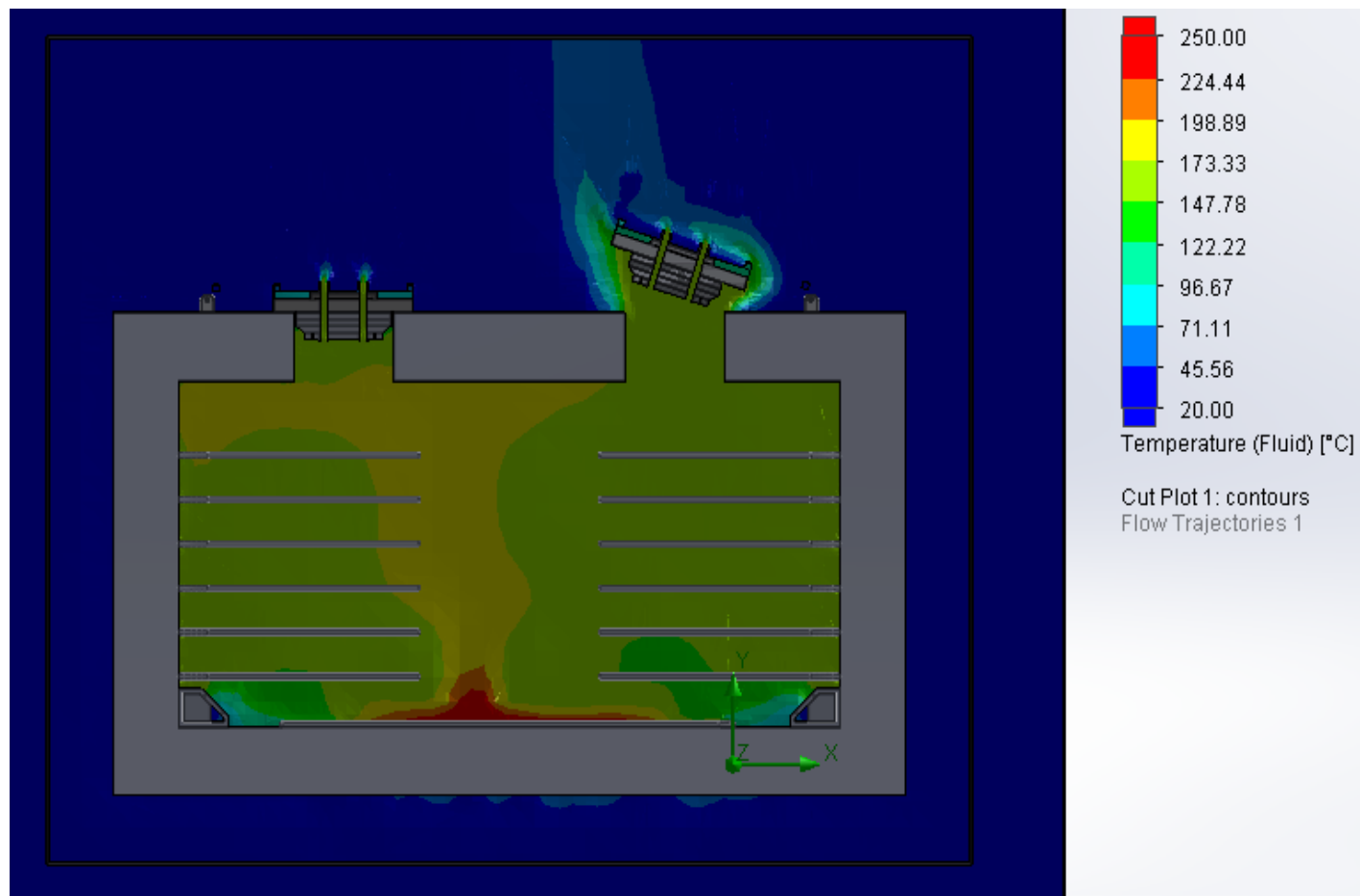
Cut Plot 1: contours
Flow Trajectories 1



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

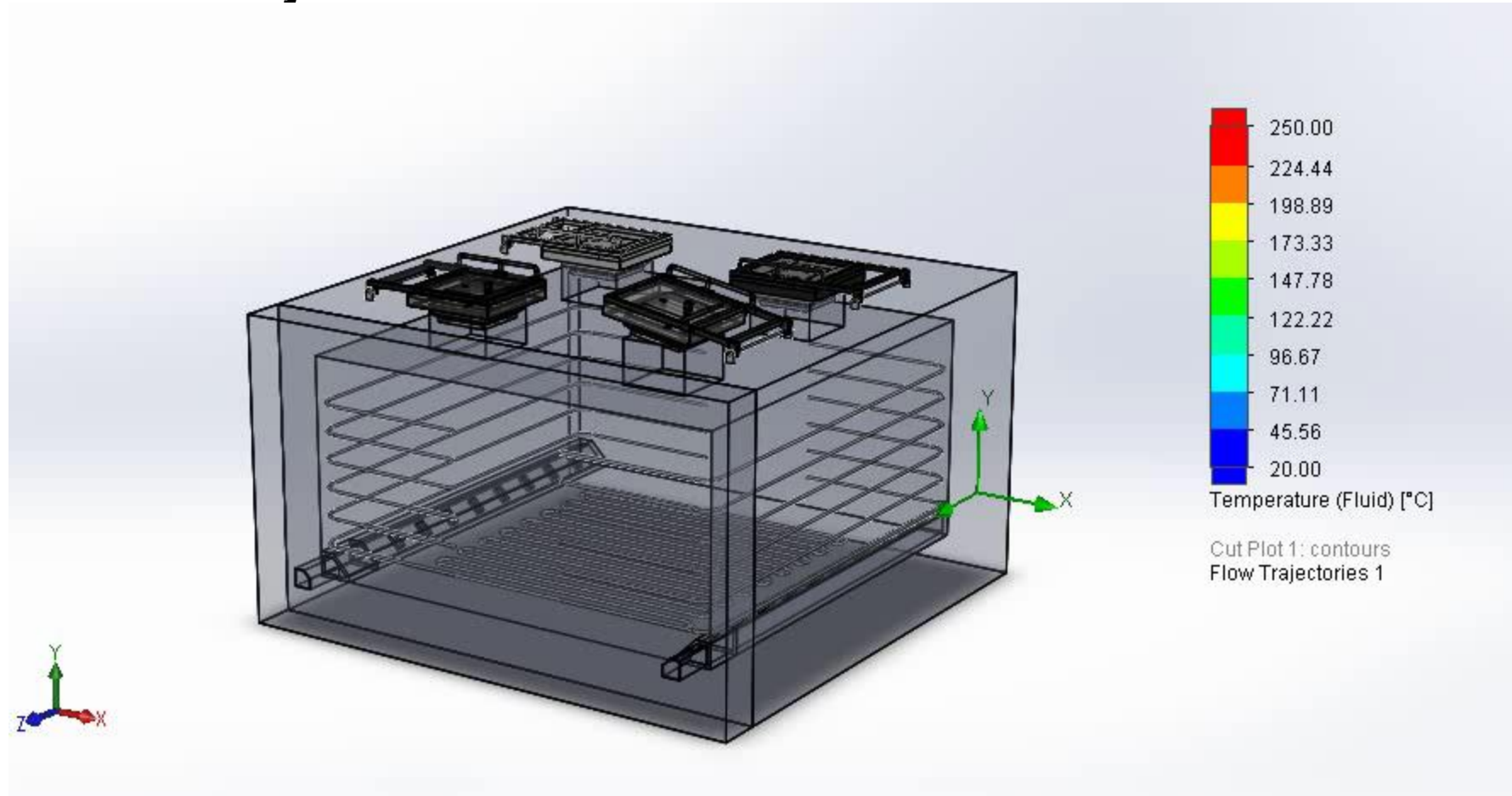
Análisis de resultados

Análisis térmico del horno compuerta a 20 grados



Análisis de resultados

Trayectoria del flujo análisis térmico



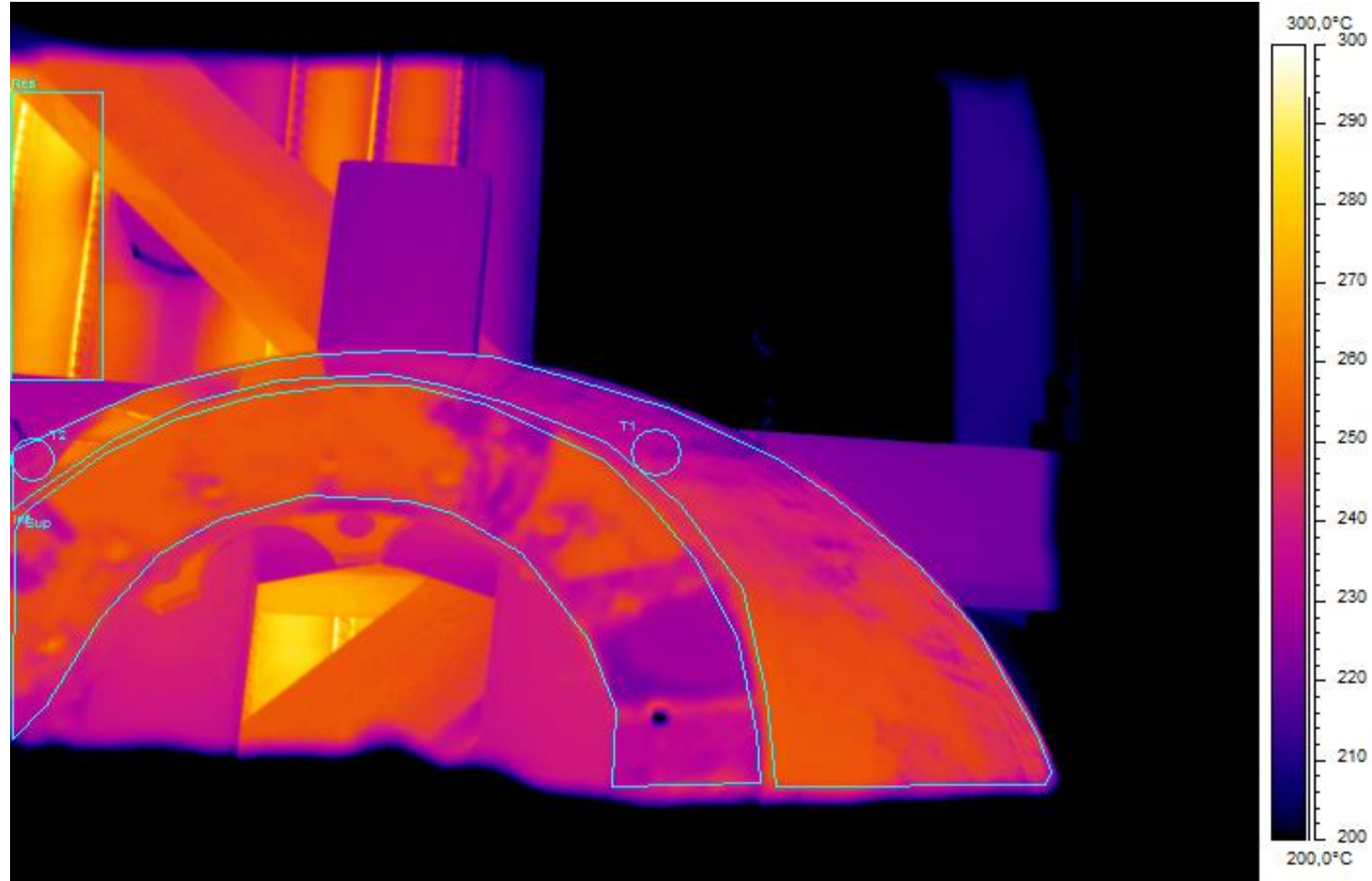
Análisis de resultados

Análisis Termográfico de la etapa de enfriamiento



Análisis de resultados

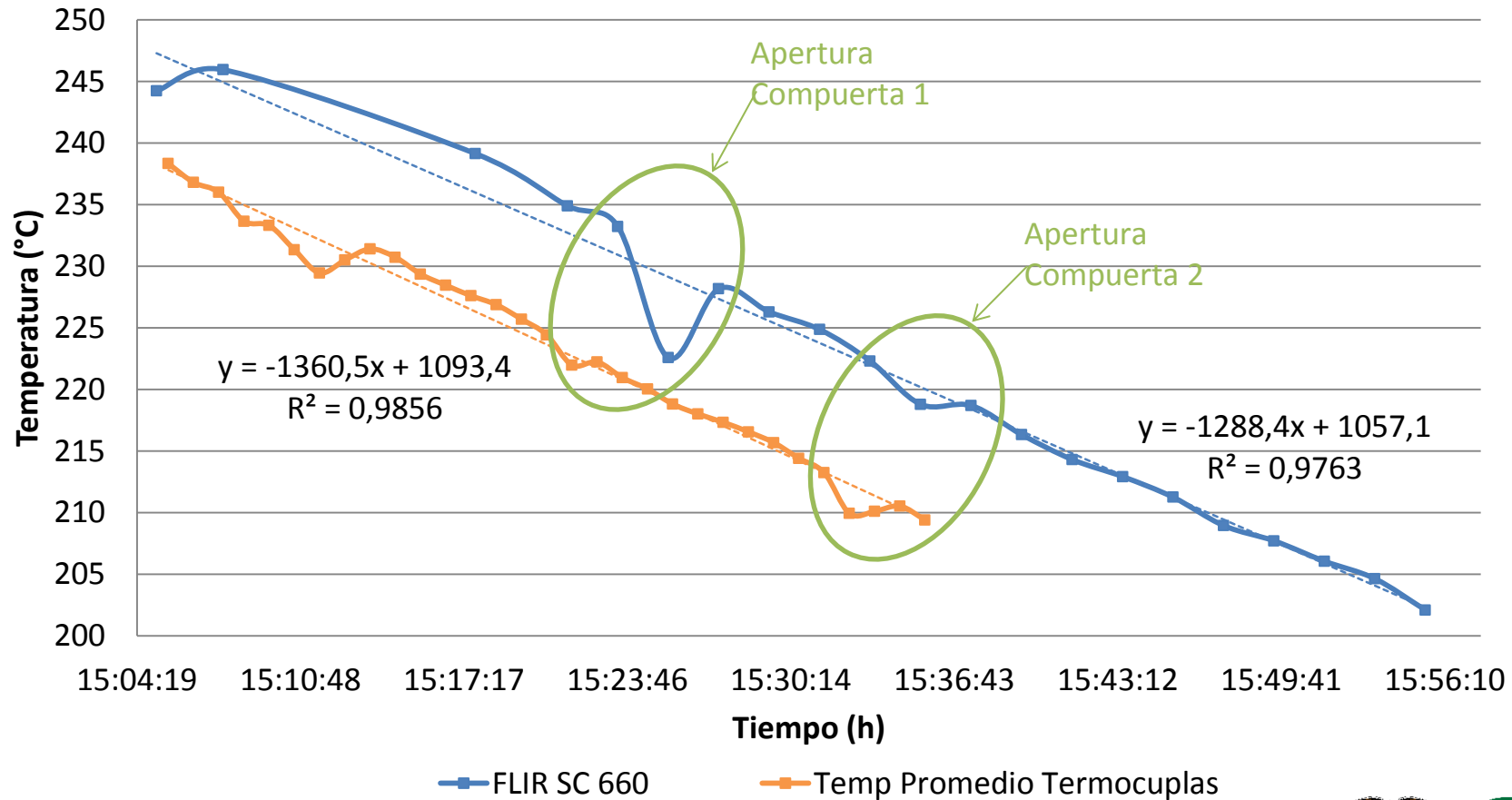
Puntos específicos del análisis térmico



Análisis de resultados

Análisis etapa de enfriamiento - FLIR SC 660

Etapa de Enfriamiento



Discusión de resultados

Aplicación del ángulo de apertura de las compuertas en el tratamiento térmico del rodete Pelton de la Central Pucará

Del tratamiento térmico realizado al rodete Pelton de la Central Pucará se selecciona la lectura del horno a las 6:39 horas en la etapa de enfriamiento.

$$T_{setpoint} = 575.82 \text{ }^{\circ}\text{C} = 848.97 \text{ K}$$

$$T_{promedio} = 578.8 \text{ }^{\circ}\text{C} = 860.95 \text{ K}$$

$$T_{\infty} = 18^{\circ}\text{C} = 291.15 \text{ K (Temperatura ambiente)}$$

$$dT = T_{setpoint} - T_{promedio}$$

$$dT = 575.82 \text{ }^{\circ}\text{C} - 578.8 \text{ }^{\circ}\text{C} = -2.98^{\circ}\text{C} \approx -3^{\circ}\text{C}$$

$$q_T = -C_p * m_r * \frac{dT}{dt}$$

$$q_T = 21060 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}} = 24450.66 \text{ W}$$



Discusión de resultados

Coeficiente de convección forzada

$$v = 0.6 \text{ m/s}$$

$$D = 0.55 \text{ m}$$

$$Re = \frac{V * D}{\nu}$$

$$Nu = 0.248 * Re^{0.612} * Pr^{1/3}$$

$$Nu = 49.24$$

$$Nu = \frac{h * D}{k}$$

$$h = 3.84 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Calor perdido por los ventiladores

$$q_{\text{ventiladores}} = h * A_{\infty} * (T_s - T_{\infty})$$

$$q_{\text{ventiladores}} = 24118.8 \text{ W}$$

Coeficiente de convección natural

$$L_c = \frac{A_s}{p} = 0.175 \text{ m}$$

$$Ra_L = Gr_l * Pr$$

$$Nu = 0.15 * Ra_L^{1/3} = 37.585$$

$$h = \frac{Nu * k}{L_c}$$

$$h = 9.48 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$



Discusión de resultados

Calor necesario de disipar por las compuertas

$$q_T = q_{\text{ventiladores}} + q_{\text{compuertas}}$$

$$q_{\text{compuertas}} = 331.86 \text{ W}$$

Ángulo de apertura de las compuertas

$$A_{\infty} = \frac{q_{\text{compuerta}}}{h * (T_s - T_{\infty})}$$

$$A_{\infty} = 0.0624 \text{ m}^2$$

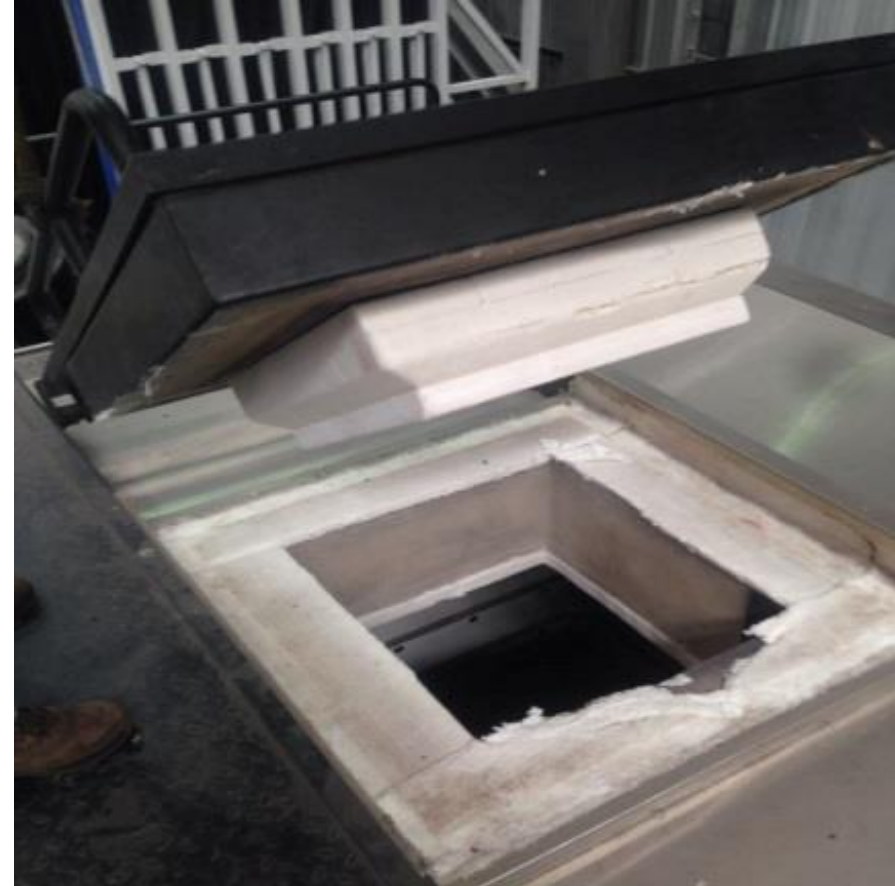
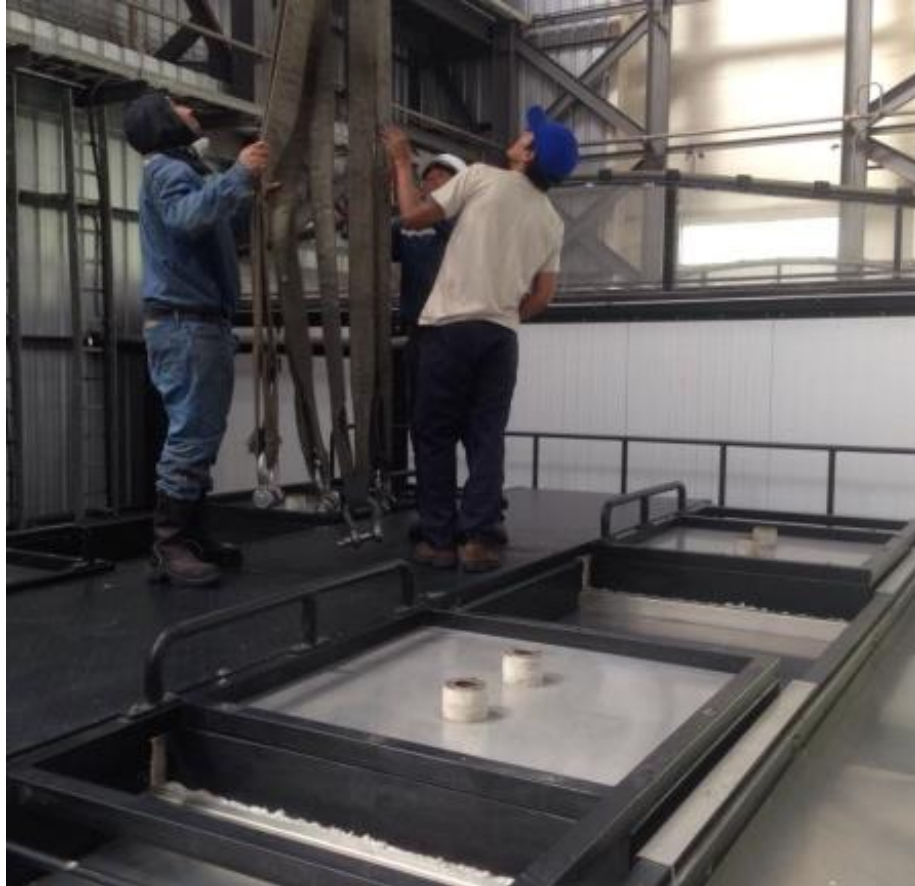
$$y = 12847 * x^6 - 20950 * x^5 + 12537 * x^4 - 3057.6 * x^3 + 114.08 * x^2 + 74.302 * x + 0.0167$$

$$y = 4.52^{\circ} \approx 5^{\circ}$$



Diseño de la Propuesta

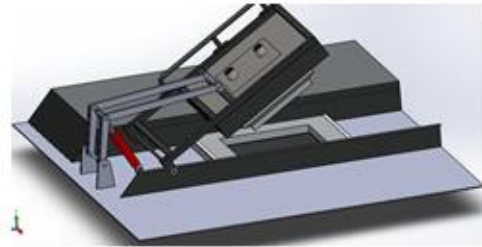
Datos informativos



Diseño de la Propuesta

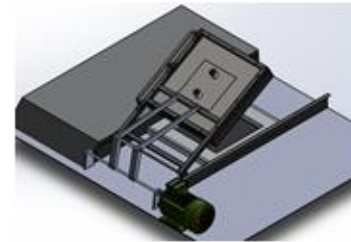
Selección de la mejor alternativa para el diseño del sistema

Mecanismo accionado mediante pistón



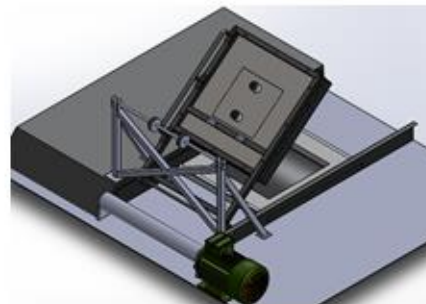
Solución 1

Mecanismo accionado mediante motor



Solución 2

Sistema de poleas



Solución 3



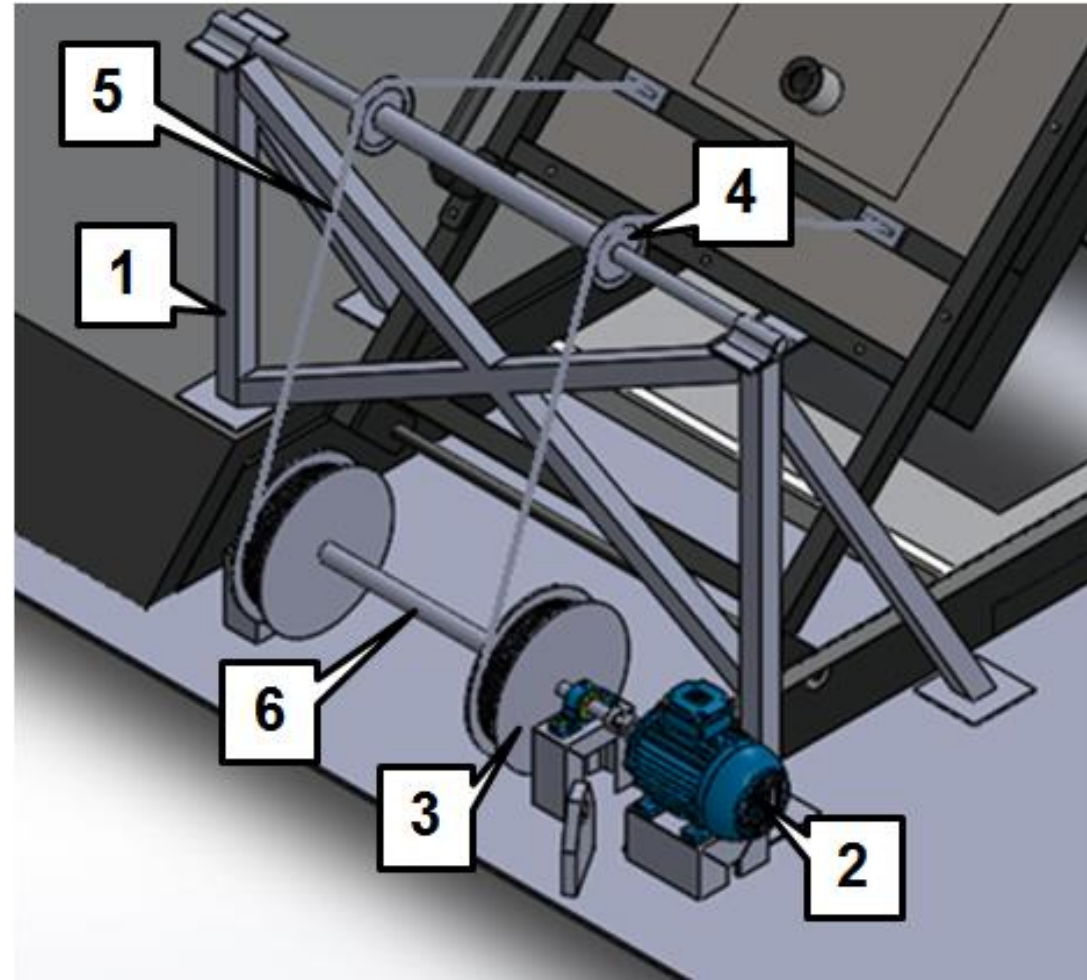
Diseño de la Propuesta

Criterios a evaluar	EVALUACION INDIVIDUAL		
	Solución 1	Solución 2	Solución 3
Viabilidad Mecánica.	4	1	3
Viabilidad Económica.	1	2	3
Viabilidad de Instalación.	2	2	3
Implementación de Equipos adicionales.	2	3	3
Rediseños estructurados que demanden cambios actuales.	1	4	4
Mantenimiento.	1	2	2
Incorporaciones de obra civil.	2	3	3
Demanda Energética.	3	2	2
Sumatoria de la evolución	16	20	23



Diseño de la Propuesta

Componentes del sistema de poleas



Diseño de la Propuesta

Selección del diámetro de cable

$$T_{cable} = 416.061 \text{ N}$$

$n = 7$ malacates electricos

$$T_n = T * n = 2912.427 \text{ N}$$

$$T_n = 0.297 \text{ TON}$$

Cable metálico	Diámetro (plg)	Resistencia Nominal a la rotura (TON)
6x7	¼	2.39
6x19	¼	2.48
6x37	¼	2.35



Diseño de la Propuesta

Factor de seguridad para los cables de acero

$$T_{total} = \cos \alpha * W + W_c$$

$$T_{total} = 422.764 \text{ N} = 43.13 \text{ kg}$$

$$n = \frac{T_{rot}}{T_{total}}$$

$$n = \frac{2480 \text{ kg}}{43.13 \text{ kg}}$$

$$n = 57.5$$



Diseño de la Propuesta

Dimensionamiento del tambor y polea

Cable de acero	Diámetro recomendado (plg)	Diámetro mínimo (plg)	Diámetro de alambres (plg)	Área del metal (plg ²)	Módulo de elasticidad del alambre (MPsi)
6X7	72*d	42*d	0.111*d	0.038*d ²	13
6X19	45*d	26*d 34*d	0.067*d	0.040*d ²	12
6X37	27*d	18*d	0.048*d	0.040*d ²	12

Factor de seguridad

$$n = 17.18$$

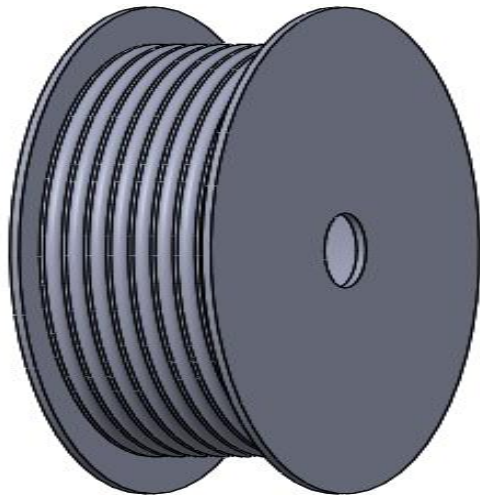
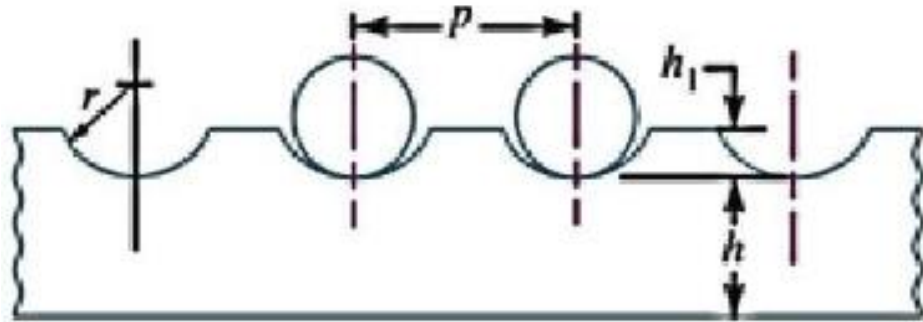
Factor de aplastamiento

$$n = 13.25$$

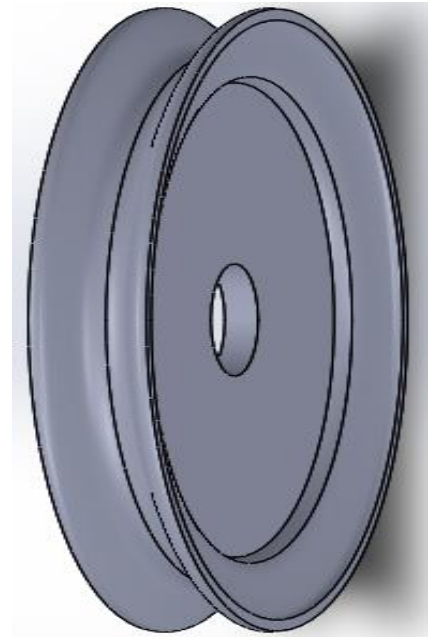
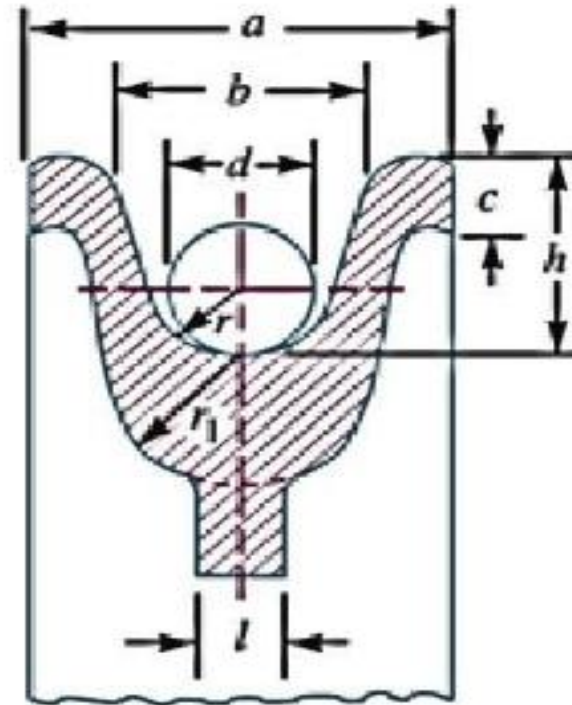


Diseño de la Propuesta

Geometría del tambor



Geometría de la polea



Diseño de la Propuesta

Cálculo del motor

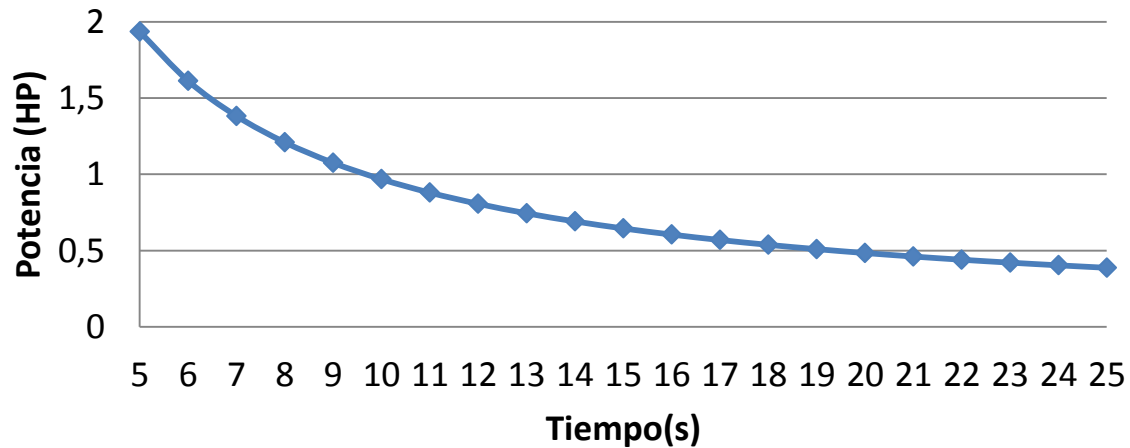
$$W = m * g$$

$$W = 128.27 \text{ kg} * 9.8 \text{ m/s}^2 = 1257.046 \text{ N}$$

$$\tau = 1131.78 \text{ N} * m$$

$$P_m = \frac{\tau * rpm}{716}$$

Potencia VS Tiempo



$$P_s = 2 * P_m$$

$$P_s = 2 * 0.967 \text{ HP}$$

$$P_s = 1.934 \text{ HP} \approx 2 \text{ HP}$$

Criterios a evaluar	Motores	Motor 1LE0141	Servomotor
	Nema Premium GP100		Siemens 1FT1034
	Valor	Valor	Valor
Costo menor	9	9	7
Control integrado	6	5	9
Presión de freno	8	7	9
Bajo nivel de ruido	7	8	9
Máxima calidad e impermeabilidad	9	8	8
Alto rango de variación de velocidad	6	6	9
Mayor tiempo de garantía	8	8	8
Total	53	51	59



Diseño de la Propuesta

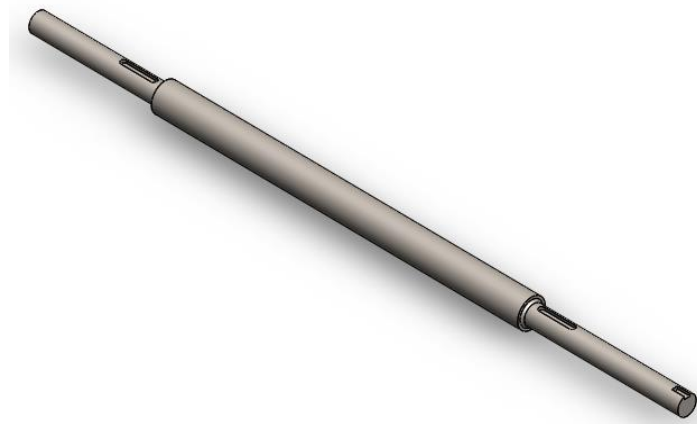
Diseño de eje principal para tambores

Acero	Diámetro (plg)	Resistencia a la fatiga S_{ut} (N/mm ²)	Resistencia a la fluencia S_y (N/mm ²)
AISI 1018	3/8 – 6	465	235
AISI 4340 (705)	1-3	1200	900

$$d = 1.25 \text{ plg}$$

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_y} = \frac{1}{n}$$

$$n = 1.74$$



$$D = 1.5 \text{ plg}$$



Diseño de la Propuesta

Diseño de eje para poleas

$$d = 1.25 \text{ plg.}$$

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_y} = \frac{1}{n}$$

$$n = 1.3$$

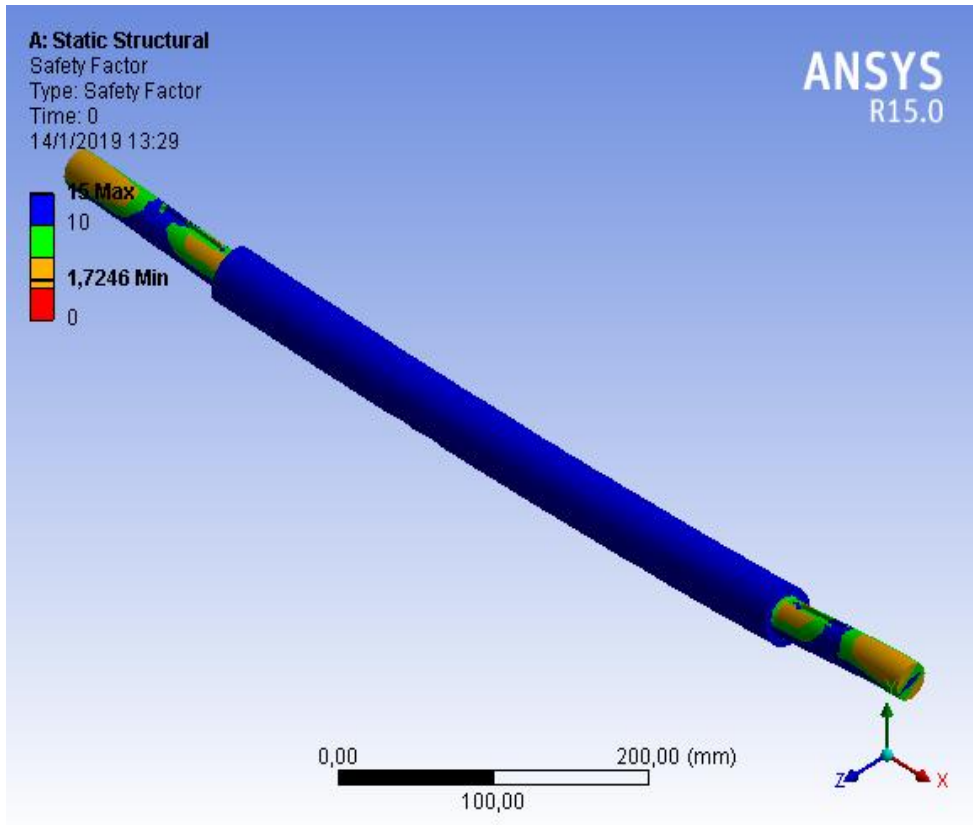


$$D = 1.875 \text{ plg}$$



Diseño de la Propuesta

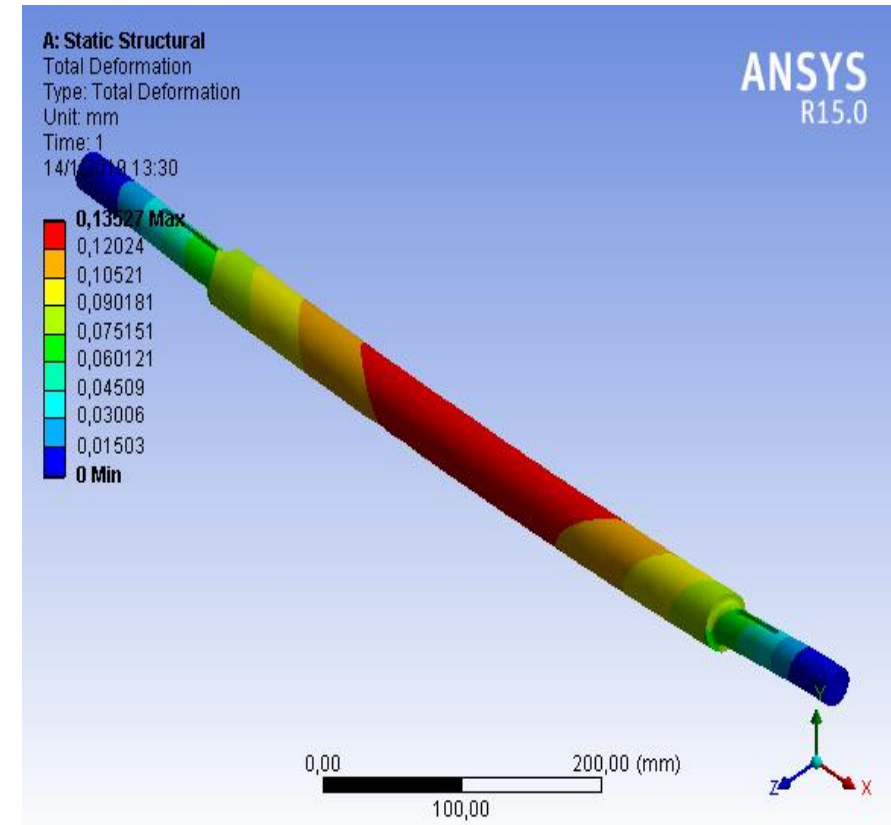
Análisis computacional de los ejes



$$FDs = 1.72$$

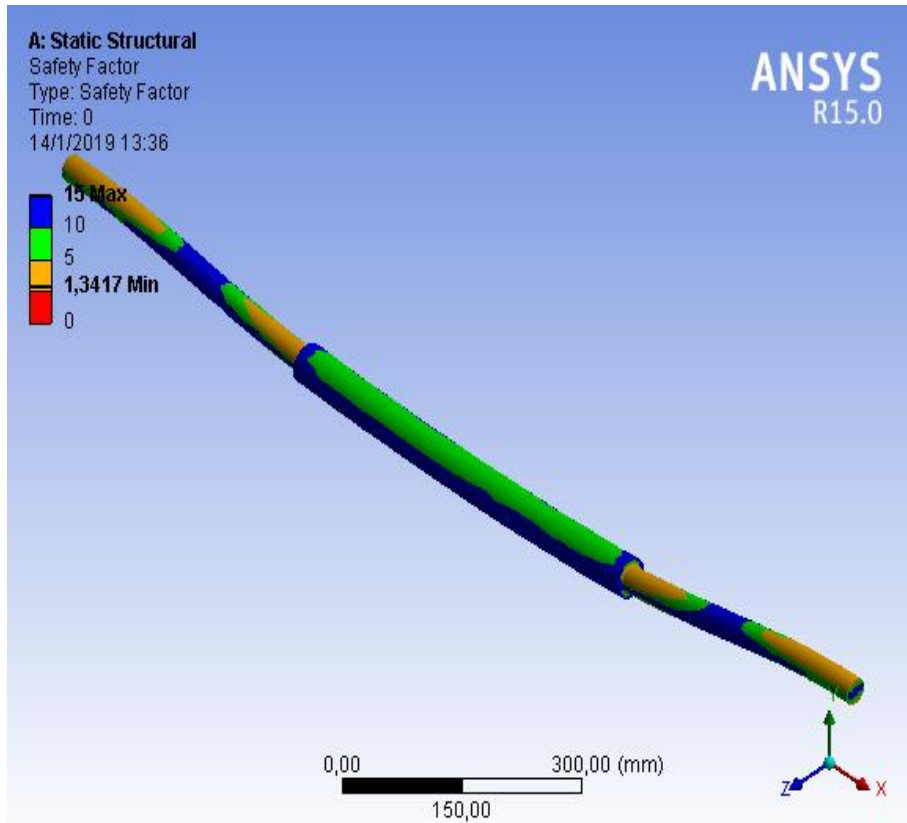
$$\Delta FDs = 0.02$$

$$Defomacion_{max} = 0.13 \text{ mm}$$



Diseño de la Propuesta

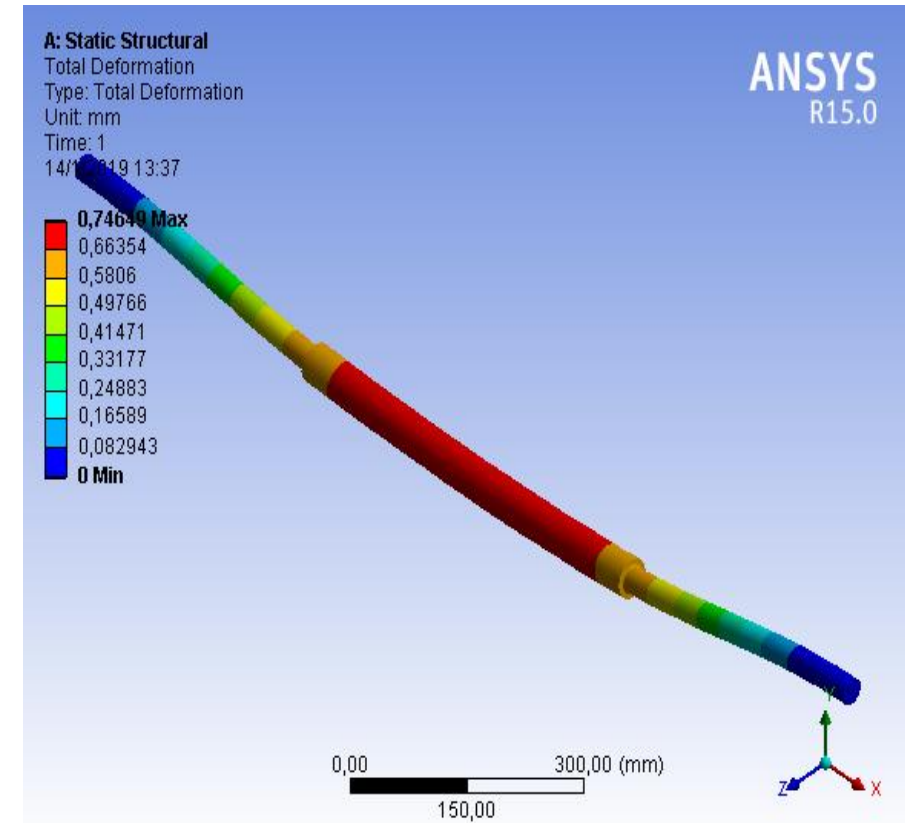
Análisis computacional de los ejes



$$FDs = 1.34$$

$$\Delta FDs = 0.04$$

$$Defomacion_{max} = 0.76 \text{ mm}$$



Análisis de costos

Los costos totales son la suma de los costos directos e indirectos, para el presente sistema automático se requiere una inversión de 4898.03 dólares.

Costos	Valor USD
Costos directos	3693.27
Costos indirectos	1204.76
TOTAL COSTOS	4898.03



PROGRAMACIÓN

BLOQUE FB CONTROL COMPUERTAS

The screenshot displays the Siemens TIA Portal V14 interface. The title bar indicates the project path: "Siemens - D:\Respaldos 2018\Disco DITESIS\Computador horno\Horno HELT 300BSC_ESPE\Horno HELT 300BSC_ESPE". The menu bar includes "Proyecto", "Edición", "Ver", "Insertar", "Online", "Opciones", "Herramientas", "Ventana", and "Ayuda". The toolbar contains icons for "Guardar proyecto", "Establecer conexión online", and "Deshacer conexión online".

The left sidebar shows the "Árbol del proyecto" (Project Tree) with the following structure:

- Dispositivos
- Programación PLC
 - Configuración de dispositivos
 - Online y diagnóstico
 - Bloques de programa
 - Agregar nuevo bloque
 - Main [OB1]
 - Startup [OB100]
 - USS_PORT_Call [OB30]
 - calculo_velocidades_vent.
 - Control_Automatico [FC1]
 - USS_Drives_FC [FC3]
 - Valores_Grafica [FC2]
 - Activ_Grup_Automatico [...]
 - Cambio_Recetas [FB18]
 - Control Contactores [FB3]

The main workspace shows the "Main" ladder logic editor. The current segment is "Segmento 7: Control compuertas de ventilacion". A comment box contains the text: "Comentario". Below the comment, a function block is configured:

- Block name: **%DB24** "Control_Compuestas_Ventilacion_DB"
- Block type: **%FB19** "Control_Compuestas_Ventilacion"
- Inputs: EN
- Outputs: ENO



PROGRAMACIÓN

BLOQUES INICIO CONTROL COMPUERTAS

The screenshot displays the Siemens TIA Portal interface for programming a PLC. The main window shows the 'Control_Cuapuetas_Ventilacion' block with five segments:

- Segmento 1: Inicio Control
- Segmento 2: Seleccionar secuencia de apertura de compuertas
- Segmento 3: Calculo de la diferencia de temperatura (temperatura promedio y temperatura setpoint) cada 3 minutos.
- Segmento 4: Compuerta N1
- Segmento 5: Compuerta N2

The ladder logic diagram for Segment 3 is visible, showing a network with the following components:

- Inputs: %M020 (TIC_Count), %M029 (TIC_Count), %M027 (TIC_Time_Delay), %M028 (Temp_Promedio Superior), %M029 (Temp_Promedio Inferior), %M028 (Temp_Promedio Inferior), %M027 (TIC_Time_Delay).
- Function Block: CALCULATE (Net).
- Subroutine: SUB (Net).
- Outputs: %M020 (TIC_Count), %M029 (TIC_Count), %M027 (TIC_Time_Delay), %M028 (Temp_Promedio Superior), %M029 (Temp_Promedio Inferior), %M028 (Temp_Promedio Inferior), %M027 (TIC_Time_Delay).



PROGRAMACIÓN

BLOQUE FB APERTURA COMPUERTA

The screenshot displays the Siemens TIA Portal software interface for programming a function block (FB) named 'Porcentaje_Apertura'. The main workspace is divided into two segments:

- Segmento 1: Coeficiente de conveccion forzada**
This segment contains four 'CALCULATE' blocks. The first block calculates the forced convection coefficient ($K_{Con_Forzada}$) based on inputs like λ_{M0202} , T_{Medio_2} , T_{Medio_1} , and ΔT_{Medio} . The second block calculates the Reynolds number (Re_{Din}) using λ_{M0202} , T_{Medio_2} , T_{Medio_1} , and ΔT_{Medio} . The third block calculates the Prandtl number (Pr_{Din}) using λ_{M0202} , T_{Medio_2} , T_{Medio_1} , and ΔT_{Medio} . The fourth block calculates the forced convection coefficient ($K_{Con_Forzada}$) using λ_{M0202} , T_{Medio_2} , T_{Medio_1} , and ΔT_{Medio} .
- Segmento 2: Coeficiente de conveccion natural y concentaje de apertura**
This segment contains three 'CALCULATE' blocks. The first block calculates the natural convection coefficient ($K_{Con_Natural}$) based on inputs like λ_{M0210} , T_{Medio_2} , T_{Medio_1} , and ΔT_{Medio} . The second block calculates the aperture coefficient ($K_{Con_Apertura}$) using λ_{M0210} , T_{Medio_2} , T_{Medio_1} , and ΔT_{Medio} . The third block calculates the aperture percentage ($\%Apertura$) based on inputs like λ_{M0210} , T_{Medio_2} , T_{Medio_1} , and ΔT_{Medio} .



ALMACENAMIENTO DE DATOS

Data Logger

The screenshot displays the Siemens TIA Portal software interface for configuring a data logger. The main window shows a ladder logic diagram for a segment titled "Segmento 1: Crear Almacenamiento". The diagram includes a "Datos_Registro" block with the following connections:

- Inputs:**
 - Start: "Inicio_Proceso" (NO contact)
 - Records: "Horas_Lectura" (NO contact)
 - Format: "Formato" (NO contact)
 - Timestamp: "Timestamp" (NO contact)
 - Name: "Datos_Almacener.Nombre" (NO contact)
 - ID: "Datos_Almacener.ID" (NO contact)
 - Header: "Datos_Almacener.Header" (NO contact)
 - Data: "Datos_Almacener.Data" (NO contact)
- Outputs:**
 - Done: "Datos_Almacener.Done" (NO contact)
 - Busy: "Datos_Almacener.Busy" (NO contact)
 - Error: "Datos_Almacener.Error" (NO contact)
 - Status: "Datos_Almacener.Status" (NO contact)

The interface also shows a project tree on the left with the following blocks:

- Agregar nuevo bloque
- Main [OB1]
- Startup [OB100]
- USS_PORT_Call [OB30]
- calculo_velocidades_vent...
- Control_Automatico [FC1]
- USS_Drives_FC [FC3]
- Valores_Grafica [FC2]
- Activ_Grup_Automatico [...]
- Cambio_Recetas [FB18]
- Control_Contactores [FB3]
- Control_Compuestas_Ven...
- Control_Ventiladores [FB1...]
- Datos_Registro [FB21]
- Estado_Compuestas [FB10]
- Lectura_Temperaturas [FB4]
- Lectura_Fechas_Horas [FB...]
- Temperatura_Set_Point [F...



Implementación del Sistema HMI

Ingreso de recetas HMI

The screenshot displays the Siemens SIMATIC Manager interface for configuring an HMI recipe. The main window shows a recipe input form with the following fields:

Field	Value
Nombre de Receta	00000000000000000000000000000000
Peso de la Pieza	000,00kg
Alto de la Pieza	000,00m
Diámetro de la Pieza	000,00m
Área de la Pieza	300,00m²
Temperatura de Precalentamiento	000,00°C
Tiempo de Precalentamiento	300,00h
Temperatura de Calentamiento	000,00°C
Tiempo de Ranja de Calentamiento	300,00h
Temperatura de Prensado	000,00°C
Tiempo Pendiente de Prensado	300,00h
Tiempo Pendiente de Embalante	300,00h
Tiempo Total	000,00h

At the bottom of the screen, there are control buttons: **INICIAR PROCESO**, **PAUSAR PROCESO**, and **RESET**. A red button labeled **ABORTAR PROCESO** is also visible.

The left sidebar shows the project tree with the following structure:

- Dispositivos
- Configuración de runtime
- Imágenes
 - Agregar imagen
 - Activación de Contactores
 - Control Ventiladores
 - Curva Patron_T
 - Estado de Compuertas
 - Imagen raíz
 - Imagen_1
 - Monitoreo de Calentamiento_1
 - Monitoreo_T
 - Pruebas de Baliza
 - Recetas_T
- Administración de imágenes
- Variables HMI
- Conexiones
- Avisos HMI
- Recetas



Implementación del Sistema HMI

Estado de Compuertas HMI

The screenshot displays the Siemens SIMATIC Manager interface. The main window shows the 'Estado de Compuertas' (Door Status) HMI screen. The screen features a central diagram of a furnace with four doors and four ash doors, each with a status indicator (Abierto/Cerrado). To the right, there are three sequence selection buttons: 'Secuencia 1', 'Secuencia 2', and 'Secuencia 3'. The left sidebar shows the project tree with 'Imágenes' expanded, and 'Estado de Compuertas' selected. The top menu bar includes 'Proyecto', 'Edición', 'Ver', 'Insertar', 'Online', 'Opciones', 'Herramientas', 'Ventana', and 'Ayuda'.



Implementación del Sistema HMI

Monitoreo de calentamiento HMI

The screenshot shows the Siemens SIMATIC Manager software interface. The main window displays the HMI design for a furnace heating monitoring system. The interface includes a project tree on the left, a main design area with a 'TOUCH' label, and a detailed view at the bottom.

The main design area shows a 'Monitoreo de Calentamiento' screen. A prominent red indicator at the top center reads 'PARO DE EMERGENCIA ACTIVADO PROCESO ABORTADO'. Below this, there are several temperature gauges and indicators:

- Termoparcas Inferiores:** Individual and average temperature gauges for 4 sensors (1, 2, 3, 4).
- Temperatura Promedio Superior:** 000,00°C
- Temperatura Promedio Superior:** 000,00°C
- Temperatura promedio inferior:** 000,00°C
- Sen. Reinic. Temperatura:** 000,00°C
- Apertura de compuertas:** 000,00°C

The bottom of the screen shows a status bar with various indicators and a 'ABORTAR PROCESO' button.



Implementación del Sistema HMI

Monitoreo de proceso HMI

The screenshot shows the Siemens TIA Portal V14 interface for developing an HMI. The title bar indicates the project path: `D:\Respaldos 2018\Disco D\TESIS\Computador horno\Horno HELT 300BSC_ESPE\Horno HELT 300BSC_ESPE`. The menu bar includes options like 'Proyecto', 'Edición', 'Ver', 'Insertar', 'Online', 'Opciones', 'Herramientas', 'Ventana', and 'Ayuda'. The toolbar contains icons for saving, undo, redo, and online connection management.

The left sidebar, labeled 'Visualización', shows the 'Árbol del proyecto' (Project Tree) with the following structure:

- Dispositivos
 - HMI_1 [TP1500 Basic color PN]
 - Configuración de dispositivos
 - Online y diagnóstico
 - Configuración de runtime
 - Imágenes
 - Agregar imagen
 - Activación de Contactores
 - Control Ventiladores
 - Curva Patron_T
 - Estado de Compuertas
 - Imagen raíz
 - Imagen_1
 - Monitoreo de Calentamie...
 - Monitoreo_T
 - Pruebas de Baliza
 - Recetas_T
 - Administración de imágenes
 - Variables HMI

The main workspace displays the 'Monitorio del Proceso' HMI design. It features a central graph area, several data displays for temperature (e.g., 'Temperatura Proceso Inicial: 000,00°C'), and control elements like buttons for 'Arrancar' and 'Parar'. The design is presented within a 'SIMATIC PANEL' frame with a 'TOUCH' indicator on the right side.



Pruebas de funcionamiento

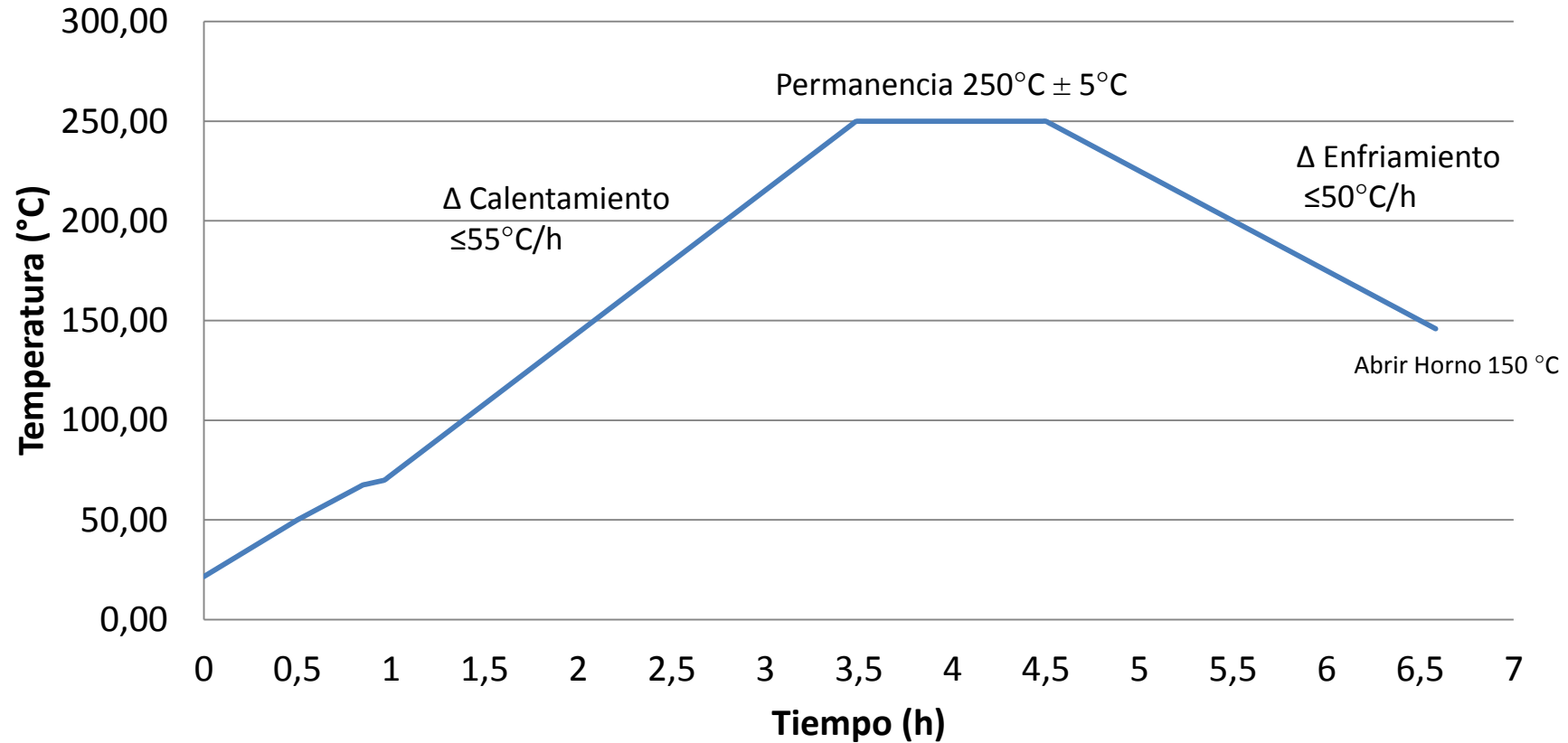
Instructivo del tratamiento Térmico del Cono de la Central Agoyán

Instrucción del Tratamiento Térmico	
Proyecto	PRUEBA
Equipamiento	CONO CENTRAL AGOYÁN
Cant. Pieza	1
Material	Acero inoxidable A743 CA-6NM
Tipo de Tratamiento Térmico	
• Deshumidificación	
Dimensiones de la pieza (mm)	D641.68 x 990
Espesor a ser considerado (mm)	30
Área de la pieza (m ²)	3.33
Peso (kg)	724.17
Temperatura de inicio (°C)	19-21 (temperatura ambiente)
Velocidad de calentamiento (°C/h)	Max 50 hasta 250 °C
Temperatura de tratamiento (°C)	250 (±5)
Tiempo del tratamiento (h)	1
Velocidad de enfriamiento (°C/h)	Max 55
Temperatura de salida de la pieza(°C)	150
Tiempo total TT – revenido (h)	6,5



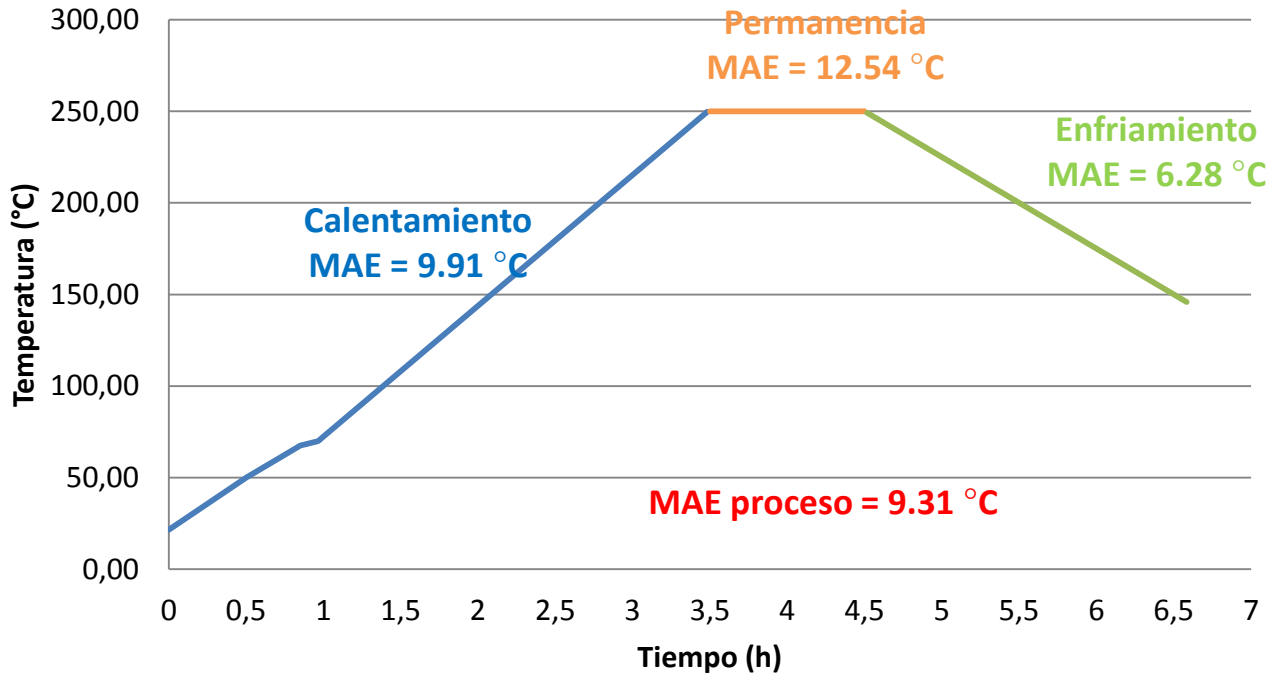
Pruebas de funcionamiento

Curva del Tratamiento Térmico del Cono - Central Agoyán

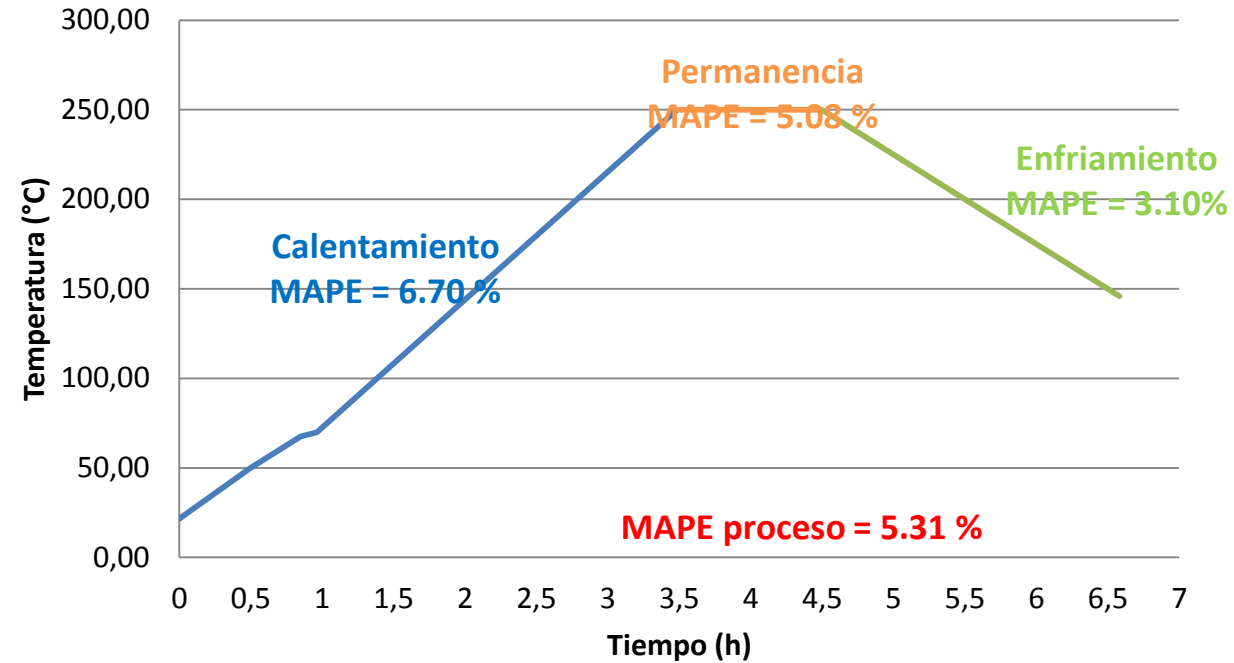


Pruebas de funcionamiento

Error absoluto medio Cono Central Agoyán



Error porcentual absoluto medio Cono Central Agoyán



Conclusiones

- Con la implementación de la nueva interfaz de HMI, facilita el ingreso de las recetas de los procesos térmicos y a su vez con la obtención de sus datos mediante el controlador lógico programable, se elimina la interacción de un ordenador para dichos procesos; independizando y optimizando el sistema de control del horno.
- De acuerdo al análisis estadístico de los datos de temperatura arrojados por el control del horno, con la implementación del control en el ángulo de apertura de sus compuertas de ventilación superior se obtuvo un error de 6.28 °C, realizados a una prueba de deshumidificación del horno.



Conclusiones

- El estudio termografico realizado con equipos del Instituto Geofísico permitió observar la influencia que provoca la apertura de las puertas de ventilación superior en la curva de enfriamiento del proceso, provocando una pequeña variación entra los 5°C a 10°C, en la pendiente de enfriamiento la misma que se estabiliza en dentro de 5 minutos; concluyendo que las compuertas de ventilación no influyen de forma directa en el proceso de enfriamiento.
- Se diseñó un sistema mecánico para el control de la apertura y cierre de las compuertas de ventilación superior del horno, bajo el principio de un sistema de poleas, conformado por dos ejes principales; el eje de sus tambores con un factor de seguridad de 1.74 y el eje de poleas con un factor de seguridad de 1.3, garantizando el funcionamiento del sistema.



Conclusiones

- Con base al análisis económico realizado para la implementación del sistema automático de control de la apertura y cierre de las compuertas de ventilación superior del horno, se determinó un costo del sistema de 4898.03 dólares, representando el 0.12% del costo total de un rodete y el 0.64% del costo total de la reparación de un rodete, demostrando la factibilidad del sistema para una futura implementación.



Recomendaciones

- Se recomienda en un futuro realizar el estudio de factibilidad para la implementación de un nuevo sistema de enfriamiento o sistema adicional, ya que los ventiladores y las compuertas de ventilación superior no abastecen los requerimientos para procesos más complejos en donde se necesita un enfriamiento más acelerado.
- En un futuro se debe reestructurar de forma completa el control integral del horno ya que por la conexión de sus resistencias y el control de tiempos en el proceso, existen variaciones de temperatura lo cual disminuye la eficiencia del horno.
- Es recomendable la implementación de un equipo para la impresión en tiempo real de los datos de temperatura registrados en las termocuplas, para garantizar la integridad de la información en los reportes al final de cada proceso térmico.
- Para llevar un monitoreo óptimo de los tratamientos térmicos, es necesario la implementación de una cámara térmica la misma que realizara un control total del proceso, con el propósito de validar los datos registrados de las termocuplas del horno.



GRACIAS POR SU ATENCIÓN



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA