

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR, PREVIO A LA OBTENCIÓN

DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

REINGENIERÍA ENERGÉTICA E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS DEL

INTERCAMBIADOR DE CALOR HORIZONTAL DE CONVECCIÓN FORZADA DEL LABORATORIO DE

CONVERSIÓN DE ENERGÍA

**INTEGRANTES: CUEVA CARVAJAL DIEGO SEBASTIÁN
VILLAMARIN ALMEIDA JOSÉ ALEJANDRO**

DIRECTOR: ING. VILLAVICENCIO POVEDA ÁNGELO HOMERO





CONTENIDO

- Objetivos
- Levantamiento técnico
- Repotenciación
- Adquisición de datos
- Interfaz de usuario (HMI)
- Puesta a punto
- Rediseño Térmico
- Pruebas de funcionamiento
- Resultados
- Conclusiones
- Recomendaciones
- Referencias Bibliográficas



OBJETIVO GENERAL

Objetivos

Levantamiento
técnico

Repotenciación

Adquisición de datos

Interfaz de usuario
(HMI)

Puesta a punto

Rediseño Térmico

Pruebas de
Funcionamiento

Resultados

Conclusiones

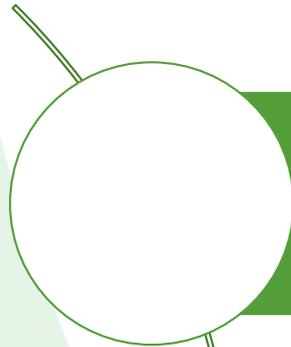
Recomendaciones

Referencias

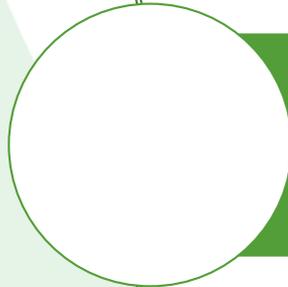
Realizar la reingeniería energética e implementación del sistema de adquisición de datos del intercambiador de calor horizontal de convección forzada del laboratorio de conversión de energía



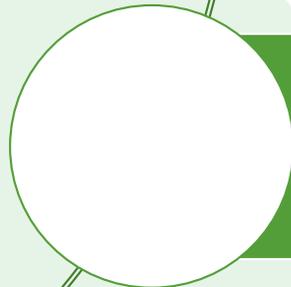
OBJETIVOS ESPECÍFICOS



Evaluar técnicamente el estado inicial de los componentes e instrumentos de medición de la máquina y repotenciar los componentes que lo requieran para lograr la recuperación y completo funcionamiento del equipo.



Realizar el rediseño térmico del equipo, mediante el diseño de un ducto horizontal con intensificadores de flujo que permita variar el coeficiente de convección del equipo de convección forzada.



Diseñar e implementar un sistema de adquisición de datos a través del uso de una tarjeta Raspberry Pi, que permita la obtención rápida y eficaz de las mediciones referentes a las variables de interés del equipo, con una interfaz amigable con los estudiantes y los docentes

Objetivos

Levantamiento
técnico

Repotenciación

Adquisición de datos

Interfaz de usuario
(HMI)

Puesta a punto

Rediseño Térmico

Pruebas de
Funcionamiento

Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Referencias



Componentes de la Unidad de Transferencia de Calor por Convección Forzada

Objetivos

[Levantamiento técnico](#)

Repotenciación

Adquisición de datos

Interfaz de usuario (HMI)

Puesta a punto

Rediseño Térmico

Pruebas de Funcionamiento

Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Referencias

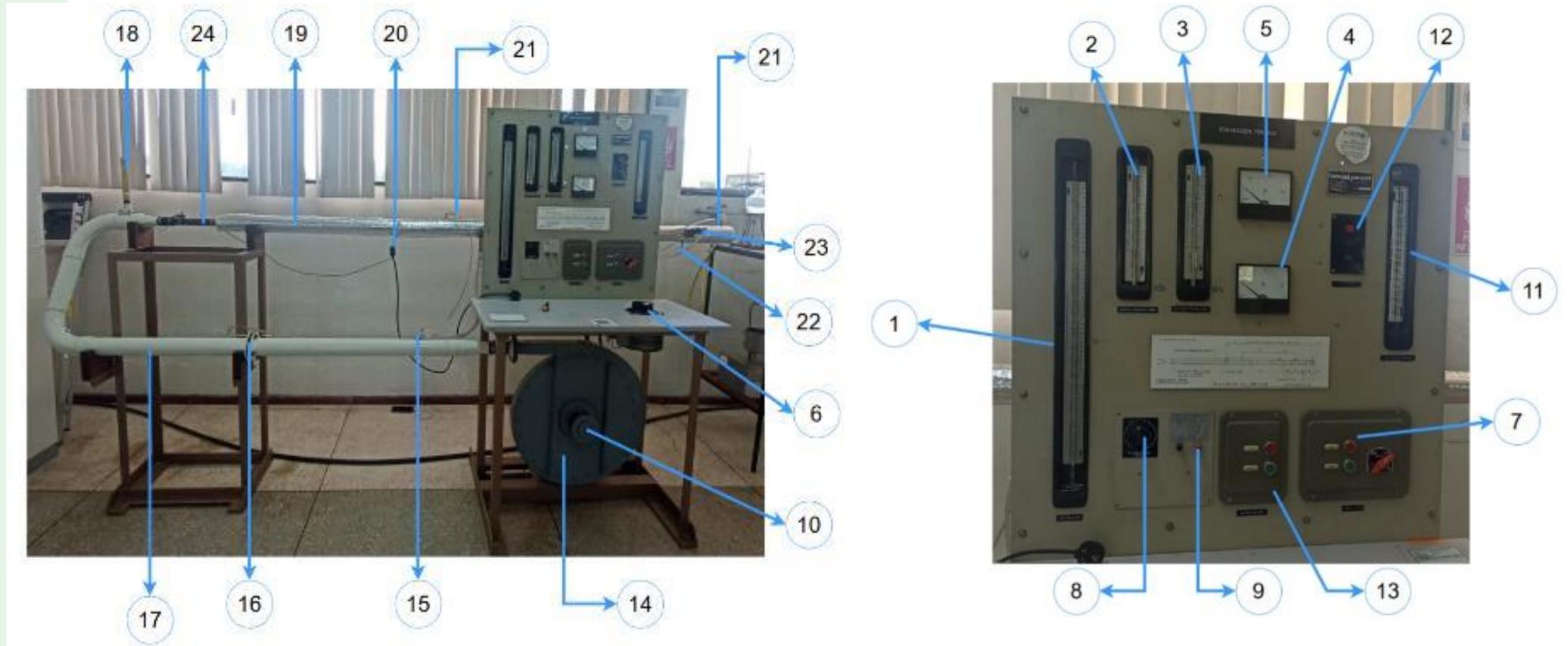


Figura 1. Partes principales del equipo antes de la intervención



Estado Inicial Sistema Estructural

Estructura de apoyo para ducto de
aire



Estructura para sistema de
adquisición de datos



Bases de soporte para tubería



Figura 2. Estado inicial del sistema estructural

Objetivos

[Levantamiento
técnico](#)

Repotenciación

Adquisición de datos

Interfaz de usuario
(HMI)

Puesta a punto

Rediseño Térmico

Pruebas de
Funcionamiento

Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Referencias

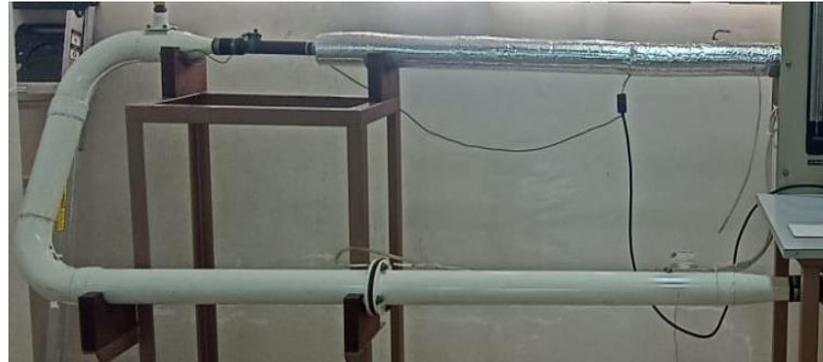


Estado Inicial Sistema Térmico

Ventilador



Ducto de Aire



Placa Orificio



Mangueras de Presión



Tubería de cobre



Resistencia Térmica



Aislante térmico



Figura 3. Estado inicial del sistema térmico

Objetivos

[Levantamiento técnico](#)

Repotenciación

Adquisición de datos

Interfaz de usuario (HMI)

Puesta a punto

Rediseño Térmico

Pruebas de Funcionamiento

Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Referencias



Objetivos

[Levantamiento técnico](#)

Repotenciación

Adquisición de datos

Interfaz de usuario (HMI)

Puesta a punto

Rediseño Térmico

Pruebas de Funcionamiento

Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Referencias

Estado Inicial Sistema Eléctrico

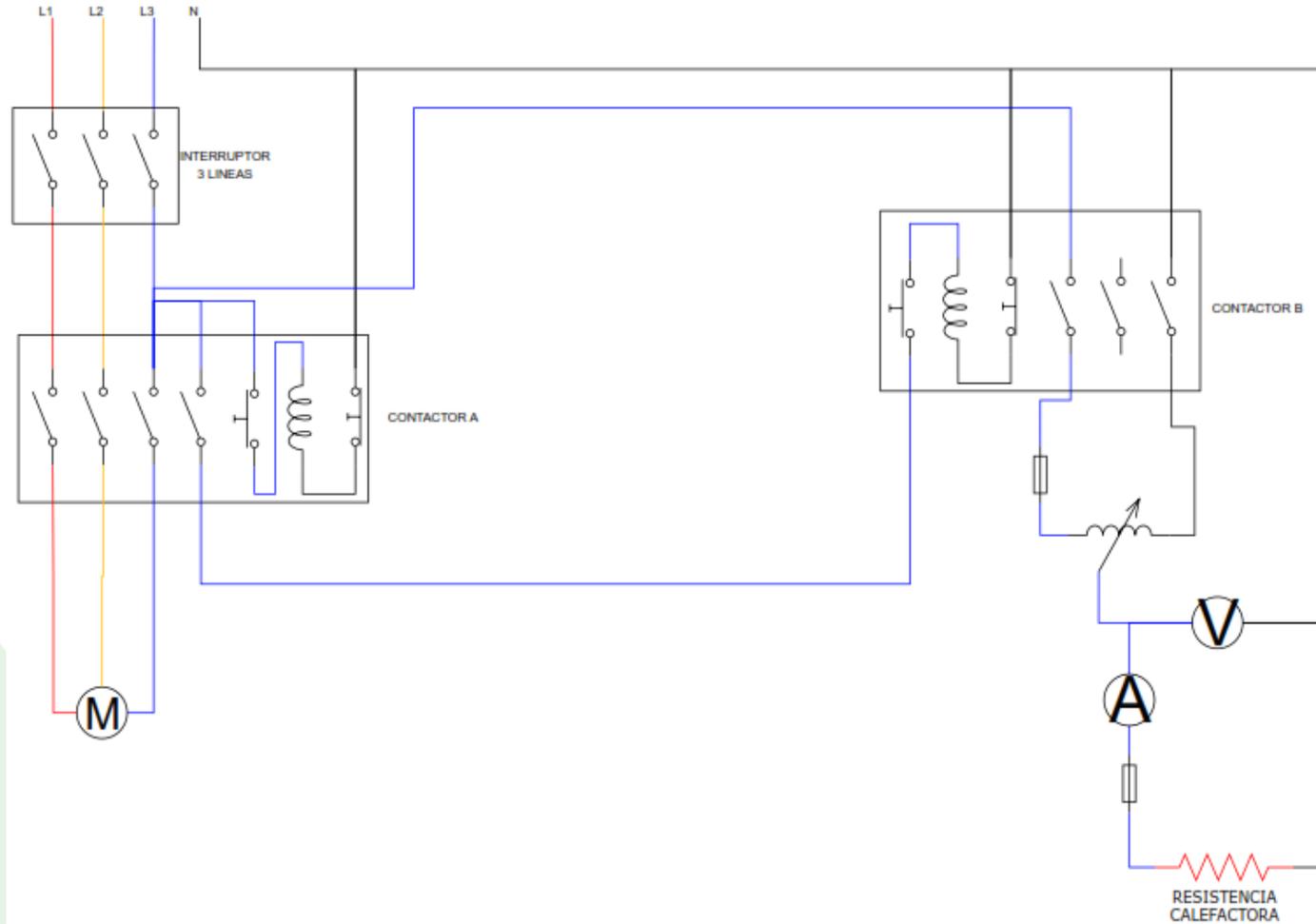


Figura 4. Esquema del sistema eléctrico inicial



Estado Inicial Sistema Eléctrico

Contadores



Regulador de Voltaje



Pulsadores



Fusibles



Cableado



Figura 5. Estado inicial del sistema eléctrico

Objetivos

[Levantamiento técnico](#)

Repotenciación

Adquisición de datos

Interfaz de usuario (HMI)

Puesta a punto

Rediseño Térmico

Pruebas de Funcionamiento

Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Referencias



Estado Inicial Instrumentación

Tabla 1. Variables e instrumentos de medición

Variable	Instrumento de Medición
Voltaje	Voltímetro analógico
Amperaje	Amperímetro analógico
Diferencial de presión	Manómetros de columna de agua
Temperatura	Termocuplas tipo J
Velocidad	Placa Orificio y Tubo Pitot



Figura 9. Manómetros de columna de agua

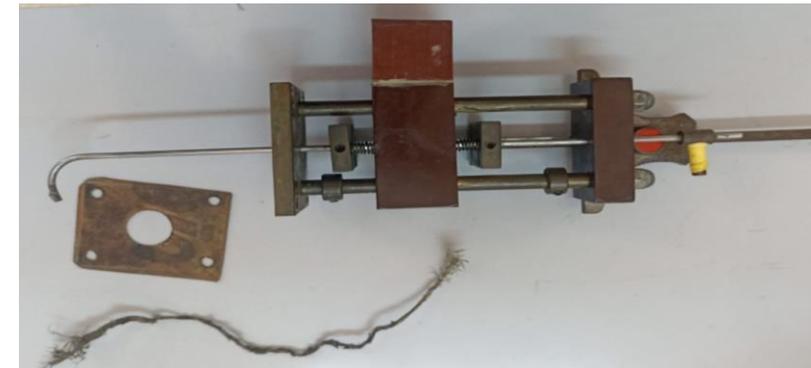
Figura 6. Voltímetro y amperímetro



Figura 7. Termocuplas



Figura 8. Tubo Pitot móvil



Objetivos

[Levantamiento
técnico](#)

Repotenciación

Adquisición de datos

Interfaz de usuario
(HMI)

Puesta a punto

Rediseño Térmico

Pruebas de
Funcionamiento

Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Referencias



Recuperación de componentes

Figura 10. Medición del diámetro interior de la tubería



Tabla 2. Medición en diferentes secciones

N°	Medición [mm]
1	32,70
2	33,00
3	32,65
4	32,65
5	32,60
6	32,72
7	32,62
8	32,60
9	32,60
10	32,60
Promedio	32.67

Figura 11. Aislante térmico



$$r_{cr,critico} = \frac{k}{h}$$

Objetivos

Levantamiento
técnico

[Repotenciación](#)

Adquisición de datos

Interfaz de usuario
(HMI)

Puesta a punto

Rediseño Térmico

Pruebas de
Funcionamiento

Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Referencias



Modificación de las estructuras

Objetivos

Levantamiento
técnico

[Repotenciación](#)

Adquisición de datos

Interfaz de usuario
(HMI)

Puesta a punto

Rediseño Térmico

Pruebas de
Funcionamiento

Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Referencias

Tabla 3. Peso de cada componente del equipo

Denominación	Peso (kg)
Ducto de ventilación	22
Tubería de cobre sin aletas	11
Tubería de cobre con aletas	14

Figura 12. Análisis estático de la estructura

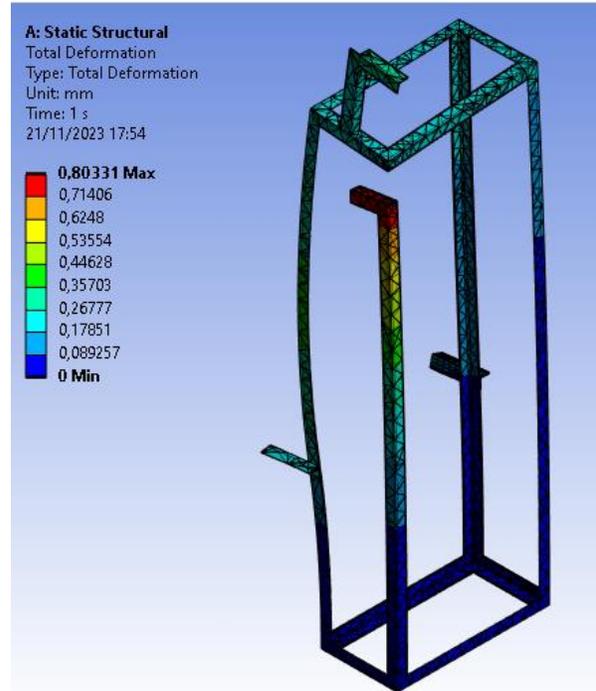
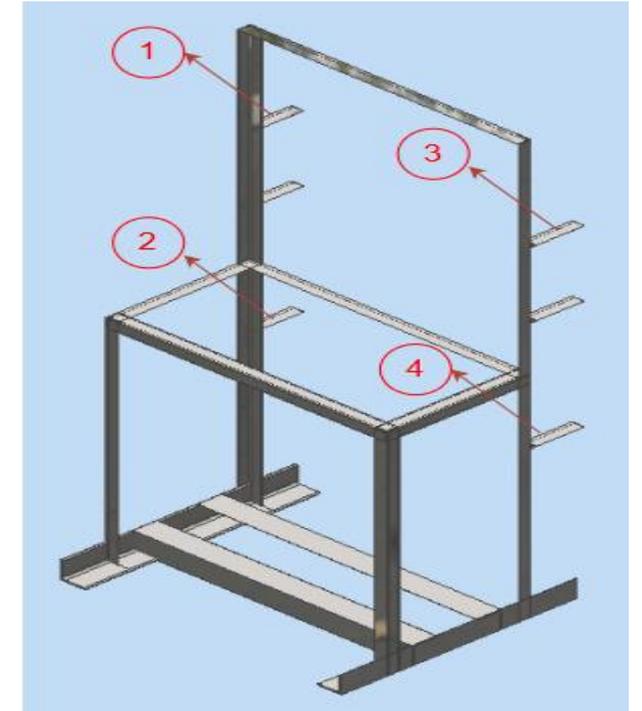


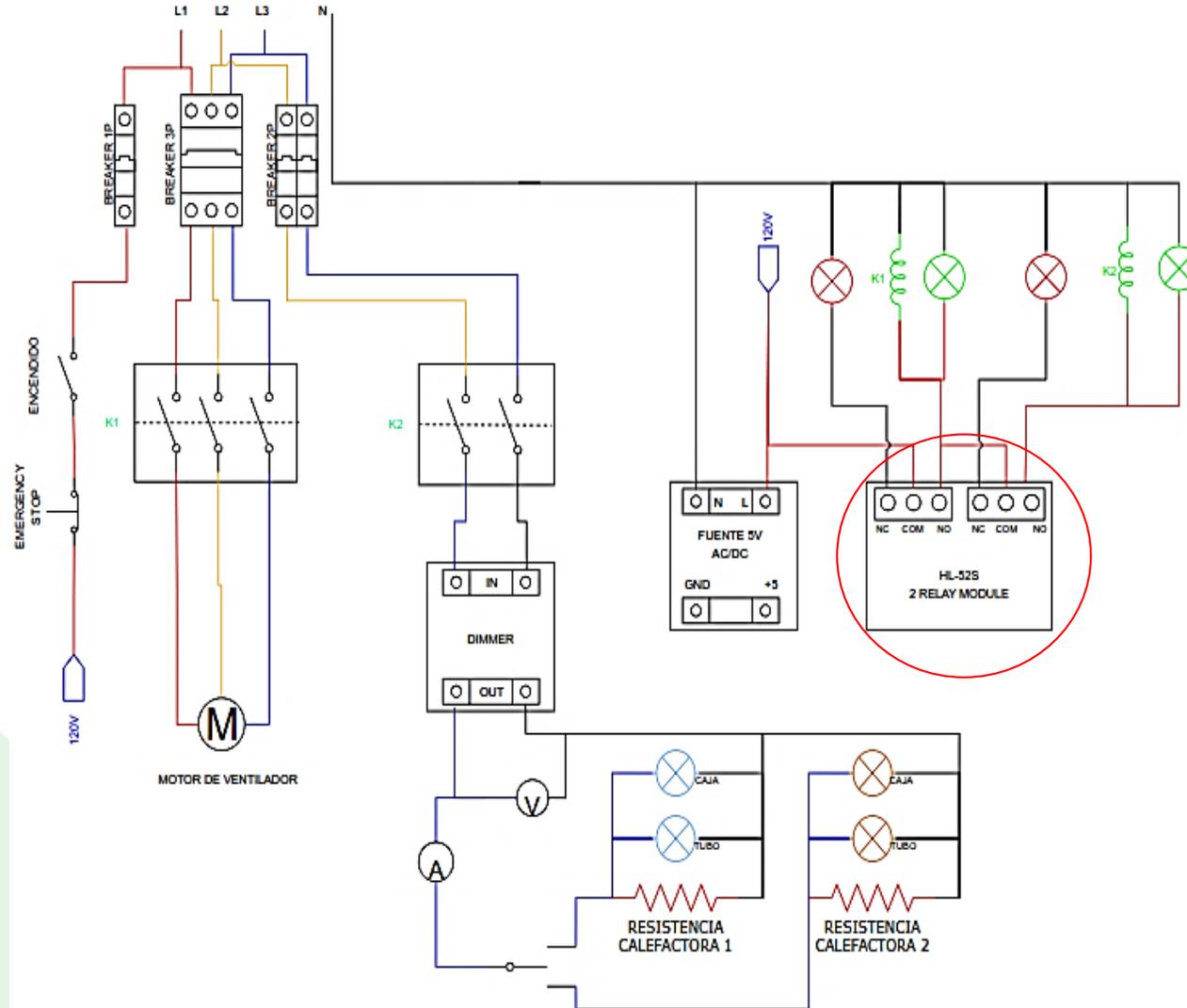
Figura 13. Modificación de la estructura para el sistema de adquisición de datos





Sistema eléctrico de control

Figura 14. Diagrama de conexión eléctrica rediseñado



Objetivos

Levantamiento
técnico

[Repotenciación](#)

Adquisición de datos

Interfaz de usuario
(HMI)

Puesta a punto

Rediseño Térmico

Pruebas de
Funcionamiento

Resultados

Conclusiones

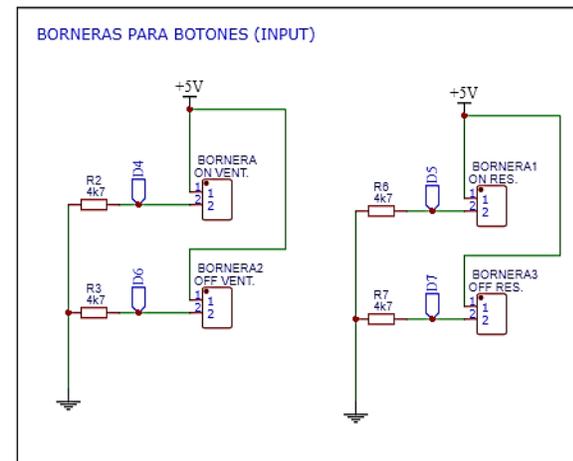
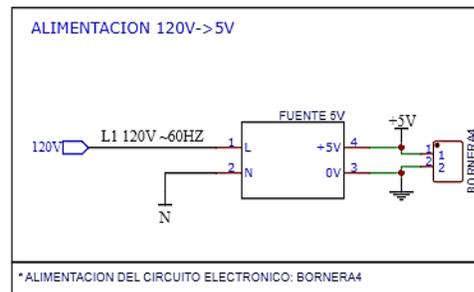
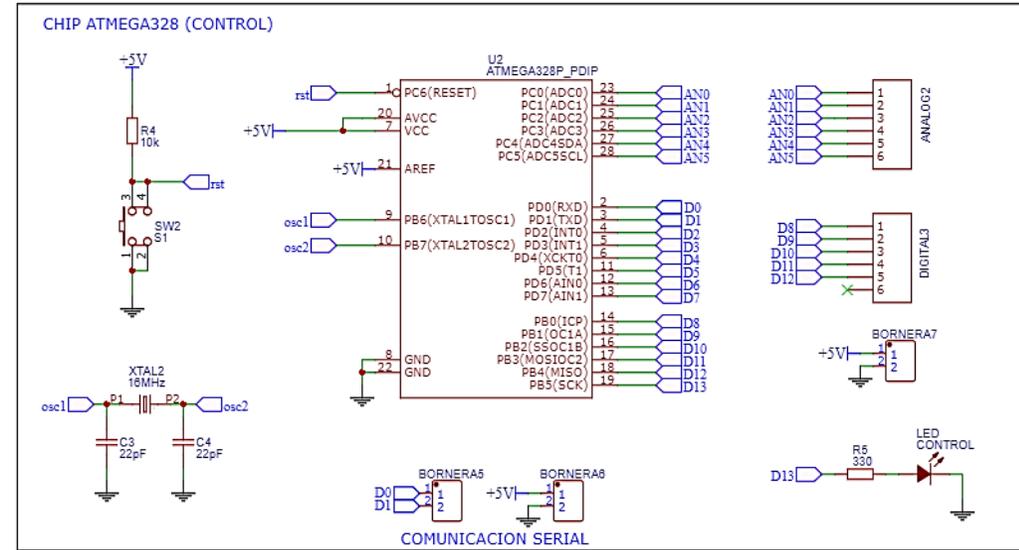
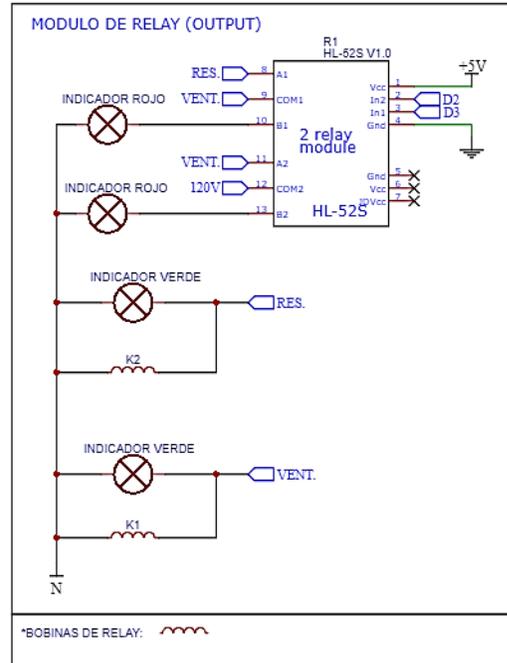
Recomendaciones

Referencias



Sistema eléctrico de control

Figura 15. Diagrama de circuito eléctrico de control con chip Atmega328p-pu



Objetivos

Levantamiento
técnico

Repotenciación

Adquisición de datos

Interfaz de usuario
(HMI)

Puesta a punto

Rediseño Térmico

Pruebas de
Funcionamiento

Resultados

Conclusiones

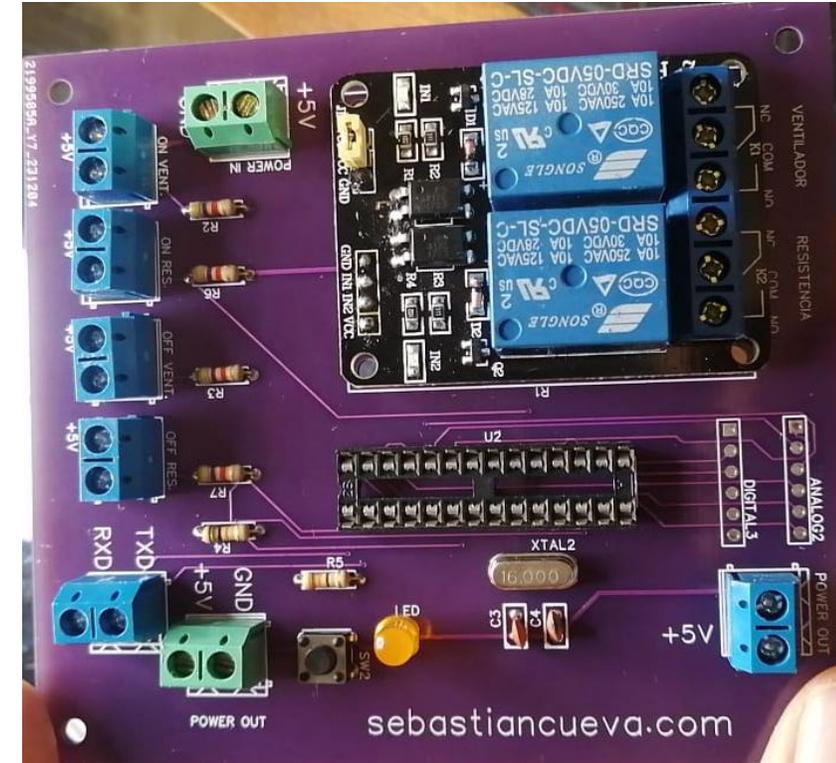
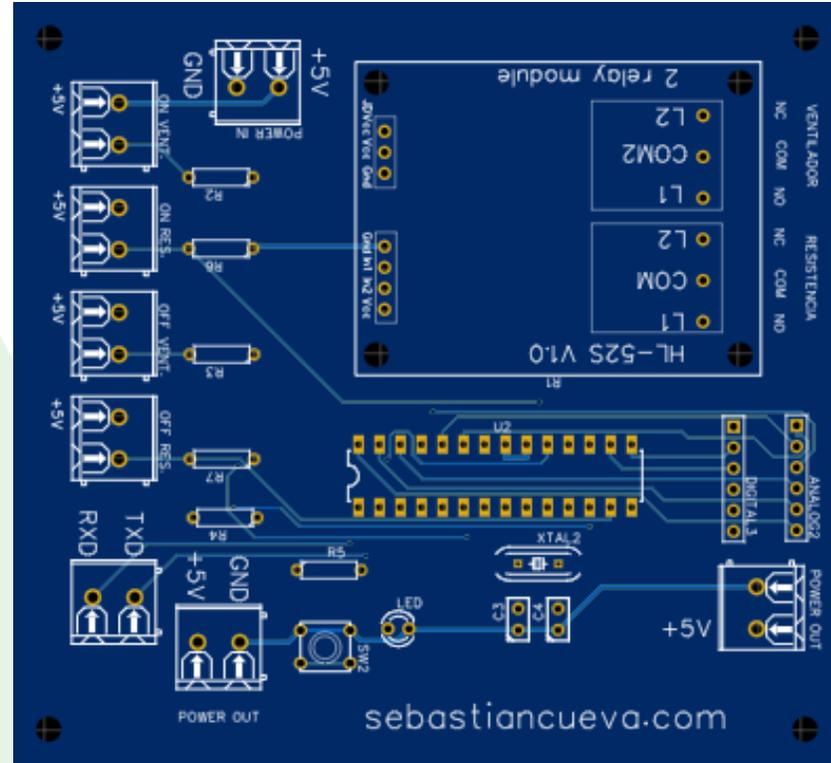
Recomendaciones

Referencias



Sistema eléctrico de control

Figura 16. De izquierda a derecha. Diseño de placa PCB de control. Placa PCB con sus componentes ya soldados



Objetivos

Levantamiento
técnico

Repotenciación

Adquisición de datos

Interfaz de usuario
(HMI)

Puesta a punto

Rediseño Térmico

Pruebas de
Funcionamiento

Resultados

Conclusiones

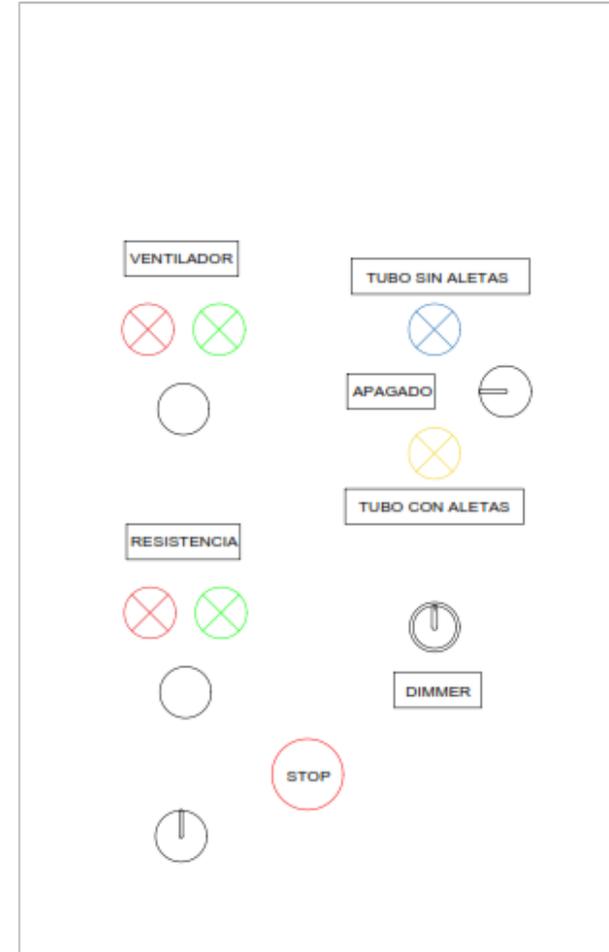
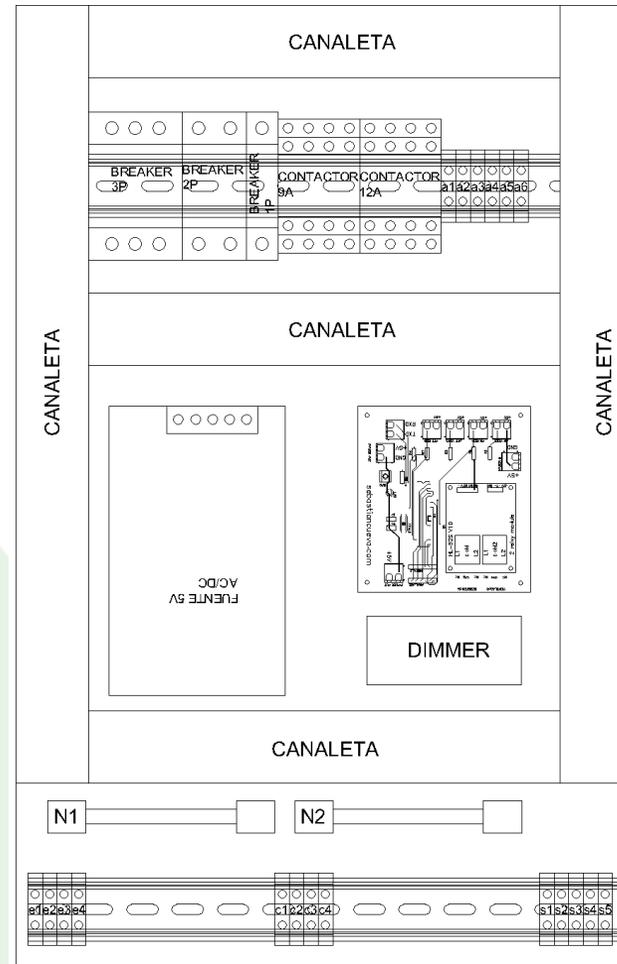
Recomendaciones

Referencias



Sistema eléctrico de control

Figura 17. Diseño y distribución de componentes en el tablero de control. A la izquierda el interior, a la derecha el exterior.



Objetivos

Levantamiento
técnico

[Repotenciación](#)

Adquisición de datos

Interfaz de usuario
(HMI)

Puesta a punto

Rediseño Térmico

Pruebas de
Funcionamiento

Resultados

Conclusiones

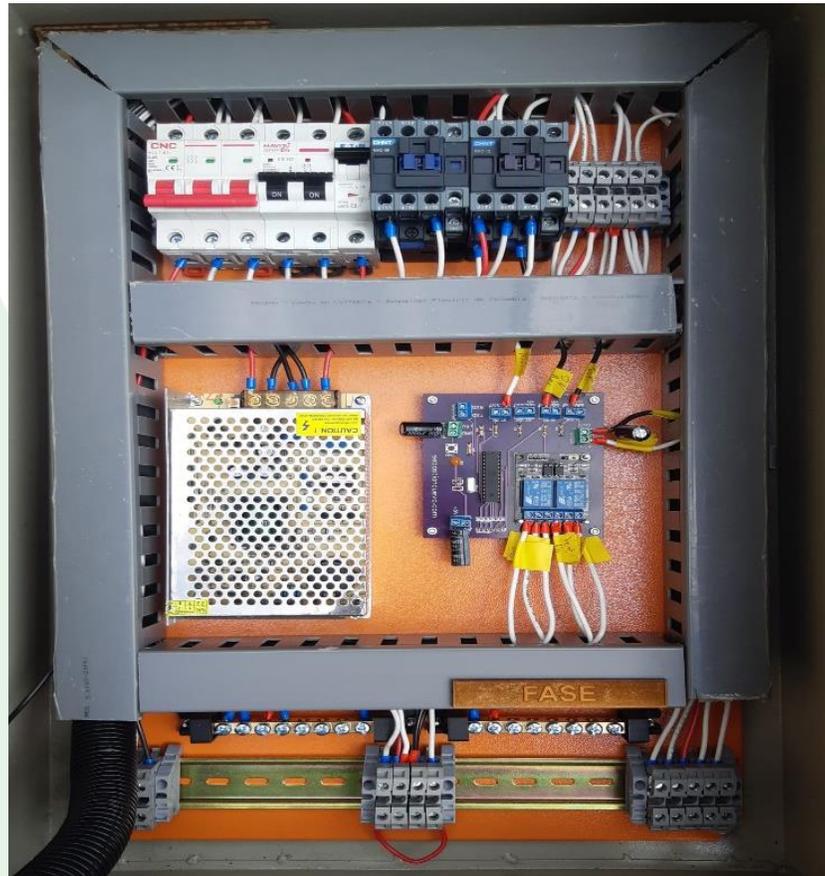
Recomendaciones

Referencias



Sistema eléctrico de control

Figura 18. Tablero de control armado. A la izquierda el interior, a la derecha el exterior.



Objetivos

Levantamiento
técnico

Repotenciación

Adquisición de datos

Interfaz de usuario
(HMI)

Puesta a punto

Rediseño Térmico

Pruebas de
Funcionamiento

Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Referencias



Selección de sensores

Tabla 4. Magnitudes físicas para medir y cantidad de sensores necesarios.

Variables	Cantidad
Temperatura	28
Diferencial de Presión	7
Presión	1
Voltaje	1
Amperaje	1
Total	38

Tabla 5. Tabla de decisión para selección de controlador.

Parámetro	Ponderación	Arduino Mega ADK Rev 3	Delta PLC DVP Analog Version	Raspberry Pi 3 Model B
Voltaje de Alimentación	10	10	8	10
Número de canales	10	10	10	9
Facilidad de programación	10	10	9	10
Tamaño y montaje	10	9	10	10
Costo	10	10	7	10
Disponibilidad en el mercado	10	8	9	10
Total	60	58	53	59

Objetivos

Levantamiento
técnico

Repotenciación

[Adquisición de datos](#)

Interfaz de usuario
(HMI)

Puesta a punto

Rediseño Térmico

Pruebas de
Funcionamiento

Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Referencias



Selección de sensores

Tabla 6. Tabla de decisión para sensor de temperatura.

Parámetro	Ponderación	Termocuplas tipo K	PT100	HDT-500
Voltaje de alimentación	10	10	10	10
Rango de temperatura	10	10	10	10
Costo	10	10	9	8
Longitud de Sonda	10	10	8	8
Facilidad de instalación	10	9	8	8
Tiempo de Respuesta	10	10	10	10
Total	60	59	55	54

Tabla 7. Tabla de decisión para sensor diferencial de presión.

Parámetro	Ponderación	GXPS500	MPX5010DP	AEP DF2
Voltaje de alimentación	10	10	10	10
Temperatura de trabajo	10	7	10	7
Rango de medición	10	9	10	5
Resolución	10	8	10	8
Costo	10	8	9	9
Facilidad de instalación	10	10	10	10
Total	60	55	59	49

Objetivos

Levantamiento
técnico

Repotenciación

[Adquisición de datos](#)

Interfaz de usuario
(HMI)

Puesta a punto

Rediseño Térmico

Pruebas de
Funcionamiento

Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Referencias

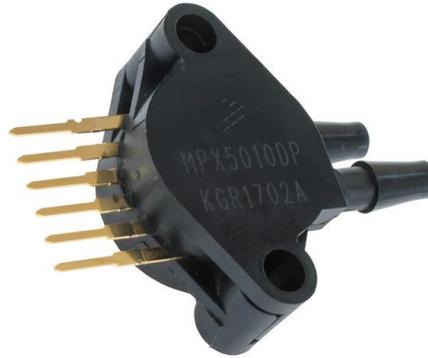


Selección de sensores

Figura 19. Componentes seleccionados. a) Raspberry Pi 3B. b) MPX5010DP. c) Termocupla tipo K. d) SCT-013. e) puente rectificador.



a)



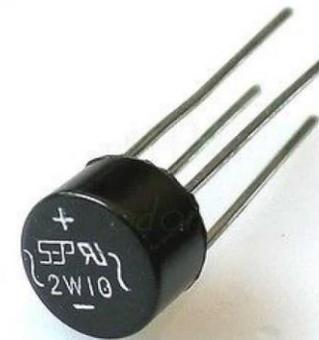
b)



c)



d)



e)

Objetivos

Levantamiento
técnico

Repotenciación

Adquisición de datos

Interfaz de usuario
(HMI)

Puesta a punto

Rediseño Térmico

Pruebas de
Funcionamiento

Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Referencias



Conversión de magnitudes analógicas

Figura 20. Componentes utilizados para la lectura de datos analógicos. a) convertidor analógico a digital ADS1115. b) driver para termocupla MAX31855

Objetivos

Levantamiento
técnico

Repotenciación

[Adquisición de datos](#)

Interfaz de usuario
(HMI)

Puesta a punto

Rediseño Térmico

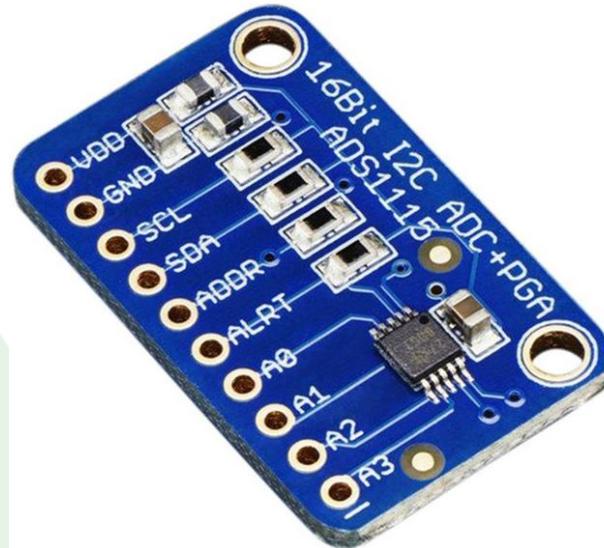
Pruebas de
Funcionamiento

Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Referencias



a)

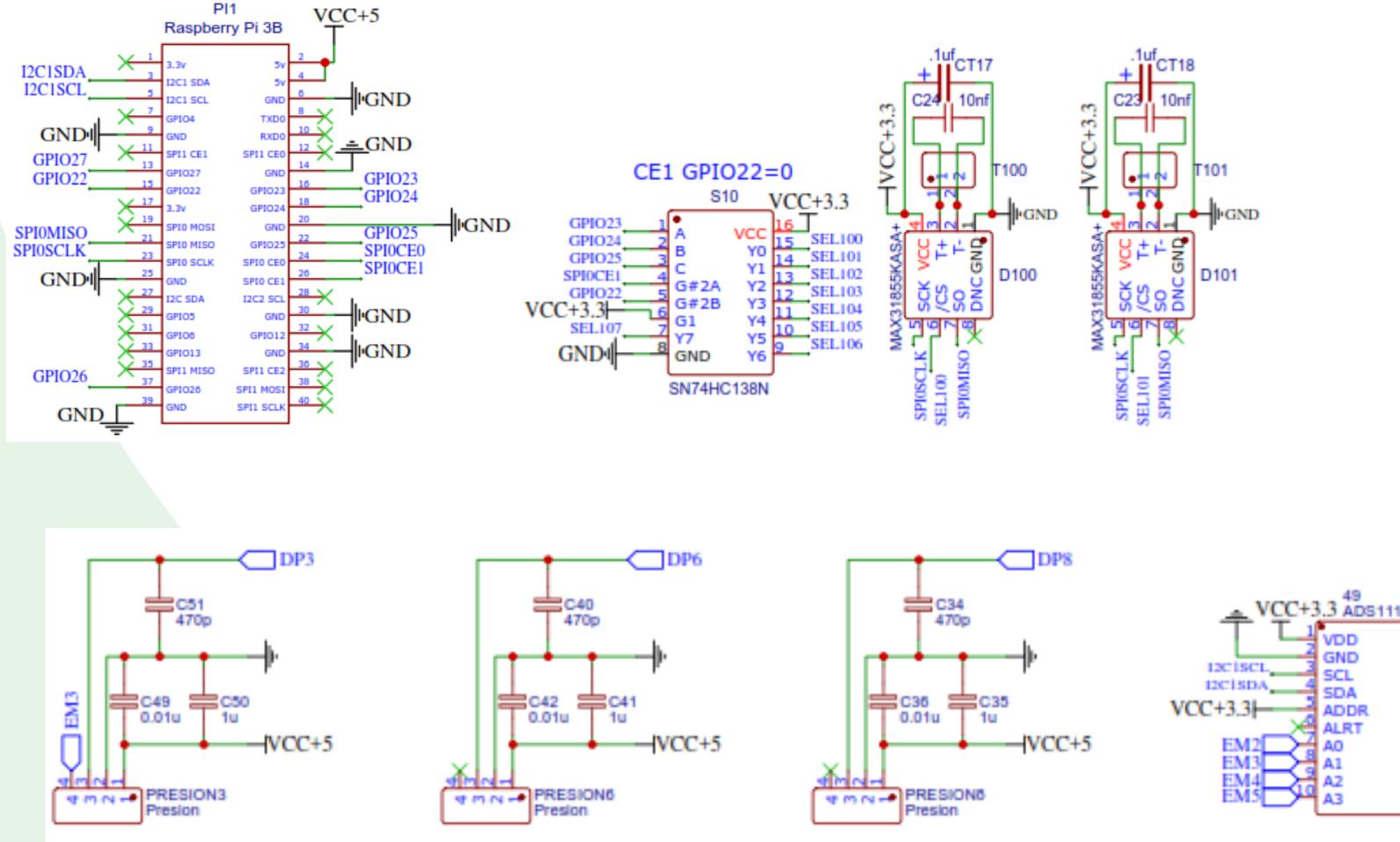


b)



Placa para adquisición de datos

Figura 21. Diagrama de conexión eléctrica de la placa de adquisición de datos.



Objetivos

Levantamiento
técnico

Repotenciación

Adquisición de datos

Interfaz de usuario
(HMI)

Puesta a punto

Rediseño Térmico

Pruebas de
Funcionamiento

Resultados

Conclusiones

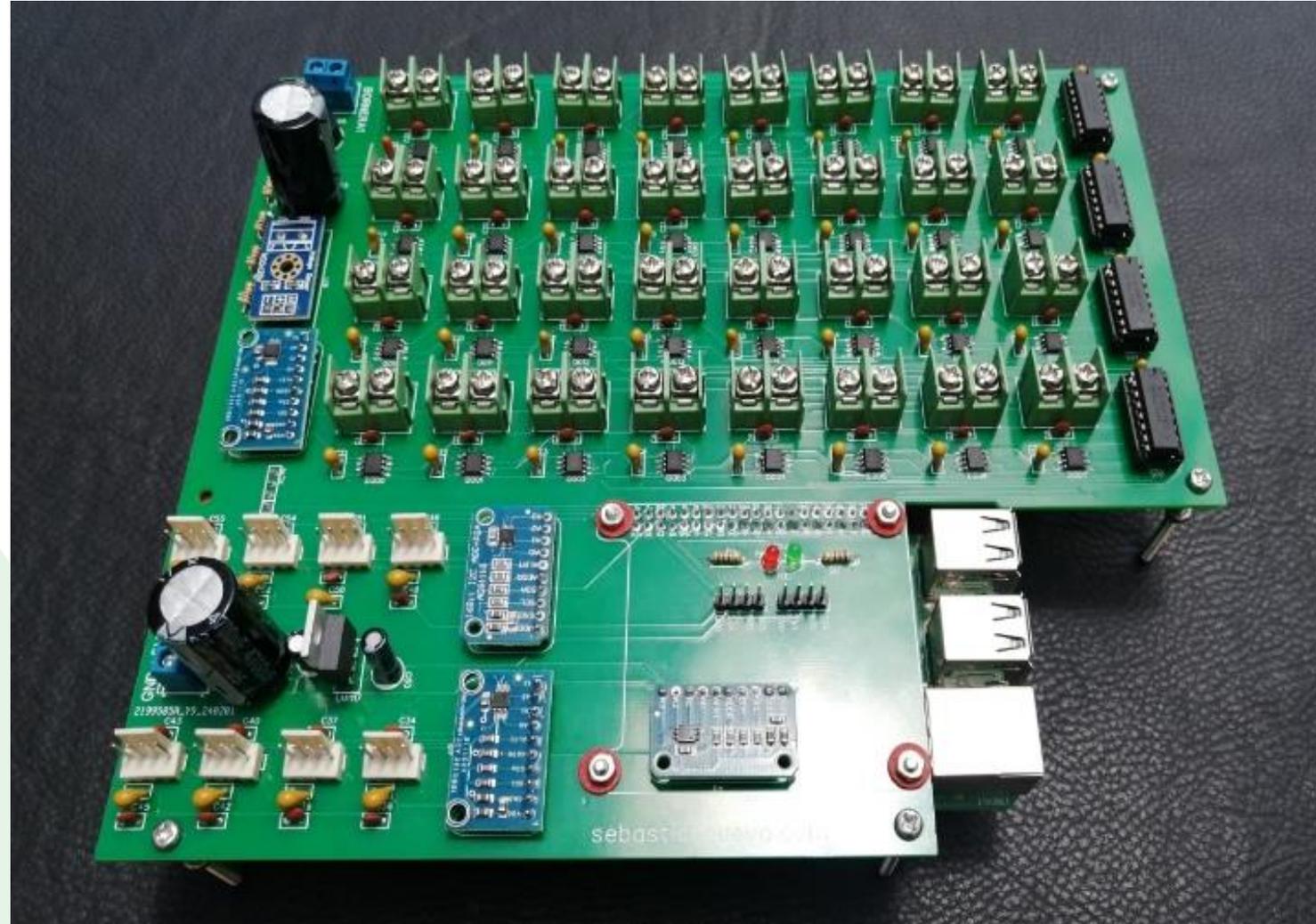
Recomendaciones

Referencias



Placa para adquisición de datos

Figura 22. Placa PCB para adquisición de datos con sus componentes ya soldados



Objetivos

Levantamiento
técnico

Repotenciación

Adquisición de datos

Interfaz de usuario
(HMI)

Puesta a punto

Rediseño Térmico

Pruebas de
Funcionamiento

Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Referencias



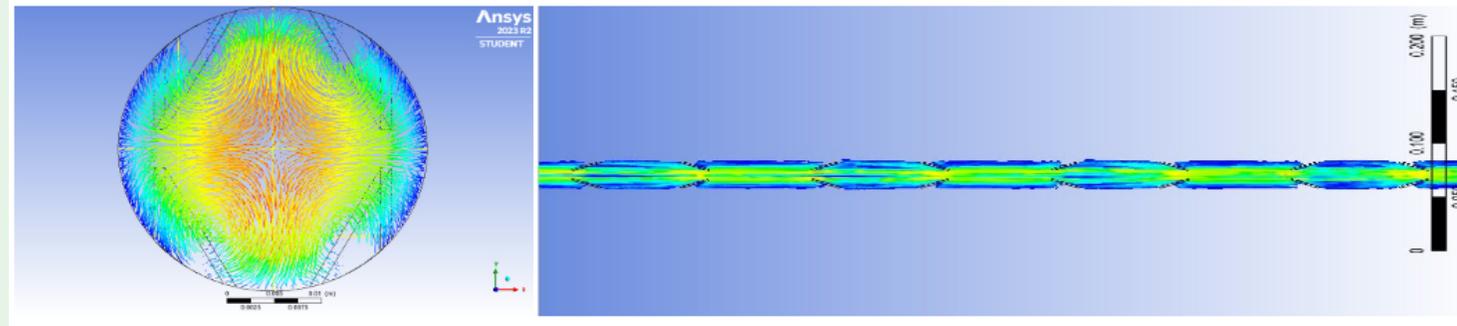
Diseño de página web en HTML

Figura 23. Disposición de la página web para toma de datos de la práctica de tubería con aletas.

Temperatura [oC]			
Ti	0	T7	0
T1	0	T8	0
T2	0	T9	0
T3	0	T10	0
T4	0	T11	0
T5	0	T12	0
T6	0	T13	0

Presión [mmH2O]	
P Ventilador	0
DeltaP Tubo PITOT 1	0
DeltaP Tubo PITOT 2	0
DeltaP Tubo PITOT 3	0
DeltaP Longitud de Prueba	0

Amperaje [A]	0
Voltaje [V]	0



Objetivos

Levantamiento
técnico

Repotenciación

Adquisición de datos

[Interfaz de usuario
\(HMI\)](#)

Puesta a punto

Rediseño Térmico

Pruebas de
Funcionamiento

Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Referencias



Presentación de datos

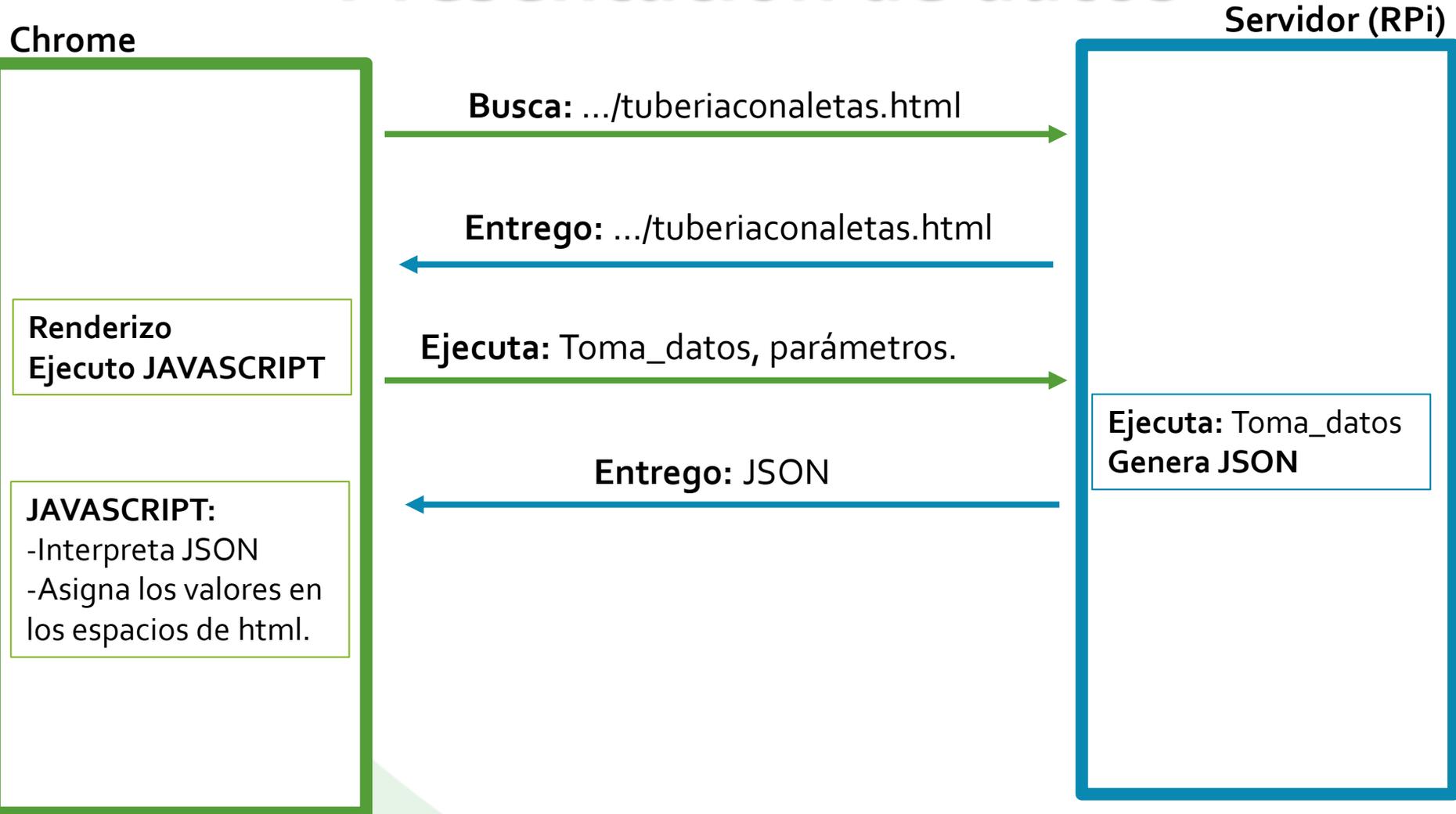


Figura 24. Diagrama de funcionamiento del sistema de presentación de datos.

Objetivos

Levantamiento
técnico

Repotenciación

Adquisición de datos

[Interfaz de usuario
\(HMI\)](#)

Puesta a punto

Rediseño Térmico

Pruebas de
Funcionamiento

Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Referencias



Calibración de sensores de presión

Objetivos

Levantamiento técnico

Repotenciación

Adquisición de datos

Interfaz de usuario (HMI)

[Puesta a punto](#)

Rediseño Térmico

Pruebas de Funcionamiento

Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Referencias



Figura 25. Medidor de presión utilizado como referencia para calibración.

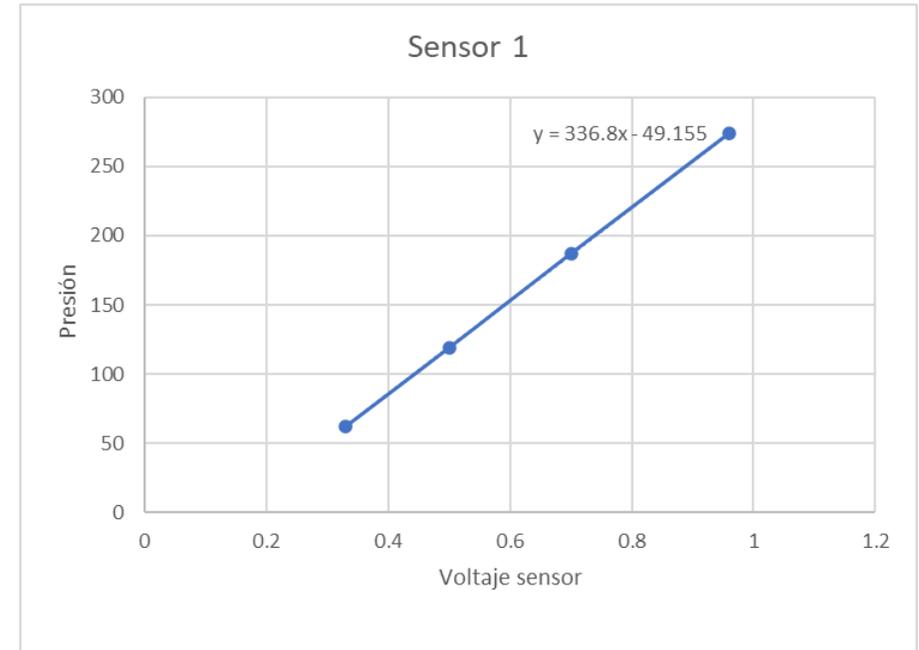


Figura 26. Gráfica de voltaje entregado por el sensor contra la presión en mmH₂O y ecuación de calibración obtenida de la curva.



Calibración de sensor de voltaje

Objetivos

Levantamiento
técnico

Repotenciación

Adquisición de datos

Interfaz de usuario
(HMI)

[Puesta a punto](#)

Rediseño Térmico

Pruebas de
Funcionamiento

Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Referencias



Figura 27. Medidor de voltaje utilizado como referencia para calibración.

Voltaje AC

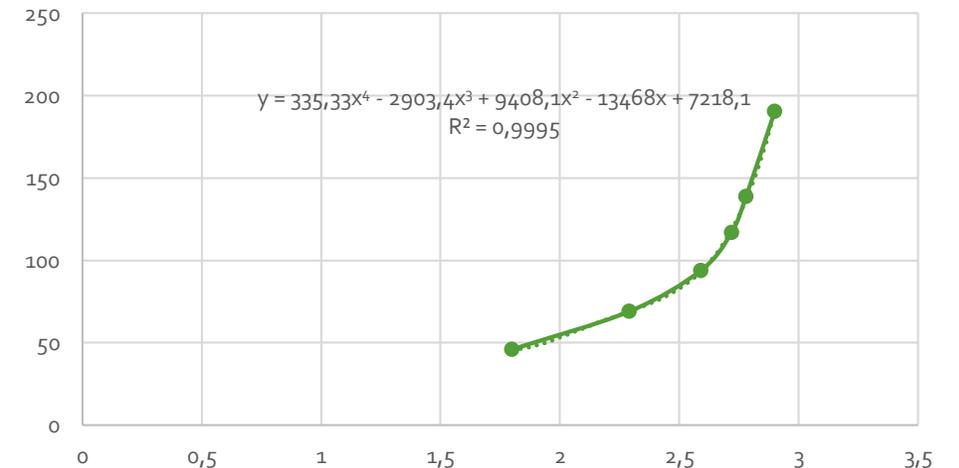


Figura 28. Gráfica de voltaje entregado por el sensor contra el voltaje AC y ecuación de calibración obtenida de la curva.



Calibración de sensor de corriente

Objetivos

Levantamiento técnico

Repotenciación

Adquisición de datos

Interfaz de usuario (HMI)

[Puesta a punto](#)

Rediseño Térmico

Pruebas de Funcionamiento

Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Referencias



Figura 29. Medidor de corriente utilizado como referencia para calibración.

$$i = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=0}^N i_n^2}$$

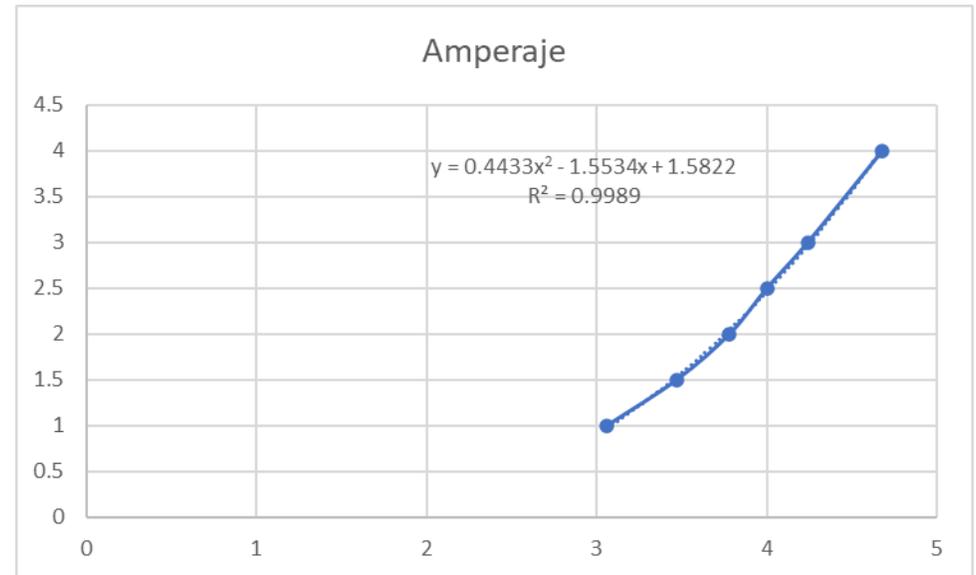


Figura 30. Gráfica de voltaje entregado por el sensor contra la corriente AC y ecuación de calibración obtenida de la curva.



Verificación de funcionamiento

Tabla 8. Datos tomados de los sensores de temperatura para verificar su correcto funcionamiento.

	Tubería sin Aletas													
	Temperatura													
Prueba	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14
1	37,00	44,75	49,00	49,75	58,25	60,50	64,75	63,00	130,00	97,00	99,00	50,00	55,50	44,75
2	37,00	44,50	49,00	49,75	58,00	60,50	64,50	63,25	130,00	97,00	99,25	50,00	55,50	44,75
3	36,75	44,50	49,00	50,00	58,25	60,50	64,75	63,25	130,25	97,00	99,25	50,00	55,25	45,00
4	37,00	44,50	49,25	49,50	58,25	60,75	65,00	63,00	130,00	97,00	99,00	50,25	55,75	45,00
5	37,25	45,00	49,00	50,00	58,50	60,25	64,50	63,00	129,75	97,25	99,00	50,25	55,75	44,50
6	37,25	44,75	48,75	49,50	58,00	60,50	64,75	63,25	129,75	97,25	98,75	49,75	55,50	44,50
7	37,00	45,00	48,75	50,00	58,50	60,75	65,00	63,00	130,00	96,75	98,75	50,00	55,25	45,00
8	37,00	44,75	49,00	49,75	58,50	60,75	65,00	63,00	130,00	97,00	99,00	50,25	55,50	44,75
9	37.25	45	49	50	58.5	60.25	64.5	63	129.75	97.25	99	50.25	55.75	44.5
10	37	44.5	49	49.75	58	60.5	64.5	63.25	130	97	99.25	50	55.5	44.75

Objetivos

Levantamiento técnico

Repotenciación

Adquisición de datos

Interfaz de usuario (HMI)

[Puesta a punto](#)

Rediseño Térmico

Pruebas de Funcionamiento

Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Referencias



Verificación de funcionamiento

Objetivos

Levantamiento
técnico

Repotenciación

Adquisición de datos

Interfaz de usuario
(HMI)

[Puesta a punto](#)

Rediseño Térmico

Pruebas de
Funcionamiento

Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Referencias

Tabla 9. Análisis estadístico de la termocupla T1.

Variable	Valor
Media	37.05
Mediana	37
Moda	37
Desviación estándar	0.16
Varianza de la muestra	0.025
Rango	0.5
Mínimo	36.75
Máximo	37.25



Importancia del Rediseño Térmico

Figura 31. Unidad de transferencia de calor por convección forzada



Objetivos

Levantamiento
técnico

Repotenciación

Adquisición de datos

Interfaz de usuario
(HMI)

Puesta a punto

[Rediseño Térmico](#)

Pruebas de
Funcionamiento

Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Referencias



Implementar una tubería con generadores de vórtices con el fin de conocer como varia el coeficiente de convección

Figura 32. Modelo de conexión de tuberías

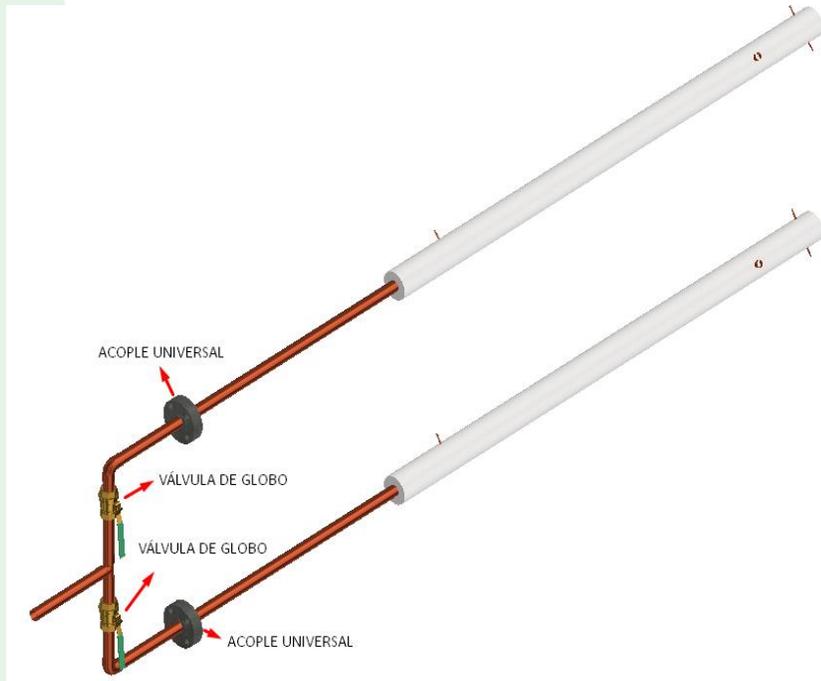


Figura 33. Partes del acople universal

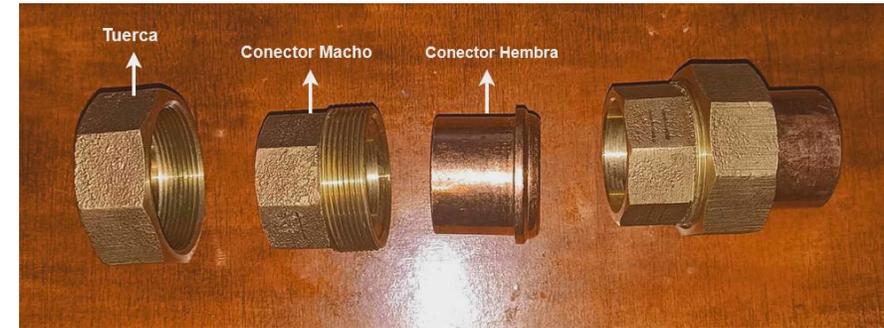


Figura 34. Accesorios para el sistema de conexión



Objetivos

Levantamiento
técnico

Repotenciación

Adquisición de datos

Interfaz de usuario
(HMI)

Puesta a punto

[Rediseño Térmico](#)

Pruebas de
Funcionamiento

Resultados

Conclusiones

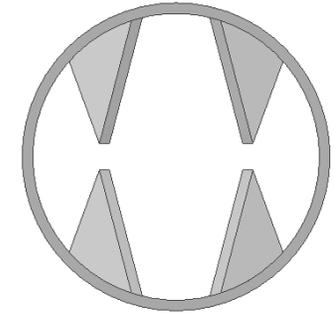
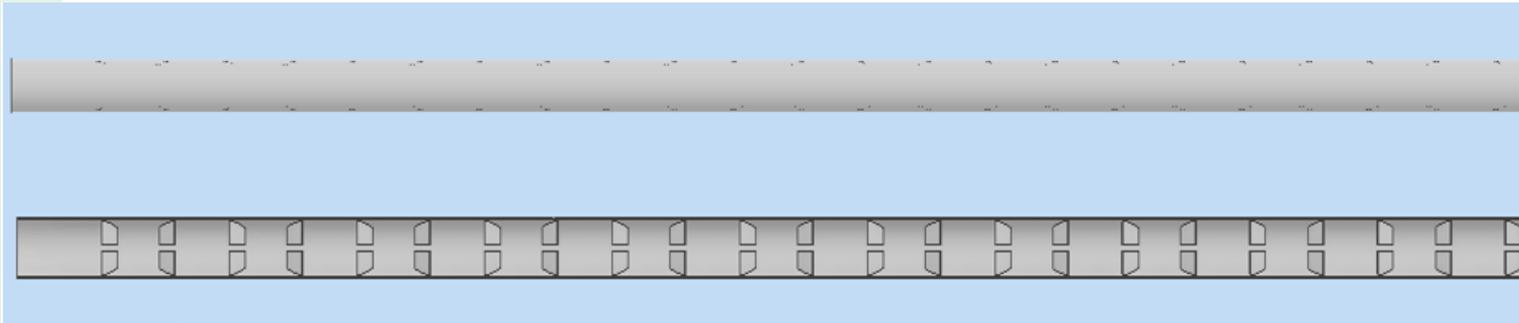
Recomendaciones

Referencias



DISEÑO DE LOS GENERADORES DE VÓRTICES

Figura 35. Tubería horizontal con aletas



Objetivos

Levantamiento
técnico

Repotenciación

Adquisición de datos

Interfaz de usuario
(HMI)

Puesta a punto

[Rediseño Térmico](#)

Pruebas de
Funcionamiento

Resultados

Conclusiones

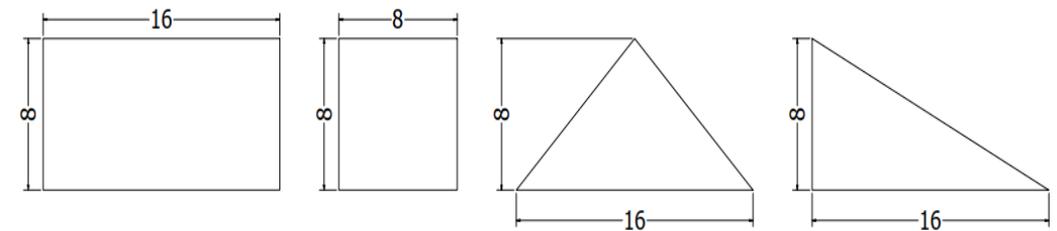
Recomendaciones

Referencias

Tabla 10. Dimensiones de los GV

Forma de la aleta	Dimensiones
Rectangular	16 mm x 8 mm
Cuadrada	8 mm x 8 mm
Triangular	16 mm x 8 mm
Delta	16 mm x 8 mm

Figura 36. Dimensiones de los GV





SIMULACIÓN NUMÉRICA

Objetivos

Levantamiento
técnico

Repotenciación

Adquisición de datos

Interfaz de usuario
(HMI)

Puesta a punto

[Rediseño Térmico](#)

Pruebas de
Funcionamiento

Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Referencias

Tabla 11. Datos iniciales del equipo

Parámetro	Símbolo	Valor
Calor generado	W	405 [W]
Presión de entrada	P_{in}	77.97 [kPa]
Presión de salida	P_{out}	75.34 [kPa]
Velocidad de entrada	V	53.44 [m/s]
Temperatura de entrada	T_i	33 [°C]

Tabla 12. Dimensiones del modelo

Parámetro	Símbolo	Valor
Diámetro interno de la tubería	mm	32.6
Espesor de la tubería	mm	1.20
Longitud de prueba	mm	1524
Material	-	Cobre

Figura 37. Asignación de entrada y salida

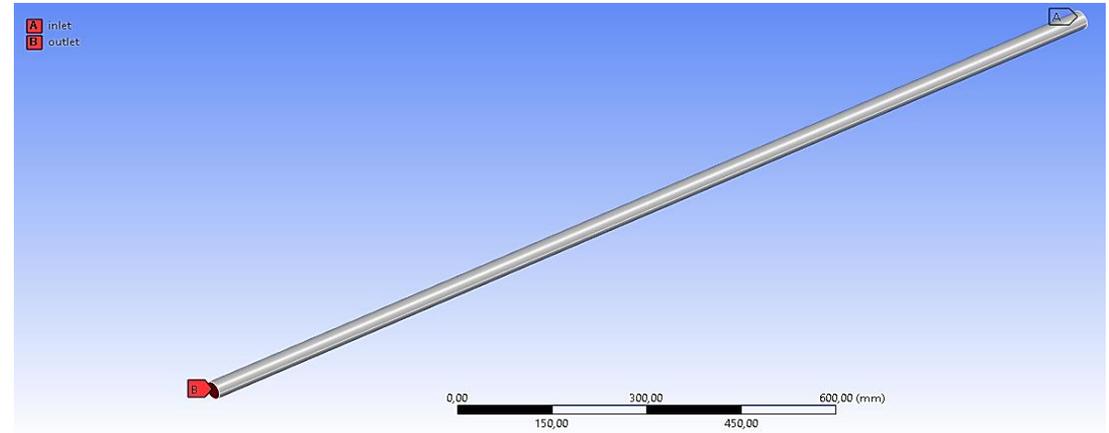
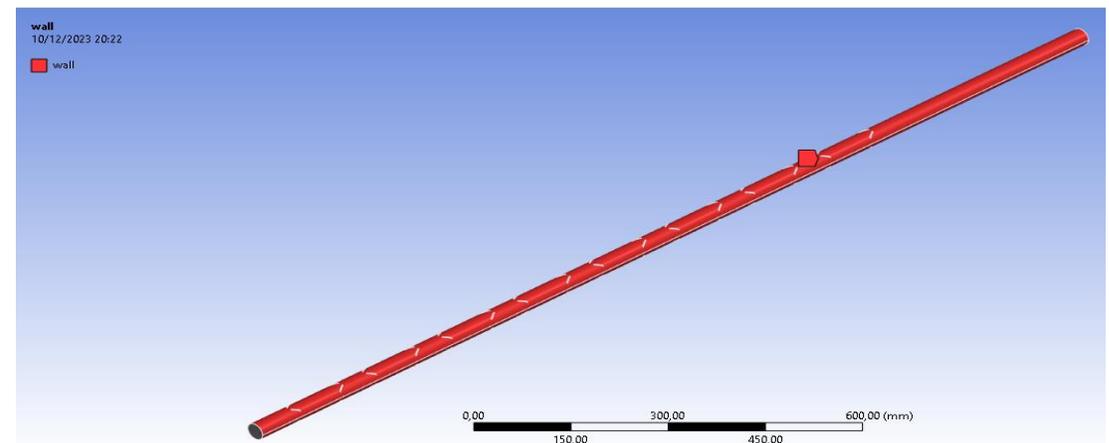


Figura 38. Asignación de paredes





Objetivos

Levantamiento
técnico

Repotenciación

Adquisición de datos

Interfaz de usuario
(HMI)

Puesta a punto

[Rediseño Térmico](#)

Pruebas de
Funcionamiento

Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Referencias

SIMULACIÓN NUMÉRICA

Figura 39. Mallado final del modelo

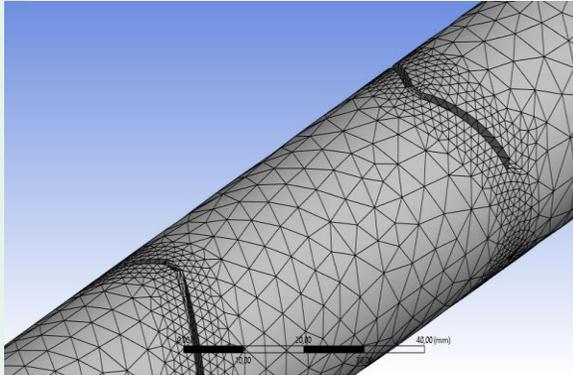


Figura 41. Selección del modelo k – epsilon

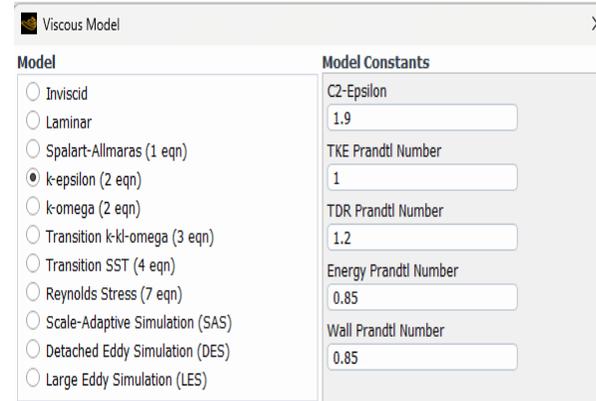


Figura 43. Selección del material

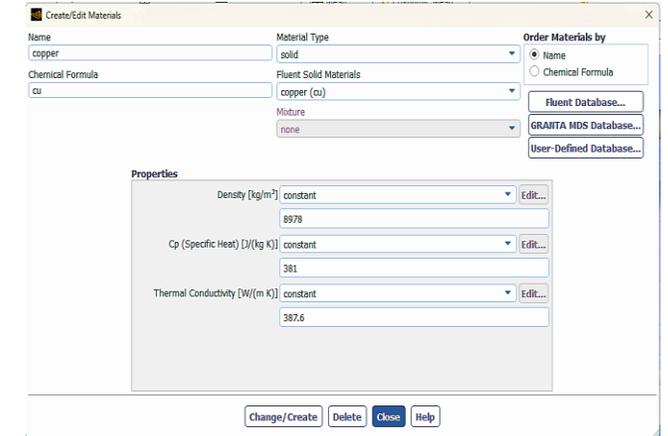


Figura 40. Activación de la ecuación de la energía

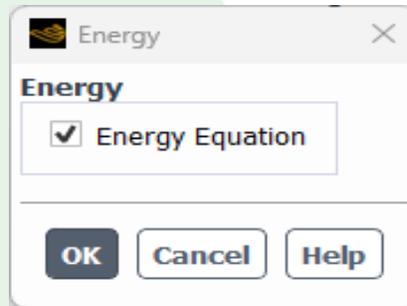


Figura 42. Selección del fluido de trabajo

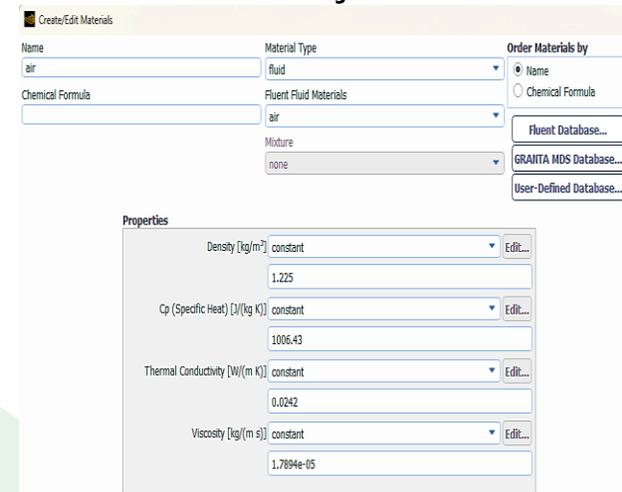
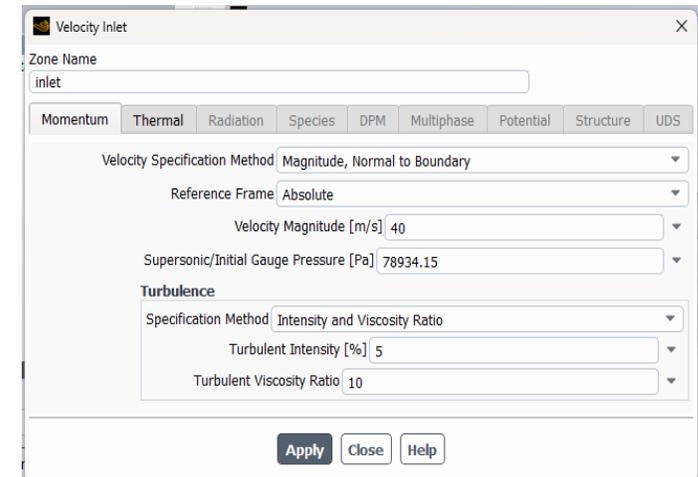


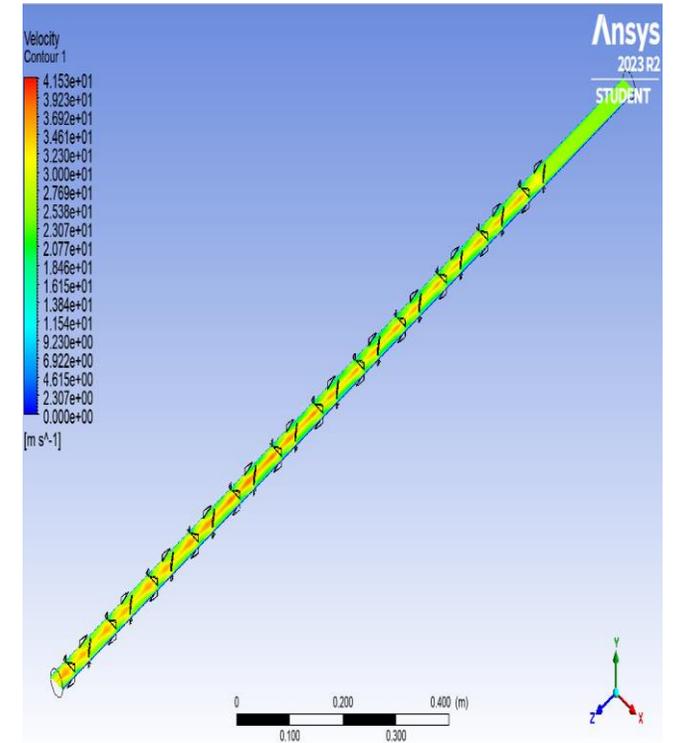
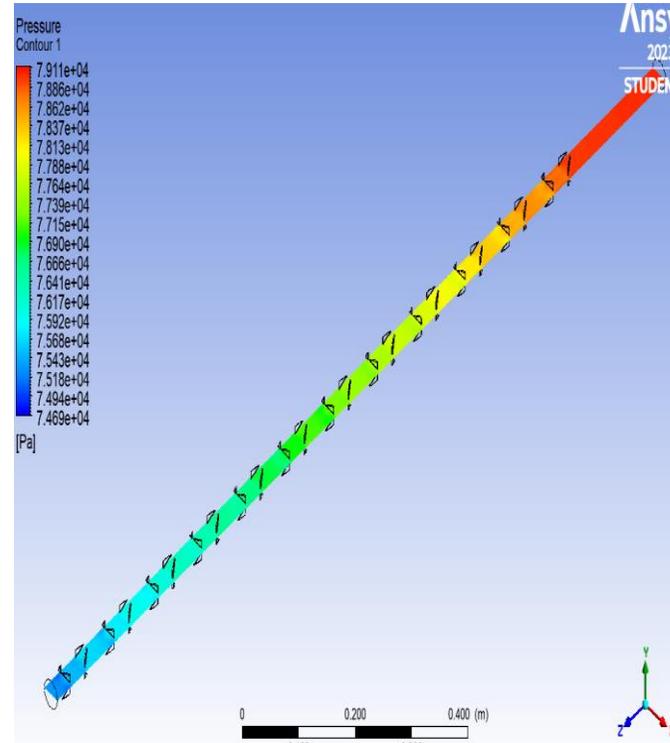
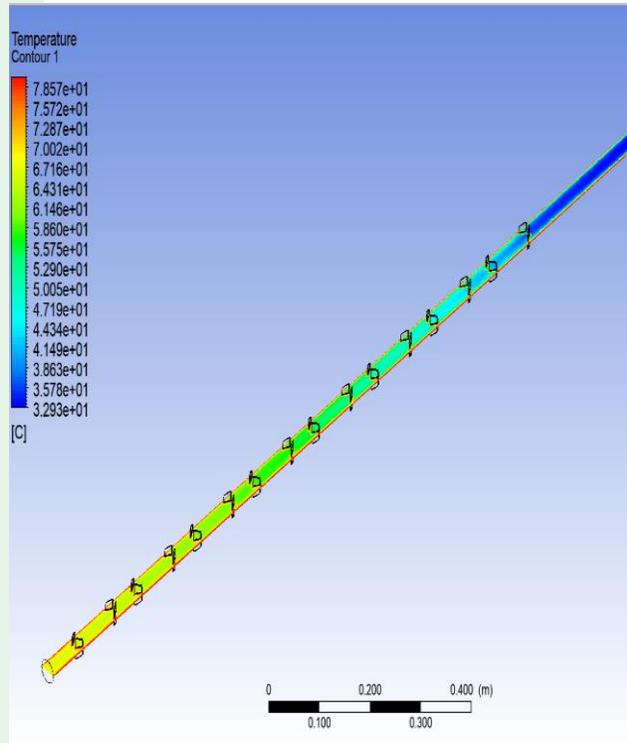
Figura 44. Selección de los parámetros de trabajo





RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

Figura 45. Resultados de la simulación de una tubería con GV



Objetivos

Levantamiento
técnico

Repotenciación

Adquisición de datos

Interfaz de usuario
(HMI)

Puesta a punto

[Rediseño Térmico](#)

Pruebas de
Funcionamiento

Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Referencias

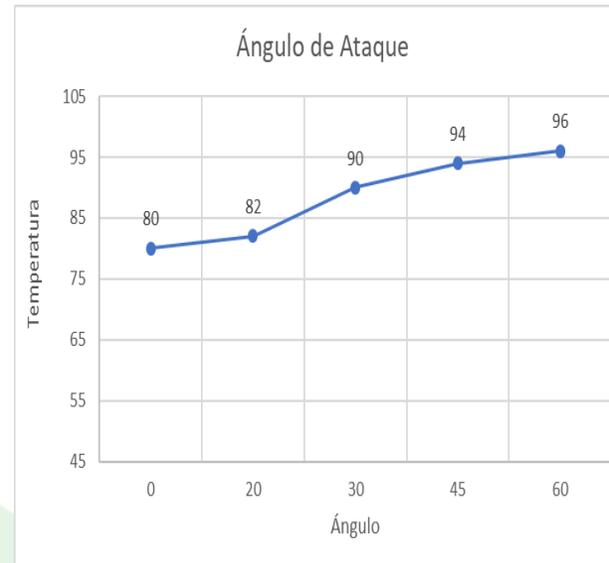
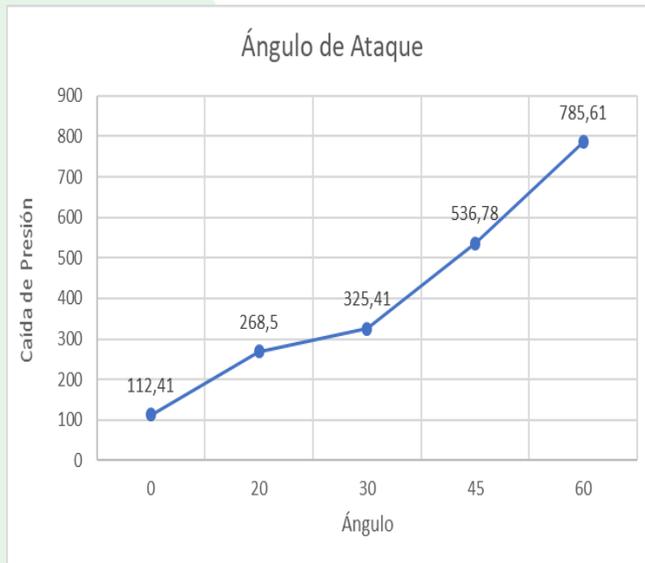


ELECCIÓN DEL ANGULO DE ATAQUE

Tabla 13. Elección del ángulo de ataque

Ángulo				
Grados	Caída de Presión [mmH2O]	Temperatura [°C]	T/CP	h [W/m ² s]
SA	112,41	80	71,17	209,85
20	268,5	82	30,56	238,85
30	325,41	90	27,66	330,59
45	536,78	94	17,51	348,62
60	785,61	96	12,22	359,81

Figura 46. Gráficas caídas de presión, temperatura, coeficiente de convección



Objetivos

Levantamiento
técnico

Repotenciación

Adquisición de datos

Interfaz de usuario
(HMI)

Puesta a punto

[Rediseño Térmico](#)

Pruebas de
Funcionamiento

Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Referencias



ELECCION DE LA FORMA Y NÚMERO

Tabla 14. Aletas cuadradas

Tipo de Aletas			
Cuadradas			
Aletas	Caída de Presión [mmH2O]	Temperatura [°C]	T/CP
24	224,59	85	37,84
64	487,34	88	18,05
96	682,69	95	13,91
160	867,54	101	11,64

Figura 47. Gráficas caídas de presión, temperatura

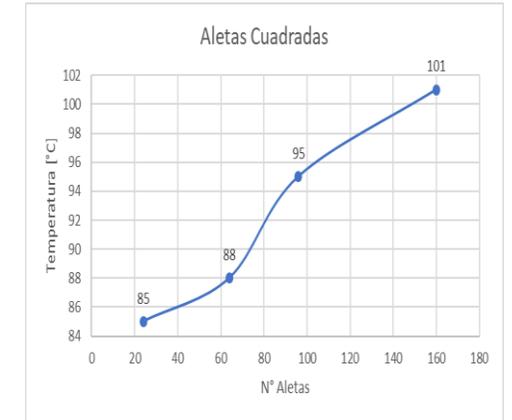
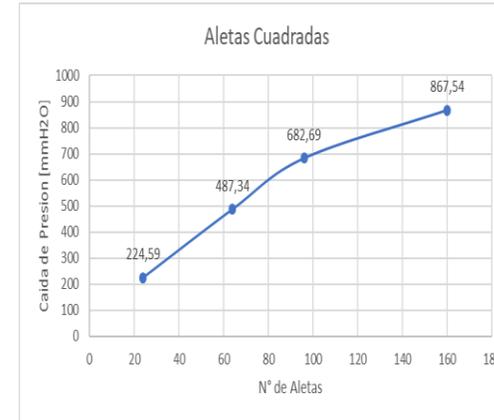
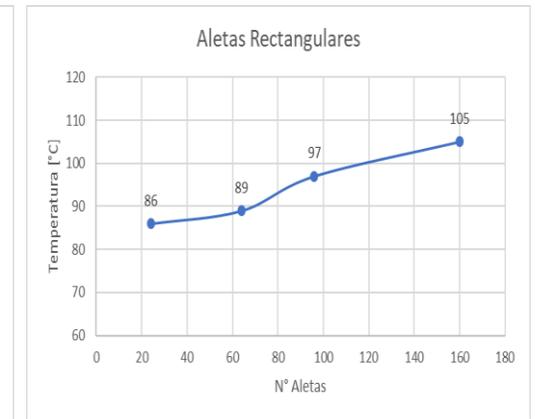
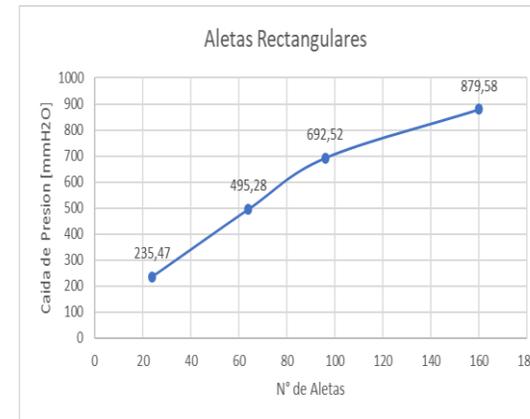


Tabla 15. Aletas rectangulares

Tipo de Aletas			
Rectangular			
Aletas	Caída de Presión [mmH2O]	Temperatura [°C]	T/CP
24	235,47	86	36,52
64	495,28	89	17,96
96	692,52	97	14,00
160	879,58	105	11,93

Figura 48. Gráficas caídas de presión, temperatura



Objetivos

Levantamiento técnico

Repotenciación

Adquisición de datos

Interfaz de usuario (HMI)

Puesta a punto

[Rediseño Térmico](#)

Pruebas de Funcionamiento

Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Referencias



ELECCION DE LA FORMA Y NÚMERO

Tabla 16. Aletas D1

Tipo de Aletas D1			
Aletas	Caída de Presión [mmH2O]	Temperatura [°C]	T/CP
24	121,13	82	67,69
64	265,41	84,5	31,83
96	325,03	90	27,68
160	508,36	96	18,84

Figura 49. Gráficas caídas de presión, temperatura

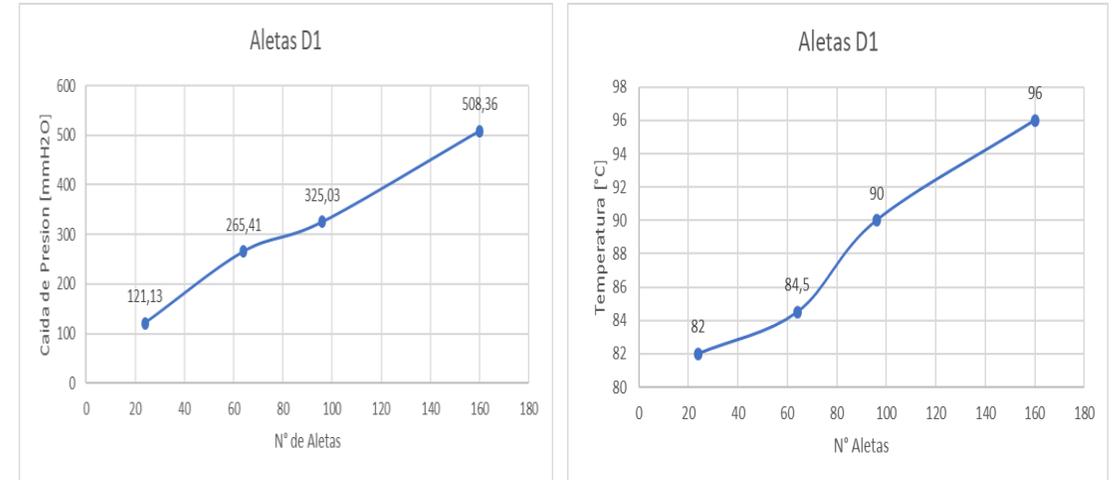
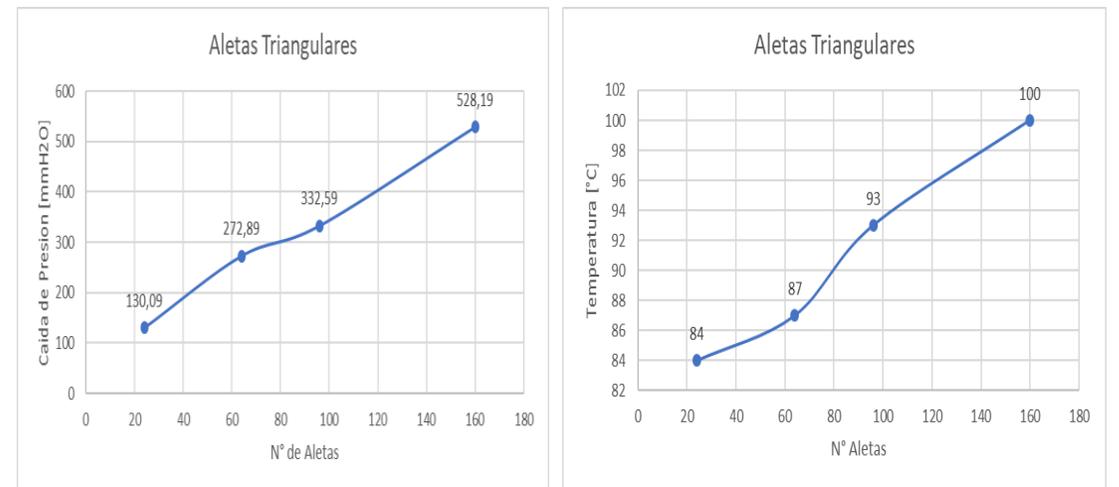


Tabla 17. Aletas triangulares

Tipo de Aletas Triangulares			
Aletas	Caída de Presión [mmH2O]	Temperatura [°C]	T/CP
24	130,09	84	64,57
64	272,89	87	31,88
96	332,59	93	27,96
160	528,19	100	18,93

Figura 50. Gráficas caídas de presión, temperatura



Objetivos

Levantamiento técnico

Repotenciación

Adquisición de datos

Interfaz de usuario (HMI)

Puesta a punto

[Rediseño Térmico](#)

Pruebas de Funcionamiento

Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Referencias



ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN Tubería sin Aletas

Figura 51. Velocidad y temperatura a lo largo de la tubería

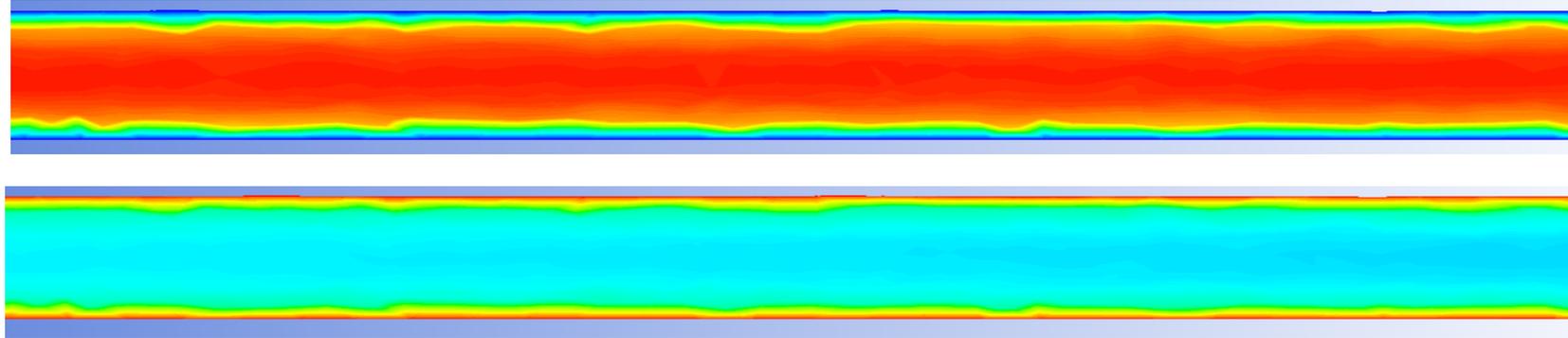


Figura 52. Velocidad en la sección transversal del ducto

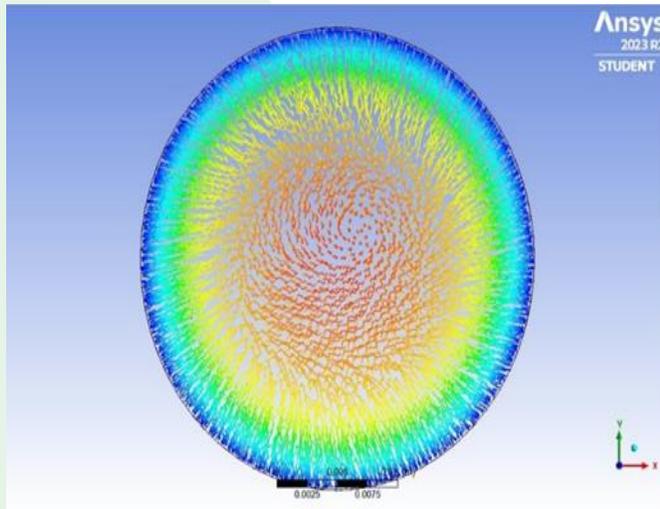


Figura 53. Perfil de velocidad

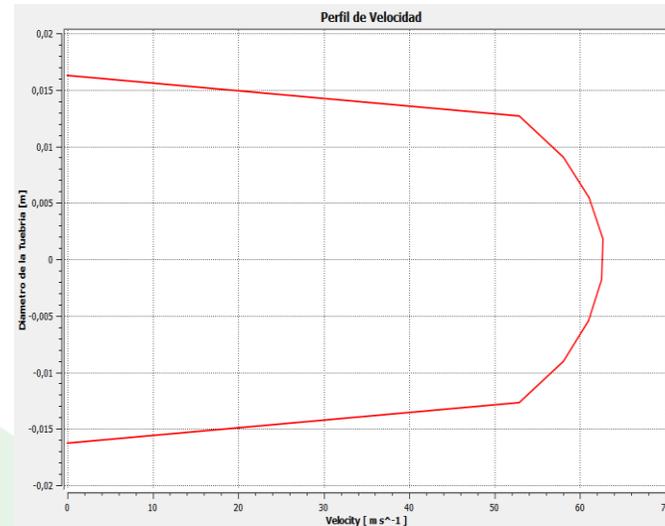
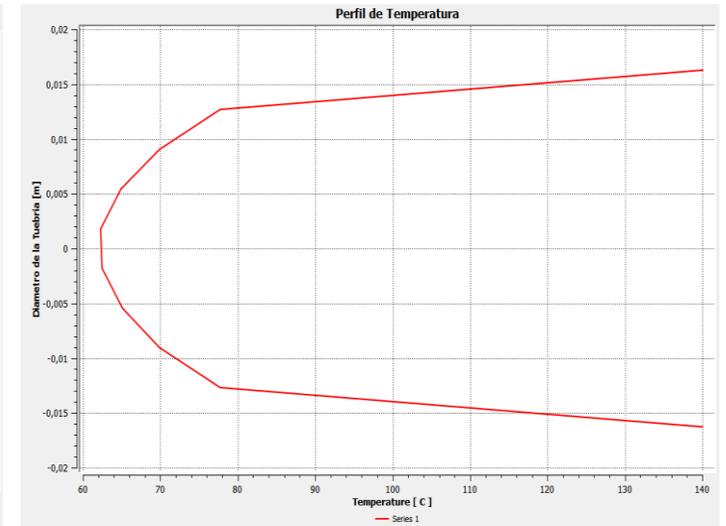


Figura 54. Perfil de temperatura



Objetivos

Levantamiento
técnico

Repotenciación

Adquisición de datos

Interfaz de usuario
(HMI)

Puesta a punto

[Rediseño Térmico](#)

Pruebas de
Funcionamiento

Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Referencias



ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN Tubería con Aletas

Figura 55. Velocidad y temperatura a lo largo de la tubería

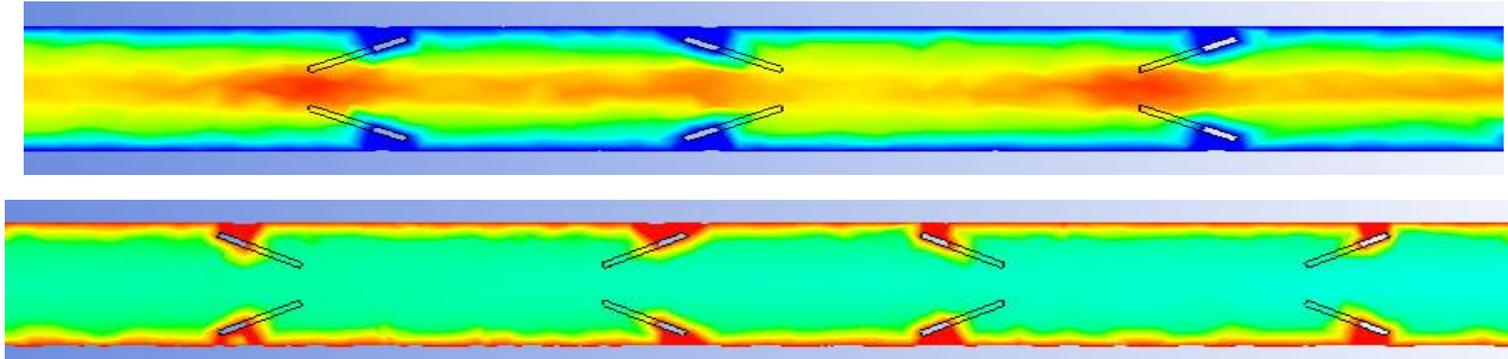


Figura 56. Velocidad en la sección transversal del ducto

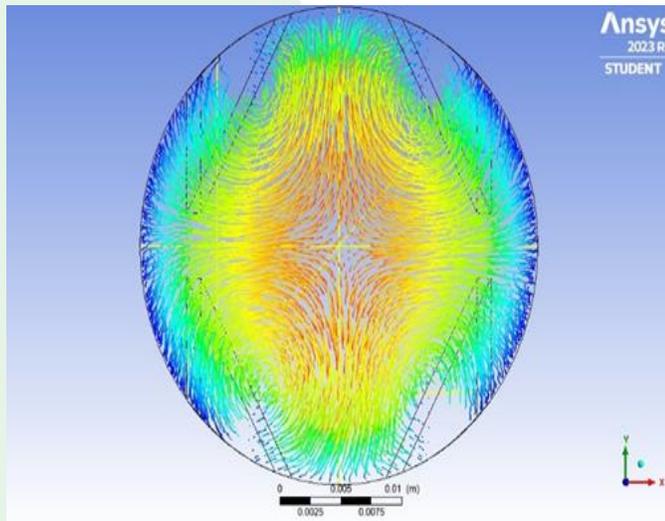


Figura 57. Perfil de velocidad

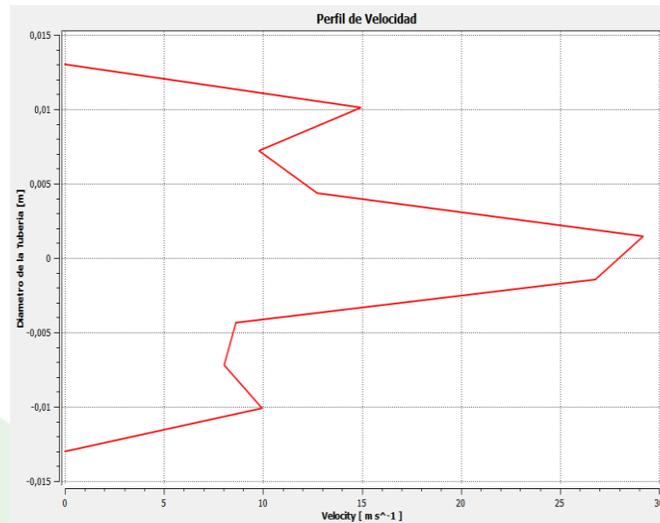
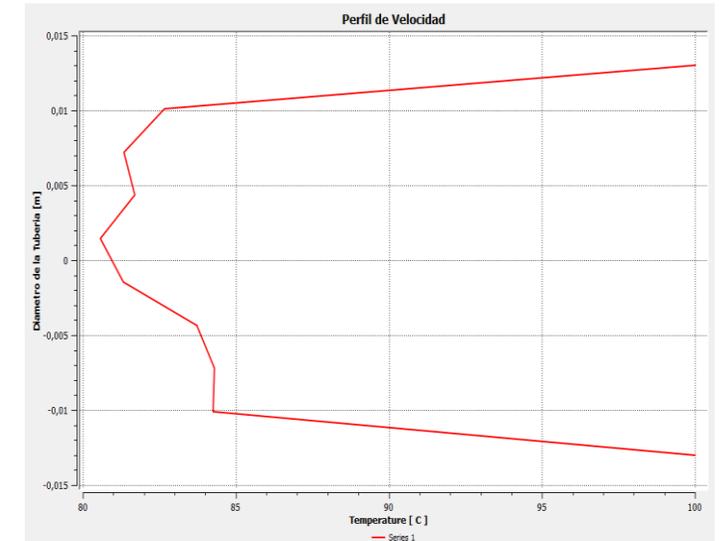


Figura 58. Perfil de temperatura



Objetivos

Levantamiento
técnico

Repotenciación

Adquisición de datos

Interfaz de usuario
(HMI)

Puesta a punto

[Rediseño Térmico](#)

Pruebas de
Funcionamiento

Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Referencias



FABRICACIÓN DEL DUCTO HORIZONTAL

Figura 59. Elaboración de las ranuras



Figura 60. Fabricación de las aletas



Figura 61. Soldadura



Figura 62. Agujeros para termocuplas



Objetivos

Levantamiento
técnico

Repotenciación

Adquisición de datos

Interfaz de usuario
(HMI)

Puesta a punto

[Rediseño Térmico](#)

Pruebas de
Funcionamiento

Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Referencias



FABRICACIÓN DEL DUCTO HORIZONTAL

Figura 63. Unidad de transferencia de calor por convección forzada con sistema de adquisición de datos



Objetivos

Levantamiento
técnico

Repotenciación

Adquisición de datos

Interfaz de usuario
(HMI)

Puesta a punto

[Rediseño Térmico](#)

Pruebas de
Funcionamiento

Resultados

Conclusiones

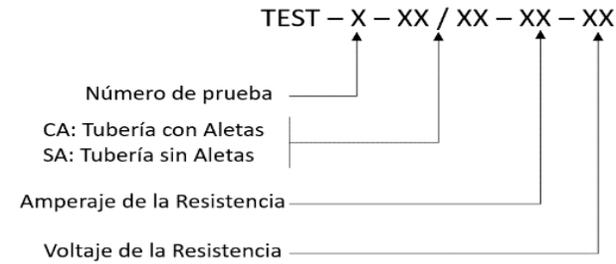
Recomendaciones

Referencias



CODIFICACIÓN PARA LAS PRUEBAS

Figura 64. Codificación para las pruebas de funcionamiento



Objetivos

Levantamiento
técnico

Repotenciación

Adquisición de datos

Interfaz de usuario
(HMI)

Puesta a punto

Rediseño Térmico

[Pruebas de
Funcionamiento](#)

Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Referencias

Figura 65. Dimensiones tubería sin aletas

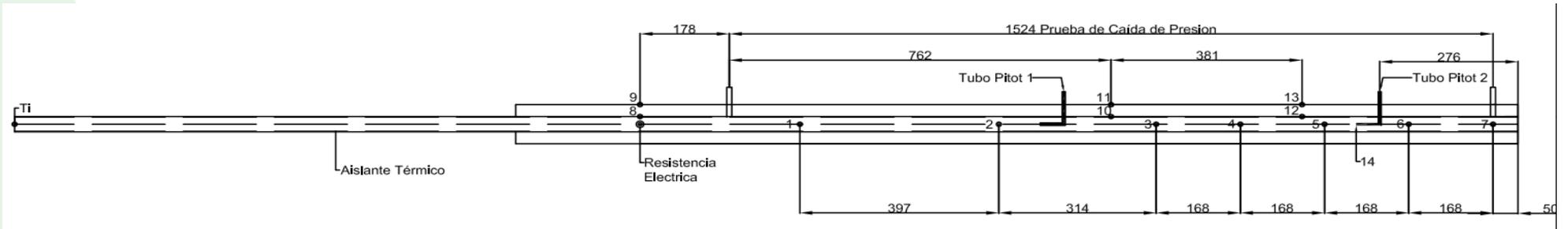
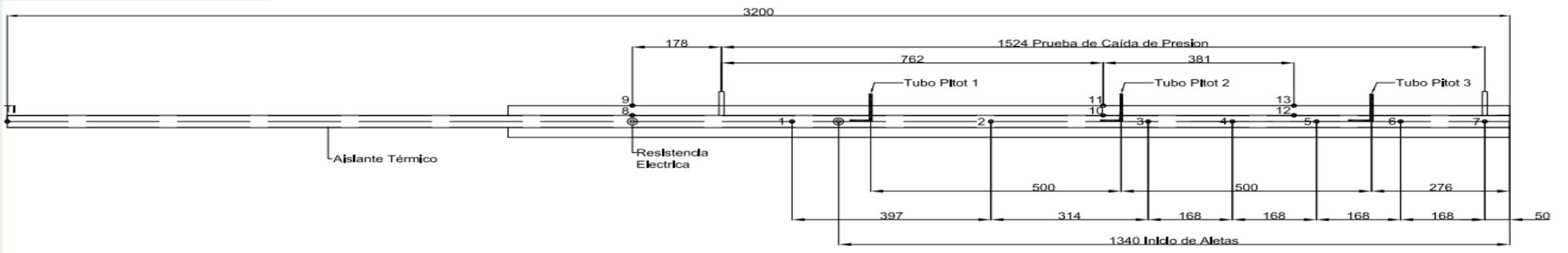


Figura 66. Dimensiones tubería con aletas





OBTENCION DE DATOS TEST- 02 – SA – 3 – 169

Tabla 18. Datos obtenidos a partir del HMI

Prueba de funcionamiento - Tubería sin aletas							
Descripción	Símbolo	Temperatura		Descripción	Símbolo	Presión	
Temperatura de entrada	Ti	38,00	°C	Presión en Ventilador	Pv	268	mmH2O
	T1	47,25	°C	Presión Tubo Pitot 1	Pp1	134	mmH2O
Temperaturas internas	T2	54,00	°C	Caída de Presión	ΔP	112	mmH2O
	T3	59,5	°C	Presión atmosférica	Patm	567	mmHg
	T4	69,00	°C	Voltaje	V	169	V
	T5	69,75	°C	Amperaje	A	3	A
	T6	71,00	°C				
	T7	71,50	°C				
	T8	143,75	°C				
	T10	62,75	°C				
Temperaturas superficiales	T12	116,25	°C				
	T9	65,75	°C				
Temperatura de aislante	T11	114,25	°C				
	T13	49,5	°C				

Tabla 19. Datos de la tubería

Datos		
Diámetro Tubería	32,6	mm
Espesor Tubería	1,068	mm
Espesor Aislante	30	mm
k cobre	380,6	J/ms°C
k aislante	0,0415	J/ms°C
Longitud de prueba	1,524	m
Presión atmosférica	567	mmHg

Objetivos

Levantamiento
técnico

Repotenciación

Adquisición de datos

Interfaz de usuario
(HMI)

Puesta a punto

Rediseño Térmico

[Pruebas de
Funcionamiento](#)

Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Referencias



RESISTENCIAS TÉRMICAS

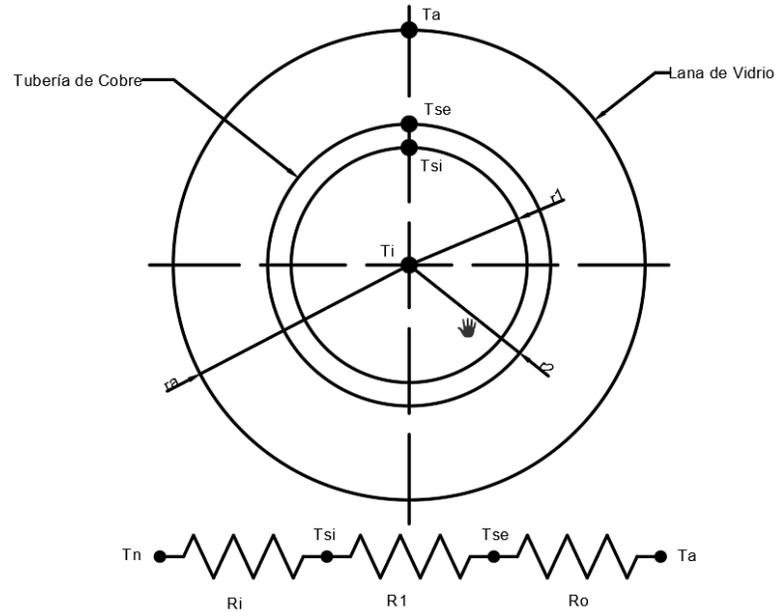


Figura 67. Representación de resistencias térmicas en la tubería

1. Calor generado por la resistencia

$$Q_R = A * V$$

$$Q_R = 507 \left[\frac{J}{s} \right]$$

2. Resistencia por aislamiento

$$R_a = \frac{\ln(r_a/r_2)}{2\pi k_{aisl}L}$$

3. Perdida de calor del tubo hacia el aislante

$$Q_a = \frac{T_s - T_a}{R_a}$$

Tabla 20. Calor hacia el aislante en los puntos de análisis

Calor hacia el Aislante [J/s]						
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
2,397	9,147	14,485	17,341	20,197	23,054	25,910

Objetivos

Levantamiento
técnico

Repotenciación

Adquisición de datos

Interfaz de usuario
(HMI)

Puesta a punto

Rediseño Térmico

[Pruebas de
Funcionamiento](#)

Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Referencias



COEFICIENTE DE CONVECCIÓN PROMEDIO

4. Calor al interior de la tubería

$$Q_i = Q_R - Q_a$$

Tabla 17. Calor en el interior de la tubería

Calor en el interior de la tubería [J/s]						
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
504,603	497,853	492,515	489,659	486,803	483,946	481,090

7. Calor en el interior de la tubería

$$Q_i = \frac{T_s - T_i}{R_i + R_1}$$

$$Q_i = \frac{T_s - T_i}{\frac{1}{h(2\pi r_1 L)} + \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi k_{cobre} L}}$$

Tabla 21. Calor hacia el aislante en los puntos de análisis

Coeficiente de transferencia de calor por convección [W/m ² s]						
P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
451,434	127,754	86,523	84,097	72,760	64,844	57,893

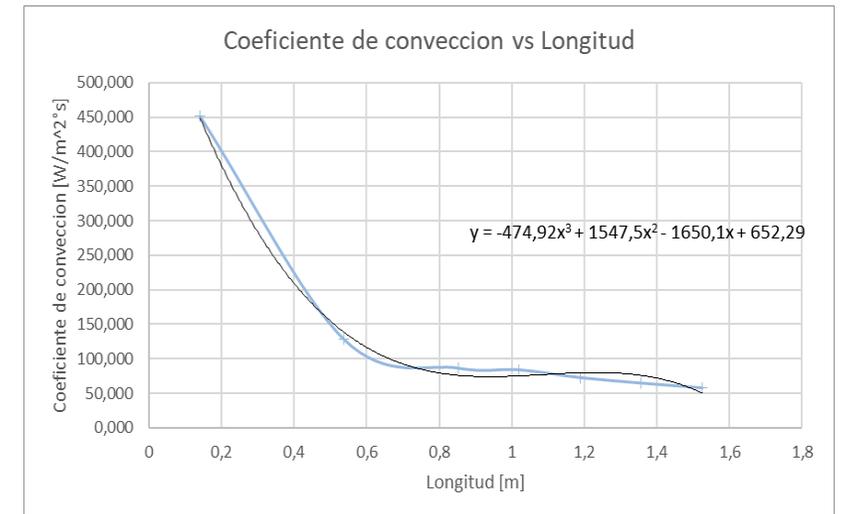
5. Resistencia por convección

$$R_i = \frac{1}{h(2\pi r_1 L)}$$

6. Resistencia por conducción

$$R_1 = \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi k_{cobre} L}$$

Figura 68. Gráfica coeficiente de convección vs longitud



$$h_{prom} = \frac{1}{L} \int_0^L h(x) dx$$

$$h_{prom} = 172.718 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

Objetivos

Levantamiento
técnico

Repotenciación

Adquisición de datos

Interfaz de usuario
(HMI)

Puesta a punto

Rediseño Térmico

[Pruebas de
Funcionamiento](#)

Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Referencias



PROPIEDADES DEL FLUIDO

NÚMEROS ADIMENSIONALES

Objetivos

Levantamiento
técnico

Repotenciación

Adquisición de datos

Interfaz de usuario
(HMI)

Puesta a punto

Rediseño Térmico

[Pruebas de
Funcionamiento](#)

Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Referencias

1. Densidad del fluido

$$\rho = \frac{P_{atmosferica} + P_{ventilador}}{RT_m}$$

2. Velocidad del fluido

$$v = \sqrt{\frac{2 * \Delta P_p}{\rho}}$$

3. Caudal másico

$$\dot{m} = v * A * \rho$$

Coefficiente de fricción

$$f = \left[q_{in} + Cp(T2 - T1) + RT \ln \left(1 + \frac{P1 - P2}{P_{atm}} \right) - \frac{P1 - P2}{\rho} \right] \left(\frac{2D}{Lv^2} \right)$$

1. Número de Nusselt

$$Nu = \frac{h_{prom} * \Phi}{k_{aire}}$$

2. Número de Stanton

$$St = \frac{h_{prom}}{\rho * v * Cp}$$

3. Número de Reynolds

$$Re = \frac{\rho * D * v}{\mu}$$



RESUMEN DE RESULTADOS

Tabla 22. Tabla resumen tubería sin aletas

Temperatura [°C]												
TEST-01-SA-2,5-148												
Ti	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
38	44,25	49,75	53,5	61	62,75	63,75	64,25	118	49	96,25	52	93
TEST-02-SA-03-169												
Ti	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
38	47,25	54	59,5	69	69,75	71	71,5	143,75	62,75	116,25	65,75	114,3
TEST-03-SA-3,5-170												
Ti	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
39	50,5	59,5	63,75	76,25	77,5	79	79,5	163,75	61	126,25	72	126,5
TEST-04-SA-04-190												
Ti	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
38	50,25	61,75	68,5	79	80	85	83,75	177,75	70,75	145,75	82,75	144,5
TEST-05-SA-4,5-210												
Ti	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
39	51	63,5	70,5	80	83	87,25	86,5	186,75	73,25	152,75	86,75	151,5

Tabla 23. Tabla resumen tubería con aletas

Temperatura [°C]												
TEST-01-CA-2,5-148												
Ti	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
42	54,75	57,75	62,25	65	72	76,5	78,75	90	54,25	95,25	52	91,25
TEST-02-CA-03-169												
Ti	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
42,5	62,5	64	71,5	74,75	84	89	94,5	110,5	69,5	116,5	64,75	113,75
TEST-03-CA-3,5-170												
Ti	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
42	65	67	77,5	80,25	91,25	97,75	102	120,25	67,75	126,5	62,75	123,75
TEST-04-CA-4-190												
Ti	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
42,5	68,75	70,75	82,5	86,25	98,5	106,3	113,3	134,25	79	141	73,25	138,75
TEST-01-CA-4,5-210												
Ti	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
42,5	72,75	74,25	87,25	91	103,5	113	120,8	143,25	85,25	150,25	78,75	148,75

Objetivos

Levantamiento técnico

Repotenciación

Adquisición de datos

Interfaz de usuario (HMI)

Puesta a punto

Rediseño Térmico

Pruebas de Funcionamiento

[Resultados](#)

Conclusiones

Recomendaciones

Referencias



RESUMEN DE RESULTADOS

Tabla 24. Tabla resumen resultados tubería sin aletas

Pruebas Tubería sin Aletas					
TEST-01-SA-2,5-148	TEST-02-SA-3-169	TEST-03-SA-3,5-170	TEST-04-SA-4-190	TEST-05-SA-4,5-210	
Calor Generado [J/s]					
370,000	507,000	595,000	760,000	945,000	
Calor Perdido por Aislante [J/s]					
2,022	2,397	2,779	3,096	3,280	
7,713	9,147	10,603	11,815	12,514	
12,215	14,485	16,791	18,711	19,818	
14,624	17,341	20,102	22,400	23,725	
17,033	20,197	23,413	26,089	27,633	
19,441	23,054	26,724	29,779	31,541	
21,850	25,910	30,035	33,468	35,448	
Calor en el interior de la tubería [J/s]					
367,978	504,603	592,221	756,904	941,720	
362,287	497,853	584,397	748,185	932,486	
357,785	492,515	578,209	741,289	925,182	
355,376	489,659	574,898	737,600	921,275	
352,967	486,803	571,587	733,911	917,367	
350,559	483,946	568,276	730,221	913,459	
348,150	481,090	564,965	726,532	909,552	
Coefficiente de convección [W/m²s]					
438,611	451,434	464,859	496,317	579,727	
124,886	127,754	133,740	144,128	169,032	
83,841	86,523	88,275	97,115	113,840	
82,157	84,097	87,956	91,721	105,437	
73,149	72,760	76,611	79,385	93,492	
65,294	64,844	68,402	74,072	86,095	
58,452	57,893	61,016	64,438	75,533	
Coefficiente de convección promedio [W/m²s]					
168,606	172,718	178,790	199,720	216,780	
Numero de Nusselt					
199,367	198,961	202,310	223,588	242,603	
Numero de Stanton					
0,00360	0,00372	0,00389	0,00436	0,00475	
Coefficiente de fricción					
0,069001272	0,069138839	0,069236847	0,069276978	0,069303846	

Objetivos

Levantamiento
técnico

Repotenciación

Adquisición de datos

Interfaz de usuario
(HMI)

Puesta a punto

Rediseño Térmico

Pruebas de
Funcionamiento

[Resultados](#)

Conclusiones

Recomendaciones

Referencias



RESUMEN DE RESULTADOS

Tabla 25. Tabla resumen resultados tubería con aletas

Pruebas Tubería con Aletas				
TEST-01-CA- 2,5-148	TEST-02-CA- 3-169	TEST-03-CA- 3,5-170	TEST-04-CA- 4-190	TEST-05-CA- 4,5-210
Calor Generado [J/s]				
370	507	595	760	945
Calor Perdido por Aislante [J/s]				
1,31615	1,57571	1,96353	2,07347	2,18645
5,02190	6,01230	7,49207	7,91153	8,34264
7,95289	9,52133	11,86476	12,52904	13,21177
9,52107	11,39878	14,20429	14,99955	15,81691
11,08925	13,27622	16,54382	17,47007	18,42204
12,65742	15,15367	18,88335	19,94058	21,02718
14,22560	17,03111	21,22288	22,41110	23,63232
Calor en el interior de la tubería [J/s]				
368,68385	505,42429	593,03647	757,92653	942,81355
364,97810	500,98770	587,50793	752,08847	936,65736
362,04711	497,47867	583,13524	747,47096	931,78823
360,47893	495,60122	580,79571	745,00045	929,18309
358,91075	493,72378	578,45618	742,52993	926,57796
357,34258	491,84633	576,11665	740,05942	923,97282
355,77440	489,96889	573,77712	737,58890	921,36768
Coeficiente de convección [W/m ² s]				
683,61035	686,43562	703,34498	759,47996	876,48775
192,56418	183,46706	188,81581	203,07972	232,48346
138,74219	135,52431	145,33691	154,41038	177,56761
127,06497	122,20931	128,59421	137,86094	157,72930
146,33262	137,21923	147,47924	154,56650	173,48959
164,31413	144,12244	161,17447	167,91669	193,41559
169,97233	164,57204	171,06226	191,03466	221,49972
Coeficiente de convección promedio [W/m ² s]				
276,940	279,530	281,780	303,047	348,590
Numero de Nusselt				
327,466	314,230	309,294	326,697	371,738
Numero de Stanton				
0,01439	0,01475	0,01498	0,01625	0,01882
Coeficiente de fricción				
0,019001272	0,019138839	0,019236847	0,019276978	0,019303846

Objetivos

Levantamiento
técnico

Repotenciación

Adquisición de datos

Interfaz de usuario
(HMI)

Puesta a punto

Rediseño Térmico

Pruebas de
Funcionamiento

[Resultados](#)

Conclusiones

Recomendaciones

Referencias



ANÁLISIS DE RESULTADOS

Objetivos

Levantamiento
técnico

Repotenciación

Adquisición de datos

Interfaz de usuario
(HMI)

Puesta a punto

Rediseño Térmico

Pruebas de
Funcionamiento

Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Referencias

Figura 69. Gráfica tubería sin aletas

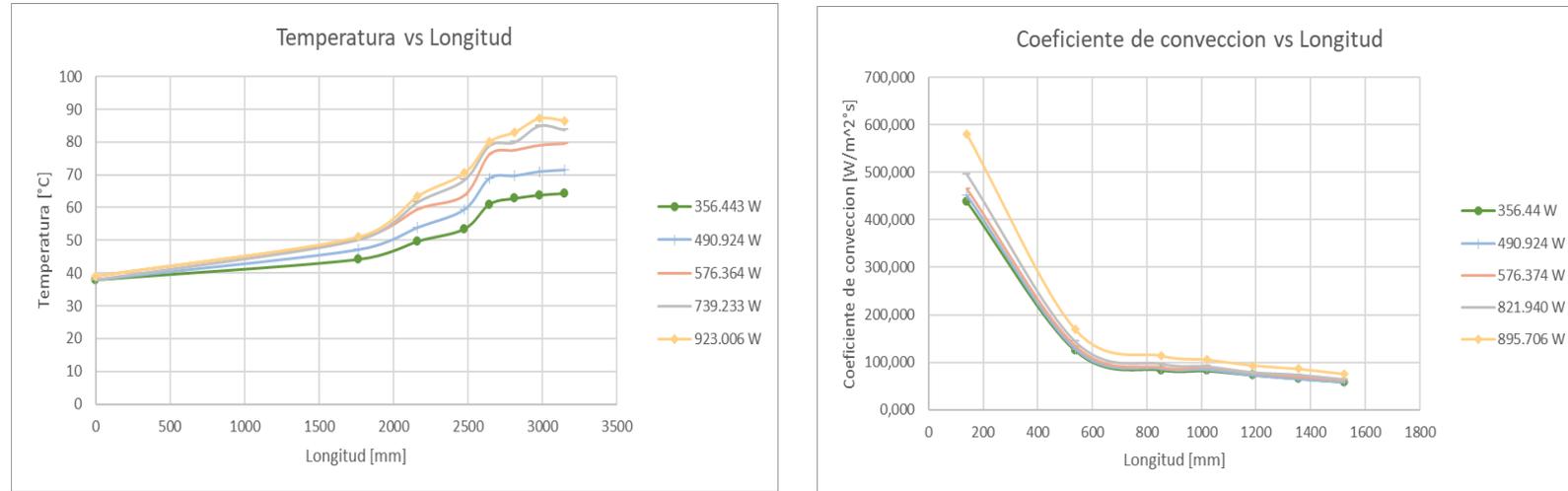
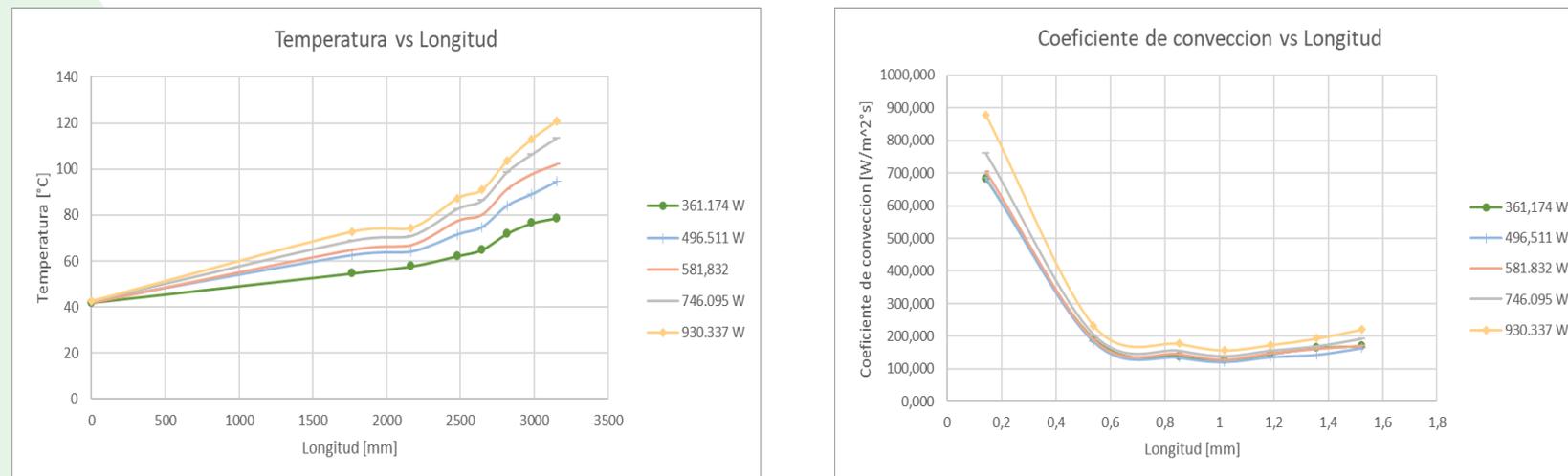


Figura 70. Gráfica tubería con aletas





ANÁLISIS DE RESULTADOS

Figura 71. Comparación del coeficiente de convección

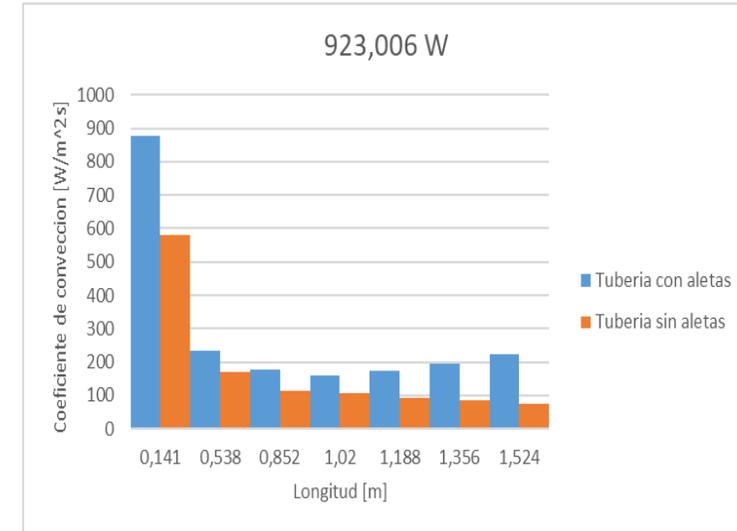
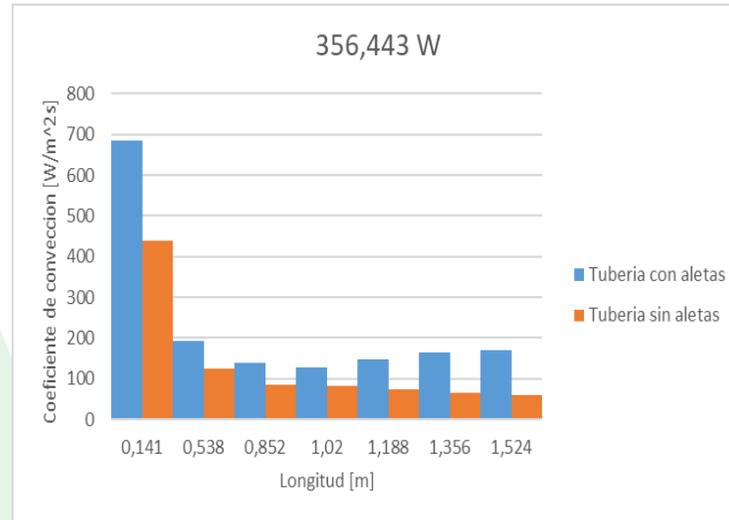


Figura 72. Comparación del Número de Nusselt

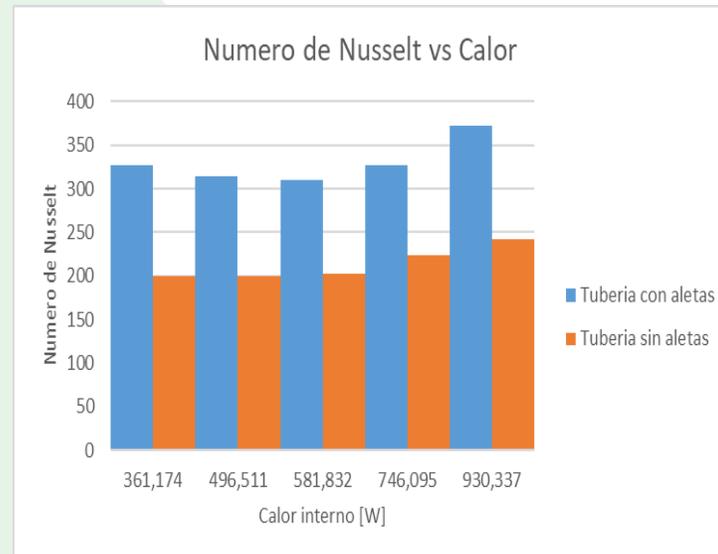
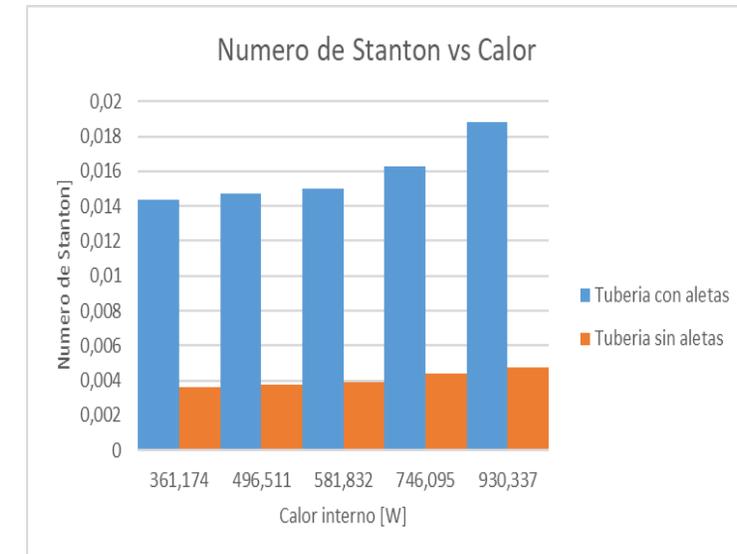


Figura 73 . Comparación del Número de Stanton



Objetivos

Levantamiento
técnico

Repotenciación

Adquisición de datos

Interfaz de usuario
(HMI)

Puesta a punto

Rediseño Térmico

Pruebas de
Funcionamiento

Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Referencias



CONCLUSIONES

- Se llevo a cabo un estudio técnico exhaustivo del estado inicial de la unidad de transferencia de calor, donde se identificó el desgaste significativo de sus componentes principales y la falta de mantenimiento adecuado. Además, se evidencio que el método de adquisición de datos a través de instrumentos analógicos resultaba ineficiente, principalmente por el considerable número de variables que necesitaban ser medidas.
- En el rediseño térmico de la unidad de transferencia de calor por convección forzada, se llevó a cabo una serie de modificaciones significativas. Estas incluyeron el diseño y la modificación del soporte estructural, así como la incorporación de un ducto horizontal equipado con intensificadores de flujo.
- En lo que respecta a la adquisición de datos del equipo, se introdujeron 8 sensores de presión, 28 termocuplas tipo K, sensor de voltaje y un sensor de corriente. Estos sensores permiten realizar mediciones precisas durante el ciclo de operación, ya que adquieren datos a través del controlador junto con sus respectivos módulos y se muestran de manera clara y accesible en la página web creada.

Objetivos

Levantamiento
técnico

Repotenciación

Adquisición de datos

Interfaz de usuario
(HMI)

Puesta a punto

Rediseño Térmico

Pruebas de
Funcionamiento

Resultados

[Conclusiones](#)

Recomendaciones

Referencias



CONCLUSIONES

- La incorporación de aletas internas en el nuevo modelo de tubería permite que la transferencia de calor entre el fluido y la superficie se aumente en comparación al modelo sin aletas, esto hace que el coeficiente de convección y los números adimensionales crezcan gradualmente, esta tendencia se mantiene para cualquier cantidad de potencia que se suministre.
- Para asegurar un entorno educativo óptimo para la adquisición de datos, se integró una interfaz hombre-maquina intuitiva para los estudiantes. Esta interfaz no solo proporciona acceso a esquemas de los modelos de análisis, además permite visualizar toda la información técnica relevante, guías de laboratorio, manual de usuario e información de apoyo sobre el funcionamiento del equipo.

Objetivos

Levantamiento
técnico

Repotenciación

Adquisición de datos

Interfaz de usuario
(HMI)

Puesta a punto

Rediseño Térmico

Pruebas de
Funcionamiento

Resultados

[Conclusiones](#)

Recomendaciones

Referencias



RECOMENDACIONES

- Se sugiere seguir las instrucciones detalladas en el manual de usuario para garantizar el funcionamiento adecuado del equipo durante su uso. Además, es importante realizar un mantenimiento regular y progresivo siguiendo las pautas indicadas.
- Se sugiere visitar las opciones adicionales del HMI, donde se encontrará información que facilitará la comprensión e interpretación de la unidad de transferencia. En este sitio, se proporcionarán videos de las simulaciones, gráficos y datos técnicos necesarios para llevar a cabo los cálculos requeridos en las guías de laboratorio.
- Siguiendo los pasos detallados en el manual de usuario, se recomienda esperar 30 minutos después de la puesta en marcha inicial. Este tiempo es necesario para que el equipo alcance su estado de equilibrio. Si no se respeta este periodo, los datos obtenidos pueden no reflejar de manera precisa la tendencia real de su funcionamiento.
- No encienda la resistencia eléctrica sin antes comprobar que el modelo seleccionado para la práctica es el correcto, ya que esto puede causar daños a los componentes acoplados a la tubería.
- Al terminar la práctica dejar el ventilador encendido por 10 minutos para enfriar la resistencia eléctrica evitando que se queme el aislante.

Objetivos

Levantamiento
técnico

Repotenciación

Adquisición de datos

Interfaz de usuario
(HMI)

Puesta a punto

Rediseño Térmico

Pruebas de
Funcionamiento

Resultados

Conclusiones

[Recomendaciones](#)

Referencias



Objetivos

Levantamiento
técnico

Repotenciación

Adquisición de datos

Interfaz de usuario
(HMI)

Puesta a punto

Rediseño Térmico

Pruebas de
Funcionamiento

Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

[Referencias](#)

REFERENCIAS

- Calloni, J. (2003). *Mantenimiento Eléctrico y Mecánico*. Argentina: TECNICA .
- Cengel, Y. A. (2011). *Transferencia de calor y masa*. Mexico: McGraw-Hill.
- Creus, A. (2011). *Instrumentacion Industrial*. Mexico: Alfaomega.
- Dorf, R. (2011). *Circuitos Eléctricos*. Mexico: Alfaomega.
- ESAB. (2019). *Manual de Soldadura*. Bogota.
- Fiebig, M. (1998). *Vortices, generators and heat transfer*. Trans IchemE.
- Gámiz, U. F. (2013). *Fluid Dynamic Characterization of Vortex Generators and Two-dimensional Turbulent Wakes*.
Barcelona: POLYTECHNIC UNIVERSITY OF CATALONIA.
- Holman, J. (1999). *Transferencia de Calor*. Mexico : Continental.
- Incropera, F. (1999). *Fundamentos de transferencia de calor*. Mexico: Prentice Hall.
- Kattea, W. (2012). An Experimental Study on the Effect of Shape and Location of Vortex Generators Ahead of a Heat Exchanger. *Al-Khwarizmi Engineering Journal*, 19.

ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



GRACIAS POR SU ATENCIÓN