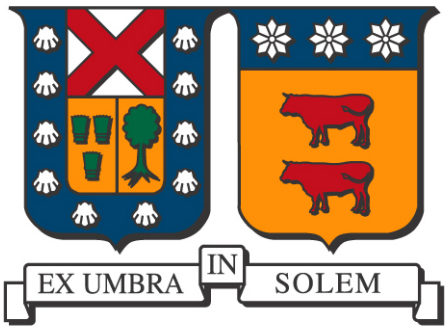
UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

VALPARAÍSO - CHILE



REACONDICIONAMIENTO DE BANCO DE ENSAYOS DE TURBOSOPLADOR INCORPORANDO SISTEMA SCADA

CAMILO SEBASTIÁN VERGARA RETAMALES

TRABAJO DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL MECÁNICO

PROFESOR GUÍA: Mg. Ing. JAIME ESPINOZA SILVA

CORREFERENTE: Ing. RAFAEL MENA YANSSEN

ENERO - 2023

Agradecimientos

En estas líneas quisiera agradecer primeramente a mi familia, a mi madre por incentivarme y heredarme este amor por las ciencias de la ingeniería, por apoyarme siempre a que rindiera académicamente y la que siempre se sentía orgullosa de mi cada vez que le contaba algún logro académico. También a mi padre, que me apoyó y me ayudó de muchas maneras para que nunca perdiera el foco de mis estudios. A mi hermano quien fue el que me daba mis tiempo de ocio en la casa, para no estresarme con los estudios.

A mi pareja, ya que estuvo en todos los momentos de mi vida universitaria, tanto buenos como malos, me daba su apoyo y era quien me prestaba su hombro cuando fallaba durante este largo camino. También fue quién me ayudaba a estudiar y también celebraba cada éxito que yo tenía, porque también lo sentía como suyo. A mis amigos y amigas, que siempre me brindaron su alegría y apoyo, y que comprendían esos periodos de ausencia debido a las temporadas de exámenes. A mis compañeros de universidad que me ayudaron a sacar esto adelante, con esas largas noches de estudios donde cada uno aporto de manera desinteresada en ayudarme cuando no entendía.

A Esteban Arriagada que me aporto con todos sus conocimientos para desarrollar una gran parte de este trabajo. A el Profesor Jaime Espinoza que es un gran profesor guía y gran persona también. Al personal de Laboratorio que me ayudó en todo momento a desarrollar este trabajo, siempre con buena disposición, pero sobretodo a Don Juan Vidal que fue quién me ayudo la mayor parte del tiempo y me acompaño en todo este proceso.

Y a toda persona que me acompaño y dio su apoyo en algún momento de mi vida durante estos 7 años que duro todo este lindo proceso de desarrollo académico y profesional en esta universidad.

Resumen

En el presente trabajo se documenta el reacondicionamiento del banco de ensayos del turbosoplador del laboratorio de termofluidos, incorporándose un sistema de telecomando y control (SCADA).

Primeramente, se realiza una introducción general del campo de las turbomáquinas, específicamente de los turbosopladores, máquina a reacondicionar, para posteriormente precisar los objetivos del trabajo a cumplir.

Se documenta el trabajo realizado, analizando la situación inicial, a fin de generar una guía de procedimientos, bajo la cual se llevó a cabo este trabajo.

Se detallan las experiencias que realizan los alumnos con esta máquina, con el fin de comprender lo importante que es para la carrera esta turbomáquina. A continuación se procede a detallar cada equipo e instrumentación utilizado en este banco de ensayos, desde los equipos más importantes como el sistema PLC, el variador de frecuencia y los actuadores neumáticos, pasando por los sensores de presión y temperatura, los módulos de entradas, hasta la instrumentación menor como lo son los relays, router, entre otros.

Se documenta el proceso del reacondicionamiento, comenzando con la necesaria mantención mecánica al conjunto, siguiendo con la instalación de los softwares que permitan un procesamiento automático de las variables del ensayo, la calibración tanto de sensores de presión como de temperatura, siendo uno de los procesos con mayor dificultad del reacondicionamiento. Posteriormente se ajustan los actuadores neumáticos de las válvulas, y también del sensor de RPM, además de complementar un cálculo del caudal como sensor extra. Con todo lo anterior se automatiza la experiencia mediante los softwares instalados para luego seguir con el paso de la creación de la HMI, realizada en Python. Finalmente se obtiene un archivo ejecutable único para el turbosoplador. Ya concluida la HMI, se etiqueta y ordena la cabina del TS y el gabinete del sistema PLC, añadiendo listados e instructivos como parte de la información impresa que quedara en el laboratorio.

Terminado el proceso de reacondicionamiento, se concluye con la obtención de la base de datos docente, detallándose los ensayos tipos que se realizaran y sus condiciones iniciales, las diferencias que tendrá cada set de datos, que set de datos deberá obtenerse, para finalmente justificar su obtención, disponiéndose del archivo base de datos docentes.

Finalmente se analizan críticamente los objetivos logrados y los beneficios que se generaron con este reacondicionamiento.

Abstract

This paper documents the reconditioning of the turbo blower test bench of the thermofluid laboratory, incorporating a remote command and control system (SCADA).

Firstly, a general introduction to the field of turbomachinery was made, specifically turbo blowers, the machine that to be reconditioned, to later specify the objectives of the work to be accomplished.

The work done is documented, analyzing the initial situation, in order to generate a procedural guide, under which this work was carried out.

The experiences that the students carry out with this machine are detailed, in order to understand how important this turbomachine is for the career. Each equipment and instrumentation used in this test bench is detailed below, from the most important equipment such as the PLC system, the frequency inverter and the pneumatic actuators, through the pressure and temperature sensors, the input modules, even minor instrumentation such as relays, routers, among others.

The reconditioning process is documented, beginning with the necessary mechanical maintenance of the assembly, continuing with the installation of the software that allows automatic processing of the test variables, the calibration of both pressure and temperature sensors, being one of the processes with most difficult of reconditioning. Subsequently, the pneumatic actuators of the valves are adjusted, and also the RPM sensor, in addition to complementing a flow calculation as an extra sensor. With all of the above, the experience is automated through the installed software to then continue with the step of creating the HMI, that was made in Python. Finally, a single executable file for the turbo blower is obtained. Once the HMI is finished, the TS cabin and the PLC system cabinet are labeled and ordered, adding lists and instructions as part of the printed information that will remain in the laboratory.

Once the reconditioning process is finished, the teaching database is obtained, detailing the type of tests to be performed and their initial conditions, the differences that each set of data will have, which set of data should be obtained, and finally justifying the obtaining of the teaching database file.

Finally, the objectives achieved and the benefits generated by this reconditioning are critically analyzed.

Glosario

- TC: Turbocompresor
- TS: Turbosoplador
- API: American Petroleum Institute
- SCADA: Supervisory Control And Data Acquisition
- PLC: Programmable Logic Controller
- HMI: Human Machine Interface
- Relay: Relé
- RTD: Resistance Temperature Detector
- TXT: Archivos de Texto de Windows

Índice

Índice de figuras **vii**

1. Introducción **1**
1.1. Compresor Centrífugo . . . 3
1.2. Objetivos . . . 3

2. Situación Inicial **4**
2.1. Turbosoplador y banco de ensayos . . . 4
2.2. Descripción de la situación inicial . . . 4
2.3. Procedimiento a realizar . . . 5

3. Desarrollo **7**
3.1. Desarrollo de la Experiencia de laboratorio . . . 7
3.1.1. Laboratorio . . . 7
3.1.2. Obtención curvas características . . . 7
3.2. Instrumentación y Equipos utilizados . . . 8
3.2.1. Sensores Eléctricos . . . 8
3.2.2. Sensores de Temperatura . . . 8
3.2.3. Sensores de Presión . . . 9
3.2.4. Variador de Frecuencia . . . 11
3.2.5. Sistema PLC . . . 12
3.2.6. Módulos de Entradas . . . 13
3.2.7. Módulo de Entradas RTD . . . 13
3.2.8. Módulo de Entradas Analógicas . . . 14
3.2.9. Actuadores Neumáticos . . . 15
3.2.10. Relays . . . 16
3.2.11. Router . . . 17
3.2.12. Otros . . . 18
3.3. Proceso del Reacondicionamiento . . . 18
3.3.1. Mantención del Turbosoplador . . . 18
3.3.2. Instalación de Softwares de Conexión y Creación de Programas para el PLC . . . 19
3.3.3. Calibración Sensores . . . 22
3.3.4. Calibración de los Actuadores Neumáticos de las Válvulas y del Variador de Frecuencia . . . 26
3.3.5. Calibración del Sensor de RPM y Cálculo de Caudal . . . 27
3.3.6. Automatización de la Experiencia en los Softwares . . . 31
3.3.7. Creación HMI . . . 33
3.3.8. Etiquetado y Orden . . . 36
3.4. Base de datos docente mediante SCADA . . . 43

3.4.1. Ensayos 43
3.4.2. Diferencias entre los datos 44
3.4.3. Datos a obtener 45
3.4.4. Método de obtención 48
3.4.5. Base datos docentes 49

4. Conclusiones **51**
4.1. Análisis de Resultados 51
4.2. Beneficios generados 53

5. Referencias **54**

Apéndices **56**

A. Hojas de la Experiencia de Laboratorio de Turbomáquinas TML-6 Ensayo de Turbosoplador **56**

B. Especificaciones Técnicas PLC Micrologix 1400 **65**

C. Especificaciones Técnicas Sensores PT-100 **67**

D. Especificaciones Técnicas Sensores de Presión **68**

E. Esquema de Conexiones PLC **69**

F. Listado de Sensores, Actuadores, Regletas y Etiquetado, presente físicamente en el gabinete del PLC **70**

G. Instructivo de Uso pegado en el gabinete del PLC **76**

H. Programa Ladder RSLogix 500 del Turbosoplador **77**

I. Código Python de la HMI **85**

J. Información Pegada Anteriormente en el gabinete del PLC. **97**

Índice de figuras

1. Vista en corte de los tipos de rodete de los compresores (A) Radiales (B) Diagonales (C) Axiales 2
2. Turbosoplador del laboratorio de termofluidos 2
3. Situación inicial del tablero de conexiones del PLC 5
4. Sensores PT100 utilizados en el turbosoplador 9
5. Tipos de Sensores utilizados en el Turbosoplador 10
6. Sensor 4, donde se puede apreciar su rango y su forma que es del tipo FIG 2 11
7. Variador de Frecuencia Leroy Somer UMV 2301 AS-75T 12
8. PLC Micrologix 1400 utilizado en el TS 13
9. Módulo de Entradas RTD 1762-IR4 14
10. Módulo de Entradas Analógicas 1762-IF4 14
11. PLC Micrologix 1400, Módulo de Entradas Analógicas 1762-IF4 y Módulo de Entradas RTD 1762-IR4, en ese orden respectivamente 15
12. Actuador Modelo R-2 presente en el TS. 16
13. Relays OMRON 16
14. Disposición Inicial de los 14 Relays en el gabinete del PLC 17
15. Router TP-LINK TL-WR941ND 17
16. RSLinx Classic, donde se aprecia la creación del driver TS_TPLINK, la cual detecta al PLC Micrologix 1400, y con su IP definida 20
17. RSLogix 500, Configuraciones básicas del programa final del TS 21
18. T2 y T3 en el programa final de RSLogix 500, donde se aprecia que se escala dividiendo por 10 22
19. Proceso de calibración donde se aprecia el tester conectado al sensor y los manómetros 24
20. Calibración del sensor 3, con el tester y manómetro 25
21. Medición experimental de las [RPM] funcionando a 50 [Hz] 27
22. Fórmula para calcular el caudal, extraídas de las hojas de laboratorio de la experiencia, mas detalles en el apéndice A 28
23. Fórmula para el calcular la densidad antes del venturímetro 28
24. Medición de la velocidad del flujo que capto el anemómetro en la admisión funcionando a 50 [Hz] y 2930 [RPM] 30
25. Entradas y Salidas presentes en el programa RSLogix 500 32
26. Ventana de la extensión auto-py-to-exe de Python, con la configuración para obtener el ejecutable de la HMI 34
27. Archivo Ejecutable de la HMI del Turbosoplador 35
28. HMI funcionando, donde se pueden ver mediciones en tiempo real 35
29. Hojas con información de las regletas, y entradas y salidas del PLC 36
30. Estado preliminar de orden del Gabinete del PLC 38
31. Etiquetado de los sensores en la cabina del TS. 39

32. Estado Final del Gabinete del PLC. 40
33. Toda la información pegada en la puerta del gabinete del PLC 41
34. Vista del interior y la puerta del gabinete del PLC 42
35. Ejemplo de un archivo TXT generado por la HMI al realizar un ensayo . . . 45
36. Especificaciones técnicas del motor eléctrico del TS. 46
37. Amperímetro de tenaza utilizado para la obtención de la corriente del motor del TS. 47
38. Hojas del archivo Excel de la base de datos docentes. 50
39. Datos para calcular la potencia en la base de datos docente. 50
40. Ejemplo de un Set de datos de la base de datos docente, Ensayo 50 [Hz] Descarga desde abierto a cerrado 50
41. Página 1, laboratorio de turbomáquinas 57
42. Página 2, laboratorio de turbomáquinas 58
43. Página 3, laboratorio de turbomáquinas 59
44. Página 4, laboratorio de turbomáquinas 60
45. Página 5, laboratorio de turbomáquinas 61
46. Página 6, laboratorio de turbomáquinas 62
47. Página 7, laboratorio de turbomáquinas 63
48. Página 1 de las especificaciones técnicas del PLC 65
49. Página 2 de las especificaciones técnicas del PLC 66
50. Especificaciones Técnicas Sensores PT-100 67
51. Especificaciones Técnicas Sensores de Presión 68
52. Esquema de conexiones PLC 69
53. Parte 1 del listado que muestra regletas 1 y 2 71
54. Parte 2 del listado que muestra la regleta del VDF 71
55. Parte 3 del listado que muestra regletas 3 y 4 72
56. Parte 4 del listado que muestra la regleta 5 72
57. Parte 5 del listado que muestra entradas y salidas con sus siglas RSLogix, apartado I/X:X ; 0/X:X y su función 73
58. Parte 6 del listado que muestra las entradas utilizadas y disponibles del PLC 74
59. Parte 7 del listado que muestra las salidas utilizadas y disponibles del PLC . 75
60. Parte 8 del listado que muestra los etiquetados de relay con su apartado O/X:X y función y también muestra el Etiquetado de Cables y su función 75
61. Instructivo de Uso del Turbosoplador 76
62. Línea 0 a la 3 del Programa Ladder RSLogix 500 del TS 78
63. Línea 4 a la 7 del Programa Ladder RSLogix 500 del TS 78
64. Línea 8 y 9 del Programa Ladder RSLogix 500 del TS 79
65. Línea 10 y 11 del Programa Ladder RSLogix 500 del TS 79
66. Línea 12 y 13 del Programa Ladder RSLogix 500 del TS 80
67. Línea 14 y 15 del Programa Ladder RSLogix 500 del TS 80
68. Línea 16 y 17 del Programa Ladder RSLogix 500 del TS 81

69. Línea 18 y 19 del Programa Ladder RSLogix 500 del TS 81
70. Línea 20 y 21 del Programa Ladder RSLogix 500 del TS 82
71. Línea 22 a la 24 del Programa Ladder RSLogix 500 del TS 82
72. Línea 25 a la 27 del Programa Ladder RSLogix 500 del TS 83
73. Línea 28 a la 30 del Programa Ladder RSLogix 500 del TS 83
74. Línea 31 a la 34 del Programa Ladder RSLogix 500 del TS 84
75. Parte 1 del Código Python de la HMI 85
76. Parte 2 del Código Python de la HMI 86
77. Parte 3 del Código Python de la HMI 87
78. Parte 4 del Código Python de la HMI 88
79. Parte 5 del Código Python de la HMI 89
80. Parte 6 del Código Python de la HMI 90
81. Parte 7 del Código Python de la HMI 91
82. Parte 8 del Código Python de la HMI 92
83. Parte 9 del Código Python de la HMI 93
84. Parte 10 del Código Python de la HMI 94
85. Parte 11 del Código Python de la HMI 95
86. Parte 12 del Código Python de la HMI 96
87. Tabla de conexiones de las regletas, entradas y salidas del PLC 97

1. Introducción

En el ámbito de las máquinas existe un tipo bastante importante para muchos procesos industriales presentes hoy en día, esas son las turbomáquinas, las cuales se encargan de trabajar con fluidos.

Las turbomáquinas se diferencian primero por el flujo de energía, si estas entregan energía al fluido son turbomáquinas generadoras, tales como una bomba o compresor, y si reciben energía del fluido son turbomáquinas motoras tales como las turbinas.

Luego otra de sus clasificaciones depende del tipo de fluido con el que trabajan, si el fluido es compresible son turbomáquinas térmicas y si el fluido es incompresible son turbomáquinas hidráulicas.

Y esto es importante por que la compresibilidad es una propiedad de los fluidos que hay que tener en cuenta a la hora de diseñar o elegir la turbomáquina adecuada. Es por eso que en las turbomáquinas térmicas existen los compresores, los cuales trabajan con gases que al comprimirlos, disminuyen su volumen y eso genera un aumento de presión y temperatura en el gas.

Un compresor es una turbomáquina térmica, ya que trabaja con fluidos compresibles como los gases, estos se utilizan para subir la presión del gas y a su vez transportarlo para su uso en diferentes procesos.

Hay distintos tipos de compresores, estos son los turbocompresores o compresores como tal y los soplantes o turbosoplantes (turbosopladores)

Los turbocompresores lograr un incremento de presión mayor al que logran los turbosopladores, según API detalla que el incremento de presión límite es de 0,35[bar], por sobre este incremento de presión son TC y bajo esto son TS.

También otra manera de diferencias los TC de los TS es con la relación de compresión, ya que los TS trabajan con relaciones de compresión que varían de entre 1,1 a 4 como máximo, y los TC claramente trabajan por sobre una relación de compresión mayor a 4, esto según [1].

Los TS normalmente son de una etapa y no poseen sistemas de refrigeración, en cambio los TC son de más de una etapa (para lograr mayor compresión del gas) y pueden poseer sistemas de refrigeración, esto depende de si es necesario o no.

Los compresores se dividen en 3 tipos según la dirección del flujo, pueden ser radiales, axiales y diagonales, en la figura 1 se pueden apreciar los tipos de rodete en una vista en corte de cada tipo de compresor.

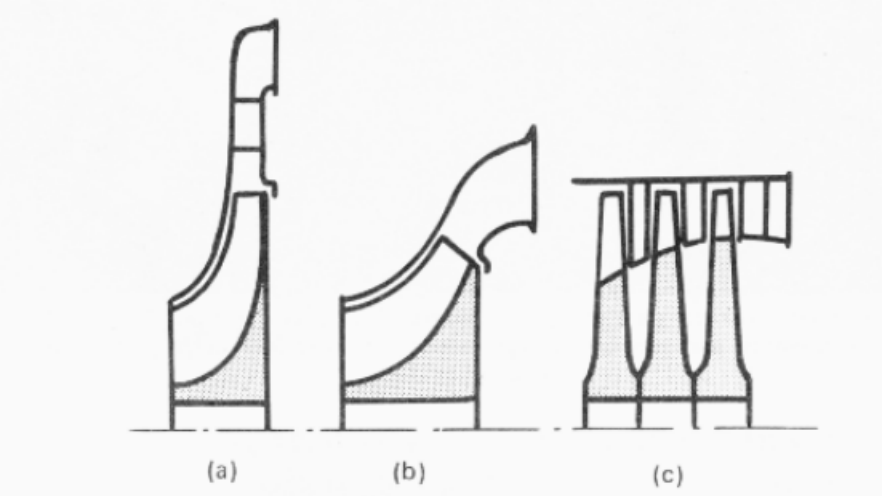


Figura 1: Vista en corte de los tipos de rodete de los compresores (A) Radiales (B) Diagonales (C) Axiales

En este trabajo de título, el equipo a reacondicionar es el turbosoplador centrífugo presente en laboratorio de termofluidos del Departamento de Mecánica, se puede apreciar en la figura 2, este TS en otras palabras es un compresor centrífugo, ya que la dirección del flujo del aire va en forma radial.



Figura 2: Turbosoplador del laboratorio de termofluidos

1.1. Compresor Centrífugo

Los compresores radiales se denominan compresores centrífugos, la entrada del aire en estos compresores es a través del dispositivo de admisión que puede ser axial. A veces este dispositivo viene con una corona directriz que permite posicionar el mejor ángulo de entrada del aire para cada caso si fuera necesario. Luego este es impulsado hacia el difusor de manera radial, por la fuerza centrífuga generada por el rodete, el cual está unido al eje, pudiendo este estar acoplado tanto como a un motor como a una turbina, por ejemplo en muchos automóviles se emplea una turbina como máquina motriz, ya que los gases de escape mueven la turbina que a su vez mueve el TC que comprime el aire que entra a los cilindros del motor.

Finalmente el aire que sale radialmente y a una alta velocidad de la zona del rodete, llega al difusor en donde la energía cinética que el aire posee se convierte en un incremento de presión.

1.2. Objetivos

Este trabajo de título posee unos objetivos específicos a cumplir con el fin de lograr correctamente el reacondicionamiento de este equipo los cuales son los siguientes:

- Evaluar la situación actual del banco de ensayos, tanto desde el punto de vista mecánico como de control.
- Reacondicionar los sensores disponibles y el sistema PLC.
- Elaborar un software que permita controlar y supervisar el funcionamiento de los ensayos del turbosoplador (SCADA).
- Generar una base de datos experimentales para uso docente.
- Implementar la capacitación del personal del Laboratorio de Termofluidos en sistema PLC y SCADA.
- Elaborar guías de mantenimiento que aseguren el correcto funcionamiento del turbosoplador.

2. Situación Inicial

2.1. Turbosoplador y banco de ensayos

El turbosoplador del LTF es un turbosoplador centrífugo con las siguientes características:

Turbosoplador Marca DEMAG, Modelo SEZ 2B.

- Caudal de aire: 1000 [m^3/h]
- Presión final: 8,8 [psi]

Acoplado a un motor eléctrico:

Motor eléctrico 3ϕ: Marca SIEMENS.

- Voltaje: 380 [V]
- Amperaje: 90 [A]
- Potencia: 50 [Kw]
- Factor de potencia: 0,87 [-]
- Velocidad: 2930 [rpm]
- Frecuencia: 50 [Hz]

2.2. Descripción de la situación inicial

Primero que todo todos los sensores tanto de temperatura como de presión estaban desconectados y en su lugar estaban posicionados tapones y 1 manómetro descalibrado, el cual permitía demostrar de manera visual en qué momento estaba ocurriendo el fenómeno de *surge*.

Esta situación obedece a que los ensayos, hasta este momento, se realizaban de manera manual y con un operador desde el interior de la cabina maniobrando las electroválvulas.

Además de que el turbosoplador le faltaba su correspondiente mantención, donde además se buscaría posteriormente engrosar el aceite que utiliza con el fin de poder evitar la excesiva pulverización de aceite que ocurre cada vez que se llega al *surge*.

El PLC estaba desconectado y con un notorio tiempo en desuso, donde además la pila que este poseía comenzó a fallar, esta pila cumple la función de ser una memoria del PLC, donde se almacenan configuraciones previas, evitando que haya que configurar el PLC cada vez que se enciende.

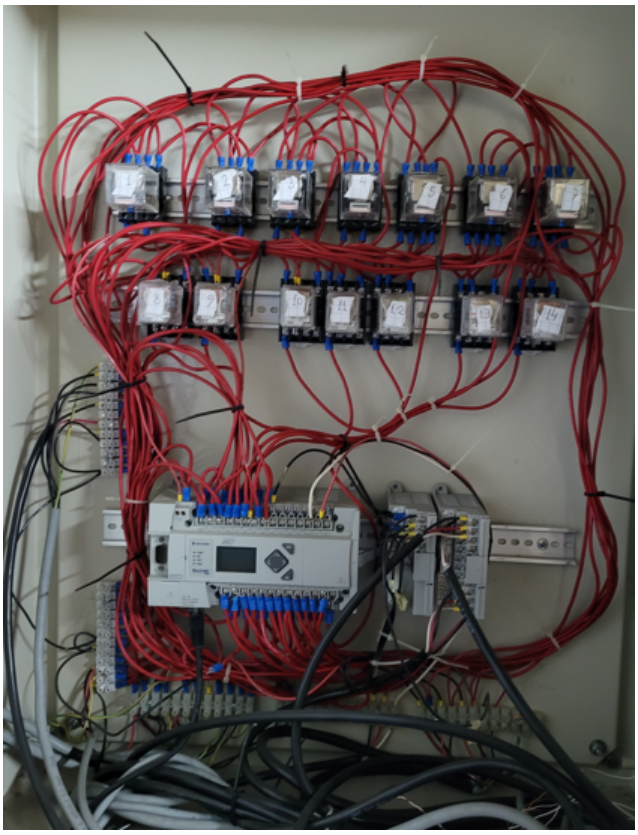


Figura 3: Situación inicial del tablero de conexiones del PLC

2.3. Procedimiento a realizar

Con la situación presentada, y con los objetivos definidos anteriormente se puede determinar el procedimiento para el reacondicionamiento del ensayo del turbosoplador.

En el siguiente listado se detalla cada acción a realizar para cumplir con los objetivos.

- Realizar la mantención correspondiente al turbosoplador y engrosar el aceite que usa este mismo.
- Reordenar la cabina del TS.
- Conectar los sensores en su correcta posición.

Una vez logrado ello se puede pasar a la automatización del sistema, por lo que acá entra en juego el PLC.

- Conectar y configurar nuevamente el PLC.

- Instalar los softwares del PLC en un computador.
- Analizar los sensores y actuadores, para poder calibrarlos.
- Calibrar Sensores y Actuadores.
- Analizar funcionamiento de los relays (los utilizados para la automatización del PLC, se aprecian en la figura 3 , en la zona de arriba), para poder maniobrar las válvulas.
- Crear y Configurar la *ladder* de la automatización que se utilizara para el uso de las válvulas, implementando los relays al proceso.
- Verificar que los sensores y actuadores estén funcionando correctamente.
- Etiquetar cables y relays del gabinete, para facilitar su reconocimiento.
- Etiquetar cables de los sensores en la cabina del TS.
- Reordenar todo el cableado del gabinete.
- Conectar y Habilitar Router a un costado del gabinete.
- Realizar un nuevo listado de conexiones de las 5 regletas del gabinete como también las entradas y salidas del PLC.
- Realizar un instructivo de uso, detallando los pasos a realizar antes de conectarse a la HMI.
- Realizar el esquema de conexiones del PLC.
- Pegar en el gabinete del PLC todo lo anteriormente realizado (De este modo el usuario tiene a su alcance toda la información necesaria para comprender las conexiones y su uso.)
- Realizar la HMI.
- Generar la base de datos docente.
- Capacitar al personal del laboratorio.
- Guardar las configuraciones de la automatización y HMI en la *nube* o en otras unidades de almacenamiento físicas.

Con esta guía de procedimientos se lograrán los objetivos trazados y obtener un desarrollo exitoso y completo de la experiencia del laboratorio del TS.

3. Desarrollo

3.1. Desarrollo de la Experiencia de laboratorio

Primeramente corresponde identificar el uso que se le da al turbosoplador como experiencia de laboratorio, en el marco del ramo de turbomáquinas, siendo una experiencia demostrativa, ya que los datos que utilizaran los alumnos para sus correspondientes cálculos se obtienen de la base de datos docente, la cual es realizada en este mismo trabajo de título y que se detallara mas adelante el proceso de esta base.

La experiencia comienza con bajas RPM o frecuencia, las cuales se operan desde el variador de frecuencia, luego poco a poco se van subiendo los Hz desde el variador hasta llegar a la velocidad máxima permitida por el variador, osea los 50 [Hz], para luego finalmente maniobrar las válvulas con la HMI, para poder observar el fenómeno de bombeo o "surge", el cual se genera al estrangular la descarga, dicho fenómeno se puede observar en el manómetro, ya que la aguja de este entra en un constante vaivén, indicando que ya se llego al punto de "surge".

3.1.1. Laboratorio

La experiencia de laboratorio tiene 3 objetivos los cuales son los siguientes:

- Obtener las curvas características del turbosoplador.
- Determinar bajo que condiciones se produce el fenómeno de bombeo.
- Discutir y evaluar cual de los 3 métodos de regulación de caudal es el más viable (ahorro de energía) para exigencias simuladas del consumidor (p = cte y V = cte).

Los 3 métodos de regulación de caudal que se pueden observar en la experiencia son los siguientes:

- Estrangulación en la admisión: se opera la válvula de admisión de modo de obtener el caudal necesario.
- Estrangulación en la descarga: exactamente lo mismo pero esta vez se opera la válvula de descarga.
- Variación de frecuencia del motor eléctrico: con ambas válvulas abiertas, se maniobra solo el VDF de modo de obtener el caudal necesario.

3.1.2. Obtención curvas características

Son 3 las curvas características que hay que determinar en la experiencia de laboratorio, las cuales corresponden a las curvas de los 3 métodos de control de caudal mencionadas anteriormente, el método de obtención de cada una se detalla a continuación.

- Curva Estrangulación Descarga: mediante un sucesivo cierre de la válvula de descarga manteniendo totalmente abierta la válvula de admisión, hasta llegar al cierre completo de la válvula de descarga.
- Curva Estrangulación Admisión: mediante un sucesivo cierre de la válvula de admisión, manteniendo totalmente abierta la válvula de descarga, hasta llegar al cierre completo de la válvula de admisión.
- Curva Variación del motor eléctrico: La válvula de admisión totalmente abierta, y con una leve estrangulación en la válvula de descarga, se procede a reducir la frecuencia del motor para así reducir el caudal, llegando a la frecuencia mínima de 3 [Hz].

Los diagramas obtenidos deben ser los siguientes:

- Diagrama Presión de descarga vs Caudal
- Diagrama Potencia vs Caudal
- Diagrama Rendimiento vs Caudal

Cada diagrama debe tener las 3 curvas de los 3 métodos de control de caudal analizados, para poder apreciar las distintas variaciones que tienen un método con otro y así poder facilitar la conclusión de cual es el método mas viable.

En el apéndice A se encuentran todas las hojas de la experiencia de laboratorio, con los objetivos, fórmulas a utilizar, gráficas solicitadas, preguntas, etc.

3.2. Instrumentación y Equipos utilizados

Para llevar a cabo el reacondicionamiento del turbosoplador y poder desarrollar de manera automatizada la experiencia de este mismo se necesitaron de varios equipos, como también de instrumentación, tales como los sensores presentes en el TS. Todos estos equipos e instrumentación utilizada se detallan en el siguiente apartado:

3.2.1. Sensores Eléctricos

En el turbosoplador existen 7 sensores eléctricos en total, los cuales 4 son de presión y 3 son de Temperatura, los cuales se detallan a continuación:

3.2.2. Sensores de Temperatura

Estos sensores de temperatura son los 3 iguales, son los sensores PT100, los cuales a 0 [°C] tienen 100 [Ohm] y que al aumentar la temperatura aumenta su resistencia eléctrica.

A estos sensores se les asigno un número por su orden desde la admisión hacia la descarga, por lo que se les denomino como T1,T2 Y T3 los cuales tienen la siguiente ubicación en el turbosoplador:

- T1: Se ubica en la admisión de aire, antes de la válvula de admisión.
- T2: Se ubica antes de la entrada al tubo de Venturi.
- T3: Se ubica justo después de la salida del tubo de Venturi.

Estos sensores cuentan con un rango de medición que va desde los -40 [°C] hasta los 300 [°C].

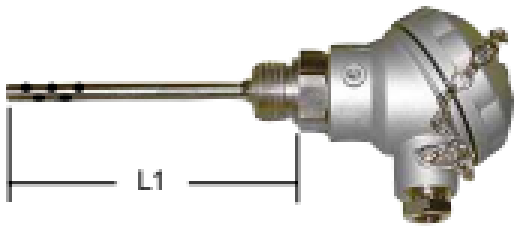


Figura 4: Sensores PT100 utilizados en el turbosoplador

3.2.3. Sensores de Presión

En este caso los sensores de presión utilizados son todos diferentes, ya que en cada ubicación se miden distintos rangos de presión, tanto como rangos negativos, rangos positivos, o ambos rangos, por lo que su ubicación va asociado al rango de presión que se mide en esa zona, siendo cada sensor el más idóneo para cada caso.

Todos los sensores cumplen con estas características:

- Señal de Salida: 4-20 [mA]
- Alimentación 10-30 [VDC]
- Temperatura de Fluido: -30 a 100 [°C]
- Temperatura de Ambiente: -10 a 80 [°C]
- Poseen protección IP65 la cual es protección de equipo hermético al polvo y protegido contra el agua proyectada y además posee protección contra inversión de polaridad.



Figura 5: Tipos de Sensores utilizados en el Turbosoplador

Sensor 1: Este sensor está ubicado en la admisión, justo después de pasar por la válvula de admisión. Posee un rango desde -1 a 0 [bar]. En la figura 5, es del tipo FIG 1.

Sensor 2: Este sensor esta justo en la entrada al tubo de Venturi. Posee un rango desde 0 a 2.5 [bar]. En la figura 5 es del tipo FIG 3

Sensor 3: Este sensor se ubica en la contracción del tubo de Venturi. Posee un rango de 0 a 6 [bar]. En la figura 5 es del tipo FIG 3

Sensor 4: Este sensor también se ubica en la contracción del tubo de Venturi. Posee un rango de -1 a 0.6 [bar]. En la figura 5 es del tipo FIG 2

Cada sensor tiene un código asociado, el cual se puede ver en el catálogo del fabricante, el cual se encuentra en el anexo, dichos códigos son los siguientes:

- Sensor 1: C9000008.
- Sensor 2: C9001500.
- Sensor 3: C9012006.
- Sensor 4: C9000709.



Figura 6: Sensor 4, donde se puede apreciar su rango y su forma que es del tipo FIG 2

3.2.4. Variador de Frecuencia

Dentro del desarrollo de la experiencia del turbosoplador existe un método de control de caudal bastante recomendable, el cual es el que se obtiene a través del uso de un variador de frecuencia.

Los variadores de frecuencias son sistemas que se encuentran entre la fuente de alimentación eléctrica y los motores eléctricos. Estos sirven para regular la velocidad de giro de los motores de corriente alterna (AC), tal como el que se utiliza en la experiencia del TS.

El variador, lo que hace es regular la frecuencia de la electricidad que recibe el motor, con esto el variador de frecuencia consigue ofrecer al motor la electricidad demandada para en este caso cumplir con el caudal solicitado, evitando así la pérdida de energía, o lo que es lo mismo, optimizando el consumo de esta.

El VDF presente en las inmediaciones del laboratorio es un Variador de Frecuencia **Leroy Somer Modelo UMV 2301 AS-75T**



Figura 7: Variador de Frecuencia Leroy Somer UMV 2301 AS-75T

3.2.5. Sistema PLC

En el TS existe un sistema PLC, que es el encargado de automatizar todo el proceso, ya que este capta las mediciones de los sensores, y las puede entregar de manera remota en un computador, como también se encarga de la apertura o cierre de las válvulas de admisión.

Pero antes que todo, ¿Que es un Sistema PLC? Para responder a esta interrogante primero se debe saber que PLC es un acrónimo en inglés de *Progammable Logic Controller* por lo que traducido al español es un **Controlador Lógico Programable**, y un PLC es sistema electrónico de funcionamiento digital que normalmente su uso aplica en entornos industriales, con el fin de optimizar los procesos. Este sistema cuenta con una memoria programable para el almacenamiento interno de instrucciones de control las cuales son definidas por el usuario.

En particular, el sistema PLC se aplicó al Turbosoplador con el fin de poder operar las válvulas de manera remota, sin tener que estar dentro de la cabina operándolas de forma manual y además este permite visualizar y almacenar todas las mediciones que obtienen los sensores en tiempo real, lo que facilita la lectura de estos.

Además estos datos tienen una precisión mayor a los que se obtenían anteriormente de manera análoga.

De los tipos de PLC que existen, este en particular es del tipo PLC con HMI incorporado, una HMI es por su acrónimo en inglés *Human Machine Interface*, una **Interfaz Humano-Máquina** lo que quiere decir que es una interfaz gráfica, donde se puede operar lo que el PLC este comandando. Esta HMI en conjunto con el PLC permite optimizar la experiencia de programación y uso de la máquina. Reduce el cableado de los elementos del PLC y los

muestra en una pantalla gráfica según se programe.

El Sistema PLC que se encuentra en el laboratorio es un **PLC Allen-Bradley® MicroLogixTM 1400** de la marca Rockwell Automation, Modelo 1766-L32BWAA, todas las especificaciones técnicas de este PLC se encuentran en el anexo.



Figura 8: PLC Micrologix 1400 utilizado en el TS

3.2.6. Módulos de Entradas

Para la lectura de las mediciones de los sensores eléctricos es que al PLC se le anexan 2 Módulos de Entradas, uno es un módulo de entradas RTD, donde llegan los sensores de temperatura, y el otro es un módulo de entradas analógicas, donde llegan los sensores de presión.

3.2.7. Módulo de Entradas RTD

El módulo de entradas RTD es el modelo 1762-IR4, del fabricante Allen-Bradley.

Este módulo recibe y almacena datos analógicos digitalmente convertidos de entradas de RTD u otras entradas de resistencia, tales como potenciómetros.

El módulo acepta conexiones de cualquier combinación de hasta 4 entradas de RTD u otras entradas de resistencia.

En este módulo se conectan los 3 sensores de temperatura del tipo PT-100 presentes el TS.



Figura 9: Módulo de Entradas RTD 1762-IR4

3.2.8. Módulo de Entradas Analógicas

El módulo de entradas analógicas es el modelo 1762-IF4, del fabricante Allen-Bradley.

Este módulo al igual que el anterior reciben hasta 4 entradas, es decir 4 sensores.

En este caso en particular, las 4 entradas estan asignadas a los 4 sensores de presión presentes en el TS.



Figura 10: Módulo de Entradas Analógicas 1762-IF4

En la Figura 11, se puede apreciar la disposición tanto del PLC como de los 2 módulos

conectados a este mismo, con la configuración inicial que estos mantenían.

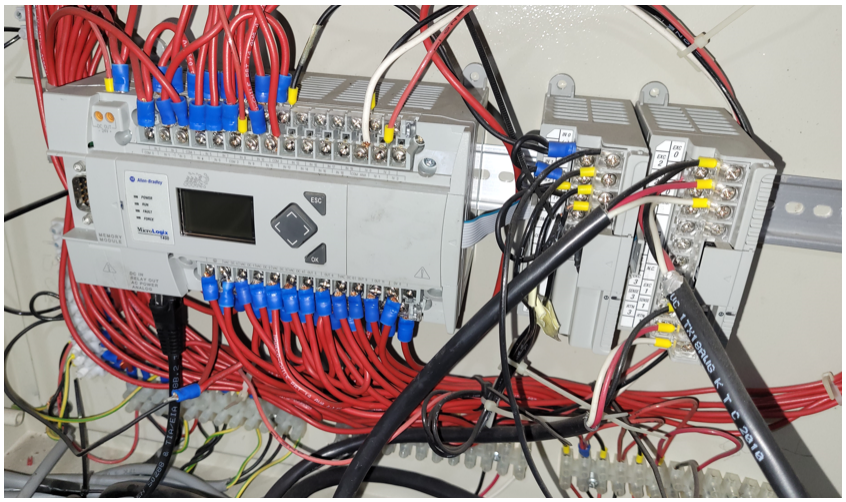


Figura 11: PLC Micrologix 1400, Módulo de Entradas Analógicas 1762-IF4 y Módulo de Entradas RTD 1762-IR4, en ese orden respectivamente

3.2.9. Actuadores Neumáticos

Estos son los encargados de girar las válvulas de mariposas que estan presente en la admisión y descarga del TS. Estos se operan desde la HMI mediante el PLC ya que estos actuadores neumáticos son eléctricos.

En específico en el TS, se encuentran 2 de estos actuadores, los cuales son comercializados por la empresa Imfluid ltda, son del modelo **R-2**.

Algunas características importantes son las siguientes:

- Voltaje: 220/240 [V]
- Corriente: 0.3 [A]
- Temperatura de trabajo: -10 + 50 [°C]
- Protección IP65: Equipo hermético al polvo y protegido contra el agua proyectada
- Tiempo de trabajo: 20 [s]
- Tiempo Bajo tensión: 35 %
- Par máximo de arranque: 170 [Nm]



Figura 12: Actuador Modelo R-2 presente en el TS.

3.2.10. Relays

Los Relays o Relés, son dispositivos electromagnéticos, los cuales funcionan como un interruptor eléctrico que permite el paso de la corriente eléctrica cuando está cerrado e interrumpirla cuando está abierto, pero los cuales son accionados eléctricamente, no manualmente.

De estos inicialmente habían 14, y de 2 tipos distintos, pero al realizar el reacondicionamiento solo se terminaron utilizando 5, y todos del mismo tipo.

Estos Relays son de la marca OMRON, del tipo **MK2P-S.**

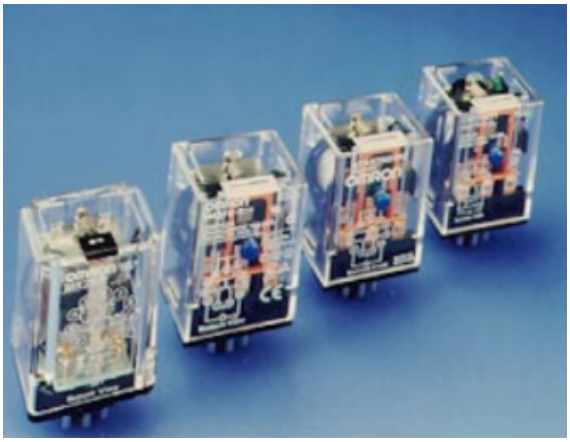


Figura 13: Relays OMRON



Figura 14: Disposición Inicial de los 14 Relays en el gabinete del PLC

3.2.11. Router

Para realizar la conexión entre la HMI que estará en un PC y el PLC de manera inalámbrica, se necesita de un router para que este emita la conexión Wi-fi. Ya que el PC, al conectarse al Wi-fi se conectara al PLC, ya que el router esta conectado mediante cable Ethernet con el PLC.

El router utilizado es un **TP-LINK modelo TL-WR941ND.**



Figura 15: Router TP-LINK TL-WR941ND

3.2.12. Otros

Aquí se listan elementos que si bien no son equipos ni instrumentación, son parte esencial del reacondicionamiento del TS, ya que permiten unir la instrumentación con los equipos. Estos elementos son:

- Cables Eléctricos: Utilizados para prácticamente todas las conexiones existentes, entre PLC, Relays, Sensores, Módulos de entradas, Regletas, Alimentación, VDF, Etc.
- Regletas Eléctricas de conectores: Facilitan el orden del cableado, se utilizaron 5 para ordenar el cableado del gabinete.
- Cable Ethernet: Utilizado para conectar el PLC con el router, y así generar la conexión vía Wi-fi con la HMI.

3.3. Proceso del Reacondicionamiento

Para este proceso se siguió los pasos de la guía de procedimientos del inciso 2.3, y como esta indica el primer paso fue la mantención del turbosoplador el cual se detalla a continuación:

3.3.1. Mantención del Turbosoplador

En este proceso más que nada se procedió a verificar que todos los elementos del turbosoplador estuvieran funcionando correctamente.

Una de las cosas más importantes que se hicieron fue el poder engrosar el aceite que poseía hasta ese entonces el turbosoplador, la cual se utiliza en la caja multiplicadora de este. ¿Por qué se buscaba engrosar dicha aceite? Porque al llegar al bombeo o *surge* en el turbosoplador, esta aceite se pulverizaba con bastante facilidad, llenando todo el ambiente de aceite, como también los equipos y sensores allí presentes, lo que en un mediano plazo podría dañarlos, por lo que cambiarla por una de mayor densidad reduciría la pulverización de esta.

Para esto se tomo una muestra del aceite, y se llevo al laboratorio de termodinámica, para determinar su densidad y así utilizar una de mayor densidad, pero a que su vez no dañe al TS.

Posterior a esto y con la densidad ya determinada, en conjunto al personal del laboratorio, se vació el TS del aceite antiguo, se llenó con el nuevo aceite y se le agregó un aditivo de aceites, para optimizar el funcionamiento del TS.

Siguiendo con la mantención de todos los elementos del turbosoplador también se realizo lo siguiente:

- Retirar todos los tapones presentes en los distintos orificios donde originalmente iban sensores.

- Volver a conectar los sensores de presión, ya que todos estaban desconectados.
- Conectar el manómetro descalibrado en el primer orificio que esta ubicado después de que el aire pase por el rodete, ya que este permite verificar de manera visual cuando se llega al fenómeno de bombeo, por lo que es una gran ayuda para el desarrollo de la experiencia
- Poner tapones en los orificios que quedaron sin ningún sensor o manómetro
- Limpiar toda la cabina del TS, además de los equipos y sensores, eliminando así el exceso de aceite presente en el área.

Para la reconexión de los sensores, se analizo las distintas presiones que se miden en las distintas zonas del turbosoplador, con el fin de determinar la mejor configuración en cuanto al orden en que cada sensor iba ser posicionado. Es por esto que se cambió un sensor de los presentes en el TS, por uno que estaba sin uso, ya que era el mas adecuado, y se cambiaron de orden prácticamente todos los sensores del TS. Este orden es el que se detalló en el inciso 3.2.3, donde se puede hallar toda la información respecto a los sensores de presión utilizados.

3.3.2. Instalación de Softwares de Conexión y Creación de Programas para el PLC

Una vez hecha toda la mantención del turbosoplador se debe comenzar a realizar la automatización de la experiencia, para lograr esto se necesita involucrarse de lleno a lo que respecta el sistema PLC y sus conexiones eléctricas

Para esto se analizó el PLC para comprender su funcionamiento, deduciendo que se alimenta directamente de los 220 voltios de corriente alterna, luego se encuentra con la batería del plc, donde deberían estar almacenados los programas anteriores con los que se operaba el TS.

Una vez comprendido todo el funcionamiento del PLC, se procede a instalar 2 softwares, uno permite generar una conexión al PLC y el otro permite crear un nuevo programa para leer los sensores y operar los actuadores de las válvulas del TS. Estos softwares se detallan a continuación

RSLinx Classic:

Este software es el que permite crear y configurar el driver con el cual se realizara la conexión entre el computador y el PLC. Esto porque el driver de conexión primero se debe configurar para el tipo de PLC adecuado, ya que existen múltiples modelos de estos, y posteriormente se debe crear una IP única con la cual se puede realizar finalmente la conexión.

Esta IP debe ser similar en las 3 primeras cifras y distinta en la última cifra a la IP que tenga configurada el PLC, ya que así dependiendo el tipo de conexión que posteriormente se realice, se puede comandar el PLC desde el computador.

Existen 2 maneras convencionales de conectarse al PLC las cuales son las siguientes:

- Vía Cable Ethernet: Esta conexión es de manera directa, ya que se realiza conectando directamente un cable Ethernet desde el PLC al computador en cuestión, donde posteriormente en el computador se debe configurar el cable Ethernet definiendo la misma IP del driver creado, y la misma máscara de subnet que posee el PLC.

- Vía Wi-Fi: Esta conexión es de manera indirecta, ya que el cable Ethernet se conecta desde el PLC a un router, el cual se debe configurar previamente para que este posea la misma IP del driver creado. Con esto cualquier computador que se conecte a la red Wi-fi que emite el router esta conectado con el PLC, transformándolo en una conexión remota

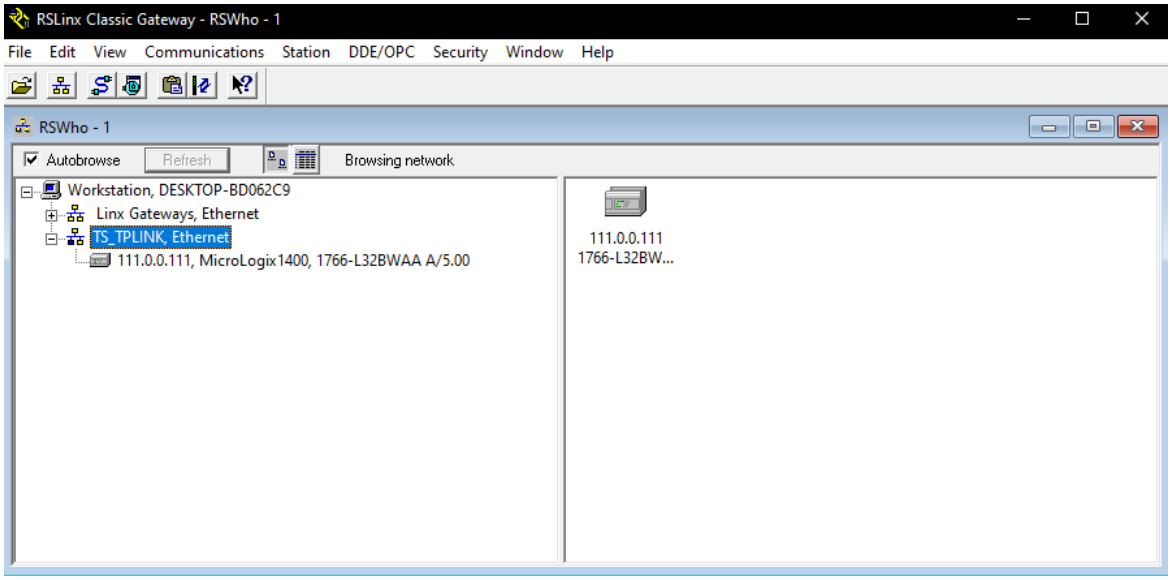


Figura 16: RSLinx Classic, donde se aprecia la creación del driver TS_TPLINK, la cual detecta al PLC Micrologix 1400, y con su IP definida

RSLogix 500:

Este software es el que permite crear el programa con el cual funcionara el PLC, aquí se crea la **Ladder**, se crean los botones que la HMI utilizara para operar las válvulas, y también se manipulan las entradas para que posteriormente la HMI entregue los datos de las variables que esta sensando.

En este software, si se realiza correctamente la creación del driver de conexión, aparecerá para seleccionar el PLC en cuestión, se selecciona y se puede comenzar a manipular al gusto del usuario.

Este tiene varios modos de uso:

- Offline: En este modo se puede manipular y cambiar toda la configuración del programa, ya que no esta conectado al PLC. Por lo que para verificar el funcionamiento del programa se debe cambiar de modo.
- Remote Run: Este modo es cuando se ha establecido la conexión con el PLC, y este esta entregando información al computador (las entradas) y a su vez se puede operar el programa de manera manual, pero no se permite realizar cambios a la configuración del programa.
- Program: En este modo se sigue conectado al PLC, pero se permite realizar cambios a la configuración del programa, lo que permite verificar errores de manera mas sencilla.

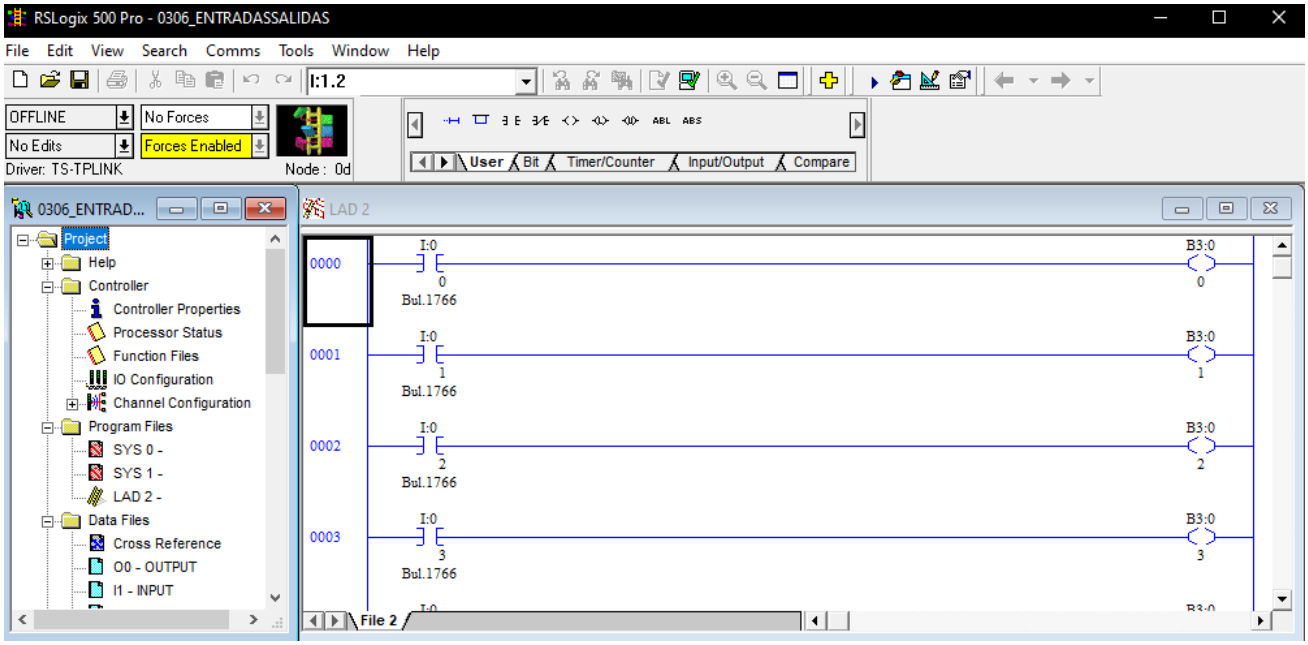


Figura 17: RSLogix 500, Configuraciones básicas del programa final del TS

3.3.3. Calibración Sensores

Una vez conectados al software RSLogix 500, se pudo verificar el funcionamiento de los sensores, donde se pudo observar que todos funcionaban, pero que faltaba calibrarlos.

Calibración Sensores de Temperatura

Para calibrar estos sensores se compararon con la temperatura que tenía el ambiente, ya que cuando no se había realizado ningún ensayo, los 3 sensores de temperatura indicaban prácticamente el mismo número en el RSLogix 500, el cual siempre rondaba entre los 16 y 15 [°C]. Para verificar dicho dato, se midió la temperatura del ambiente de la cabina del TS en ese momento y coincidía totalmente con lo que se podía leer en el software.

Solo se tuvo que escalar, ya que en el software indicaba 163, y en la realidad eran 16.3 [°C], es por esto que en la configuración del programa, los 3 sensores se leen, se dividen por 10 y se entregan a la HMI.

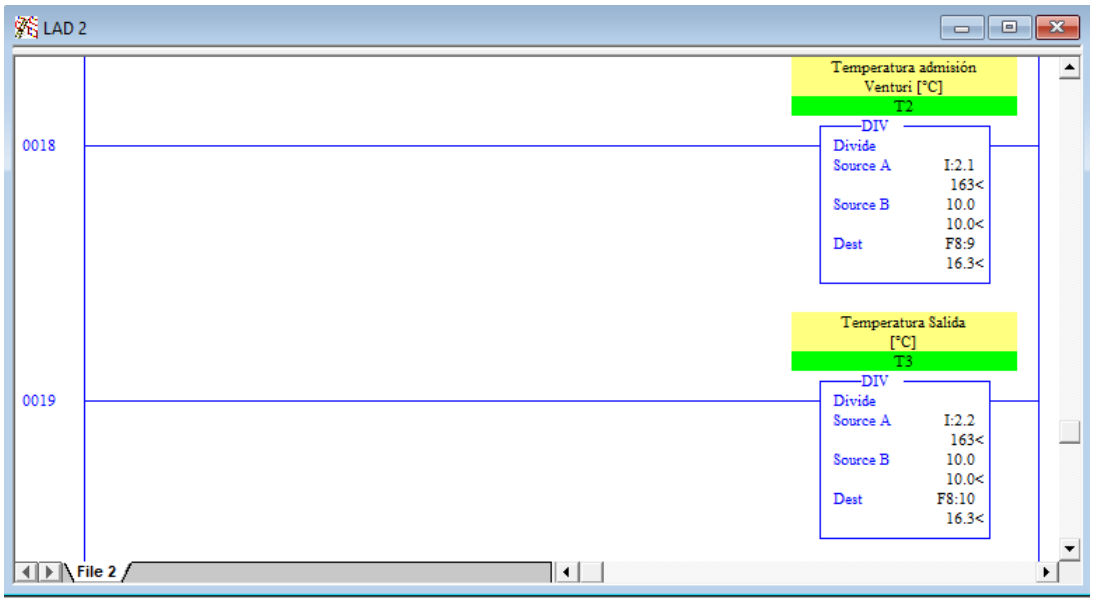


Figura 18: T2 y T3 en el programa final de RSLogix 500, donde se aprecia que se escala dividiendo por 10

Calibración Sensores de Presión

En el caso de los sensores de presión en el RSLogix 500 se leyeron números totalmente distinto entre los 4 sensores, esto se debía simplemente a que los 4 sensores tienen rangos de mediciones distintos, y eso significaba que para entregar los 0 [bar] de presión manométrica que existen cuando el TS esta en reposo, cada sensor entrega un amperaje distinto, lo que en el RSLogix se traducía en ver números bastante distintos.

Al saber que los sensores entregan desde 4 a 20 [mA], se podían utilizar tester para verificar esas mediciones de corrientes y posteriormente escalarlas a la unidad de presión [bar].

Para realizar las calibraciones se realizaría el siguiente proceso en cada uno de los 4 sensores:

- 1er paso: Se abre el sensor y se le conecta un tester para ir viendo como cambia su corriente
- 2do paso: Realizar ensayos del TS, manipulando las válvulas para poder llegar al máximo y al mínimo de presión que se puede leer en el RSLogix (hay un punto en el que el número se queda fijo, debido a que se escapa del rango del sensor)
- 3er paso: Anotar el amperaje que se obtuvo cuando deja de sensar en los máximos y mínimos.

Con estos datos se puede escalar la corriente, y verificar que la corriente del tester fuese la misma que se escala en el RSLogix.

Buscando en la información del módulo de entradas analógicas de presión se pudo determinar que el máximo número que tiene la escala del RSLogix es 16383 y el menor número es -819. Además se sabe que a los 20[mA] son 16383 y que 4[mA] son 0 en el RSLogix, solo faltaba hallar cuanto amperaje era a los -819.

Para realizar los ensayos se necesitaba poder manipular las válvulas, por lo que se hayo una manera de operarlas. Esto se logró mediante el uso de un enchufe directo al voltaje 220 de corriente alterna que entrega la red. Se abrió el actuador, luego para abrir la válvula se conectaba a este con una configuración definida, y para cerrarla simplemente esta configuración se debía invertir.

Con las válvulas operativas se procede a realizar los ensayos para verificar que corriente es la mínima que se mide cuando se llega a los -819 en el RSLogix.

Esto solo se pudo determinar en los sensores que tienen un rango que comienza desde 0, ya que las presiones negativas que se presentan en los ensayos no alcanzan a superar los -0.6 [bar]. Esto porqué debemos llevar al sensor a un punto de máxima exigencia, ya que si su rango comienza desde 0, que perciba presiones negativa escapa totalmente de su rango.

Al realizar los ensayos, se pudo determinar que el mínimo amperaje de los sensores es de 3.2 [mA], por lo tanto cuando en el RSLogix indique -819, significa que los sensores estan arrojando 3.2 [mA] al PLC.



Figura 19: Proceso de calibración donde se aprecia el tester conectado al sensor y los manómetros

Se escalo los 4 sensores con estos parámetros, y se fue chequeando que su amperaje coincidiera con el indicado en el RSLogix, donde se pudo verificar que eran prácticamente los mismos amperajes, lo que indicaba que se habían escalado correctamente los sensores.

Con el amperaje escalado correctamente, solo bastaba transformar este amperaje en presión, para eso se utilizo los rangos de cada sensor de presión, y el rango de amperaje de los sensores, el cual en los 4 es el mismo, desde 4 a 20 [mA]

- Sensor 1: -1 a 0 [Bar]
- Sensor 2: 0 a 2.5 [Bar]
- Sensor 3: 0 a 6 [Bar]
- Sensor 4: -1 a 0.6 [Bar]

Como ejemplo se utiliza el sensor 1, lo cual en este caso sería -1 [bar] = 4 [mA] y 0 [bar] = 20 [mA], realizando esta conversión con cada sensor se puede obtener en el RSLogix el valor de presión exacta que esta sensando cada uno de los sensores, para posteriormente mostrarlos y procesarlos en la HMI.

Posterior a esto se realizaron nuevamente los ensayos, pero esta vez para verificar que las presiones que entregaba el RSLogix concordaran con lo señalado en los manómetros que se colocaron. Donde finalmente se pudo chequear que las presiones que indicaba el RSLogix estaban bastante cercanas a las medidas, teniendo un margen de error menor al 5 %.

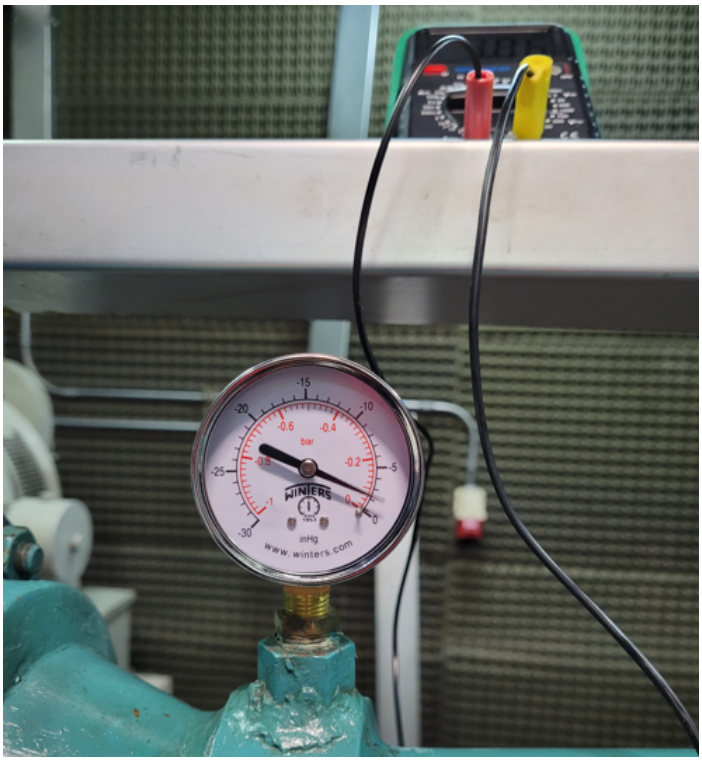


Figura 20: Calibración del sensor 3, con el tester y manómetro

Además en este proceso de calibración se probaron las 4 configuraciones que se pueden aplicar en el TS, las cuales son las siguientes:

- V1: 0 % Abierta y V2: 100 % Abierta
- V1: 100 % Abierta y V2: 100 % Abierta
- V1: 100 % Abierta y V2: 0 % Abierta
- V1: 0 % Abierta y V2: 0 % Abierta

Y se pudo determinar que todos los sensores tanto de presión como de temperatura, funcionan en estos casos extremos, es decir, que en todo momento, independiente de las configuraciones de las válvulas, o de la velocidad del motor, los sensores entregaran datos fidedignos.

3.3.4. Calibración de los Actuadores Neumáticos de las Válvulas y del Variador de Frecuencia

Para permitir esta calibración, primero se debía realizar una nueva configuración en el esquema de conexiones que se tenía en el gabinete, es decir, que se debían reordenar las conexiones allí presentes, como también reordenar los relays a utilizar.

Analizando el esquema de conexiones que se utilizaba se pudo concluir que para efectos prácticos de la experiencia de laboratorio, la cantidad de relays utilizados eran demasiados, ya que estaban ordenados de tal manera que su uso fuera de un índole industrial, y no de un índole académico. Es por esto que se comenzó por retirar la totalidad de los relays del gabinete, los cuales eran 14, como se puede apreciar en la figura 14, además de todo el cableado presente. Y posterior a esto se instalaron inicialmente 4 relays con sus conexiones correspondientes, donde cada uno tenía las siguientes funciones:

- Relay B: Entrega la energía de 220 [V] a la válvula de admisión.
- Relay C: Utiliza la energía proporcionada por el Relay B y comanda el sentido de giro de la válvula de admisión, es decir, comanda si se abre o cierra la válvula de admisión.
- Relay D: Entrega la energía de 220 [V] a la válvula de descarga.
- Relay E: Realiza lo mismo que el Relay C, pero esta vez aplicándolo a la válvula de descarga.

Una vez hecha esta nueva configuración, faltaba configurar las conexiones que utilizaba el VDF. Por eso es que se analizó las conexiones y pines que poseía el VDF, y se añadió un relay más a la configuración.

- Relay A: Comanda el botón de la parada de emergencia del VDF, el cual permite parar de manera remota el suministro de energía que da el VDF hacia el motor.

Ya con esta configuración realizada se finaliza con el cableado del gabinete, por lo que los demás cables y relays restantes se guardan en las instalaciones del laboratorio.

3.3.5. Calibración del Sensor de RPM y Cálculo de Caudal

Calibración del Sensor de RPM:

Una vez calibrados los sensores de temperatura y presión, además de los actuadores, faltaba el sensor de RPM, por lo que se debía realizar su correspondiente calibración.

Este sensor se calibro de manera similar a lo realizado con los sensores de presión. Para esto se chequeo cuales eran el maximo y mínimo que este sensor entregaba en el RSLogix, y se pudo verificar que el mínimo que entrega es 0 y el máximo número que entrega es 4096(que es cuando el variador funciona a 50 [Hz]).

Luego con un tacómetro digital, se midió en el punto de máximo requerimiento, el cual es funcionando a 50 [Hz], lo que entrego un valor experimental de 2952 [RPM], un dato bastante cercano al valor de [RPM] nominal de el motor, el cual es 2930 [RPM].



Figura 21: Medición experimental de las [RPM] funcionando a 50 [Hz]

Con estas mediciones y datos obtenidos, es que se opta por escalar el sensor con el máximo nominal de 2930 [RPM], debido a que el dato experimental se asemeja bastante al nominal. De todas maneras, luego de calibrar este sensor en el RSLogix se decidió volver a tomar varias mediciones de [RPM] y comparar los valores sensados, con los obtenidos experimentalmente, y se pudo chequear que prácticamente eran los mismos, ya que distaban entre 1-5 [RPM] entre cada dato, confirmando la correcta calibración de este sensor

Cálculo del Caudal:

Para esta variable no se cuenta con un sensor electrónico como con las demás variables, si no que existen 2 métodos para obtener el caudal de aire que mueve el TS. Un método para obtener el caudal es medir la velocidad en la zona de admisión, con un anemómetro, y luego

esta velocidad multiplicarla por el área, obteniendo así el caudal, pero este método es manual e implica un mayor tiempo para obtener las mediciones de velocidad.

Y el otro método es mediante el venturímetro, ya que con el diferencial de presión que se produce allí, y con las condiciones de temperatura y presión que se encuentra el aire antes de ingresar a este (las cuales son sensadas) se puede obtener el caudal mediante la siguiente fórmula:

$$\dot{q}_v = \alpha \cdot \varepsilon \cdot A_d \quad \sqrt{2 \ \Delta p / \rho_1}$$

Figura 22: Fórmula para calcular el caudal, extraídas de las hojas de laboratorio de la experiencia, mas detalles en el apéndice A

Del apéndice A sabemos lo siguiente:

- α=1,009 [-]
- ϵ=0,88 [-]
- A_d=0,00201902 $[m^2]$

Además esta fórmula entrega el caudal en $[m^3/s]$ y para que la entregue en $[m^3/h]$ hay que multiplicar todo por 3600, por lo que despejando la fórmula simplificada queda así

$$q_v = 9{,}090384 * \sqrt{\delta P / \rho_1} \tag{1}$$

Para obtener ρ_1 se utiliza la siguiente fórmula:

$$\rho = \rho_n \cdot \frac{p \cdot T_n}{p_n \cdot T} \quad (kg/m^3)$$

Figura 23: Fórmula para el calcular la densidad antes del venturímetro

De esta fórmula sabemos:

- $\rho_n = 1.204$ $[kg/m^3]$ densidad a 20 [°C] y 101325 [Pa]
- $T_n = 293{,}15$ [K] Temperatura normal de 20 [°C]
- $P_n = 101325$ [Pa] Presión normal

- P = Presión sensada en la admisión del Venturi
- T = Temperatura 2

Con esto ahora solo hay que transformar los grados Celsius a grados Kelvin de la temperatura 2 y pasar de bar a Pascales la presión en la admisión del Venturi, y así obtener un valor para la densidad.

Para el diferencial de presión se debe también transformar este a Pascales, y una vez hecho esto se pueden obtener mediciones de caudal.

Para esto en el RSLogix primero se obtuvo el diferencial de presiones, que inicialmente esta en bar, luego se le saca valor absoluto y este número se transforma a Pascales.

Siguiendo en el RSLogix, se configura la presión de admisión al Venturi, la cual se transforma de bar a Pascales y se le suma la presión atmosférica de 101325 [Pa], ya que para la fórmula de la densidad se trabaja con presiones absolutas. Posterior a esto se definen los valores de Temperatura normal y Presión normal (20 [°C] y 101325 [Pa]), y se transforma la temperatura 2 desde grados Celsius a grados Kelvin, con todo esto definido, se define la fórmula para el calcula de la densidad antes del Venturímetro.

Finalmente se define la constante que multiplica a la raíz de la fórmula (1) la cual es 9,090384, y se define la fórmula para entregar el caudal en $[m^3/h]$.

Una vez hecho esto en el RSLogix se puede observar un dato de caudal, pero las mediciones que se obtenían distaban bastante de lo indicado que nominalmente mueve como flujo el TS, que son 1000 $[m^3/h]$.

Siendo esto así, se procede a verificar la veracidad de estas mediciones que entregaba el programa, para eso se siguió el otro método que sirve para obtener un caudal. Por lo que con un anemómetro de aire caliente se comienzan a realizar mediciones desde la admisión del TS, en varios puntos que el RSLogix indicaba números cerrados, se midió en 500 , 1000 y 1800 $[m^3/h]$ y se obtuvieron mediciones aun mayores a las que el RSLogix indicaba.

Por ejemplo a 50 [Hz] y 2930 [RPM] la velocidad que detectaba el anemómetro en la admisión era de 28.97 [m/s] aproximadamente, y sabiendo que el diámetro de la admisión es de 160 [mm] se obtiene un flujo de 2097 $[m^3/h]$ un 16 % mayor a los 1800 app que medía el RSLogix.



Figura 24: Medición de la velocidad del flujo que capto el anemómetro en la admisión funcionando a 50 [Hz] y 2930 [RPM]

Con esto se puede concluir lo siguiente:

- Con las mediciones que se captaron con el anemómetro se puede verificar que en la realidad el Turbosoplador esta por sobre su caudal nominal, ya que en vez de entregar los 1000 $[m^3/h]$ entrega aproximadamente entre 1800-2100 $[m^3/h]$
- Esta anomalía se puede deber a diversos factores, uno de ellos es que siempre las turbomáquinas trabajan con un rango de funcionamiento que puede ir desde los 0,6 de rendimiento hasta los 1,2 app; por lo que probablemente el TS este trabajando en la zona o curva de 1,2 hacia arriba.
- Otro factor a tener en cuenta son las condiciones a las que se ve sometido el caudal, ya que como se indica en la hoja 1 del laboratorio de la experiencia, se puede encontrar una fórmula de que el caudal estándar se le multiplican 2 factores, uno que depende la presión y otro que depende de la temperatura, lo que en la realidad significa que el caudal a condiciones normales es menor al medido.
- Además de todo esto, que explica porque el caudal entregado es mayor a los 1000 $[m^3/h]$, hay que tener en cuenta otro factor, el cual es la corrección que se debe realizar a las mediciones de velocidad que obtiene el anemómetro (bajo parámetros de temperatura y presión definidos por el fabricante), ya que bajo lo mismo que se menciono anteriormente, a condiciones normales de presión y temperatura la medición de la velocidad sera menor. Si bien la presión no dista mucho de la que se tiene normalmente

a nivel del mar, si la temperatura cambia y bastante, como en la imagen se aprecia, se medían en ese instante 39.2 [°C] en el ambiente, lo que puede explicar en parte porque la medición de velocidad y caudal en la admisión es mayor incluso que la medida en el RSLogix.

- Y por último otro factor también a considerar a la hora de medir con el anemómetro, es que este es sensible al ángulo con el que se mida, ya que lo ideal es que quede de la manera mas paralela posible a la dirección del flujo, y como este se sostiene con la mano y por un tiempo prolongado pueden existir variaciones en la medición. Además de el cambio que puede producir en el flujo el hecho de que este en el medio de la admisión la válvula de mariposa, ya que al estar tan cerca esta de la admisión puede producir cambios en las direcciones del flujo y afectar a la medición tomada en ese momento.

Finalmente con todas estas conclusiones se puede inferir que lo medido experimentalmente por los sensores en el tubo de Venturi esta bastante cercano a la realidad, por lo que se utilizara este dato de caudal para la adquisición de datos para la base de datos docente.

3.3.6. Automatización de la Experiencia en los Softwares

En el software RSLinx Classic se configuro un driver de conexión, el cual inicialmente fue vía cable Ethernet directa entre PLC y PC, debido que no se poseía un router.

Pero posteriormente al acceder a un router, el cual se detallo anteriormente toda su información, se procede a configurar un nuevo driver, esta vez por conexión vía Wi-fi.

La configuración Wi-fi del router es la siguiente:

- Nombre de la Red: LTF-TURBOSOPLADOR
- Clave de la Red: termofluidos

Además esta red Wi-fi entrega internet, ya que se conecto a su puerto principal la internet que es proporcionada por la universidad, esto con el fin de facilitar la investigación y avances en la zona del TS.

Para lo que es el software RSLogix 500, se genero un programa nuevo, el cual tiene las siguientes entradas y salidas:

Entradas Directas PLC			
Sigla (RSLogix 500)	PIN PLC	Descripción	Observaciones
VAC	I/0:0	Sensor Válvula admisión cerrada	
VAA	I/0:1	Sensor Válvula admisión abierta	
VDC	I/0:2	Sensor Válvula descarga cerrada	
VDA	I/0:3	Sensor Válvula descarga abierta	
RPM	I/0:4	Tacómetro	
Entradas Módulo Analógico Presiones (1762 -IF4)			
Sigla (RSLogix 500)	PIN PLC	Descripción	Observaciones
P_VCN	I/1:0	Presión Venturi Contracción Negativa	Rango: (-1 a 0,6 [bar]) / Patita Suelta
P_1	I/1:1	Presión de Admisión	Rango: (-1 a 0 [bar])
P_VA	I/1:2	Presión Venturi Admisión	Rango: (0 a 2,5 [bar])
P_VCP	I/1:3	Presión Venturi Contracción Positivo	Rango: (0 a 6 [bar])
Entradas Módulo Analógico Temperaturas (1762-IR4)			
Sigla (RSLogix 500)	PIN PLC	Descripción	Observaciones
T1	I/2:0	Temperatura de Admisión	
T2	I/2:1	Temperatura de Admisión Venturi	
T3	I/2:2	Temperatura de Salida	
Salidas Directas PLC			
Sigla (RSLogix 500)	PIN PLC	Descripción	Observaciones
VDE	O/0:0	Energía Válvula de descarga	
VDS	O/0:1	Cambio de sentido válvula de descarga	
VAE	O/0:2	Energía Válvula de admisión	
VAS	O/0:3	Cambio de sentido válvula de admisión	
PEM	O/0:9	Parada de emergencia del VDF	

Figura 25: Entradas y Salidas presentes en el programa RSLogix 500

Para el accionamiento de las funciones que comandan los 5 relays se crearon 5 botones en el RSLogix, 2 para cada válvula y 1 para la parada de emergencia del VDF. Estos botones los comandara la HMI de manera remota y los cuales al accionarse mandan la señal desde el PLC hacia el relay y luego este manda la señal a la válvula para que se abra o cierra, o bien al VDF si es para la parada de emergencia.

Para los sensores que detectan si la válvula esta abierta o cerrada se dejo creada en el RSLogix 4 líneas, una para cada sensor (sensor de abierta y cerrada para la válvula de admisión y lo mismo para la válvula de descarga, totalizando así 4 sensores) donde al activarse cada sensor simplemente activan un botón, que para efectos de este trabajo de título, no activan nada. Es solo un ayuda visual dentro del RSLogix (para saber si estan abiertas, cerradas o en proceso de apertura o cerrado cada válvula)

Los sensores de presión, temperatura, RPM, y caudal ya se detallo anteriormente lo que se realizo en el programa para que entreguen la medición de manera precisa.

El detalle total del programa de RSLogix se puede ver en el apéndice H, donde se explica lo que se realiza en cada línea del programa.

3.3.7. Creación HMI

Para la creación de la *Interfaz Humano-Máquina* se utilizó el software de programación **Python**.

Con este software se puede operar todos los botones y sensores creados en el RSLogix sin necesidad de tener que abrir la *Ladder*, es por esto y por su simplicidad a la hora de programar es que la HMI sera realizada en Python.

La HMI tendrá las siguientes funciones:

- Mostrar en tiempo real lo que esta midiendo cada sensor, las 3 temperaturas, 4 presiones, RPM y Caudal.
- Permitir operar las válvulas tanto de admisión como de descarga, pudiendo abrir y cerrar totalmente ambas válvulas, también abrir y cerrar en tiempos definidos ambas válvulas, y finalmente se permite parar el movimiento de apertura o cerrado de cada válvula cuando el usuario estime conveniente.
- Realizar paradas de emergencia en el VDF en caso de alguna falla.
- Crear archivos TXT con la información que posee cada sensor, con mediciones cada 1 segundo.

En primer lugar para comenzar a crear la HMI, se definen las dimensiones que tendrá la ventana de la HMI, como también las posiciones que tendrá cada zona de botones con su respectivo nombre y dimensiones, estas zonas que tiene la HMI son las siguientes:

- Zona del Logotipo
- Zona de Conexión al PLC
- Zona de Registro de Datos
- Zona de los Sensores
- Zona de la Válvula de admisión
- Zona de la Válvula de descarga
- Zona del VDF

Una vez definido todo esto se comienzan a crear las funciones, las cuales posteriormente se les asignara a los botones que se creen.

Luego se crean los botones, se les asigna su función, y en cada zona, se procede a ubicar dichos botones con un texto que indique que función realiza y una dimensiones definidas.

Luego se crean los recuadros que mostraran los valores que estan midiendo los sensores.El Python logra reconocer que valor esta leyendo debido a que en el RSLogix cada sensor tiene un terminal del tipo FX:X, y en el código Python se le asigna su variable, lo que posteriormente permite mostrarlos en el recuadro que le corresponde a cada medición.

Finalmente se crea una imagen PNG del turbosoplador, la cual posee un fondo transparente,esto para que la HMI funcione de manera más agradable y didáctica, y así poder ver a simple vista cada medición asignada a su sensor correspondiente.

Luego mediante la extensión de Python *auto-py-to-exe*, se procede a crear un ejecutable del código Python de la HMI, debido a que creando dicho ejecutable, basta con instalar el directorio de este para que la HMI pueda funcionar en cualquier computador, sin tener la necesidad de instalar Python.

Para realizar esto es que se debe ingresar a la aplicación Powershell de Windows como administrador, instalar la extensión *auto-py-to-exe* y luego ejecutarla, la cual abrirá la siguiente ventana:

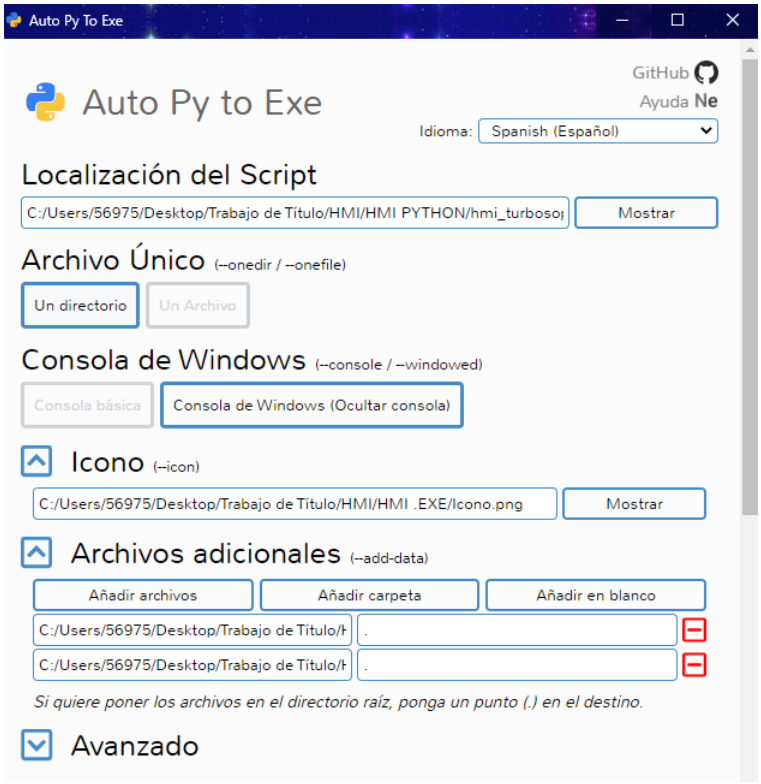


Figura 26: Ventana de la extensión auto-py-to-exe de Python, con la configuración para obtener el ejecutable de la HMI

Una vez hecho esto, se localiza el script de la HMI, se elige la opción de que posea un directorio (Con esto se facilita la instalación en otro PC, ya que traspasando dicho directorio basta para que el ejecutable funcione), se elige la opción de ocultar consola de Windows, se le selecciona el icono del turbosoplador, se añaden las imágenes que utiliza la HMI y se procede a convertir el archivo .py a un .exe, con lo cual se obtiene un directorio el cual posee el siguiente archivo ejecutable:

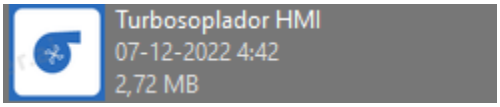


Figura 27: Archivo Ejecutable de la HMI del Turbosoplador

Para facilitar las cosas en el computador que se utilizara para la experiencia, se puede crear un acceso directo, y dejarlo en el escritorio de dicho computador, facilitando su localización.

Posterior a esto se ejecuta el archivo "Turbosoplador HMI", para abrir la interfaz de la HMI, la cual se encuentra lista para conectarse al PLC y comenzar a tomar datos y operar las válvulas. El resultado es el siguiente:

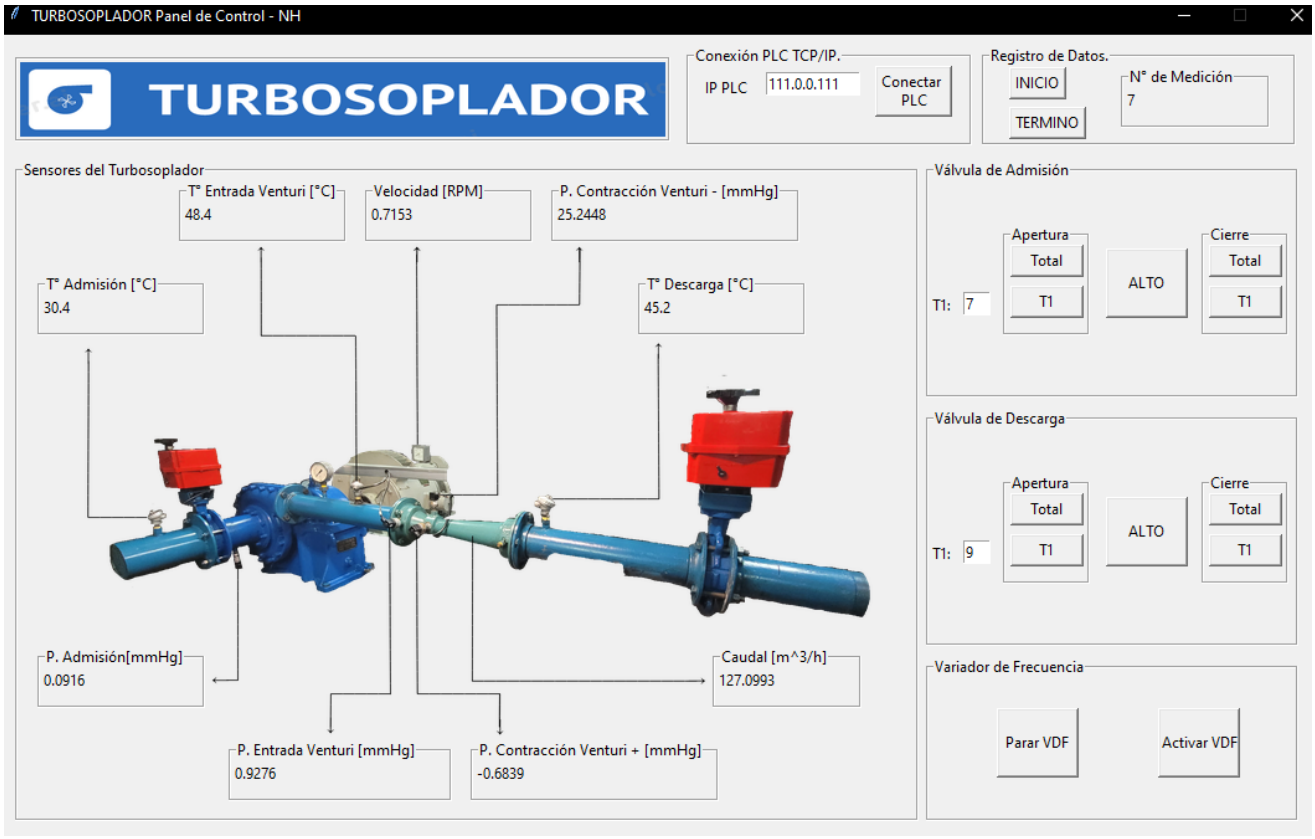


Figura 28: HMI funcionando, donde se pueden ver mediciones en tiempo real

El detalle del código de la HMI se puede ver en el apéndice I, ya que el mismo código Python de la HMI viene comentado, explicando cada paso que se realiza en el código.

3.3.8. Etiquetado y Orden

Como ultimo paso para finalizar el reacondicionamiento es dejar todo ordenado y etiquetado, ya que es algo bastante importante, ya que inicialmente el gabinete del PLC se encontraba como en la figura 3, con bastante cable, pero ordenado dentro de lo posible, además en la puerta estaban se encontraban unas hojas con información, las cuales se ven en la figura 29.

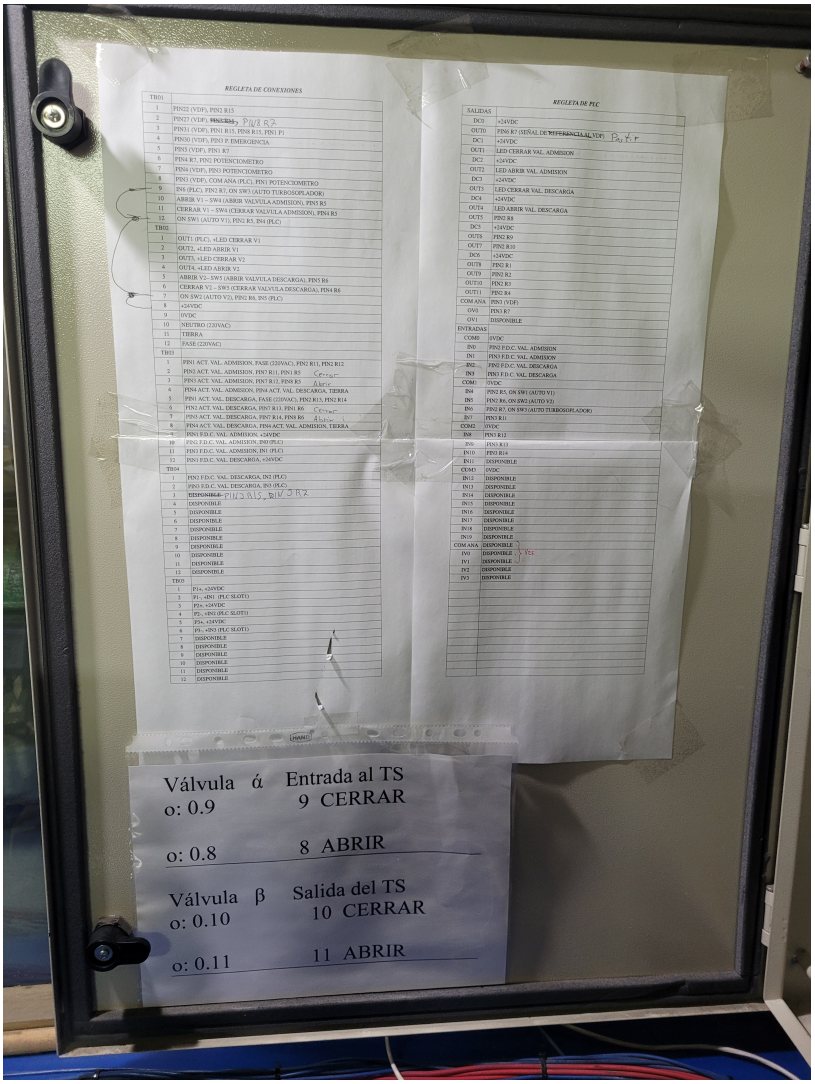


Figura 29: Hojas con información de las regletas, y entradas y salidas del PLC

Las cuales si bien indicaban las conexiones de regletas, entradas y salidas del PLC, costaba entender a que se aludía con algunas siglas, además de que la información se entregaba de una manera bastante pobre en algunos casos, también existían correcciones de esta información escrita con un lapicero, y el formato de las tablas de conexiones le faltaba información como funciones u observaciones de las conexiones existentes. De todas maneras toda esta información que se tenía en el gabinete se encuentra en el apéndice J.

Por lo que resultaba fundamental realizar nuevas tablas con dicha información y la restante, para permitir comprender de mejor manera las funciones de cada conexión realizada.

Como se realizó una nueva configuración para las entradas y salidas del PLC, y también se realizó nuevo esquema de conexiones eléctricas el cual se explicó en el punto 3.3.4 (este esquema es el que involucra a las regletas y a los relays), esta información no tenía utilidad, por lo que se retira del gabinete, quedando este espacio disponible para poder pegar en ese lugar las nuevas tablas de las conexiones realizadas para el reacondicionamiento.

Además como se realizó este nuevo esquema de conexiones eléctricas, se debe reordenar los cables de una manera agradable para la vista y que permita maniobrar con facilidad las conexiones, en caso de tener que cambiar algún cable o si se desea posteriormente agregar mas entradas y salidas al PLC.

Una vez se creó dicho esquema de conexiones y la experiencia del turbosoplador ya funcionaba correctamente, se pudo observar en el gabinete del PLC que el cableado estaba con un alto grado de desorden debido a que estos se manipulaban constantemente para poder encontrar el esquema óptimo, dicho estado de desorden se aprecia en la figura 30.

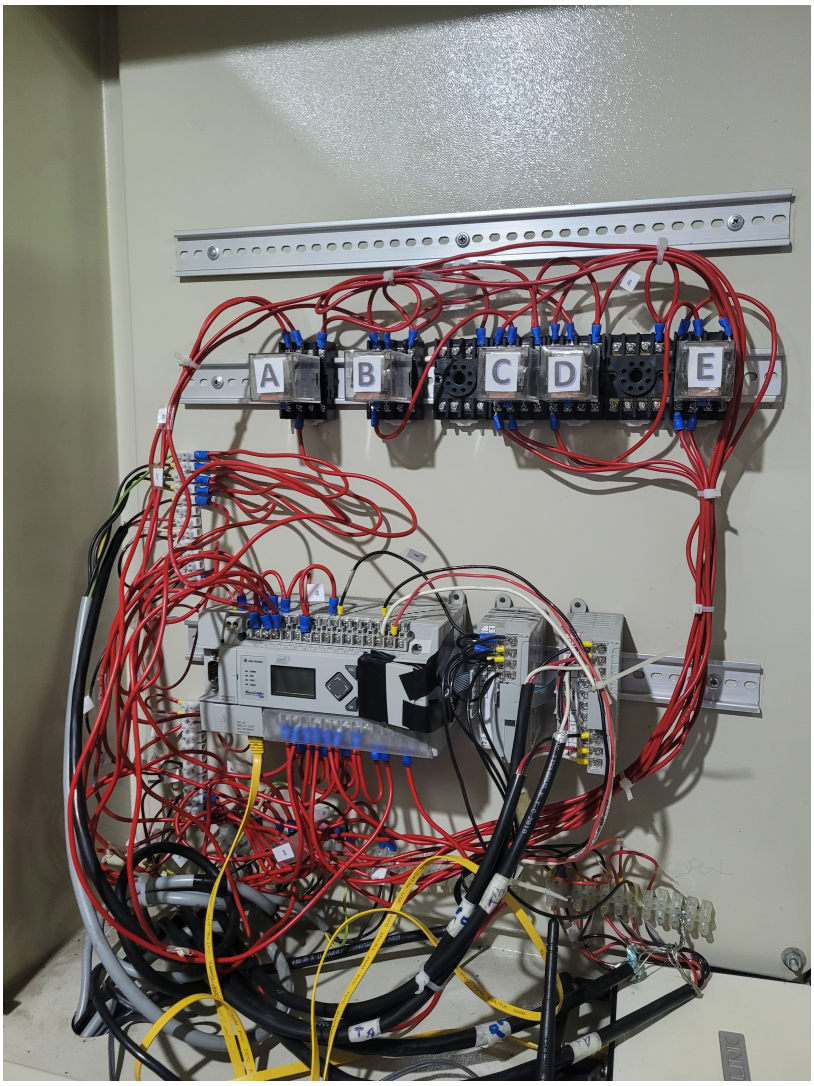


Figura 30: Estado preliminar de orden del Gabinete del PLC

Es por ello que se decide realizar las acciones que se detallan en el punto 2.3 con el fin de ordenar y etiquetar toda la zona del gabinete del PLC, además de la zona de la cabina del Turbosoplador, todo esto con el objetivo de facilitar el acceso a la información para cada persona que maniobre el TS, como también para alguien que desee operar el PLC posteriormente con el fin de implementar mejoras a la configuración realizada.

En este proceso se realizaran las acciones del listado del punto 2.3 desde “Etiquetar cables y relays del gabinete” hasta “Pegar en el gabinete del PLC todo lo anteriormente realizado”.

El paso de “Etiquetado de cables y relays” se realizó con scotch e impresiones de cada número y letra a utilizar respectivamente, donde en la figura 30, se puede apreciar que cada Relay tiene su letra, y en los cables rojos correspondientes se le había etiquetado con su

respectivo número. Lo que significa cada letra y número esta en el apéndice F, en la Figura 60 para ser más específico, donde se detalla el número o letra y que función realiza dicho cable o relay sea el caso.

Luego el paso de “Etiquetado de cables de los sensores en la cabina del TS” se realizo de la misma manera, pero esta vez la impresión detallaba su sigla en la Ladder RSLogix y además su PIN del PLC del tipo I/X:X , dicho etiquetado se aprecia en la figura 31.

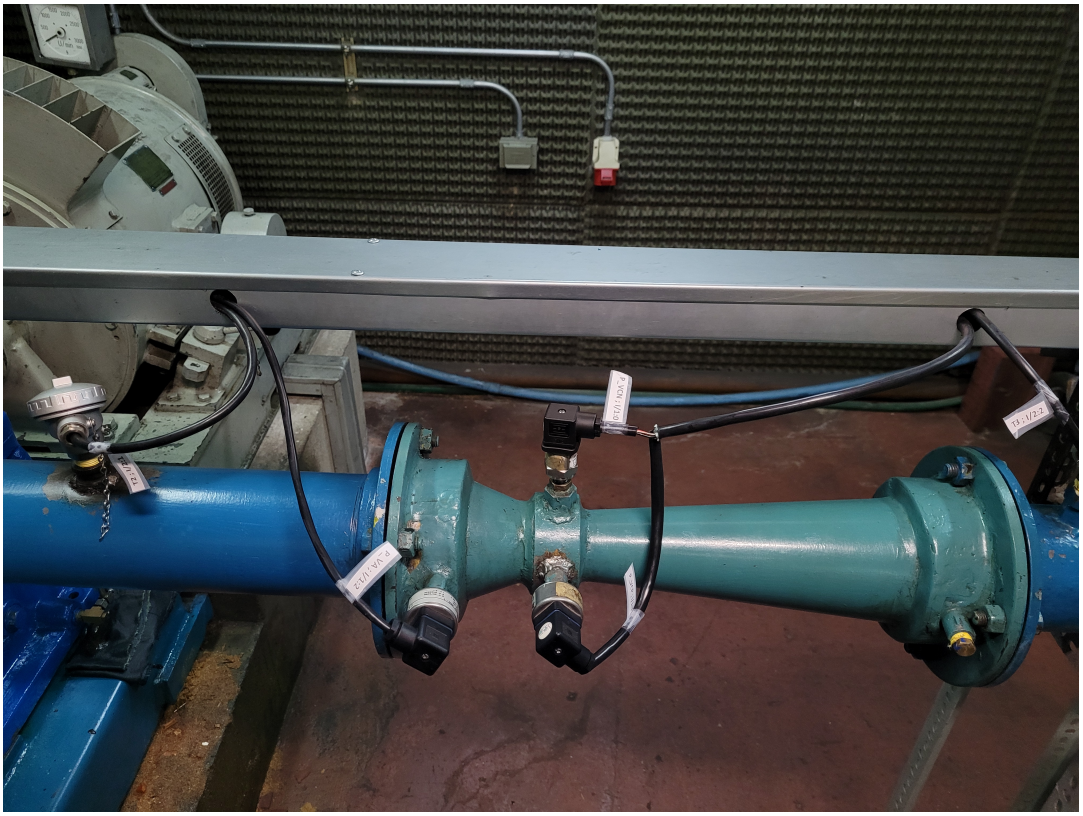


Figura 31: Etiquetado de los sensores en la cabina del TS.

Luego el siguiente paso de “Reordenar todo el cableado del gabinete” se hizo desenredando los cables entrecruzados, y si para ello era necesario se desconectaban de su posición y luego una vez desenredado este se volvía a conectar en su posición correcta. Además para facilitar el orden de los cables se utilizaron amarras plásticas y bases autoadhesivas las cuales se pegaban a la pared y pasando las amarras con los cables permitían guiar bastante bien los cables para obtener un mejor orden. Finalmente en la figura 32 se puede observar el resultado de como quedo el gabinete

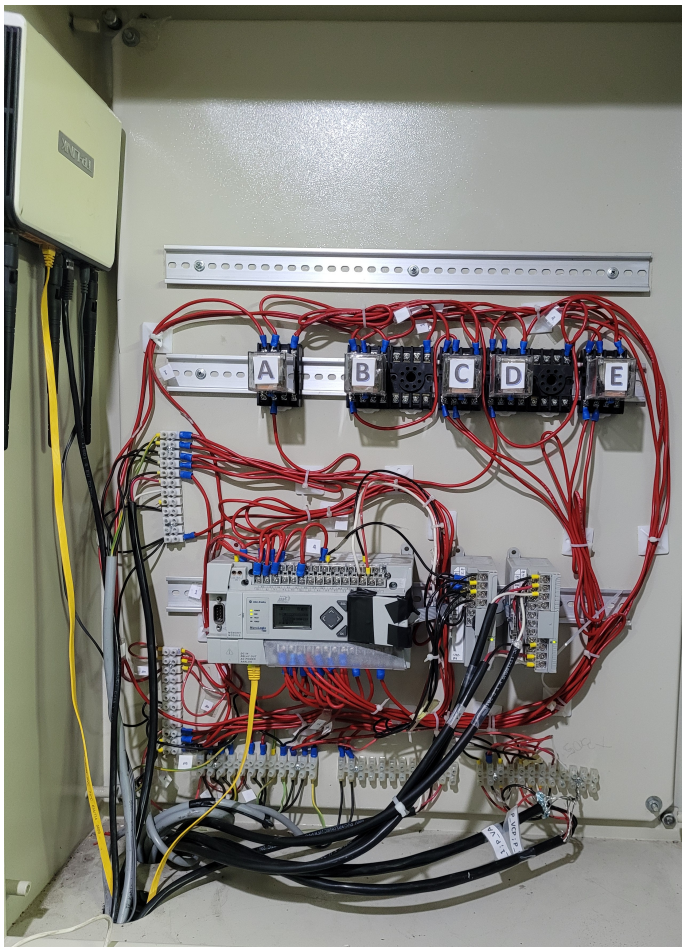


Figura 32: Estado Final del Gabinete del PLC.

En la misma línea del reordenado del cableado, estaba el paso de “Conectar y Habilitar Router a un costado del Gabinete” , para ello en conjunto con personal del laboratorio se realizaron 2 agujeros, por los cuales pasaban 1 tornillo en cada uno, con esto realizado se pudo posicionar en el costado izquierdo del gabinete el router, como se puede apreciar en la figura 32, esto se podía realizar ya que el mismo router posee agujeros por detrás, los cuales fueron creados con este mismo propósito.

Para los 3 pasos siguientes, los cuales tratan de realizar listados, instructivo y el esquema de conexiones, se realizo minuciosamente revisando cada conexión de las regletas, de los relays, cada entrada y salida del PLC para así poder realizar un completo y correcto listado, como también el esquema de conexiones.

Para el instructivo simplemente bastaba con realizar un archivo word con las instrucciones a seguir para conectarse a la HMI antes de comenzar la experiencia del TS.

Una vez finalizado esto se realizo el paso de "Pegar en el gabinete del PLC todo lo anteriormente realizado", para esto se retiro los papeles con información de la configuración anterior que se ubicaban al interior de la puerta del gabinete, y en ese mismo lugar pegar todas las hojas con información, dichas hojas son las que se pueden ver en los apéndices F y G. (La hoja del esquema de conexiones no se pego, pero se puede ver de forma digital en este trabajo de título en el apéndice E).

Con todo esto realizado, el orden y etiquetado del gabinete se puede observar en la figura 33:

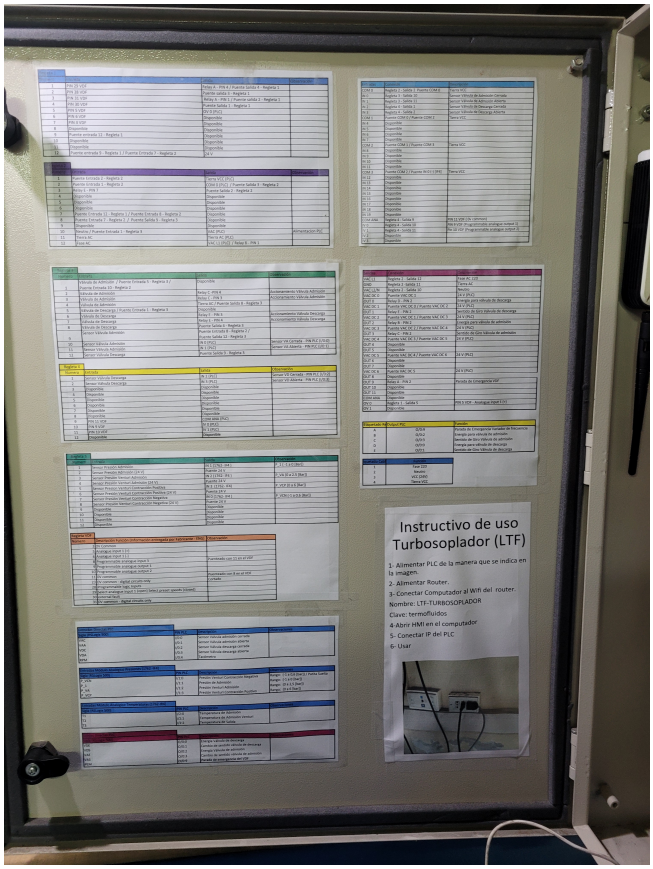


Figura 33: Toda la información pegada en la puerta del gabinete del PLC

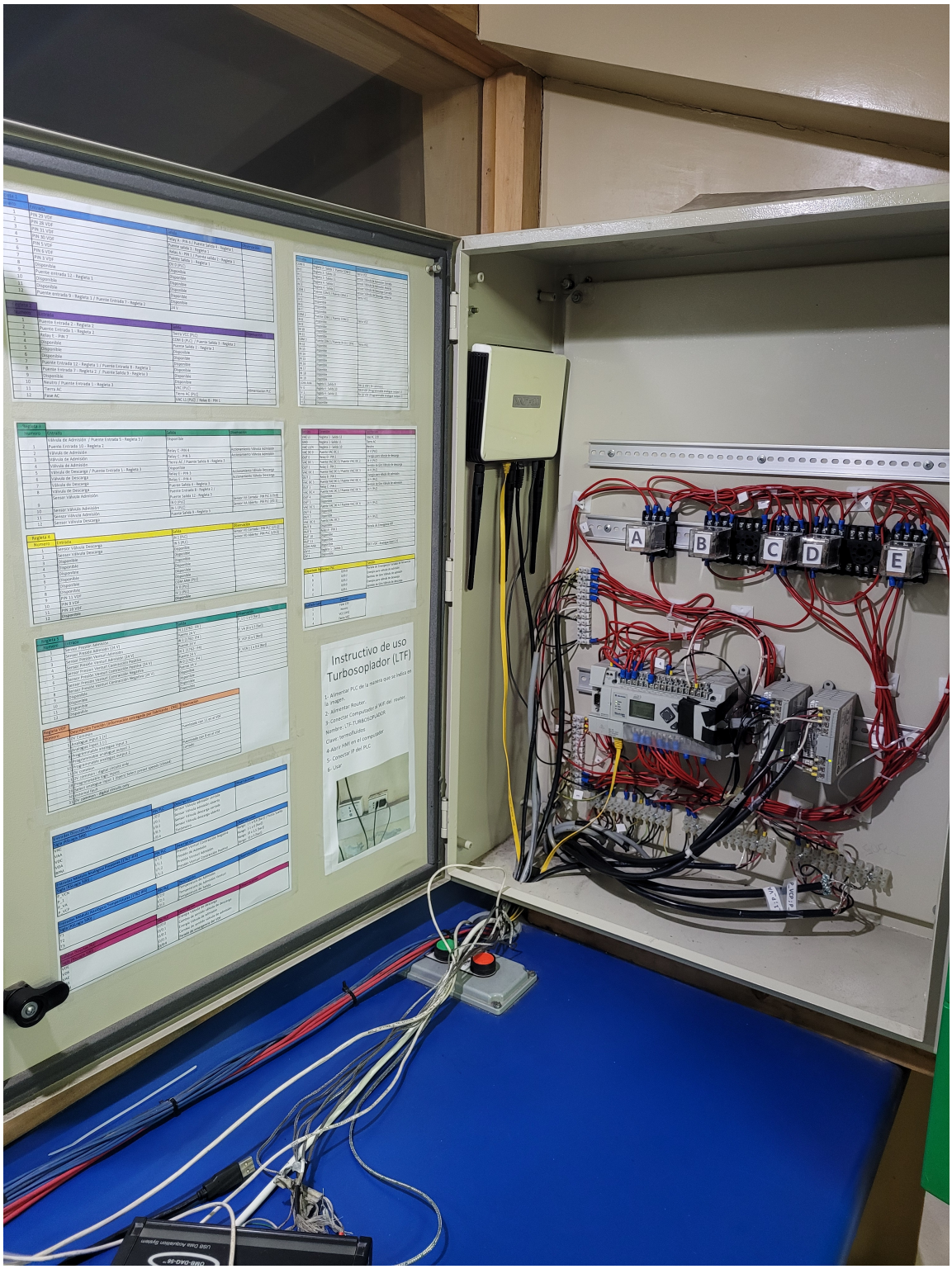


Figura 34: Vista del interior y la puerta del gabinete del PLC

3.4. Base de datos docente mediante SCADA

Una vez finalizado todo el proceso de reacondicionamiento del TS, se prosigue con el siguiente paso, el cual es realizar la base de datos docente.

La base de datos docente, como bien dice su nombre es una base de datos, los cuales son obtenidos de forma experimental desde el TS, dichos datos son administrados por el profesor para realizar la experiencia de laboratorio del TS. Ya que estos datos el profesor se los entrega a los alumnos, los cuales mediante dichos datos pueden obtener las curvas características del TS, responder a las interrogantes que se realizan en la experiencia, y concluir que método de regulación de caudal es el más óptimo en términos de ahorro de energía.

3.4.1. Ensayos

Para obtener la base de datos docentes se realizaron 3 tipos de ensayos, los mismos que se observan en la experiencia de laboratorio, los cuales son:

- Estrangulación en la admisión.
- Estrangulación en la descarga.
- Variación de frecuencia de motor eléctrico.

Cada uno de estos ensayos tiene un procedimiento distinto para obtener de manera óptima cada set de datos.

Estrangulación en la admisión:
Las condiciones iniciales para este ensayo son las siguientes:

- Válvula de admisión: Completamente abierta.
- Válvula de descarga: Completamente abierta.
- Variador de Frecuencia: Se configura a la frecuencia deseada, la cual no se manipulara en ningún momento.

Con dichas condiciones se puede proceder a tomar datos, y poco a poco se va cerrando la válvula de admisión hasta que este totalmente cerrada.

Estrangulación en la descarga:
Las condiciones iniciales para este ensayo son las siguientes:

- Válvula de admisión: Completamente abierta.
- Válvula de descarga: Completamente abierta.

- Variador de Frecuencia: Se configura a la frecuencia deseada, la cual no se manipulara en ningún momento.

Con dichas condiciones se puede proceder a tomar datos, y poco a poco se va cerrando la válvula de descarga hasta que se llegue al punto que se produce el fenómeno de "bombeo".

Variación de la frecuencia del motor eléctrico:
Las condiciones iniciales para este ensayo son las siguientes:

- Válvula de admisión: Completamente abierta.
- Válvula de descarga: Completamente abierta.
- Variador de Frecuencia: Se configura a la frecuencia mínima, la cual es de 3 [Hz] o en algún caso de ser necesario en 4 [Hz].

Con dichas condiciones se puede proceder a tomar datos, y de manera lineal se va subiendo la frecuencia del motor hasta llegar a la frecuencia máxima del ensayo en cuestión.

3.4.2. Diferencias entre los datos

Una vez definido el método de obtención de los datos para cada tipo de ensayo, se procede a definir cuales serán las diferencias entre cada set de datos. Es por esto que queda definido que esa diferencia sera la frecuencia con la que se trabajara en cada ensayo, siendo la primera frecuencia, la frecuencia mínima que aparece el fenómeno de "bombeo" y la última frecuencia sera la frecuencia máxima de 50 [Hz].

Experimentalmente se logró determinar que la frecuencia mínima donde se puede observar el fenómeno de "bombeo" es la frecuencia de 30 [Hz], por lo tanto desde 30 a 50 [Hz] serán los ensayos. Además se estimó que se ira variando desde 5 en 5 [Hz], por lo que los ensayos a realizar son los siguientes:

- Estrangulando admisión y descarga a 30 [Hz] y Variando la frecuencia desde 3 a 30 [Hz] de manera lineal.
- Estrangulando admisión y descarga a 35 [Hz] y Variando la frecuencia desde 3 a 35 [Hz] de manera lineal.
- Estrangulando admisión y descarga a 40 [Hz] y Variando la frecuencia desde 3 a 40 [Hz] de manera lineal.
- Estrangulando admisión y descarga a 45 [Hz] y Variando la frecuencia desde 4 a 45 [Hz] de manera lineal.
- Estrangulando admisión y descarga a 50 [Hz] y Variando la frecuencia desde 3 a 50 [Hz] de manera lineal.

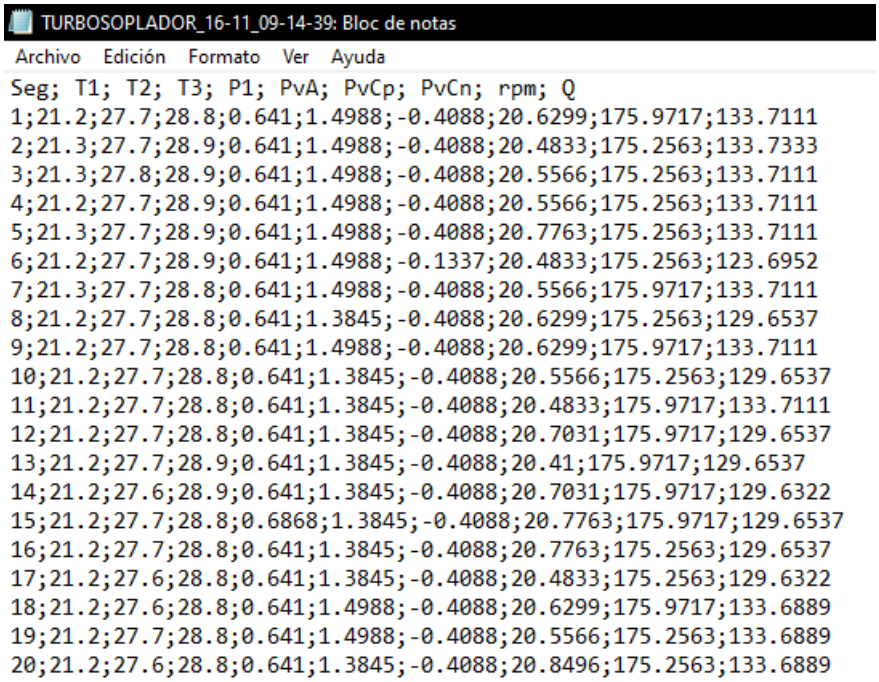
Totalizando 15 ensayos a realizar, y para cada ensayo se tomara un número de 12 muestras de datos distintos.

3.4.3. Datos a obtener

Los datos a tomar en cada ensayo son los siguientes:

- Temperatura 1 - T1: La temperatura en la admisión del TS, medida en [°C].
- Temperatura 2 - T2: La temperatura que esta después de pasar por el rodete del TS, o bien la que se encuentra antes del tubo de Venturi, medida en [°C].
- Presión 1 - P1: La presión en la admisión del TS, medida en [mmHg].
- Presión 2 - P2: La presión que esta después de pasar por el rodete del TS, o bien la que se encuentra antes del tubo de Venturi (tiene la sigla de PV_A), medida en [mmHg]
- Caudal - Q: El caudal de aire desplazado, medido en $[m^3/h]$
- Potencia : Potencia efectiva utilizada en ese momento por el TS, medida en [Kw].

Exceptuando la potencia, todos estos datos son captados y procesados por la HMI, los cuales estan detallados en el archivo TXT que esta genera para cada ensayo, en la figura 35 se puede ver un ejemplo de un archivo TXT que generó la HMI.


TURBOSOPLADOR_16-11_09-14-39: Bloc de notas

Archivo Edición Formato Ver Ayuda

```
Seg; T1; T2; T3; P1; PvA; PvCp; PvCn; rpm; Q
1;21.2;27.7;28.8;0.641;1.4988;-0.4088;20.6299;175.9717;133.7111
2;21.3;27.7;28.9;0.641;1.4988;-0.4088;20.4833;175.2563;133.7333
3;21.3;27.8;28.9;0.641;1.4988;-0.4088;20.5566;175.2563;133.7111
4;21.2;27.7;28.9;0.641;1.4988;-0.4088;20.5566;175.2563;133.7111
5;21.3;27.7;28.9;0.641;1.4988;-0.4088;20.7763;175.2563;133.7111
6;21.2;27.7;28.9;0.641;1.4988;-0.1337;20.4833;175.2563;123.6952
7;21.3;27.7;28.8;0.641;1.4988;-0.4088;20.5566;175.9717;133.7111
8;21.2;27.7;28.8;0.641;1.3845;-0.4088;20.6299;175.2563;129.6537
9;21.2;27.7;28.8;0.641;1.4988;-0.4088;20.6299;175.9717;133.7111
10;21.2;27.7;28.8;0.641;1.3845;-0.4088;20.5566;175.2563;129.6537
11;21.2;27.7;28.8;0.641;1.3845;-0.4088;20.4833;175.9717;133.7111
12;21.2;27.7;28.8;0.641;1.3845;-0.4088;20.7031;175.9717;129.6537
13;21.2;27.7;28.9;0.641;1.3845;-0.4088;20.41;175.9717;129.6537
14;21.2;27.6;28.9;0.641;1.3845;-0.4088;20.7031;175.9717;129.6322
15;21.2;27.7;28.8;0.6868;1.3845;-0.4088;20.7763;175.9717;129.6537
16;21.2;27.7;28.8;0.641;1.3845;-0.4088;20.7763;175.2563;129.6537
17;21.2;27.6;28.8;0.641;1.3845;-0.4088;20.4833;175.2563;129.6322
18;21.2;27.6;28.8;0.641;1.4988;-0.4088;20.6299;175.9717;133.6889
19;21.2;27.7;28.8;0.641;1.4988;-0.4088;20.5566;175.2563;133.6889
20;21.2;27.6;28.8;0.641;1.3845;-0.4088;20.8496;175.2563;133.6889
```

Figura 35: Ejemplo de un archivo TXT generado por la HMI al realizar un ensayo

Como se puede ver la figura 35, los datos que la HMI va tomando cada 1 segundo son los de segundos, temperaturas 1, 2 y 3, presiones de admisión, admisión del Venturi, de contracción del Venturi negativa y positiva, las RPM y el caudal.

Para el dato de la potencia se cálcula mediante la fórmula de motores trifásicos, la cual es la siguiente:

$$P = \sqrt{3} * I * V * FP * \eta \tag{2}$$

- P: Potencia en [W]
- I: Corriente en [A]
- V: Voltaje en [V]
- FP: Factor de Potencia [-]
- η: Eficiencia Motor [-]

Donde sabemos que V es 380 [V], FP es 0,87 [-], porque son datos entregados por el fabricante del motor y se pueden ver en la figura 36, además para este caso se supone una eficiencia de 1.

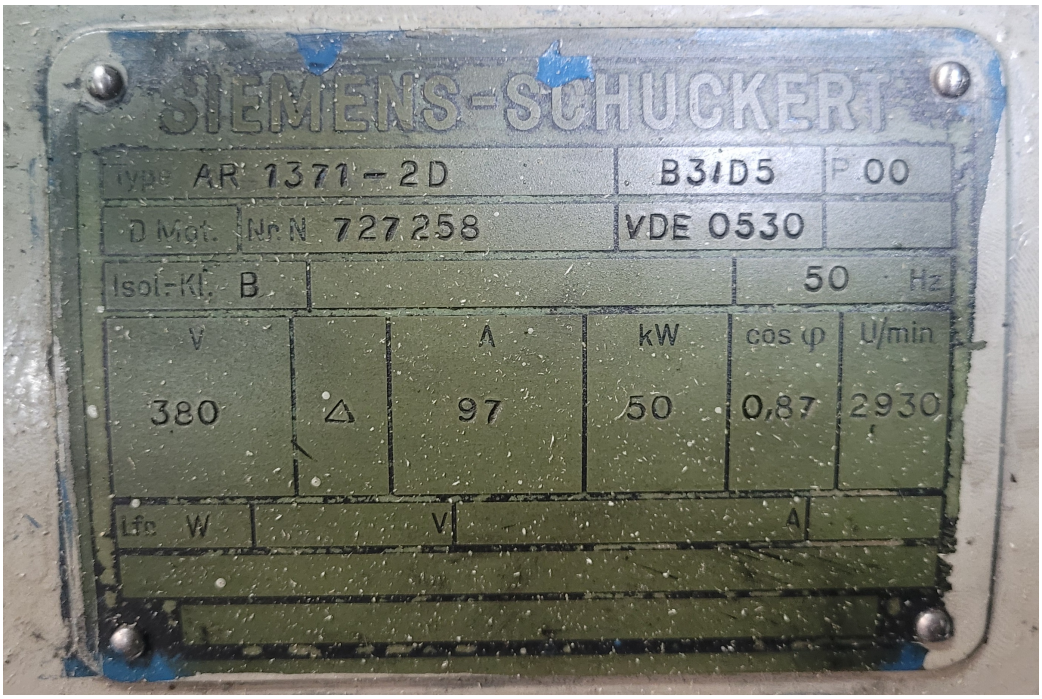


Figura 36: Especificaciones técnicas del motor eléctrico del TS.

De todos los valores que se utilizan en la fórmula de cálculo de potencia, solo faltaría determinar la corriente, la cual es el único dato variable de dicha fórmula y esta se puede

determinar experimentalmente con un amperímetro de tenaza, el cual mediante su tenaza conectada al motor logra obtener una medición de corriente en todo momento, dicha herramienta se puede ver en la figura 37, ya conectada al motor del TS.



Figura 37: Amperímetro de tenaza utilizado para la obtención de la corriente del motor del TS.

3.4.4. Método de obtención

Con todo esto definido se puede comenzar con los ensayos, y los métodos para cada tipo de ensayos son los siguientes:

Estrangulación en la admisión:

- Tomar las condiciones iniciales del ensayo, la temperatura y presión en la cabina del TS y anotarlas.
- Chequear que las condiciones iniciales definidas anteriormente estén correctas y que los parámetros de temperatura y presión estén estables.
- Abrir la HMI y dar al botón INICIO.
- Anotar el N que aparece en la HMI (sera el primero de los 12 que se tomaran).
- Anotar el caudal que aparece en la HMI.
- Con ayuda del personal de laboratorio anotar el dato de la corriente del motor en ese instante.
- Apretar el botón Cierre Total de la válvula de admisión.
- Apretar el botón ALTO de la válvula de admisión en el momento que el caudal varié para tomar la siguiente medición.
- Repetir el proceso desde el punto 4, hasta obtener las 12 mediciones, y llegar a que la válvula cierre por completo.
- Apretar el botón TERMINO de la HMI, para terminar de generar el archivo TXT.

Estrangulación en la descarga:

- Tomar las condiciones iniciales del ensayo, la temperatura y presión en la cabina del TS y anotarlas.
- Chequear que las condiciones iniciales definidas anteriormente estén correctas y que los parámetros de temperatura y presión estén estables.
- Abrir la HMI y dar al botón INICIO.
- Anotar el N que aparece en la HMI (sera el primero de los 12 que se tomaran).
- Anotar el caudal que aparece en la HMI.
- Con ayuda del personal de laboratorio anotar el dato de la corriente del motor en ese instante.

- Apretar el botón Cierre Total de la válvula de descarga.
- Apretar el botón ALTO de la válvula de descarga en el momento que el caudal varié para tomar la siguiente medición.
- Repetir el proceso desde el punto 4, hasta obtener las 12 mediciones, y llegar al punto que la última medición sea la última antes de que aparezca el fenómeno de "bombeo".
- Apretar el botón TERMINO de la HMI, para terminar de generar el archivo TXT.

Variación de la frecuencia del motor:

- Tomar las condiciones iniciales del ensayo, la temperatura y presión en la cabina del TS y anotarlas.
- Chequear que las condiciones iniciales definidas anteriormente estén correctas y que los parámetros de temperatura y presión estén estables.
- Anotar cada frecuencia a medir, para ello se debe lograr que al ir subiendo la frecuencia cada medición que se obtenga varié en los mismos [Hz] de modo que la medición 12, sea la frecuencia máxima de cada ensayo (30,35,40,45 y 50).
- Abrir la HMI y dar al botón INICIO.
- Anotar el N que aparece en la HMI (sera el primero de los 12 que se tomaran).
- Anotar el caudal que aparece en la HMI.
- Con ayuda del personal de laboratorio anotar el dato de la corriente del motor en ese instante.
- Subir la frecuencia a la siguiente frecuencia definida anteriormente.
- Repetir el proceso desde el punto 5, hasta obtener las 12 mediciones, y llegar al punto que la última medición sea la frecuencia máxima de cada ensayo.
- Apretar el botón TERMINO de la HMI, para terminar de generar el archivo TXT.

3.4.5. Base datos docentes

Una vez realizado cada ensayo de las maneras que se explicaron en el punto anterior, se obtienen en total 15 archivos TXT, por lo que se deben traspasar a un archivo excel de manera manual.

Para esto se anota en cada ensayo sus condiciones iniciales de temperatura y presión en la cabina del TS, luego se traspasan los datos que se anotaron, los cuales son el caudal, la

corriente del motor, y el más importante , el N de la HMI, ya que estos indicaran que línea de datos del archivo TXT traspasar para la base de datos.

En este archivo excel existen 5 hojas, las cuales se separan por la frecuencia utilizada en los 3 ensayos, es decir, frecuencia de 30,35,40,45 y 50 , y en cada hoja hay 3 ensayos, totalizando los 15 ensayos que se realizaron.

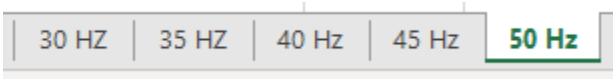


Figura 38: Hojas del archivo Excel de la base de datos docentes.

Además hay un apartado donde estan los datos para calcular la potencia en [kW].

Variable	Valor	Unidad
cos(phi)	0,87	[-]
voltaje	380	[V]
Raiz de 3	1,73205081	[-]

Figura 39: Datos para calcular la potencia en la base de datos docente.

En la figura 40 se puede ver con mas detalle el excel de la base de datos y todo lo que se explico en este punto.

	Condiciones Iniciales								
Ensayos 50 [Hz]	T	18,2	[°C]						
Descarga desde abierto a cerrado	P	763	[mmHg]						
N	N HMI [-]	Hz [Hz]	T1 [°C]	T2 [°C]	P1 [mmHg]	PV_A [mmHg]	Q [m^3/h]	Amperaje Motor [A]	Potencia [kW]
1	105	50	20,4	43,4	-7,10	168,19	1799,75	45,1	25,82
2	140	50	23,6	57,5	-6,87	180,87	1618,28	43,7	25,02
3	175	50	25,7	63,1	-6,64	221,77	1390,97	42,9	24,57
4	225	50	27,9	69,1	-5,86	279,46	1172,83	41,6	23,82
5	255	50	29	71,8	-5,22	315,45	1057,40	41,3	23,65
6	300	50	29,9	76,3	-4,17	382,17	834,48	39,4	22,56
7	325	50	30,3	78,9	-3,89	401,71	764,69	39,3	22,50
8	350	50	30,8	81,3	-2,75	437,01	637,02	36,3	20,79
9	370	50	31,2	83,7	-1,88	459,86	509,63	33,8	19,35
10	390	50	31,3	85,7	-1,05	466,60	408,83	30,5	17,46
11	415	50	31,3	88,3	-0,46	478,09	396,73	27,8	15,92
12	452	50	30,9	89,8	-0,78	463,52	142,20	25,9	14,83

Figura 40: Ejemplo de un Set de datos de la base de datos docente, Ensayo 50 [Hz] Descarga desde abierto a cerrado

4. Conclusiones

Para realizar una correcta conclusión de este trabajo de título, es correspondiente analizar el resultado de los objetivos postulados inicialmente.

4.1. Análisis de Resultados

Evaluar la situación actual del banco de ensayos, tanto desde el punto de vista mecánico como de control

Este objetivo fue el primero que se realizo ya que en base a lo determinado en este punto se podía determinar las acciones que se harían. Claramente esta evaluación de la situación fue hecha de una manera bastante satisfactoria, ya que de aquí nació la guía de procedimiento en la que todo momento se chequeó para realizar adecuadamente el reacondicionamiento del TS.

Reacondicionar los sensores disponibles y el sistema PLC

Este punto tuvo un resultado satisfactorio , esto porque las falencias existentes inicialmente tanto en los sensores como en el sistema PLC, fueron removidas en su totalidad. Los sensores fueron reubicados de manera que su rango fuera el adecuado en cada caso, y al PLC se le cambio su batería, se configuro nuevamente y se reconectaron en una configuración nueva las entradas y salidas que le correspondían, logrando reacondicionar de manera exitosa tanto los sensores como el PLC.

Elaborar un software que permita controlar y supervisar el funcionamiento de los ensayos del turbosoplador (SCADA)

Sin dudas el objetivo mas desafiante en cuanto a complejidad de este trabajo de título, ya que conllevaba aplicar bastantes conocimientos adquiridos de la ingeniería mecánica. De todas maneras se cumplió a cabalidad con lo trazado inicialmente, ya que con la ayuda de Esteban Arriagada, se generó un código Python, el cual posteriormente seria un archivo ejecutable, el cual permitía maniobrar al TS, chequear las mediciones, e incluso guardar dichas mediciones, lo que significa que se puede controlar y supervisar el funcionamiento del TS con este programa, por lo que la creación de la HMI fue un acierto total.

Generar una base de datos experimentales para uso docente

Con la HMI ya creada justamente para poder generar bases de datos, solo faltaba realizar estos ensayos de la manera adecuada, para que los datos obtenidos sean los óptimos, bajo condiciones ideales y reales. Es por eso que con la ayuda del personal del laboratorio este objetivo que si bien fue tedioso de realizar se pudo cumplir con éxito, donde finalmente se generó dicha base de datos tal y como se pidió, y dando pie para que en un futuro si el profesor lo desee, con la misma HMI, poder generar mas set de datos, siendo este objetivo cumplido satisfactoriamente.

Implementar la capacitación del personal del Laboratorio de Termofluidos en sistema PLC y SCADA

Parte importante de la motivación detrás de este trabajo de título es el hecho que lo realizado anteriormente con el TS, se perdió a través de los años por la poca preocupación de dejar capacitado al personal de laboratorio, que son quienes prácticamente la mayor parte del tiempo este operando este máquina, es por ello que este objetivo es bastante importante realizarlo correctamente.

Esto se pudo cumplir ya que al compartir la mayor parte del tiempo con el personal se les explico el uso de la HMI para que en los momentos de realizar ensayos demostrativos estos realicen los pasos que correspondan. Además se dejo todo etiquetado y anotado para identificar con mayor facilidad lo que se esta manipulando, y por último se dejo el instructivo de uso y los listados de conexiones impresos y pegados en el gabinete del PLC, además del esquema de conexiones presente en este trabajo. Y por último esta todo el detalle de lo realizado en este trabajo, para el alcance de cualquiera que lo necesite.

Por lo que el resultado de este objetivo es que se cumplió satisfactoriamente, dando así con el resultado que se esperaba, debido a que todas las preguntas posibles que se puedan generar se responden por si solas con la ya enseñado y con la información presente de manera digital y de manera presencial en el laboratorio.

Elaborar guías de mantenimiento que aseguren el correcto funcionamiento del turbosoplador

Este objetivo sigue la misma línea del anterior, donde esta guía de mantenimiento se termino generando por sí sola en este mismo trabajo, ya que al leerlo se pueden responder todas las interrogantes para poder asegurar el correcto funcionamiento del TS.

Anteriormente este funcionamiento era defectuoso, debido a que se perdía automatización en el proceso, se abrían las válvulas de forma manual y se tomaban datos de manera analógica, por lo que al tener capacitado al personal, esta automatización existe, y en caso de olvidarse algo esta la información al alcance ya sea de manera digital o impresa, por eso se puede definir que la guía de mantenimiento se generó en este trabajo, por lo que se cumplió también de manera exitosa este objetivo.

4.2. Beneficios generados

Como se pudo determinar en el punto anterior cada uno de los objetivos trazados fue cumplido a cabalidad, por lo que esto permitió que se generaran múltiples beneficios, los cuales son los siguientes:

- **Se recuperó un espacio perdido:** Hasta antes de este trabajo, la cabina del TS se ocupaba muy pocas veces y debido a eso ni se realizaba el laboratorio de esta turbomáquina, pero con el reacondicionamiento dicho espacio se recupero y se espera que se utilice bastante para el siguiente año académico

- **Se recuperó una inversión:** Inicialmente para cuando se implemento el sistema PLC se realizó una inversión no menor en adquirir, el sistema mismo, la instrumentación necesaria así como también las licencias de cada software para programar este sistema. Toda esta inversión no se veía reflejada ya que todo lo anteriormente estaba en desuso, pero con el reacondicionamiento prácticamente se pudo recuperar todo este uso, y dicha inversión ahora se puede ver reflejada en la automatización que posee el turbosoplador.

- **Se actualizó la base de datos docente del TS:** Se pudo refrescar los datos que se manipulaban para las experiencias de dicha turbomáquina, por lo que con los datos obtenidos se puede observar el comportamiento y curvas características que posee a día de hoy el TS.

- **Con lo realizado se da a pie a implementar futuras mejoras:** Con todas las mejoras que se obtuvieron se generan oportunidades para seguir mejorando esta turbomáquina, por ejemplo implementar un sistema que permita obtener las mediciones en vivo de la corriente del motor con la cual se obtiene la potencia, y así la misma HMI obtiene por sí sola una base de datos sin maniobrar manualmente el amperímetro de tenaza. Otra mejora que se puede agregar no solo a esta turbomáquina si no que a todas las presentes en el laboratorio, es implementar un sistema que permita manipular los datos y así poder graficar en tiempo real las curvas características de la turbomáquina permitiendo chequear en vivo su comportamiento en la misma HMI.

Con todos estos beneficios que se generaron y todos los objetivos cumplidos se puede concluir que el trabajo realizado para reacondicionar el TS incorporando SCADA fue realizado satisfactoriamente, donde todo esto se pudo ver reflejado en los mismos resultados, donde se puede apreciar que todo este trabajo cumplió a cabalidad con su propósito, recuperando una turbomáquina y dejando al personal capacitado para seguir utilizándolo a futuro, prolongando su vida útil por muchos años mas en las instalaciones del laboratorio de termofluidos de la universidad.

5. Referencias

[1] C. Mataix. (2000) *Turbomáquinas térmicas: turbinas de vapor, turbinas de gas, turbocompresores.,* (Editorial Dossat, S.A. 842370727X).

[2] I.Ochoa. (s.f.).*La diferencia entre un turbo y un compresor en la sobrealimentación*, ActualidadMotor, https://www.actualidadmotor.com/diferencia-entre-turbo-y-comporesor/

[3] A.Andrades. (2011). *Modelado y Control de un Turbo Soplador*

[4] L.Suárez-Llanos. (2015). *Turbocompresor en banco de ensayo. Características operativas*

[5] J. Espinoza Silva. (s.f). *ICM - 322, Turbomáquinas y Laboratorio TML - 6 Laboratorio de Turbocompresor*

[6] SRC (s.f.).*¿Qué es un sensor PT100?*, SRC, https://srcsl.com/que-es-un-sensor-pt100/

[7] SRC (s.f.).*¿Qué es un PLC? ¿Cómo funciona? ¿Para qué sirve?*, SRC, https://srcsl.com/que-es-un-plc/

[8] SICMA21 (14 octubre, 2021).*¿Qué es un PLC y cuándo se usa?*, SICMA21, https://www.sicma21.com/que-es-un-plc/#Que_es_un_PLC

[9] SEAS (22 Agosto, 2019).*El Relé: para qué es, para qué sirve y qué tipos existen*, SEAS, https://www.seas.es/blog/automatizacion/el-rele-para-que-es-para-que-sirve-y-que-tipos-existen/

[10] S&P (7 Enero, 2020).*¿Qué es y para qué sirve un variador de frecuencia?*, S&P, https://www.solerpalau.com/es-es/blog/variador-de-frecuencia/

[11] Traza (7 Febrero, 2020).*¿Qué significa IP65, IP66, IP67 ... en las características de un Lector o Terminal de Mano?*, Traza, https://www.traza.com/blog/post/que-significa-ip65-ip66-ip67-en-las-caracteristicas-de-un-lector-o-terminal-de-mano

[12] R. Ferreiro García. (1995) *Nociones sobre aplicación de PLC's al control de procesos industriales* (Editorial Universidade Da Coruña)

[13] Leroy Somer. (s.f.). *UMV 2301 AS Speed controller for asynchronous motors - Installation and maintenance* https://www.leroy-somer.com/documentation_pdf/notices/2692a_UMV2301ASen.pdf

[14] Allen-Bradley. (s.f.). *Módulo de entrada de RTD/resistencia MicroLogix™ 1200 (Número de catálogo 1762-IR4) Intrucciones de instalación* https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/in/1762-in014_-es-p.pdf

[15] Allen-Bradley. (s.f.). *Módulo de entrada analógica MicroLogix™ (Número de catálogo 1762-IF4) Instrucciones para la instalación* https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/in/1762-in012_-es-p.pdf

[16] OMRON (s.f.). *General Purpose Relay MK* https://docs.rs-online.com/14c0/0900766b81398813.pdf

[17] AGT (2 junio, 2021). *Cálculo de motores, amperaje, potencia y más.*, AGT, https://appgametutoriales.com/calculo-de-motores-amperaje-potencia-y-mas/

Apéndices

A. Hojas de la Experiencia de Laboratorio de Turbomáquinas TML-6 Ensayo de Turbosoplador

En este anexo se encuentran todas las hojas que se utilizan para la experiencia de laboratorio que se hace en el ramo de turbomáquinas para los ensayos del turbosoplador.

- Página 1: Se indican los Objetivos, características del equipo, fórmulas a utilizar, y el orden que tendrá la experiencia.
- Página 2: Más fórmulas a utilizar , valores de las constantes, y gráficas a obtener.
- Página 3: Preguntas de la experiencia.
- Página 4: Esquema de instalación del turbosoplador.
- Página 5: Gráfica donde se obtendrán las curvas características del TS.
- Página 6: Gráficas de los rendimientos politrópicos por diferencias de entropías para gases ideales.
- Página 7: Tablas a llenar con los datos obtenidos de la base de datos docente(distintas para cada grupo del laboratorio).

FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE MECANICA

LABORATORIO DE TURBOMAQUINAS TML-6
ENSAYO DE TURBOSOPLADOR

1. OBJETIVOS:

1.1. Obtención de curvas características de la máquina.
1.2. Determinar condiciones bajo las cuales se produce el fenómeno de bombeo.
1.3. Discutir métodos de regulación bajo exigencias simuladas del consumidor (p = cte. y V = cte).

2. DESCRIPCION DEL ENSAYO.

3. ESQUEMA DEL BANCO DE ENSAYO.

4. CARACTERISTICAS DEL EQUIPO. Métodos de puesta en marcha con sus limitaciones

Características del equipo.

Turbosoplador	1 etapa modelo SE-2
Relación compresión	1,6
Caudal de aire	1000 (m^3/h) (1 at, 20°C)
Potencia	25,5 KW
Revoluciones motor	3000 rpm
Potencia max.	32 KW
Marca	Siemens
Voltaje	380 V
Amperaje	90 A
Potencia 50 KW	
Cos φ	0,87
Relación transmisión	6

5. APLICACIONES DE LOS TURBOSOPLADORES SIMILARES.

6. TABLA DE VALORES OBTENIDOS.

7. TABLA DE VALORES CALCULADOS.

7.1. Caudal másico.

$$\dot{V} = \dot{V}_n \cdot \frac{p_n \cdot T}{p \cdot T_n} \quad (m^3/s)$$

$\dot{V}_n$, p_n, T_n: condiciones normales (0°C, 760 Torr)

$$\rho = \rho_n \cdot \frac{p \cdot T_n}{p_n \cdot T} \quad (kg/m^3)$$

Figura 41: Página 1, laboratorio de turbomáquinas

con

ρ_n : densidad normal (0°C, 760 mmHG) = 1,275 kg/m^3

7.2. Potencia acoplamiento.

$P_K = F \cdot n \cdot 7{,}35 \cdot 10^{-4}$ (kw) (η_{mec}=0,9)

7.3. Medición de caudal con venturímetro.

Norma DIN 1952

$m = Ad/Ad = d^2/D^2$ = relación de abertura = 0,246

d = diámetro garganta 50,6 mm
D = diámetro tubería 102 mm

$$\dot{q}_v = \alpha . \varepsilon . A_d \sqrt{2 \Delta p / \rho_1} = \alpha . \varepsilon . m A_D \sqrt{2 \Delta p / \rho_1} \quad (m^3/s)$$

$$\dot{q}_m = \alpha . \varepsilon . A_d \sqrt{2 \Delta p \rho_1} = \alpha \varepsilon m . A_D \sqrt{2 \Delta p \rho 1} \quad (Kg/s)$$

α = coeficiente de caudal = 1,009
ε = coeficiente de expansión (s/Tabla) = 0,88
ρ_1 = densidad fluido antes del venturímetro
Δp = Pa

8. GRAFICOS.

8.1 $\Pi = \Pi(\dot{V})$
8.2 $\eta = \eta(\dot{V})$ (Rendimiento politrópico según diagrama)
8.3 $P_K = P_K(\dot{V})$

En un mismo diagrama.

Figura 42: Página 2, laboratorio de turbomáquinas

9. PREGUNTAS.

9.1. Limitaciones para la obtención del rango completo de operación del turbosoplados.

9.2. Ventaja o desventaja de regulación por la succión o descarga.

JES

Figura 43: Página 3, laboratorio de turbomáquinas

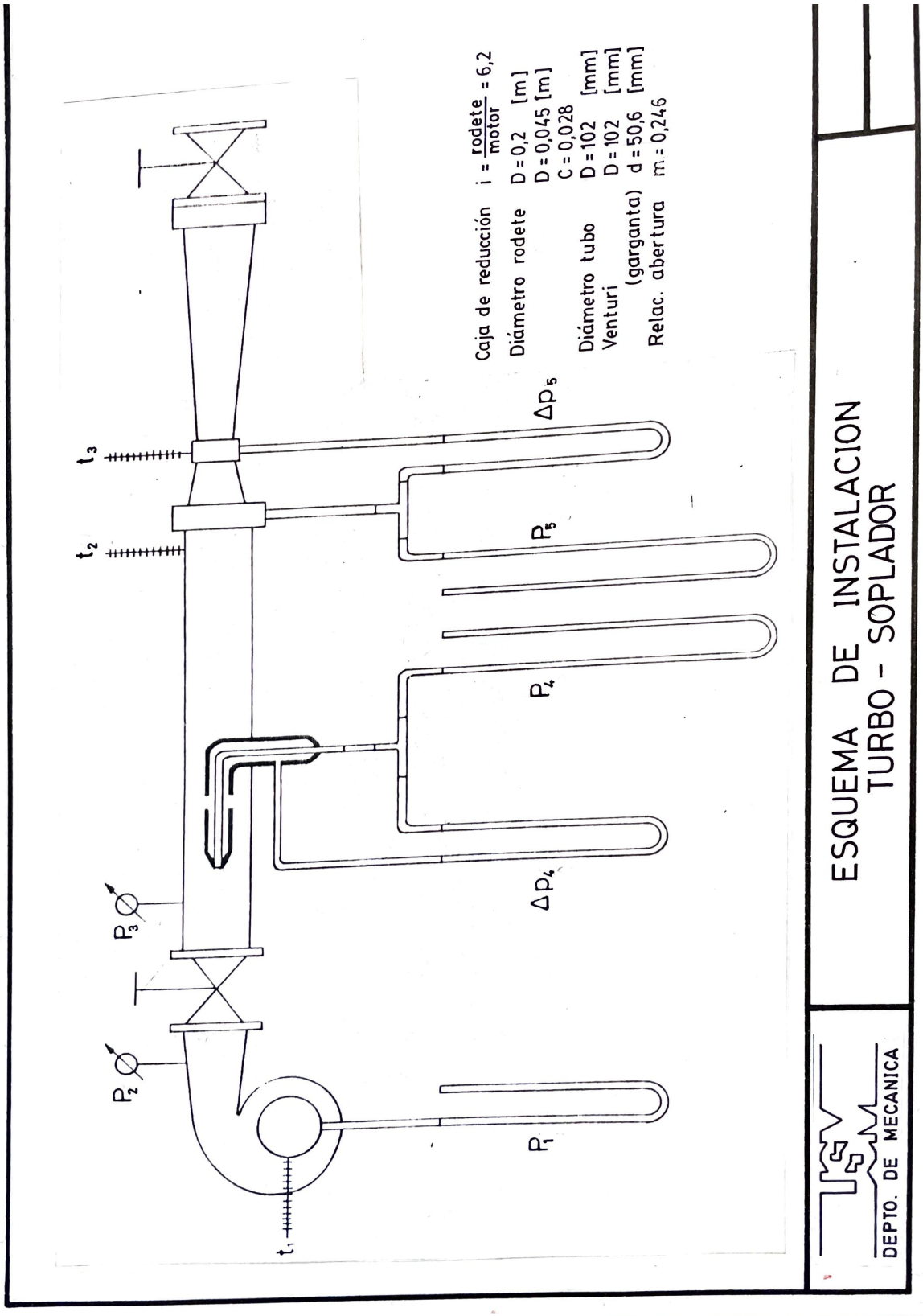


Figura 44: Página 4, laboratorio de turbomáquinas

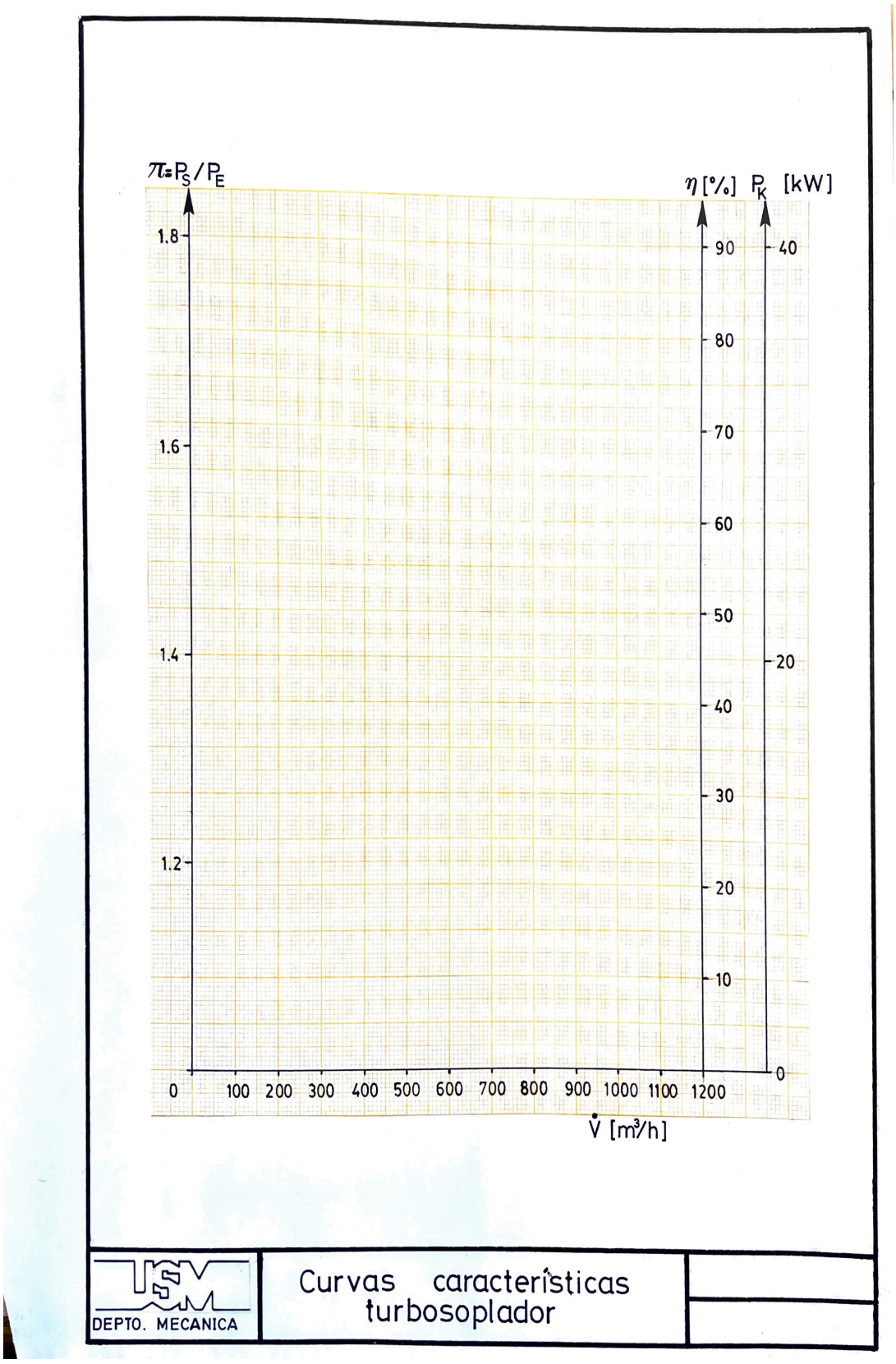


Figura 45: Página 5, laboratorio de turbomáquinas

Figura 46: Página 6, laboratorio de turbomáquinas

Ensayo I : Regulación por estrangulación en la descarga.

N	Tentrada °C	Tsalida °C	Pentrada mmCA	Psalida mmHg	C m/s	Q m^3/h	Potencia KW
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

Ensayo II : Regulación por estrangulación en la succión.

N	Tentrada °C	Tsalida °C	Pentrada mmHg	Psalida mmCA	C m/s	Q m^3/h	Potencia KW
1							
2							
3							
4							
5							
6							

Figura 47: Página 7, laboratorio de turbomáquinas

B. Especificaciones Técnicas PLC Micrologix 1400

LISTEN. THINK. SOLVE.®

PRODUCT PROFILE

MicroLogix™ 1400 / 1766

Small Programmable Logic Controller

Advantages

- Expand your application capabilities with up to 7 expansion I/O modules for a maximum of 144 discrete I/O
- Up to 6 embedded 100 kHz high-speed counters (on controllers with dc inputs)
- 2 Serial ports with DF1/ DH485/Modbus RTU/DNP3/ASCII protocol support
- Ethernet port provides you with peer-to-peer messaging, web server and email capabilities
- Built-in LCD with backlight allows you to view controller and I/O status, and provides a simple interface for messages, bit / integer monitoring and manipulation

Target Applications

- *General Industrial Machinery (Material Handling, Packaging, Assembly, etc.)*
- *HVAC/Building Automation*
- *SCADA (Oil & Gas, Water/Waste Water, and Electric Power)*
- *Food & Beverage*
- *Pharmaceutical*
- *Commercial Machinery (Vending, Industrial Washers & Dryers, etc.)*



Overview

The new Allen-Bradley® MicroLogix™ 1400 from Rockwell Automation complements the existing MicroLogix family of small programmable logic controllers. MicroLogix 1400 combines the features you demand from MicroLogix 1100, such as EtherNet/IP, online editing, and a built-in LCD, plus provides you with enhanced features, such as: higher I/O count, faster High Speed Counter/PTO and enhanced network capabilities

Take advantage of the built-in LCD with back lighting to set the Ethernet network configuration, display floating point values on a user configurable display, display OEM logos at startup and read or write any binary, integer and long file elements in the data table. Controllers without embedded analog come with 32 digital I/O count, while analog versions have 32 digital I/O and 6 analog I/O. All versions can be expanded using up to seven 1762 I/O modules - the same I/O modules that MicroLogix 1100 and 1200 utilize.

Three embedded communication ports provide you with superior communications capabilities. MicroLogix 1400 offers an isolated RS232C/RS485 combination port; a non-isolated RS232C port; and an RJ-45 port for 10/100 Mbps EtherNet/IP peer-to-peer messaging.

Similar to the rest of the MicroLogix family, MicroLogix 1400 is programmed with RSLogix 500 programming software (Version 8.1 and above) as well as new RSLogix Micro programming software.

ALLEN-BRADLEY • ROCKWELL SOFTWARE Rockwell Automation

Figura 48: Página 1 de las especificaciones técnicas del PLC

SPECIFICATIONS

MicroLogix	1766-L32BWA	1766-L32AWA	1766-L32BXB	1766-L32BWAA	1766-L32AWAA	1766-L32BXBA
Input Power	120/240 VAC		24 VDC	120/240 VAC		24 VDC
Memory	non-volatile battery backed RAM					
User Program / User Data Space	10 K / 10K configurable					
Data Logging / Recipe Storage	128 K (without Recipe) / up to 64 K (after subtracting Data Logging)					
Battery Back-up	Yes					
Back-up Memory Module	Yes					
Digital Inputs	(12) Fast 24VDC (8) Normal 24VDC	(20) 120VAC	(12) Fast 24VDC (8) Normal 24VDC	(12) Fast 24VDC (8) Normal 24VDC	(20) 120VAC	(12) Fast 24VDC (8) Normal 24VDC
Digital Outputs	(12) Relay	(12) Relay	(6) Relay (3) Fast DC (3) Normal DC	(12) Relay	(12) Relay	(6) Relay (3) Fast DC (3) Normal DC
Analog Inputs / Outputs	None			(4) Voltage Inputs / (2) Voltage Outputs		
Serial Ports	(1)RS232C/RS485*, (1)RS232C**					
Serial Protocols	DF1 Full Duplex, DF1 Half Duplex Master/Slave, DF1 Radio Modem, DH-485, Modbus RTU Master/Slave, ASCII, DNP 3 Slave					
Ethernet Ports	(1) 10/100 EtherNet/IP port					
Ethernet Protocols	EtherNet/IP messaging only					
Trim Potentiometers	2 Digital					
High-Speed Inputs	Up to 6 channels @ 100 kHz	N/A	Up to 6 channels @ 100 kHz	Up to 6 channels @ 100 kHz	N/A	Up to 6 channels @ 100 kHz
Real Time Clock	Yes, embedded					
PID	Yes (limited by loop and stack memory)					
PWM /PTO	N/A		3 channel PTO (100kHz)\PWM (40kHz)	N/A		3 channel PTO (100kHz)\PWM (40kHz)
Dual Axis Servo control	N/A		Through embedded PTO	N/A		Through embedded PTO
Embedded LCD	Yes					
Floating Point Math	Yes					
Online Editing	Yes					
Operating Temperature	-20°C to +60°C					
Storage Temperature	-40°C (or -30°C) to +85°C					

* Isolated. RS232/RS485 combo port. Same as MicroLogix 1100 Comm 0
** Non-isolated RS232. standard D-sub connector.

www.rockwellautomation.com

Power, Control and Information Solutions Headquarters
Americas: Rockwell Automation, 1201 South Second Street, Milwaukee, WI 53204 USA, Tel: (1) 414.382.2000, Fax: (1) 414.382.4444
Europe/Middle East/Africa: Rockwell Automation, Vorstlaan/Boulevard du Souverain 36, 1170 Brussels, Belgium, Tel: (32) 2 663 0600, Fax: (32) 2 663 0640
Asia Pacific: Rockwell Automation, Level 14, Core F, Cyberport 3, 100 Cyberport Road, Hong Kong, Tel: (852) 2887 4788, Fax: (852) 2508 1846

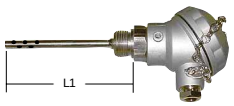
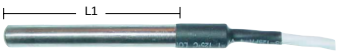
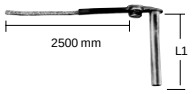
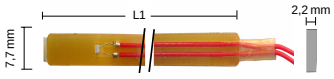
Publication 1766-PP001A-EN-P – July 2008
Copyright ©2008 Rockwell Automation, Inc. All Rights Reserved. Printed in USA.

Figura 49: Página 2 de las especificaciones técnicas del PLC

C. Especificaciones Técnicas Sensores PT-100

Sensores PT100

90.280
JUL / 06

CODIGO	DESCRIPCION	L1 mm	DIAMETRO mm	TEMP. MAX.	
K1070004	• Para gases,ductos, calefacción • Cabezal aluminio NEMA-4 Hilo 1/2" BSP	100	6,35 (¼")	-40 + 300°C	
K1040008	• Ambiental caja plástico, Para frigoríficos, viveros, bodegas, oficinas, invernaderos, etc.	--	--	-40 + 80°C	
K1014902	• Uso general • Protección SS316 • Cable PVC 2 m.	45	6,35 (¼")	-20 + 80°C	
K1015127 **K1015135**	• Uso general • Protección SS316 • Cable teflon 2 m.	60 150	6,35 (¼")	-50 + 200°C	
K1015119	• Uso general • Protección SS316 • Cable malla metalica 2 m.	95	6,35 (¼")	-40 + 350°C	
K1010001	• Para matrices, superficies aire, etc. • Con niple 1/4" NPT • Cable malla metalica 2 m. • Protección SS316	20	5	-40 + 400°C	
K108000K	• Para pinchar productos alimenticios. • Protección SS316	150	4	-50 + 150°C	
K1020007	• Para matrices, industria de plásticos, aire, etc. • Protección SS316 • Cable malla metalica 2 m.	60	6,35 (¼")	-40 + 250°C	
K1015801	• Para protección motores, superficie. • Cuerpo plastico • Cable teflon 1 m.	250	--	-50 + 180°C	

*** Para otros largos y temperaturas rogamos consultar.**

VETO Y CIA. LTDA ■ V. MACKENNA 1220 ■ CASILLA 10289 ■ FONOS : (2) 5558581■ FAX : (2) 5568171 ■ SANTIAGO ■ CHILE
www.veto.cl **Empresa ISO 9001:2000** **e-mail: ventas@veto.cl**

Figura 50: Especificaciones Técnicas Sensores PT-100

D. Especificaciones Técnicas Sensores de Presión

Transmisores de Presión

4 - 20mA

40.150
JUL / 06

- **Señal de Salida:** 4 - 20 mA, con dos cables
- **Alimentación:** 10 - 30 VDC
- **Protección contra Inversión de Polaridad**
- **Temperatura Fluído:** - 30....+ 100 °C
- **Temperatura Ambiente:** - 10....+ 80 °C
- **Protección IP65**

• **FIG 1 : Ajuste Cero y Span**



FIG 1

PRECISION 0,5% FSD

CODIGO	RANGO Kg/cm	RANGO BAR	RANGO PSI	CONEXION BSP	FIG	PARTE CONTACTO FLUIDO
C9000008	-1 + 0	-1 + 0	-30" Hg + 0	1/2	1	SS316Ti
C9000709	-1 + 0,6	-1 + 0,6	-14,5 + 8,7	1/4	2	BRONCE
C9001306	0 + 1,6	0 + 1,6	0 + 23	1/4	2	BRONCE
C9010003	0 + 4	0 + 4	0 + 56	1/2	1	SS316Ti
C9020009	0 + 10	0 + 10	0 + 140	1/2	1	SS316Ti
C9025507	0 + 16	0 + 16	0 + 220	1/4	2	BRONCE
C904000K	0 + 25	0 + 25	0 + 350	1/2	1	SS316Ti
C9042509	0 + 40	0 + 40	0 + 550	1/4	2	BRONCE
C9043009	0 + 60	0 + 60	0 + 850	1/4	2	BRONCE



FIG 2

PRECISION 1,0% FSD

CODIGO	RANGO Kg/cm	RANGO BAR	RANGO PSI	CONEXION BSP	FIG	PARTE CONTACTO FLUIDO
C9001004	0 + 1	0 + 1	0 + 14,5	1/4	3	SS316Ti
C9001500	0 + 2,5	0 + 2,5	0 + 36,2		3	
C9002000	0 + 4	0 + 4	0 + 58	1/4	3	
C9012006	0 + 6	0 + 6	0 + 87		3	
C9021005	0 + 10	0 + 10	0 + 140	1/4	3	
C9025000	0 + 16	0 + 16	0 + 220		3	
C9041006	0 + 25	0 + 25	0 + 350	1/4	3	
C9042002	0 + 40	0 + 40	0 + 550		3	
C9044005	0 + 100	0 + 100	0 + 1400	1/4	3	
C9046008	0 + 250	0 + 250	0 + 3500		3	
C9046202	0 + 400	0 + 400	0 + 5700	1/4	3	
C9046407	0 + 600	0 + 600	0 + 8400		3	
C9046601	0 + 1000	0 + 1000	0 + 14000	1/4	3	



FIG 3

FSD: Escala total del Instrumento

VETO Y CIA. LTDA ■ SAN EUGENIO 567 ■ CASILLA 10289 ■ FONOS : (2) 3554400 ■ FAX : (2) 3554455 ■ SANTIAGO ■ CHILE
www.veto.cl **Empresa ISO 9001:2000** **e-mail: ventas@veto.cl**

Figura 51: Especificaciones Técnicas Sensores de Presión

E. Esquema de Conexiones PLC

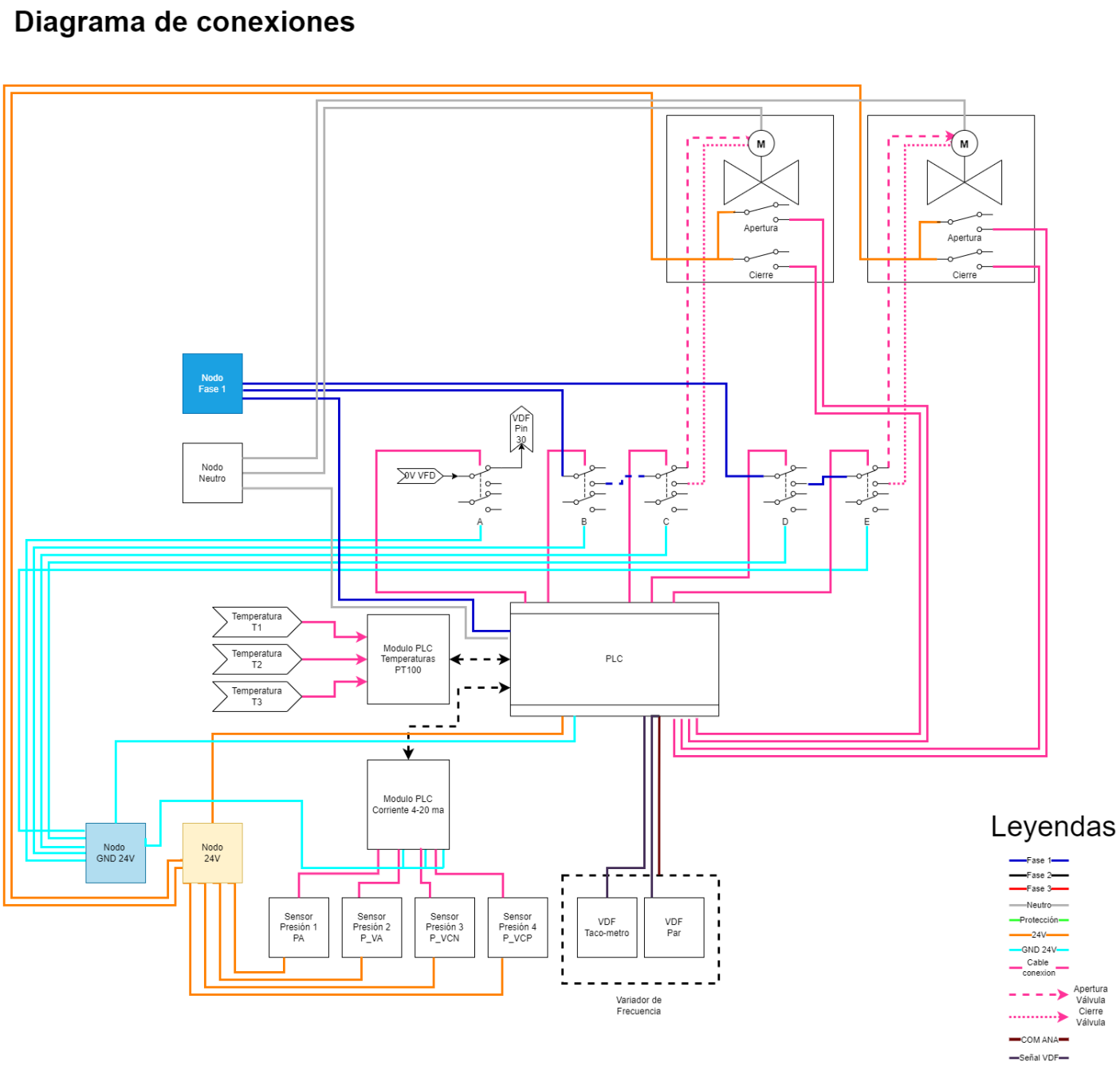


Figura 52: Esquema de conexiones PLC

F. Listado de Sensores, Actuadores, Regletas y Etiquetado, presente físicamente en el gabinete del PLC

Se realizo un listado en formato excel, el cual se pego en el gabinete del PLC, este incluye los siguientes apartados de información:

- Listado de Conexiones de las Regletas del Gabinete, detallando su entrada y su salida.
- Listado de Conexiones utilizadas del VDF.
- Listado de Entradas y Salidas con sus siglas RSLogix, su apartado de entrada del formato I/X:X ; O/X:X, y su función.
- Listado de entradas utilizadas y disponibles en el PLC, detallando a que esta conectado y su función.
- Listado de salidas utilizadas y disponibles en el PLC, detallando a que esta conectado y su función.
- Listado de los Relays con su letra y su función.
- Listado de Etiquetado de cables, con su número y función(cables utilizados en las conexiones del gabinete).

Regleta 1			
Numero	Entrada	Salida	Observación
1	PIN 29 VDF	Relay A - PIN 4 / Puente Salida 4 - Regleta 1	
2	PIN 28 VDF	Puente salida 3 - Regleta 1	
3	PIN 31 VDF	Relay A - PIN 1 / Puente salida 2 - Regleta 1	
4	PIN 30 VDF	Puente Salida 1 - Regleta 1	
5	PIN 5 VDF	OV 0 (PLC)	
6	PIN 6 VDF	Disponible	
7	PIN 3 VDF	Disponible	
8	Disponible	Disponible	
9	Puente entrada 12 - Regleta 1	Disponible	
10	Disponible	Disponible	
11	Disponible	Disponible	
12	Puente entrada 9 - Regleta 1 / Puente Entrada 7 - Regleta 2	24 V	
Regleta 2			
Numero	Entrada	Salida	Observación
1	Puente Entrada 2 - Regleta 2	Tierra VCC (PLC)	Suelto
2	Puente Entrada 1 - Regleta 2	COM 0 (PLC) / Puente Salida 3 - Regleta 2	
3	Relay E - PIN 7	Puente Salida 2 - Regleta 2	
4	Disponible	Disponible	
5	Disponible	Disponible	
6	Disponible	Disponible	
7	Puente Entrada 12 - Regleta 1 / Puente Entrada 8 - Regleta 2	Disponible	
8	Puente Entrada 7 - Regleta 2 / Puente Salida 9 - Regleta 3	Disponible	
9	Disponible	Disponible	
10	Neutro / Puente Entrada 1 - Regleta 3	VAC (PLC)	Alimentacion PLC
11	Tierra AC	Tierra AC (PLC)	
12	Fase AC	VAC L1 (PLC) / Relay B - PIN 1	

Figura 53: Parte 1 del listado que muestra regletas 1 y 2

Regleta VDF		
Número	Descripción Función (Información entregada por Fabricante - ENG)	Observación
3	0V Common	
5	Analogue input 1 (+)	
6	Analogue input 1 (-)	
8	Programmable analogue input 3	Puenteado con 11 en el VDF
9	Programmable analogue output 1	
10	Programmable analogue output 2	
11	0V common	Puenteado con 8 en el VDF
23	0V common - digital circuits only	Cortado
28	Programmable logic Inputs	
29	Select analogue input 1 (open) Select preset speeds (closed)	
30	external fault	
31	0V common - digital circuits only	

Figura 54: Parte 2 del listado que muestra la regleta del VDF

Regleta 3			
Numero	Entrada	Salida	Observación
1	Válvula de Admisión / Puente Entrada 5 - Regleta 3 / Puente Entrada 10 - Regleta 2	Disponible	
2	Válvula de Admisión	Relay C -PIN 4	Accionamiento Válvula Admisión
3	Válvula de Admisión	Relay C - PIN 3	Accionamiento Válvula Admisión
4	Válvula de Admisión	Tierra AC / Puente Salida 8 - Regleta 3	
5	Válvula de Descarga / Puente Entrada 1 - Regleta 3	Disponible	
6	Válvula de Descarga	Relay E - PIN 3	Accionamiento Válvula Descarga
7	Válvula de Descarga	Relay E - PIN 4	Accionamiento Válvula Descarga
8	Válvula de Descarga	Puente Salida 4 - Regleta 3	
9	Sensor Válvula Admisión	Puente Entrada 8 - Regleta 2 / Puente Salida 12 - Regleta 3	
10	Sensor Válvula Admisión	IN 0 (PLC)	Sensor VA Cerrada - PIN PLC (I/0:0)
11	Sensor Válvula Admisión	IN 1 (PLC)	Sensor VA Abierta - PIN PLC (I/0:1)
12	Sensor Válvula Descarga	Puente Salida 9 - Regleta 3	

Regleta 4			
Numero	Entrada	Salida	Observación
1	Sensor Válvula Descarga	IN 2 (PLC)	Sensor VD Cerrada - PIN PLC (I/0:2)
2	Sensor Válvula Descarga	IN 3 (PLC)	Sensor VD Abierta - PIN PLC (I/0:3)
3	Disponible	Disponible	
4	Disponible	Disponible	
5	Disponible	Disponible	
6	Disponible	Disponible	
7	Disponible	Disponible	
8	Disponible	Disponible	
9	PIN 11 VDF	COM ANA (PLC)	
10	PIN 9 VDF	IV 0 (PLC)	
11	PIN 10 VDF	IV 1 (PLC)	
12	Disponible	Disponible	

Figura 55: Parte 3 del listado que muestra regletas 3 y 4

Regleta 5			
Numero	Entrada	Salida	Observación
1	Sensor Presión Admisión	IN 1 (1762- IF4)	P_1 (-1 a 0 [Bar])
2	Sensor Presión Admisión (24 V)	Puente 24 V	
3	Sensor Presión Venturi Admisión	IN 2 (1762- IF4)	P_VA (0 a 2.5 [Bar])
4	Sensor Presión Venturi Admisión (24 V)	Puente 24 V	
5	Sensor Presion Venturi Contracción Positiva	IN 3 (1762- IF4)	P_VCP (0 a 6 [Bar])
6	Sensor Presión Venturi Contracción Positiva (24 V)	Puente 24 V	
7	Sensor Presión Venturi Contracción Negativa	IN 0 (1762- IF4)	P_VCN (-1 a 0.6 [Bar])
8	Sensor Presión Venturi Contracción Negativa (24 V)	Puente 24 V	
9	Disponible	Disponible	
10	Disponible	Disponible	
11	Disponible	Disponible	
12	Disponible	Disponible	

Figura 56: Parte 4 del listado que muestra la regleta 5

Entradas Directas PLC			
Sigla (RSLogix 500)	PIN PLC	Descripción	Observaciones
VAC	I/0:0	Sensor Válvula admisión cerrada	
VAA	I/0:1	Sensor Válvula admisión abierta	
VDC	I/0:2	Sensor Válvula descarga cerrada	
VDA	I/0:3	Sensor Válvula descarga abierta	
RPM	I/0:4	Tacómetro	
Entradas Módulo Analógico Presiones (1762 -IF4)			
Sigla (RSLogix 500)	PIN PLC	Descripción	Observaciones
P_VCN	I/1:0	Presión Venturi Contracción Negativa	Rango: (-1 a 0,6 [bar]) / Patita Suelta
P_1	I/1:1	Presión de Admisión	Rango: (-1 a 0 [bar])
P_VA	I/1:2	Presión Venturi Admisión	Rango: (0 a 2,5 [bar])
P_VCP	I/1:3	Presión Venturi Contracción Positivo	Rango: (0 a 6 [bar])
Entradas Módulo Analógico Temperaturas (1762-IR4)			
Sigla (RSLogix 500)	PIN PLC	Descripción	Observaciones
T1	I/2:0	Temperatura de Admisión	
T2	I/2:1	Temperatura de Admisión Venturi	
T3	I/2:2	Temperatura de Salida	
Salidas Directas PLC			
Sigla (RSLogix 500)	PIN PLC	Descripción	Observaciones
VDE	O/0:0	Energía Válvula de descarga	
VDS	O/0:1	Cambio de sentido válvula de descarga	
VAE	O/0:2	Energía Válvula de admisión	
VAS	O/0:3	Cambio de sentido válvula de admisión	
PEM	O/0:9	Parada de emergencia del VDF	

Figura 57: Parte 5 del listado que muestra entradas y salidas con sus siglas RSLogix, apartado I/X:X ; 0/X:X y su función

Entradas	Conexión	Descripción
COM 0	Regleta 2 - Salida 2 Puente COM 0	Tierra VCC
IN 0	Regleta 3 - Salida 10	Sensor Válvula de Admisión Cerrada
IN 1	Regleta 3 - Salida 11	Sensor Válvula de Admisión Abierta
IN 2	Regleta 4 - Salida 1	Sensor Válvula de Descarga Cerrada
IN 3	Regleta 4 - Salida 2	Sensor Válvula de Descarga Abierta
COM 1	Puente COM 0 / Puente COM 2	Tierra VCC
IN 4	Disponible	
IN 5	Disponible	
IN 6	Disponible	
IN 7	Disponible	
COM 2	Puente COM 1 / Puente COM 3	Tierra VCC
IN 8	Disponible	
IN 9	Disponible	
IN 10	Disponible	
IN 11	Disponible	
COM 3	Puente COM 2 / Puente IN 0 (-) [IF4]	Tierra VCC
IN 12	Disponible	
IN 13	Disponible	
IN 14	Disponible	
IN 15	Disponible	
IN 16	Disponible	
IN 17	Disponible	
IN 18	Disponible	
IN 19	Disponible	
COM ANA	Regleta 4 - Salida 9	PIN 11 VDF (0v common)
IV 0	Regleta 4 - Salida 10	PIN 9 VDF (Programmable analogue output 1)
IV 1	Regleta 4 - Salida 11	Pin 10 VDF (Programmable analogue output 2)
IV 2	Disponible	
IV 3	Disponible	

Figura 58: Parte 6 del listado que muestra las entradas utilizadas y disponibles del PLC

Salidas	Conexión	Descripción
VAC L1	Regleta 2 - Salida 12	Fase AC 220
GND	Regleta 2 -Salida 11	Tierra AC
VAC L2/N	Regleta 2 - Salida 10	Neutro
VAC DC 0	Puente VAC DC 1	24 V (PLC)
OUT 0	Relay D - PIN 2	Energía para válvula de descarga
VAC DC 1	Puente VAC DC 0 / Puente VAC DC 2	24 V (PLC)
OUT 1	Relay E - PIN 2	Sentido de Giro Válvula de descarga
VAC DC 2	Puente VAC DC 1 / Puente VAC DC 3	24 V (PLC)
OUT 2	Relay B - PIN 2	Energía para válvula de admisión
VAC DC 3	Puente VAC DC 2 / Puente VAC DC 4	24 V (PLC)
OUT 3	Relay C - PIN 2	Sentido de Giro Válvula de admisión
VAC DC 4	Puente VAC DC 3 / Puente VAC DC 5	24 V (PLC)
OUT 4	Disponible	
OUT 5	Disponible	
VAC DC 5	Puente VAC DC 4 / Puente VAC DC 6	24 V (PLC)
OUT 6	Disponible	
OUT 7	Disponible	
VAC DC 6	Puente VAC DC 5	24 V (PLC)
OUT 8	Disponible	
OUT 9	Relay A - PIN 2	Parada de Emergencia VDF
OUT 10	Disponible	
OUT 11	Disponible	
COM ANA	Disponible	
OV 0	Regleta 1 - Salida 5	PIN 5 VDF - Analogue input 1 (+)
OV 1	Disponible	

Figura 59: Parte 7 del listado que muestra las salidas utilizadas y disponibles del PLC

Etiquetado Relay	Output PLC	Función
A	O/0:9	Parada de Emergencia Variador de frecuencia
B	O/0:2	Energía para válvula de admisión
C	O/0:3	Sentido de Giro Válvula de admisión
D	O/0:0	Energía para válvula de descarga
E	O/0:1	Sentido de Giro Válvula de descarga

Etiquetado Cables	Función
1	Fase 220
2	Neutro
3	VCC (24V)
4	Tierra VCC

Figura 60: Parte 8 del listado que muestra los etiquetados de relay con su apartado O/X:X y función y también muestra el Etiquetado de Cables y su función

G. Instructivo de Uso pegado en el gabinete del PLC

Se creo un instructivo de uso, ya que es importante como conectar y alimentar el PLC, y también que pasos realizar antes de utilizar la HMI, y el turbosoplador.

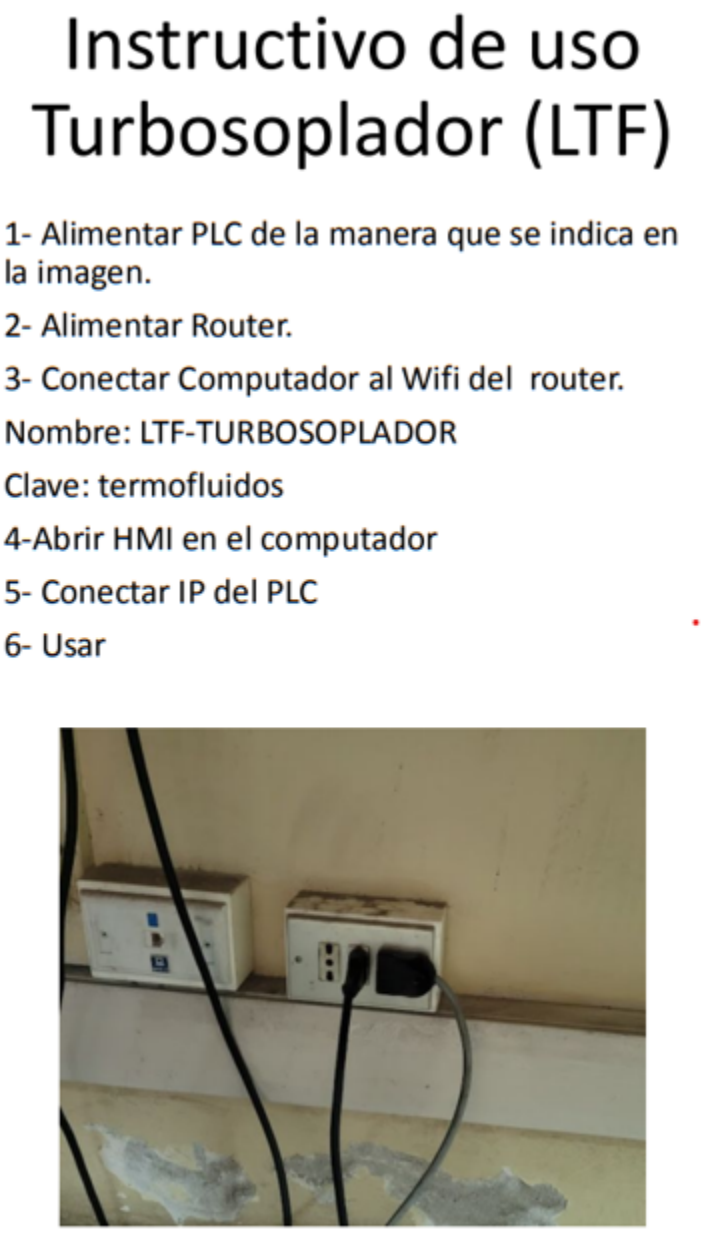


Figura 61: Instructivo de Uso del Turbosoplador

H. Programa Ladder RSLogix 500 del Turbosoplador

Se adjunta explicación de cada línea de la Ladder en RSLogix 500 con sus respectivas imágenes:

- Línea 0: Si esta en verde indica que la válvula de admisión se encuentra cerrada.
- Línea 1: Si esta en verde indica que la válvula de admisión se encuentra abierta.
- Línea 2: Si esta en verde indica que la válvula de descarga se encuentra cerrada.
- Línea 3: Si esta en verde indica que la válvula de descarga se encuentra abierta.
- Línea 4: Botón accionador que suministra energía a la válvula de descarga.
- Línea 5: Botón accionador del cambio de sentido de la válvula de descarga.
- Línea 6: Botón accionador que suministra energía a la válvula de admisión.
- Línea 7: Botón accionador del cambio de sentido de la válvula de admisión.
- Línea 8: Botón accionador de la parada de emergencia del VDF.
- Línea 9-12: Conversión del número que entrega cada sensor de presión a corriente.
- Línea 13-16: Conversión de corriente de cada sensor a presión en [bar].
- Línea 17-19: Conversión del número que entrega cada sensor de temperatura, a temperatura en [C°].
- Línea 20: Conversión del número que entrega el sensor de velocidad angular, a [RPM].
- Línea 21-24: Conversión de presión en [bar] a presión en [mmHg].
- Línea 25-24: Obtención del diferencial de presión en [bar] en valor absoluto.
- Línea 27: Conversión de la presión de admisión del tubo Venturi a [Pa] sumada a la presión atmosférica, ya que para la fórmula de la densidad se utilizan presiones absolutas.
- Línea 28 y 29: Se definen los valores de Temperatura y Presión en condiciones normales, que son 293,15 [K] y 101325 [Pa] respectivamente.
- Línea 30: Conversión de la temperatura 2 de [°C] a [K].
- Línea 31: Obtención de la densidad antes del venturímetro con los valores anteriormente definidos

- Línea 32: Conversión del diferencial de presión a [Pa]
- Línea 33: Se define la constante que se utiliza en la fórmula (1) del punto 3.3.5.
- Línea 34: Obtención del caudal en $[m^3/h]$.

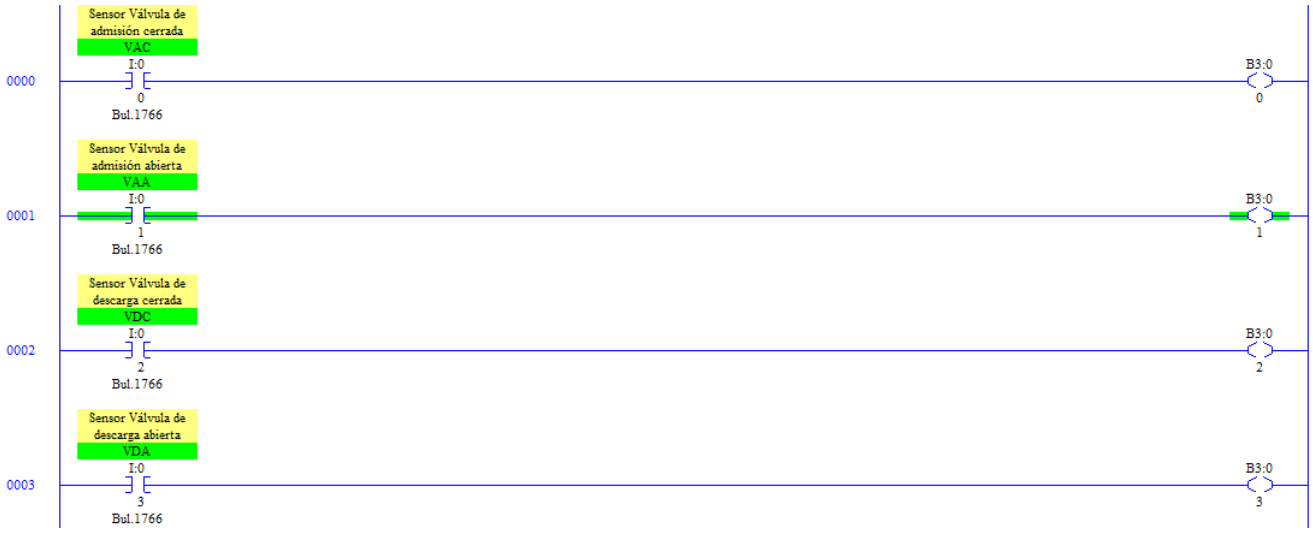


Figura 62: Línea 0 a la 3 del Programa Ladder RSLogix 500 del TS

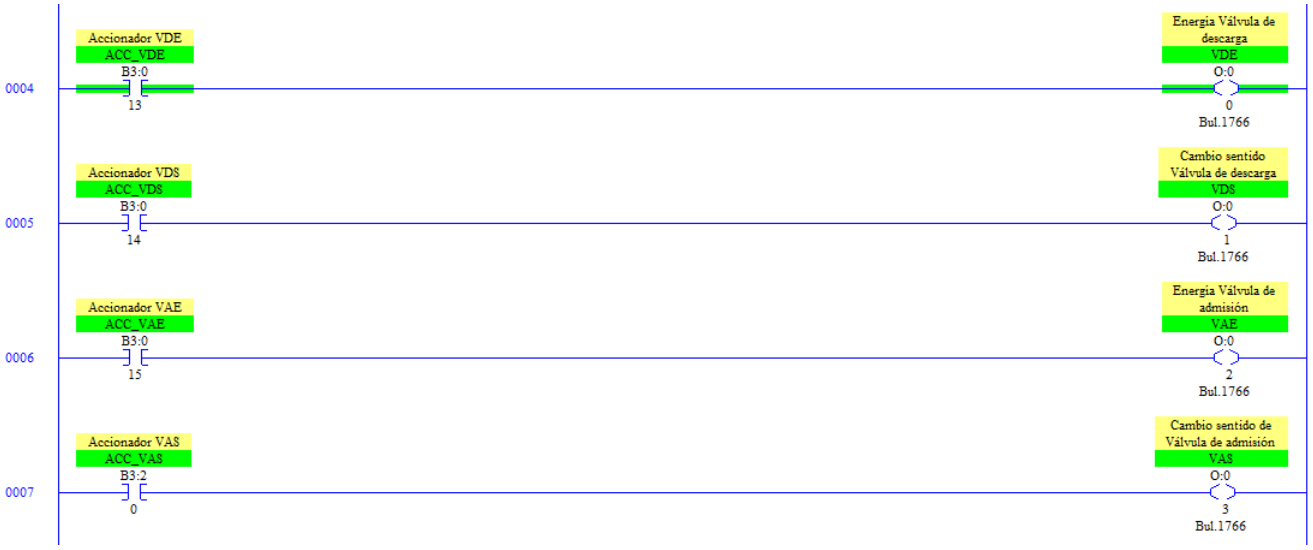


Figura 63: Línea 4 a la 7 del Programa Ladder RSLogix 500 del TS

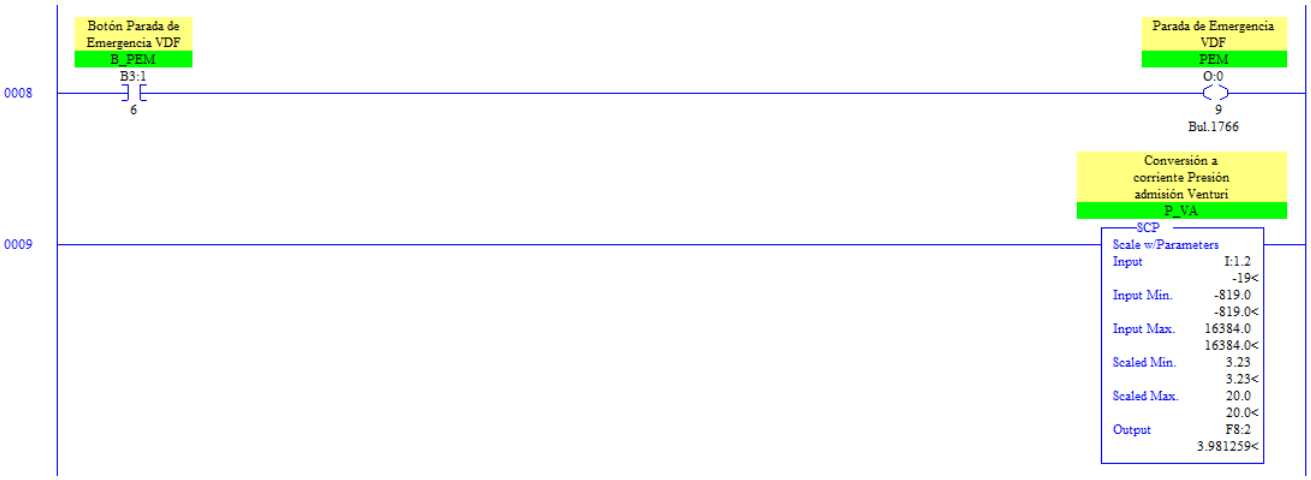


Figura 64: Línea 8 y 9 del Programa Ladder RSLogix 500 del TS

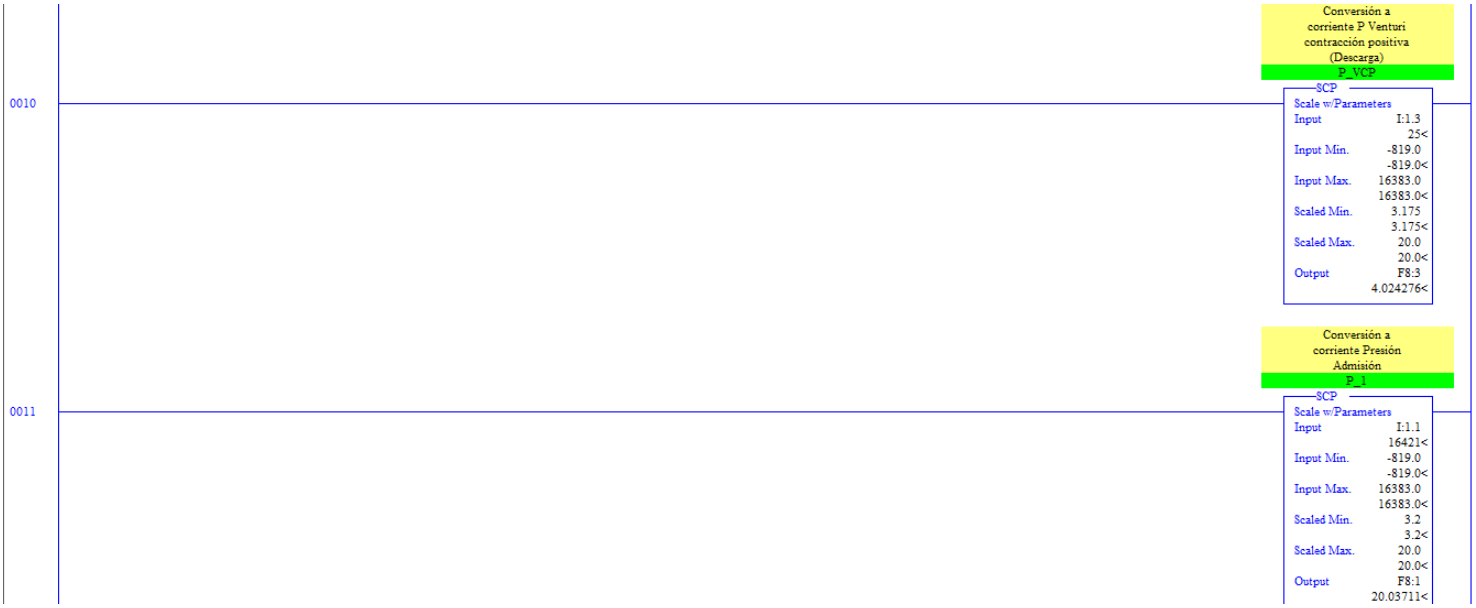


Figura 65: Línea 10 y 11 del Programa Ladder RSLogix 500 del TS

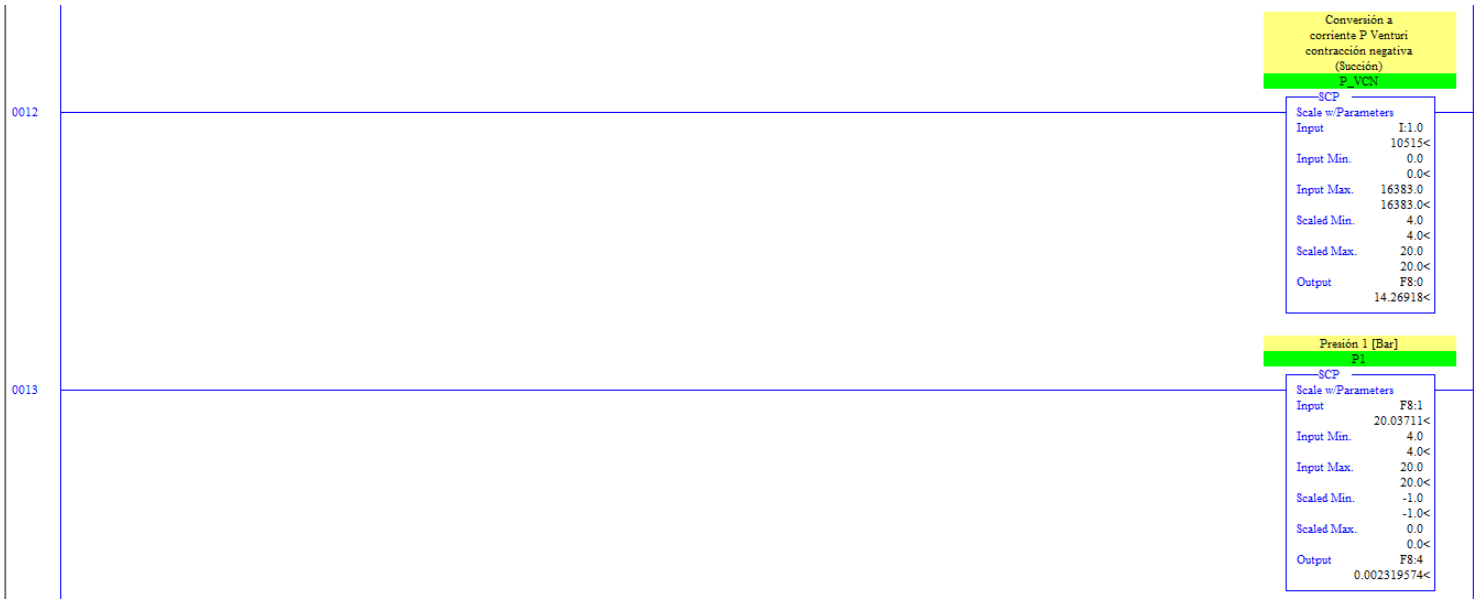


Figura 66: Línea 12 y 13 del Programa Ladder RSLogix 500 del TS

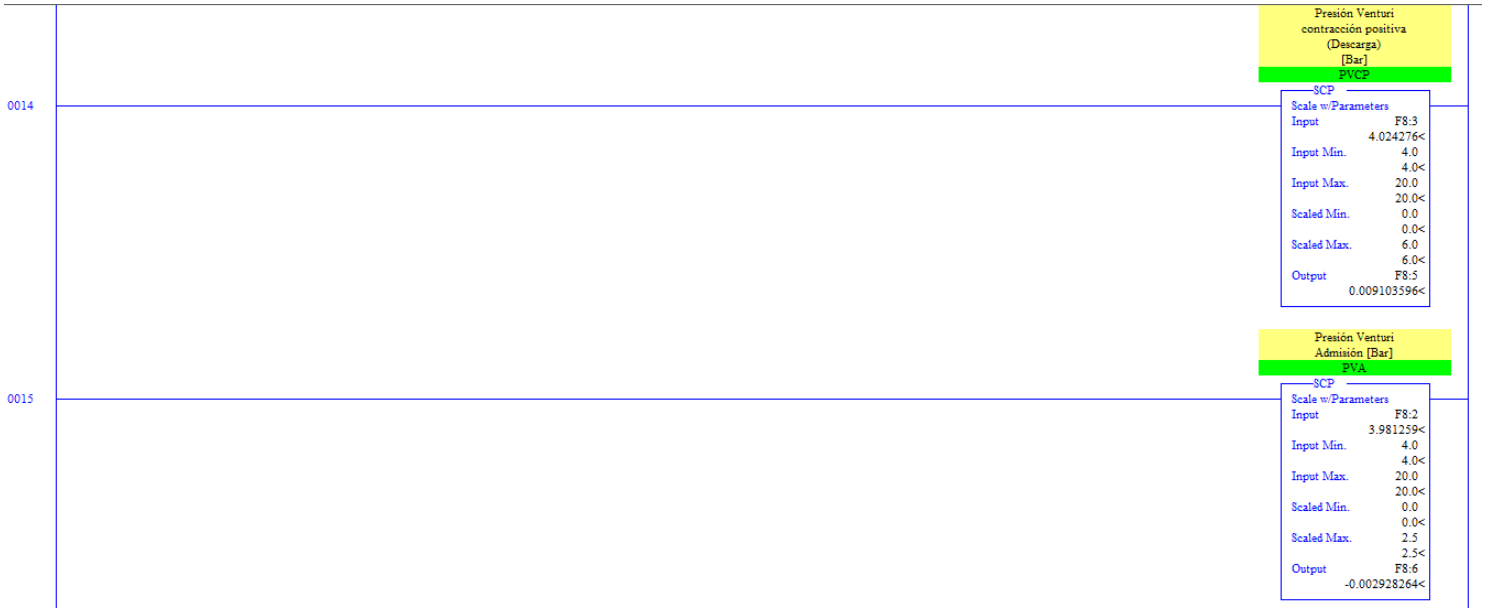


Figura 67: Línea 14 y 15 del Programa Ladder RSLogix 500 del TS

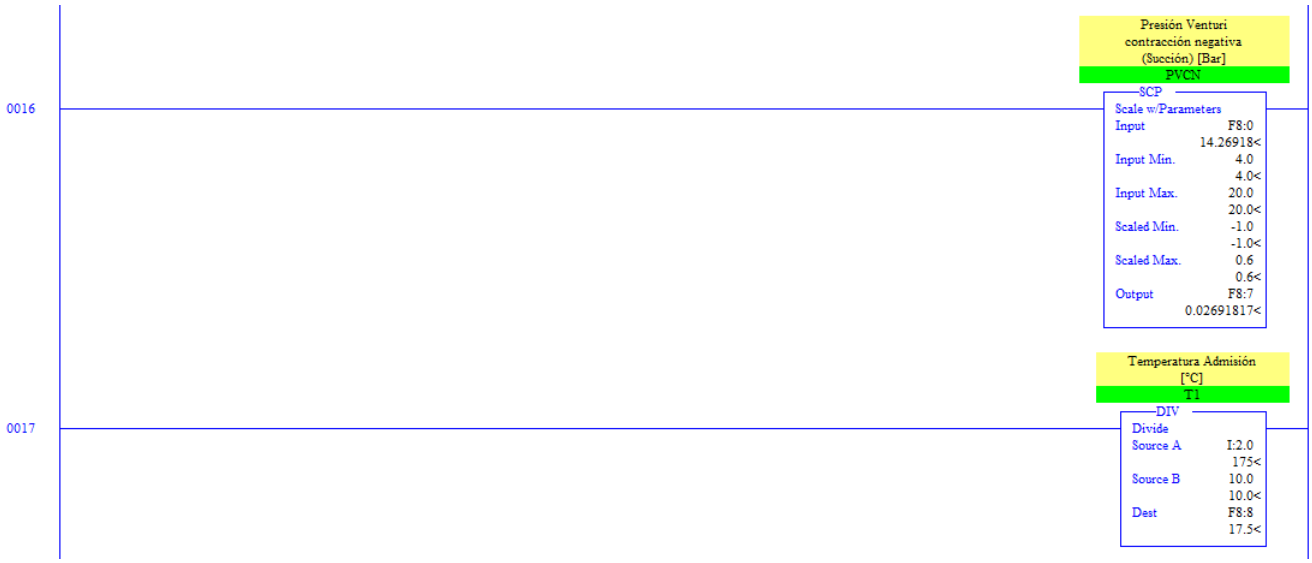


Figura 68: Línea 16 y 17 del Programa Ladder RSLogix 500 del TS

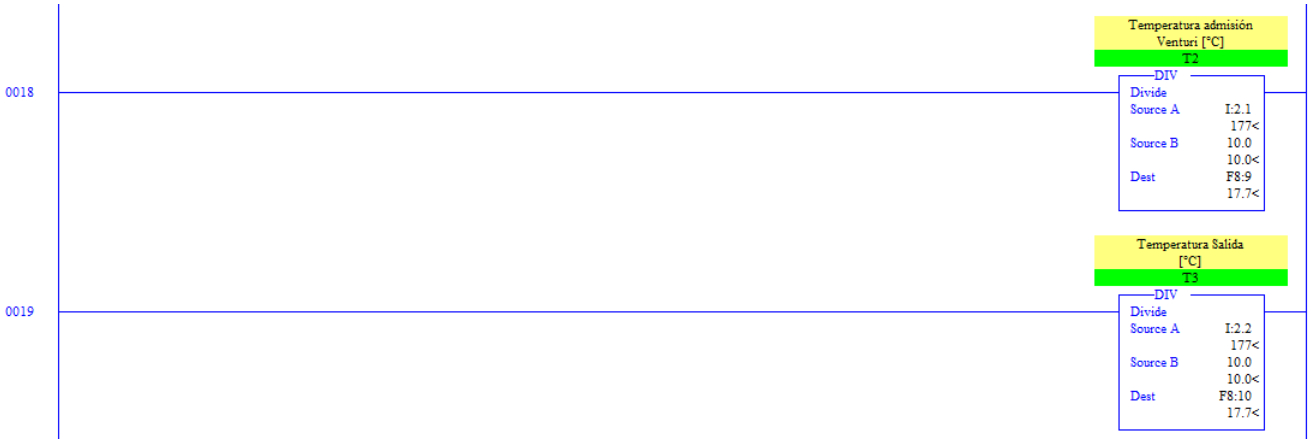


Figura 69: Línea 18 y 19 del Programa Ladder RSLogix 500 del TS

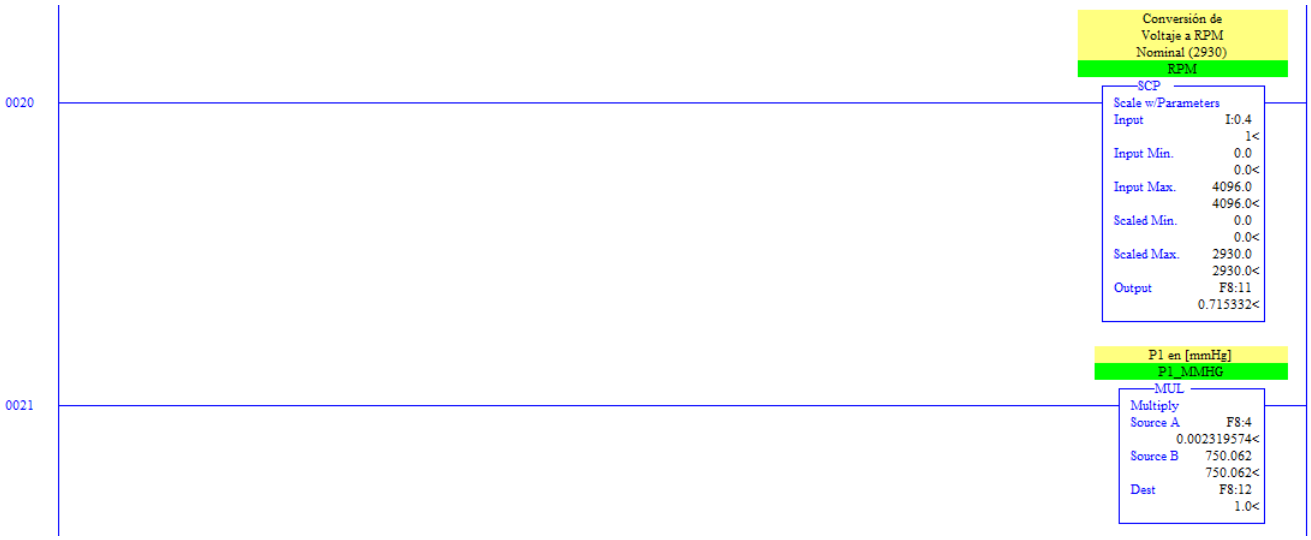


Figura 70: Línea 20 y 21 del Programa Ladder RSLogix 500 del TS

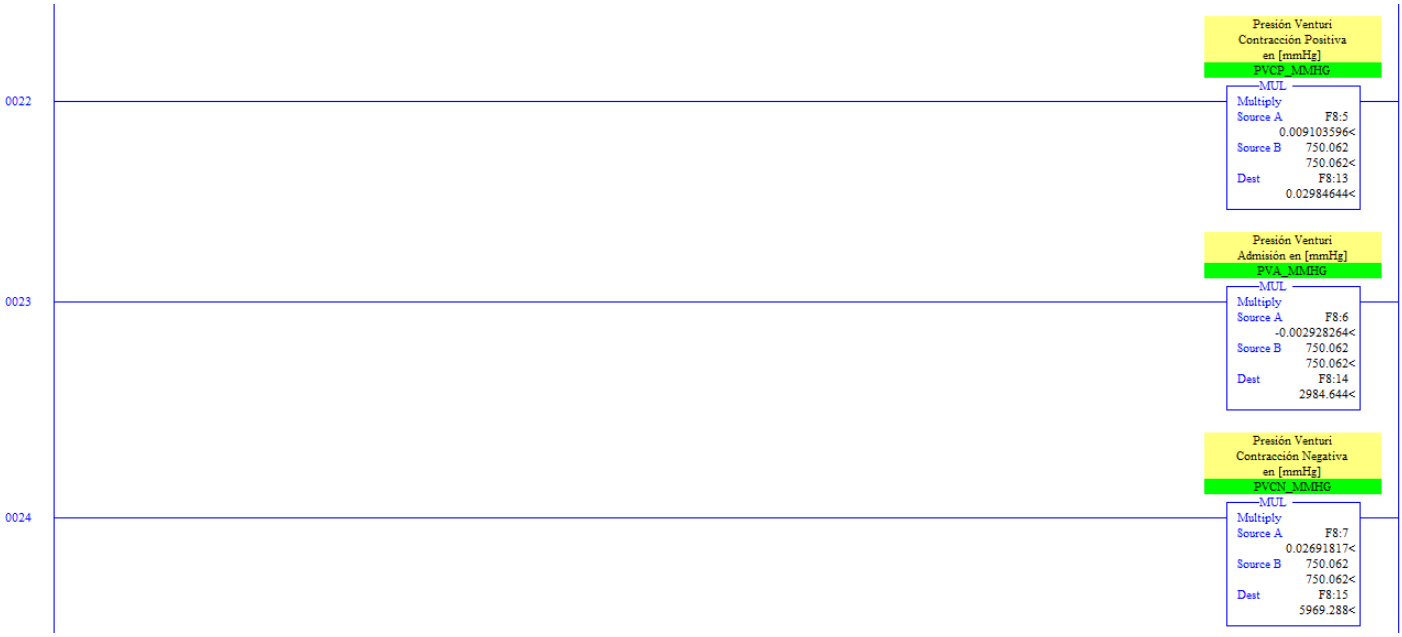


Figura 71: Línea 22 a la 24 del Programa Ladder RSLogix 500 del TS

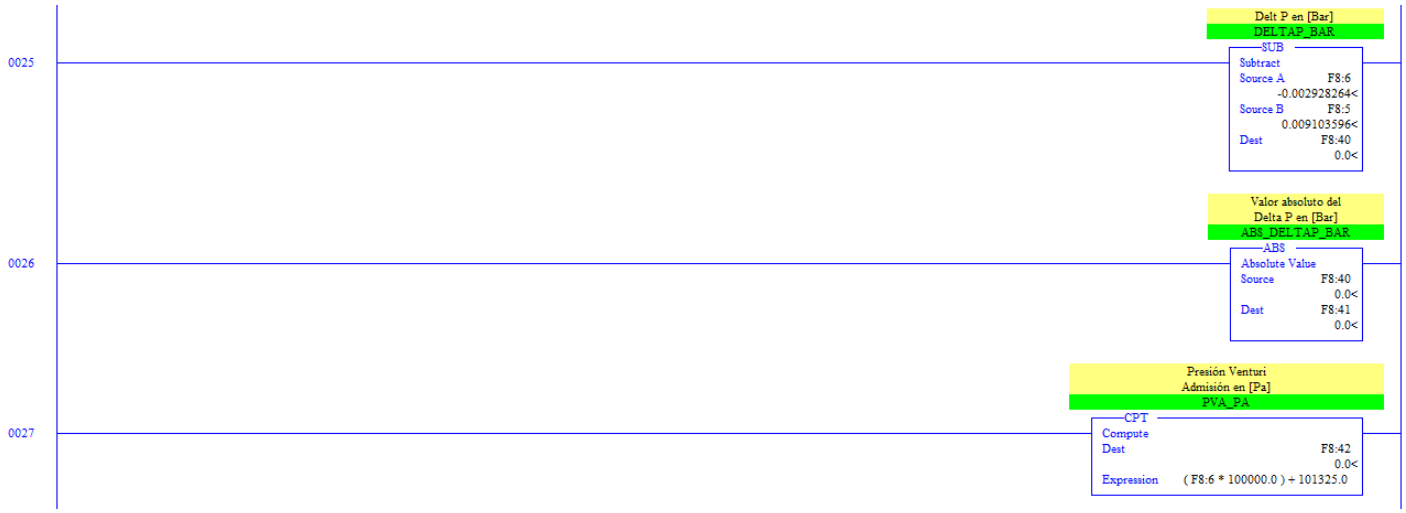


Figura 72: Línea 25 a la 27 del Programa Ladder RSLogix 500 del TS

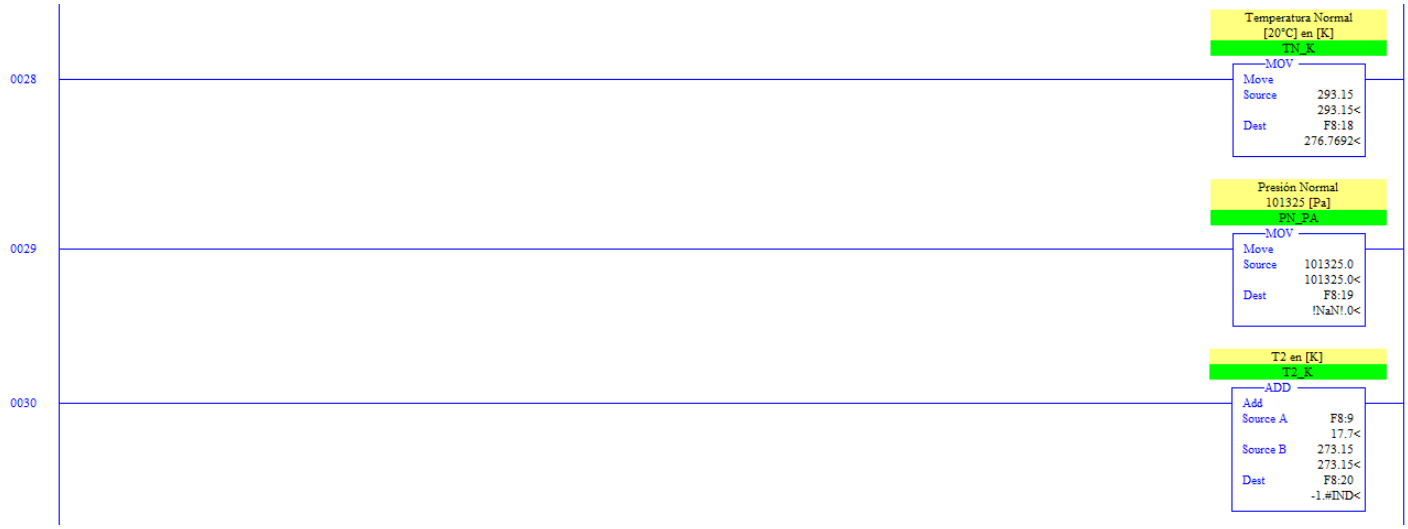


Figura 73: Línea 28 a la 30 del Programa Ladder RSLogix 500 del TS

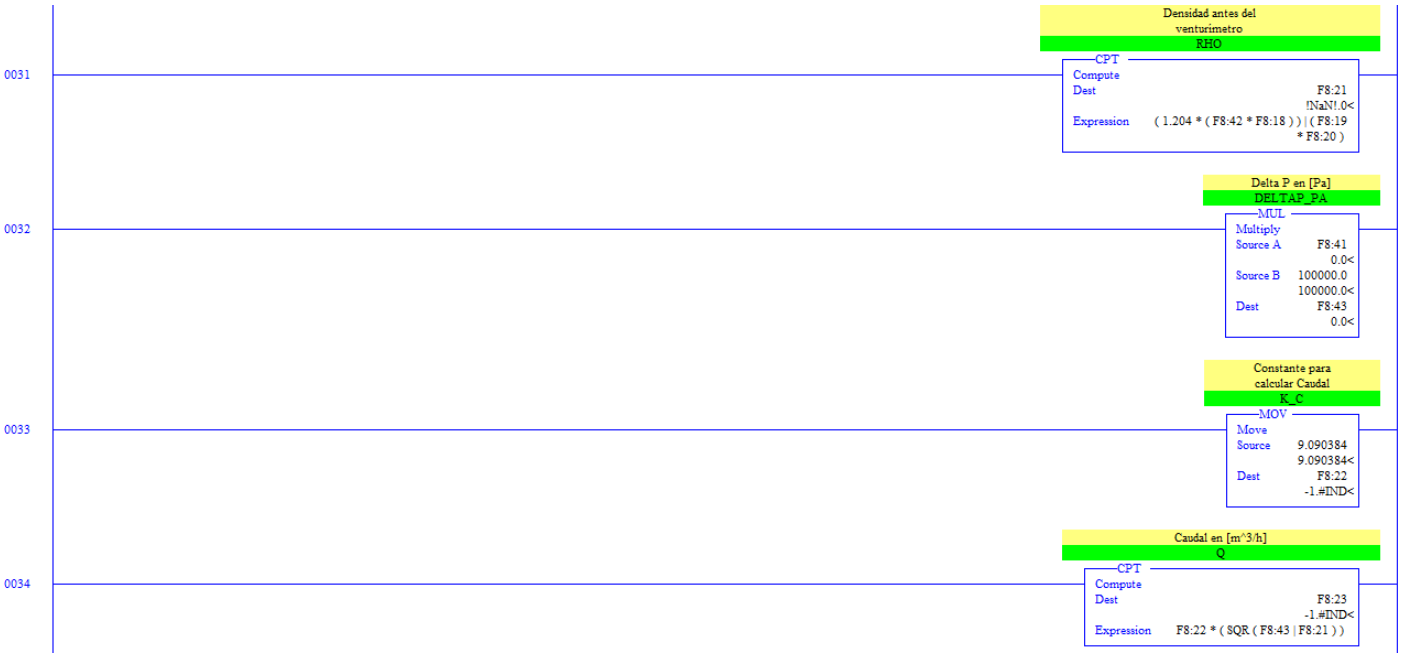


Figura 74: Línea 31 a la 34 del Programa Ladder RSLogix 500 del TS

I. Código Python de la HMI

Se adjunta el detalle del código realizado en Python para la creación de la HMI, el cual viene completamente comentado con todos los pasos realizados dentro del mismo código.

```
#               TURBOSOPLADOR
#            PANEL DE CONTROL HMI
#
import time
import threading as hilo
#from tkinter.font import _FontDescription
#from threading import Thread
from pycomm3 import SLCDriver
import tkinter as tk
from tkinter import *
from PIL import ImageTk, Image
import os
#En esta parte se importan los módulos de python que permiten modelar y realizar la HMI

#Variables de el proceso
T1=0
T2=0
T3=0
P1=0
P2=0
P3=0
P4=0
rpm=0
Q=0
#Aquí se definen las varibales con las cuales trabajara la HMI, las cuales
#Mostrara en pantalla, y además tomara el registro de ellas

# Espacios en HMI loteo
hmi= tk.Tk()
hmi.title("TURBOSOPLADOR Panel de Control - NH")
hmi.geometry("1072x662")
hmi.resizable(False,False)

#Aca se define el título de la ventana que se abre al inicar la HMI, además
#se definen las medidas de la ventana

ImagenTitulo = LabelFrame(hmi)
ImagenTitulo.config(width=300,height=81)
ImagenTitulo.place(x=16,y=18)
```

Figura 75: Parte 1 del Código Python de la HMI

```
ConexionPLC = LabelFrame(hmi,text="Conexión PLC TCP/IP.")
ConexionPLC.config(width=230,height=81)
ConexionPLC.place(x=557,y=8)

registro= LabelFrame(hmi,text="Registro de Datos.")
registro.config(width=253,height=81)
registro.place(x=795,y=8)

Parada_Emergencia_VDF = LabelFrame(hmi,text="Variador de Frecuencia")
Parada_Emergencia_VDF.config(width=300,height=133)
Parada_Emergencia_VDF.place(x=750,y=500)

valvula_1 = LabelFrame(hmi,text="Válvula de Admisión")
valvula_1.config(width=300,height=192)
valvula_1.place(x=750,y=100)

valvula_2 = LabelFrame(hmi,text="Válvula de Descarga")
valvula_2.config(width=300,height=192)
valvula_2.place(x=750,y=300)

grafico_1 = LabelFrame(hmi,text="Sensores del Turbosoplador")
grafico_1.config(width=264,height=180)
grafico_1.place(x=16,y=100)

#Aca se definen los tamaños y espacios que ocupara cada sección, delimitando
#la zona de los botones de cada válvula, donde se realiza la conexión al PLC,
#donde se comienza el registro de datos , además de la zona de los botones para
#parar el VDF y la zona mas importante donde se aprecian las mediciones de los
#sensores con una imagen del turbosoplador para entender mejor que sensor es cual

#Funciones botones

#Boton para conectarse al IP que uno escriba

def ipBoton():
        ip_estado.set(str(ip.get()))
        with SLCDriver(str(ip.get())) as PLC:
                print(ip.get())
```

Figura 76: Parte 2 del Código Python de la HMI

```
#Botones para la actuación de la válvula de descarga

#Botón de apertura total
def v2_ap_tot():
    with SLCDriver(str(ip.get())) as PLC:
        PLC.write(('B3:0/13',True),('B3:0/14',False))

#Botón de cierre total
def v2_cr_tot():
    with SLCDriver(str(ip.get())) as PLC:
        PLC.write(('B3:0/13',True),('B3:0/14',True))

#Botón para parar el cierre o apertura de la válvula cuando se desee
def v2_alto():
        proceso_v2_alto=hilo.Thread(target=V2_alto_actuacion)
        proceso_v2_alto.start()
        proceso_v2_alto.join

def V2_alto_actuacion():
        with SLCDriver(str(ip.get())) as PLC:
                PLC.write(('B3:0/13',False))

#Botón apertura en un tiempo definido
def v2_ap_tl():
        proceso_v2_tl=hilo.Thread(target=v2_ap_tl_actuacion)
        proceso_v2_tl.start()
        proceso_v2_tl.join

def v2_ap_tl_actuacion():
    tl=int(val_dg_tl.get())
    with SLCDriver(str(ip.get())) as PLC:
        PLC.write(('B3:0/13',True),('B3:0/14',False))
        time.sleep(tl)
        PLC.write(('B3:0/13',False),('B3:0/14',False))
```

Figura 77: Parte 3 del Código Python de la HMI

```
#Botón de cierre en un tiempo definido
def v2_cr_tl():
        proceso_v2_tl=hilo.Thread(target=v2_cr_tl_actuacion)
        proceso_v2_tl.start()
        proceso_v2_tl.join

def v2_cr_tl_actuacion():
    tl=int(val_dg_tl.get())
    with SLCDriver(str(ip.get())) as PLC:
        PLC.write(('B3:0/13',True),('B3:0/14',True))
        time.sleep(tl)
        PLC.write(('B3:0/13',False),('B3:0/14',True))

#Botones para la actuación de la válvula de admisión

#Botón de apertura total
def vl_ap_tot():
    with SLCDriver(str(ip.get())) as PLC:
        PLC.write(('B3:0/15',True),('B3:2/0',False))

#Botón de cierre total
def vl_cr_tot():
    with SLCDriver(str(ip.get())) as PLC:
        PLC.write(('B3:0/15',True),('B3:2/0',True))

#Botón para parar el cierre o apertura de la válvula cuando se desee
def vl_alto():
        proceso_vl_alto=hilo.Thread(target=Vl_alto_actuacion)
        proceso_vl_alto.start()
        proceso_vl_alto.join

def Vl_alto_actuacion():
        with SLCDriver(str(ip.get())) as PLC:
                PLC.write(('B3:0/15',False))
```

Figura 78: Parte 4 del Código Python de la HMI

```
#Botón de apertura en un tiempo definido
def vl_ap_tl():
        proceso_vl_tl=hilo.Thread(target=vl_ap_tl_actuacion)
        proceso_vl_tl.start()
        proceso_vl_tl.join

def vl_ap_tl_actuacion():
    tl=int(val_ad_tl.get())
    with SLCDriver(str(ip.get())) as PLC:
        PLC.write(('B3:0/15',True),('B3:2/0',False))
        time.sleep(tl)
        PLC.write(('B3:0/15',False),('B3:2/0',False))

#Botón de cierre en un tiempo definido
def vl_cr_tl():
        proceso_vl_tl=hilo.Thread(target=vl_cr_tl_actuacion)
        proceso_vl_tl.start()
        proceso_vl_tl.join

def vl_cr_tl_actuacion():
    tl=int(val_ad_tl.get())
    with SLCDriver(str(ip.get())) as PLC:
        PLC.write(('B3:0/15',True),('B3:2/0',True))
        time.sleep(tl)
        PLC.write(('B3:0/15',False),('B3:2/0',True))

#Botones Variador de Frecuencia
#Botón para activar la parada de emergencia del VDF
def parada_emergencia():
        with SLCDriver(str(ip.get())) as PLC:
                PLC.write(('B3:1/6',True))
#Botón para volver a activar el VDF
def quitar_parada_emergencia():
        with SLCDriver(str(ip.get())) as PLC:
                PLC.write(('B3:1/6',False))
```

Figura 79: Parte 5 del Código Python de la HMI

```
#Botones para crear archivo TXT con datos de los sensores

#Aca se define el nombre del archivo TXT, que tiene como nombre TURBOSOPLADOR
#y posterior a eso se le agrega la fecha con dia,mes,hora y segundo
#Quedando como ejemplo algo asi 'TURBOSOPLADOR_09-11_14-19-54'
def inicio_registro():
        global proceso_registro
        global archivo
        global adquisicion
        adquisicion=True
        nombre_archivo= str("TURBOSOPLADOR_"+time.strftime("%d")+"-"+time.strftime("%m")+'_'+time.strftime("%H")
                            +'-'+time.strftime("%M")+'-'+time.strftime("%S")+".txt")
        archivo=open(str(nombre_archivo),"w")
        proceso_registro=hilo.Thread(target=inicio_registro_actuacion)
        proceso_registro.start()

#Se define que agregara al archivo TXT, tomara todos los datos de los sensores, cada 1 segundo,
#anexando también al TXT, el n segundo al que tomo todos los datos
def inicio_registro_actuacion():
        global archivo
        global adquisicion
        with SLCDriver(str(ip.get())) as PLC:
                n=1
                archivo.write("Seg; T1; T2; T3; P1; PvA; PvCp; PvCn; rpm; Q \n")
                while (adquisicion):
                        T1=PLC.read('F8:8')
                        T2=PLC.read('F8:9')
                        T3=PLC.read('F8:10')
                        P1=PLC.read('F8:12')
                        P2=PLC.read('F8:14')
                        P3=PLC.read('F8:13')
                        P4=PLC.read('F8:15')
                        rpm=PLC.read('F8:11')
                        Q=PLC.read('F8:23')
                        temp_1_var.set(str(round(T1[1],3)))
                        temp_2_var.set(str(round(T2[1],3)))
                        temp_3_var.set(str(round(T3[1],3)))
                        pres_1_var.set(str(round(P1[1],4)))
                        pres_2_var.set(str(round(P2[1],4)))
```

Figura 80: Parte 6 del Código Python de la HMI

```
                    pres_3_var.set(str(round(P3[1],4)))
                    pres_4_var.set(str(round(P4[1],4)))
                    rpm_var.set(str(round(rpm[1],4)))
                    Q_var.set(str(round(Q[1],4)))
                    n_var.set(str(n))
                    archivo.write(str(n)+';'+str(round(T1[1],3))+';'+str(round(T2[1],3))+';'
                    +str(round(T3[1],3))+';'+str(round(P1[1],4))+';'+str(round(P2[1],4))+';'
                    +str(round(P3[1],4))+';'+str(round(P4[1],4))+';'+str(round(rpm[1],4))+';'
                    +str(round(Q[1],4))+'\n')
                    n +=1
                    time.sleep(1)

#Se define la función del botono termino, la cual es finalizar la escritura del archivo TXT
#Y dejar en la zona de las mediciones de los sensores escrito que mide cada sensor
def termino_registro():
        global proceso_registro
        global adquisicion
        global archivo
        adquisicion=False
        time.sleep(0.5)
        proceso_registro.join#(timeout=0.3)
        archivo.close()
        temp_1_var.set('T°1')
        temp_2_var.set('T°2')
        temp_3_var.set('T°3')
        pres_1_var.set('P1')
        pres_2_var.set('P2')
        pres_3_var.set('P3')
        pres_4_var.set('P4')
        rpm_var.set('RPM')
        Q_var.set('Caudal')
        n_var.set('N°')
```

Figura 81: Parte 7 del Código Python de la HMI

```
# Conexión PLC TCP/IP
#Se definen las posiciones de los botones de la sección de conexión al PLC,
#dejando una zona donde poder escribir la IP, y un botón para conectase a dicha IP
ip_estado=StringVar(ConexionPLC, " ")
ip=tk.Entry(ConexionPLC,width=12)
ip.place(x=62,y=5)
ip.insert(0, "111.0.0.111")
ip_etiqueta=Label(ConexionPLC,text="IP PLC")
ip_etiqueta.place(x=10,y=7)
ip_boton=tk.Button(ConexionPLC,text='Conectar \n PLC',command=ipBoton)
ip_boton.place(x=150,y=0)
ip_etiqueta_2=Label(ConexionPLC,textvariable=ip_estado)
ip_etiqueta_2.place(x=50,y=30)

#Válvula admisión
val_ad_apertura=LabelFrame(valvula_1,text='Apertura')
val_ad_apertura.config(width=70,height=90)
val_ad_apertura.place(x=60,y=35)
val_ad_cierre=LabelFrame(valvula_1,text='Cierre')
val_ad_cierre.config(width=70,height=90)
val_ad_cierre.place(x=220,y=35)

#Aquí se configuran mini espacios para definir los botones tanto de apertura
#como de cierre

val_ad_boton=tk.Button(valvula_1,text='ALTO',command=vl_alto)
val_ad_boton.config(width=8,height=3)
val_ad_boton.place(x=143,y=55)
val_ad_bot_ap_tot=tk.Button(val_ad_apertura,text='Total',command=vl_ap_tot)
val_ad_bot_ap_tot.place(x=4,y=0)
val_ad_bot_ap_tot.config(width=7,height=1)
val_ad_bot_ap_tl=tk.Button(val_ad_apertura,text='Tl',command=vl_ap_tl)
val_ad_bot_ap_tl.place(x=4,y=33)
val_ad_bot_ap_tl.config(width=7,height=1)
val_ad_bot_cr_tot=tk.Button(val_ad_cierre,text='Total',command=vl_cr_tot)
val_ad_bot_cr_tot.place(x=4,y=0)
val_ad_bot_cr_tot.config(width=7,height=1)
val_ad_bot_cr_tl=tk.Button(val_ad_cierre,text='Tl',command=vl_cr_tl)
val_ad_bot_cr_tl.place(x=4,y=33)
```

Figura 82: Parte 8 del Código Python de la HMI

```
val_ad_bot_cr_t1.config(width=7,height=1)

#Aquí se agregaron los botones con su respectivo texto, funciones y posiciones

val_ad_t1=Entry(valvula_1,width=3)
val_ad_t1.place(x=28,y=90)
val_ad_t1.insert(0, "7")
val_ad_t1_et=Label(valvula_1,text="T1: ")
val_ad_t1_et.place(x=0,y=90)

#Aquí se agrego la casilla donde escribir el tiempo definido de cierre o apertura
#y se define que número aparece en la casilla, de manera predeterminada

#Valvula descarga
val_dg_apertura=LabelFrame(valvula_2,text='Apertura')
val_dg_apertura.config(width=70,height=90)
val_dg_apertura.place(x=60,y=35)
val_dg_cierre=LabelFrame(valvula_2,text='Cierre')
val_dg_cierre.config(width=70,height=90)
val_dg_cierre.place(x=220,y=35)

#Aquí se configuran mini espacios para definir los botones tanto de apertura
#como de cierre

val_dg_boton=tk.Button(valvula_2,text='ALTO',command=v2_alto)
val_dg_boton.config(width=8,height=3)
val_dg_boton.place(x=143,y=55)
val_dg_bot_ap_tot=tk.Button(val_dg_apertura,text='Total',command=v2_ap_tot)
val_dg_bot_ap_tot.place(x=4,y=0)
val_dg_bot_ap_tot.config(width=7,height=1)
val_dg_bot_ap_t1=tk.Button(val_dg_apertura,text='T1',command=v2_ap_t1)
val_dg_bot_ap_t1.place(x=4,y=33)
val_dg_bot_ap_t1.config(width=7,height=1)
val_dg_bot_cr_tot=tk.Button(val_dg_cierre,text='Total',command=v2_cr_tot)
val_dg_bot_cr_tot.place(x=4,y=0)
val_dg_bot_cr_tot.config(width=7,height=1)
val_dg_bot_cr_t1=tk.Button(val_dg_cierre,text='T1',command=v2_cr_t1)
val_dg_bot_cr_t1.place(x=4,y=33)
val_dg_bot_cr_t1.config(width=7,height=1)
```

Figura 83: Parte 9 del Código Python de la HMI

```
#Aquí se agregaron los botones con su respectivo texto, funciones y posiciones

val_dg_tl=Entry(valvula_2,width=3)
val_dg_tl.place(x=28,y=90)
val_dg_tl.insert(0, "9")
val_dg_tl_et=Label(valvula_2,text="Tl: ")
val_dg_tl_et.place(x=0,y=90)

#Aquí se agrego la casilla donde escribir el tiempo definido de cierre o apertura
#y se define que número aparece en la casilla, de manera predeterminada

#Parada Emergencia VDF
boton_parada_emergencia=tk.Button(Parada_Emergencia_VDF, text='Parar VDF',command=parada_emergencia)
boton_parada_emergencia.place(x=55,y=25)
boton_parada_emergencia.config(width=8,height=3)

boton_quitar_parada_emergencia=tk.Button(Parada_Emergencia_VDF, text='Activar VDF',command=quitar_parada_emergencia)
boton_quitar_parada_emergencia.place(x=185,y=25)
boton_quitar_parada_emergencia.config(width=8,height=3)

#Se agregaron los botones de parada de emergencia son su respectivo texto, función y posición

# Registro datos
reg_bot_inicio=tk.Button(registro, text='INICIO',command=inicio_registro)
reg_bot_inicio.place(x=20,y=1)
reg_bot_fin=tk.Button(registro, text='TERMINO',command=termino_registro)
reg_bot_fin.place(x=20,y=33)

#Se agregaron los botones del registro de datos, con su respectivo texto, función y posición

#Imagen del Turbosoplador
img_fondo=Image.open("turbosoplador.png")
img_fondo= img_fondo.resize((720,510),Image.ANTIALIAS)
img=ImageTk.PhotoImage(img_fondo)
etiqueta_imagen=Label(grafico_1, image=img)
etiqueta_imagen.pack()
#Aquí se abre la imagen del turbosoplador en formato PNG(Lo que permite que tenga fondo trasnparente)
#Se define su ancho y largo, y se define en que parte de la HMI va, que es la zona mas amplia, donde
#se muestran en tiempo real los datos captados por los sensores
```

Figura 84: Parte 10 del Código Python de la HMI

```
img_logo=Image.open("turbo.png")
img_logo= img_logo.resize((520,60),Image.ANTIALIAS)
imgturbo=ImageTk.PhotoImage(img_logo)
logo_turbo=Label(ImagenTitulo, image=imgturbo)
logo_turbo.pack()
#Aquí se abre la imagen del logo del turbosoplador, realizando los mismos
#comandos que se tienen en la imagen del TS, este vez se posiciona en
#esquina superior izquierda

#Variables del proceso - Loteo
temp_1=LabelFrame(grafico_1,text="T° Admisión [°C]")
temp_1.config(width=135,height=50)
temp_1.place(x=16,y=75)
temp_2=LabelFrame(grafico_1,text="T° Entrada Venturi [°C]")
temp_2.config(width=135,height=50)
temp_2.place(x=130,y=0)
temp_3=LabelFrame(grafico_1,text="T° Descarga [°C]")
temp_3.config(width=135,height=50)
temp_3.place(x=500,y=75)
pres_1=LabelFrame(grafico_1,text="P. Admisión[mmHg]")
pres_1.config(width=135,height=50)
pres_1.place(x=16,y=375)
pres_2=LabelFrame(grafico_1,text="P. Entrada Venturi [mmHg]")
pres_2.config(width=180,height=50)
pres_2.place(x=170,y=450)
pres_3=LabelFrame(grafico_1,text="P. Contracción Venturi + [mmHg]")
pres_3.config(width=200,height=50)
pres_3.place(x=365,y=450)
pres_4=LabelFrame(grafico_1,text="P. Contracción Venturi - [mmHg]")
pres_4.config(width=200,height=50)
pres_4.place(x=430,y=0)
rpm_espacio=LabelFrame(grafico_1,text="Velocidad [RPM]")
rpm_espacio.config(width=135,height=50)
rpm_espacio.place(x=280,y=0)
q_espacio=LabelFrame(grafico_1,text="Caudal [m^3/h]")
q_espacio.config(width=120,height=50)
q_espacio.place(x=560,y=375)
n_espacio=LabelFrame(registro,text="N° de Medición")
n_espacio.config(width=120,height=50)
```

Figura 85: Parte 11 del Código Python de la HMI

```
n_espacio.place(x=110,y=0)
#Aca se definen las posiciones de cada cuadro que muestran las variables
#Se define además su largo y ancho, además de su título(que señala que es lo
#que muestra cada cuadro)

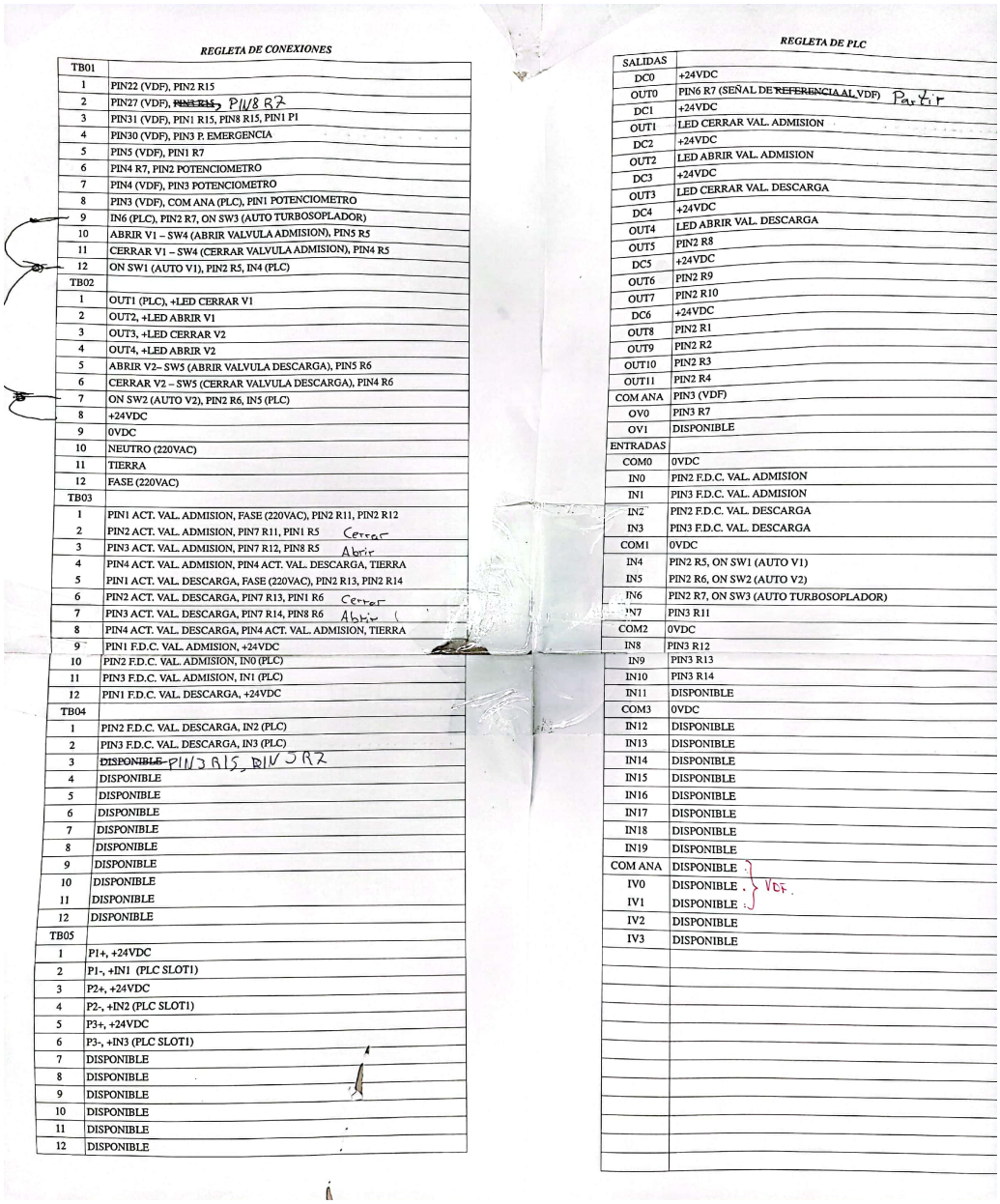
# Valores de las variables
temp_1_var=StringVar(temp_1, "T°1")
temp_1_et=Label(temp_1,textvariable=temp_1_var)
temp_1_et.place(x=0,y=0)
temp_2_var=StringVar(temp_2, "T°2")
temp_2_et=Label(temp_2,textvariable=temp_2_var)
temp_2_et.place(x=0,y=0)
temp_3_var=StringVar(temp_3, "T°3")
temp_3_et=Label(temp_3,textvariable=temp_3_var)
temp_3_et.place(x=0,y=0)
pres_1_var=StringVar(pres_1, "P1")
pres_1_et=Label(pres_1,textvariable=pres_1_var)
pres_1_et.place(x=0,y=0)
pres_2_var=StringVar(pres_2, "P2")
pres_2_et=Label(pres_2,textvariable=pres_2_var)
pres_2_et.place(x=0,y=0)
pres_3_var=StringVar(pres_3, "P3")
pres_3_et=Label(pres_3,textvariable=pres_3_var)
pres_3_et.place(x=0,y=0)
pres_4_var=StringVar(pres_4, "P4")
pres_4_et=Label(pres_4,textvariable=pres_4_var)
pres_4_et.place(x=0,y=0)
rpm_var=StringVar(rpm_espacio, "RPM")
rpm_etiqueta=Label(rpm_espacio, textvariable=rpm_var)
rpm_etiqueta.place(x=0,y=0)
Q_var=StringVar(q_espacio, "Q")
q_etiqueta=Label(q_espacio, textvariable=Q_var)
q_etiqueta.place(x=0,y=0)
n_var=StringVar(n_espacio, "N°")
n_etiqueta=Label(n_espacio, textvariable=n_var)
n_etiqueta.place(x=0,y=0)
#Aca se define los valores de las variables, asignando a cada recuadro
#su correspondiente variable y con su correspondiente título

hmi.mainloop()
```

Figura 86: Parte 12 del Código Python de la HMI

J. Información Pegada Anteriormente en el gabinete del PLC.

Antes de comenzar el reacondicionamiento del TS, en la zona del gabinete del PLC se encontraban unas hojas con información de la configuración de conexiones que se encontraba en ese momento, a continuación se detallan dichas hojas.



REGLETA DE CONEXIONES

TB01	
1	PIN22 (VDF), PIN2 R15
2	PIN27 (VDF), ~~PIN3 R15~~, PIN8 R7
3	PIN31 (VDF), PIN1 R15, PIN8 R15, PIN1 P1
4	PIN30 (VDF), PIN3 P. EMERGENCIA
5	PIN5 (VDF), PIN1 R7
6	PIN4 R7, PIN2 POTENCIOMETRO
7	PIN4 (VDF), PIN3 POTENCIOMETRO
8	PIN3 (VDF), COM ANA (PLC), PIN1 POTENCIOMETRO
9	IN6 (PLC), PIN2 R7, ON SW3 (AUTO TURBOSOPLADOR)
10	ABRIR V1 – SW4 (ABRIR VALVULA ADMISION), PIN5 R5
11	CERRAR V1 – SW4 (CERRAR VALVULA ADMISION), PIN4 R5
12	ON SW1 (AUTO V1), PIN2 R5, IN4 (PLC)
TB02	
1	OUT1 (PLC), +LED CERRAR V1
2	OUT2, +LED ABRIR V1
3	OUT3, +LED CERRAR V2
4	OUT4, +LED ABRIR V2
5	ABRIR V2– SW5 (ABRIR VALVULA DESCARGA), PIN5 R6
6	CERRAR V2 – SW5 (CERRAR VALVULA DESCARGA), PIN4 R6
7	ON SW2 (AUTO V2), PIN2 R6, IN5 (PLC)
8	+24VDC
9	0VDC
10	NEUTRO (220VAC)
11	TIERRA
12	FASE (220VAC)
TB03	
1	PIN1 ACT. VAL. ADMISION, FASE (220VAC), PIN2 R11, PIN2 R12
2	PIN2 ACT. VAL. ADMISION, PIN7 R11, PIN1 R5 Cerrar
3	PIN3 ACT. VAL. ADMISION, PIN7 R12, PIN8 R5 Abrir
4	PIN4 ACT. VAL. ADMISION, PIN4 ACT. VAL. DESCARGA, TIERRA
5	PIN1 ACT. VAL. DESCARGA, FASE (220VAC), PIN2 R13, PIN2 R14
6	PIN2 ACT. VAL. DESCARGA, PIN7 R13, PIN1 R6 Cerrar
7	PIN3 ACT. VAL. DESCARGA, PIN7 R14, PIN8 R6 Abrir
8	PIN4 ACT. VAL. DESCARGA, PIN4 ACT. VAL. ADMISION, TIERRA
9	PIN1 F.D.C. VAL. ADMISION, +24VDC
10	PIN2 F.D.C. VAL. ADMISION, IN0 (PLC)
11	PIN3 F.D.C. VAL. ADMISION, IN1 (PLC)
12	PIN1 F.D.C. VAL. DESCARGA, +24VDC
TB04	
1	PIN2 F.D.C. VAL. DESCARGA, IN2 (PLC)
2	PIN3 F.D.C. VAL. DESCARGA, IN3 (PLC)
3	~~DISPONIBLE~~ PIN3 R15, PIN3 R2
4	DISPONIBLE
5	DISPONIBLE
6	DISPONIBLE
7	DISPONIBLE
8	DISPONIBLE
9	DISPONIBLE
10	DISPONIBLE
11	DISPONIBLE
12	DISPONIBLE
TB05	
1	P1+, +24VDC
2	P1-, +IN1 (PLC SLOT1)
3	P2+, +24VDC
4	P2-, +IN2 (PLC SLOT1)
5	P3+, +24VDC
6	P3-, +IN3 (PLC SLOT1)
7	DISPONIBLE
8	DISPONIBLE
9	DISPONIBLE
10	DISPONIBLE
11	DISPONIBLE
12	DISPONIBLE

REGLETA DE PLC

SALIDAS	
DC0	+24VDC
OUT0	PIN6 R7 (SEÑAL DE ~~REFERENCIA AL~~ VDF) Partir
DC1	+24VDC
OUT1	LED CERRAR VAL. ADMISION
DC2	+24VDC
OUT2	LED ABRIR VAL. ADMISION
DC3	+24VDC
OUT3	LED CERRAR VAL. DESCARGA
DC4	+24VDC
OUT4	LED ABRIR VAL. DESCARGA
OUT5	PIN2 R8
DC5	+24VDC
OUT6	PIN2 R9
OUT7	PIN2 R10
DC6	+24VDC
OUT8	PIN2 R1
OUT9	PIN2 R2
OUT10	PIN2 R3
OUT11	PIN2 R4
COM ANA	PIN3 (VDF)
OV0	PIN3 R7
OV1	DISPONIBLE
ENTRADAS	
COM0	0VDC
IN0	PIN2 F.D.C. VAL. ADMISION
IN1	PIN3 F.D.C. VAL. ADMISION
IN2	PIN2 F.D.C. VAL. DESCARGA
IN3	PIN3 F.D.C. VAL. DESCARGA
COM1	0VDC
IN4	PIN2 R5, ON SW1 (AUTO V1)
IN5	PIN2 R6, ON SW2 (AUTO V2)
IN6	PIN2 R7, ON SW3 (AUTO TURBOSOPLADOR)
IN7	PIN3 R11
COM2	0VDC
IN8	PIN3 R12
IN9	PIN3 R13
IN10	PIN3 R14
IN11	DISPONIBLE
COM3	0VDC
IN12	DISPONIBLE
IN13	DISPONIBLE
IN14	DISPONIBLE
IN15	DISPONIBLE
IN16	DISPONIBLE
IN17	DISPONIBLE
IN18	DISPONIBLE
IN19	DISPONIBLE
COM ANA	DISPONIBLE
IV0	DISPONIBLE } VDF
IV1	DISPONIBLE }
IV2	DISPONIBLE
IV3	DISPONIBLE

Figura 87: Tabla de conexiones de las regletas, entradas y salidas del PLC