

**INSTRUMENTACIÓN DE LA PLANTA TERMICA DE LA UNIVERSIDAD
PONTIFICIA BOLIVARIANA**

**CARLOS FERNEY PATIÑO PÉREZ
PEDRO JESUS OLIVEROS BAYONA**



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
SECCIONAL BUCARAMANGA**

2011

**INSTRUMENTACIÓN DE LA PLANTA TERMICA DE LA UNIVERSIDAD
PONTIFICIA BOLIVARIANA**

**CARLOS FERNEY PATIÑO PÉREZ
PEDRO JESUS OLIVEROS BAYONA**

Proyecto de grado

Director: Edwin Córdoba Tuta

Ingeniero Mecánico

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
SECCIONAL BUCARAMANGA**

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bucaramanga, Julio de 2011

DEDICATORIA

A Dios, por darme la vida, la salud, la sabiduría, el empeño y la convicción para culminar con éxito este proyecto, y lo más importante por mi familia que siempre me han apoyado en todo momento y circunstancia.

A mis padres, Carlos Patiño y Luz Stella Pérez, por ser esa fuerza y aliciente que siempre he tenido, por sus sabios consejos, y hermoso ejemplo de vida que me permiten tener una figura a seguir.

A mi hermana Jennifer Patiño por estar conmigo en cualquier instante de mi vida, por ser esa persona que siempre me regala una sonrisa en los momentos de dificultad.

A mi amigo y colega Pedro Oliveros, compañero de este exitoso proyecto de grado.

A mis grandes amigos con lo que inicié este camino en el 2006 de lucha, sufrimiento, trasnochos, borracheras y muchas alegrías.

Carlos Ferney Patiño Pérez

DEDICATORIA

A mi padre Alberto Oliveros Bernal.

A mi madre Nancy Stella Bayona Rodríguez.

A mi hermana Laura Milena Oliveros Bayona.

A mi hermano Felix Alberto Oliveros Bayona.

A la memoria de mi abuelo Felix Antonio Oliveros Castillo.

A mi compañero Carlos Patiño.

Pedro Jesus Oliveros Bayona

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Pontificia Bolivariana por brindarnos las herramientas para un desarrollo integro y profesional.

Al director del proyecto Ing. Edwin Córdoba Tuta por su apoyo, colaboración y compromiso durante el desarrollo del proyecto.

A los Ingenieros Gilberto Fontecha y René Carreño porque gracias a sus conocimientos y experiencia nos guiaron durante algunas fases del proyecto.

Al director de la facultad de Ingeniería Mecánica Ing. Alfonso Santos por su interés y apoyo con el proyecto.

A la Ing. Leidy Olarte por su acompañamiento y asesorías en el área electrónica y eléctrica del proyecto.

A Ludwing Casas y Víctor Cuellar por sus asesorías y ayuda en la instalación de la instrumentación dentro del laboratorio de plantas térmicas.

A la secretaria de la facultad de Ingeniería Mecánica Elizabeth Barajas por su apoyo y colaboración.

A todas aquellas personas que de una u otra forma fueron un apoyo grande para el desarrollo y culminación de este proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	3
1. OBJETIVOS.....	5
1.1. OBJETIVO GENERAL	5
1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	5
2. ALCANCE.....	7
3. JUSTIFICACIÓN.....	8
4. MARCO TEÓRICO	9
4.1. SENSOR.....	10
4.2. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC)	13
4.3. LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN	15
4.4. TERMINAL TÁCTIL	16
4.5. PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN.....	17
4.6. TRANSFORMADOR	18
4.7. TRANSDUCTOR	19
4.8. PLANTA TÉRMICA.....	20
4.9. MONITOREO.....	23
5. METODOLOGÍA	24
6. DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA	25
6.1. DEFINICIÓN DE PARÁMETROS PARA LA INSTRUMENTACIÓN.....	25
6.2. DISEÑO DE PLANO PARA LA UBICACIÓN DE INSTRUMENTOS.....	29
6.3. INSTALACIÓN Y CABLEADO DE LA INSTRUMENTACIÓN.	30
6.4. PROGRAMACIÓN	37
6.5. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.....	38
7. DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS FUNCIONALES	45
8. DESARROLLO PROGRAMACIÓN	49
8.1. PROGRAMACIÓN EN “STEP 7” DE SIEMENS	49
8.2. DESARROLLO DE INTERFAZ EN “WinCC flexible 2008” DE SIEMENS	55
CONCLUSIONES	60

RECOMENDACIONES.....62
BIBLIOGRAFÍA64
ANEXO A66
ANEXO B79
ANEXO C81
ANEXO D83
ANEXO E85
ANEXO F99

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Pirámide de Instrumentación.....	10
Figura 2. Sensor tipo RTD	11
Figura 3. Sensor de Presión.....	12
Figura 4. Sensor de Flujo.....	13
Figura 5. Hardware control	14
Figura 6. Pantalla Táctil.....	17
Figura 7. Transformador.....	19
Figura 8. Transductor	20
Figura 9. Ciclo Rankine de la Planta Térmica	20
Figura 10. Planta Térmica.....	25
Figura 11. Software Microsoft Office Visio	29
Figura 12. Conjunto de Bornes	30
Figura 13. RTD Tanque de Agua.....	30
Figura 14. Posicionamiento de los Sensores en la Caldera.....	31
Figura 15. Posicionamiento de sensores en la turbina	31
Figura 16. Sensor de flujo y su reducción	32
Figura 17. Brida a medida para el sensor	33
Figura 18. Cableado	34
Figura 19. Condulinea	34
Figura 20. Posicionamiento de RTD's en Intercambiadores	35
Figura 21. Ubicación del Gabinete	35
Figura 22. Tramo de escalerilla adicionado	36
Figura 23. Gabinete principal	37
Figura 24. Logos del software	37
Figura 25. Interfaz de la Planta con Valores Reales	38
Figura 26. Comparación de datos de instrumentación con los medidores análogos en la caldera.....	39
Figura 27. Comparación de datos de instrumentación con medidores análogos en la turbina	40
Figura 28. Comparación de datos de instrumentación con los medidores análogos en el sobrecalentador	41
Figura 29. Comparación de datos de instrumentación con los medidores análogos en condensación	42
Figura 30. Presiones vs. Tiempo.....	43
Figura 31. Temperaturas vs. Tiempo	44

Figura 32. Bloque FC 165 escalamiento señal sensor de presión.....	49
Figura 33. Adquisición y modificación señal RTD.....	50
Figura 34. Escalamiento simple para calcular entalpia.....	51
Figura 35. Escalamiento triple para calcular entalpia.....	52
Figura 36. Cálculo potencia turbina.....	52
Figura 37. Cálculo del calor específico.....	53
Figura 38. Cálculo eficiencia térmica.....	54
Figura 39. Pantalla de inicio.....	55
Figura 40. Interfaz esquema de la planta térmica.....	56
Figura 41. Interfaz diagrama de presión.....	56
Figura 42. Interfaz diagrama de temperatura.....	57
Figura 43. Interfaz diagrama de entalpia.....	57
Figura 44. Interfaz valores de entalpia.....	58
Figura 45. Interfaz calor y eficiencia.....	58
Figura 46. Interfaz de potencia.....	59
Figura 47. Tablero autómatas.....	67
Figura 48. Parado de emergencia.....	68
Figura 49. Breaker de alimentación.....	68
Figura 50. Totalizador.....	69
Figura 51. Breakers de seguridad al PLC.....	70
Figura 52. Pantallazo principal.....	71
Figura 53. Asistente de STEP 7.....	71
Figura 54. Menú Abrir Proyecto.....	72
Figura 55. PLC en RUN.....	73
Figura 56. Pantallazo de STEP7.....	73
Figura 57. Guía para iniciar Wincc Flexible.....	74
Figura 58. Como cargar el programa.....	75
Figura 59. Ventana interactiva interfaz WinCC Flexible.....	75
Figura 60. Introducir Dirección IP.....	76
Figura 61. Pantalla táctil e interfaz.....	77
Figura 62. Cargar programa al PLC.....	77
Figura 63. Elementos de seguridad.....	78

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de los PLC	15
Tabla 2. Lenguaje Gráfico	16
Tabla 3. Redes Industriales	18
Tabla 4. Parámetros de Selección de Instrumentos	26
Tabla 5. Descripción Sensor de Presión	45
Tabla 6. Descripción Sensor de Temperatura.....	46
Tabla 7. Descripción Sensor de Flujo	47
Tabla 8. Descripción Transductor de Corriente Alterna	48

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TÍTULO: Instrumentación de la planta térmica de la Universidad Pontificia Bolivariana.

AUTORES: Carlos Ferney Patiño Pérez
Pedro Jesus Oliveros Bayona

FACULTAD: Ingeniería Mecánica

DIRECTOR: Edwin Córdoba Tuta

RESUMEN

El laboratorio de planta térmica perteneciente a la facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga, requiere del desarrollo y la implementación de nuevas tecnologías para seguir en el camino continuo del desarrollo. Esto se puede lograr a través de las medidas de nivel tecnológico adquiridas tales como los sensores de presión, caudal y temperatura, administrando estas señales por medio de un PLC, visualizando sus valores a través de un terminal táctil, complementándolo con una excelente gestión, dando como resultado esperado la culminación de la instrumentación del laboratorio, otorgándole el paso al control y al desarrollo del sistema SCADA.

PALABRAS CLAVES:

Instrumentación, PLC, sensor, SCADA

GENERAL ABSTRACT OF THESIS PROJECT

TITLE: Instrumentation of thermal power plant from Pontificia Bolivariana University

AUTHORS: Carlos Ferney Patiño Pérez
Pedro Jesus Oliveros Bayona

DEPARMENT: Mechanical Engineering

DIRECTOR: Edwin Córdoba Tuta

ABSTRACT

The thermal power plant's laboratory belonging to mechanical engineering's department from Pontificia Bolivariana University - sectional Bucaramanga, request of develop and implementation of new technologies to keep on the continuous development road. It's possible through technologic levels measures as pressure sensors, caudal sensors, temperature, administrating those signals by a PLC, watching their values through a touch panel, complementing with a great management, getting as expect result, the termination of instrumentation of the laboratory, granting the next step to develop the control and the SCADA system.

KEYWORDS:

Instrumentation, PLC, sensor, SCADA

INTRODUCCIÓN

La generación de energía eléctrica es una necesidad primordial; la electricidad, que día a día aumenta su demanda, en la actualidad juega un papel indispensable en nuestras vidas y nuestro desarrollo tecnológico, y esta tendencia por ahora no parece cambiar, por eso se hace necesaria la implementación de instrumentos que permitan el desempeño de las centrales eléctricas de una manera más eficiente, segura y confiable.

Los avances tecnológicos con los que contamos hoy en día nos permiten desarrollar con gran precisión cualquier proceso industrial que lo exija, en el caso de las centrales termoeléctricas con ayuda de sensores, controladores y medidores podemos visualizar de forma confiable los valores de las variables interesadas en este ciclo, como lo son la temperatura, la presión y el caudal, que son los indicadores necesarios para conocer el estado del proceso, la eficiencia del mismo, y así proponer mejoras o soluciones a problemas que puedan aparecer.

El siguiente informe documentará todo el procedimiento y desarrollo de la instrumentación de la planta térmica de la Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga, la cual usa como combustible A.C.P.M y Gas natural, siendo este último el más utilizado debido a su bajo costo y emisiones contaminantes. En este laboratorio se instalaron sensores de presión, RTD's, y un medidor de flujo, los cuales fueron distribuidos en los lugares necesarios de la tubería para la eficaz adquisición de datos, que luego son enviados a un PLC ubicado en este mismo laboratorio, y la visualización de estos valores se realiza por medio de una pantalla táctil, o en su defecto por medio de un PC que cuenta con el software Microsoft Office Excel. Todo esto proporciona a los estudiantes la

posibilidad de conocer, manipular y operar instrumentos de gran demanda en la industria.

La comunicación entre el PLC y el dispositivo de interfaz se realiza por medio de una conexión Ethernet que maneja un protocolo de comunicación TCP/IP, esto permite que los datos sean transferidos de forma rápida y segura, además este protocolo es el más utilizado para este tipo de dispositivos, facilitando la modificación de la programación cuando se requiera.

1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

Instrumentar y monitorear el funcionamiento de la planta térmica de la Universidad Pontificia Bolivariana (Bucaramanga) mediante la instalación de sensores y el empleo de un software para su control permitiendo el análisis de su proceso.

1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Diseñar un plano con las tuberías de la planta térmica donde se indique la ubicación de los sensores electrónicos. RESULTADO: Diseño de tuberías e instrumentación de la planta con P&ID (Piping Instrumentation Diagram). INDICADOR: Diseño del plano bajo las especificaciones de la norma ANSI/ISA -5.1-1984(R1992) con la indicación exacta de los lugares de instalación de los sensores.
- Instrumentar la planta térmica mediante la instalación de equipos electrónicos como sensores (entre los que hay: 6 temperatura, 4 presión y 1 sensor de flujo) y un PLC que permitirán una mayor precisión en la recolección de datos. RESULTADO: Instalación de los elementos electrónicos. INDICADOR: La instalación de los sensores y el PLC en los lugares indicados en el plano y la puesta en funcionamiento de los mismos.
- Desarrollar una interfaz HMI para la visualización de los datos obtenidos con los sensores instalados en las tuberías. RESULTADO: Interfaz HMI. INDICADOR: Visualización de los datos por medio de la interfaz desarrollada.

- Polarización y cableado de los sensores de presión, temperatura, caudal y elementos electrónicos al PLC. RESULTADO: Planta de vapor con la instrumentación (presión, temperatura y caudal) cableada. INDICADOR: La recepción de las señales enviadas por los sensores en un panel táctil conectado en red con el PLC.

2. ALCANCE

En el continuo avance de buscar la excelencia la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga continúa con su modernización e instrumentación de la planta térmica, otorgándole a los estudiantes laboratorios de punta. Los alumnos tendrán la posibilidad de visualizar las variables térmicas involucradas en la planta y además conocer propiedades del vapor que no podemos medir directamente sin ningún instrumento de avanzada como lo es la entropía, claro está desarrollando todo en tiempo real.

La instrumentación implica la instalación de sensores de temperatura, presión, caudal y un PLC, mediante los cuales se adquieren datos que serán llevados de forma digital a un panel táctil donde se mostrará en un ambiente gráfico y sencillo los valores de las variables obtenidas y las propiedades del vapor, todo esto con el fin de crear herramientas para los estudiantes y mejorar sus habilidades en el análisis e implementación de estrategias. Se entregará el diseño de tuberías e instrumentación de la planta con P&ID, la instalación de los elementos electrónicos, una interfaz HMI y el cableado de la planta de vapor con la instrumentación (sensores presión, temperatura y caudal).

El PLC será ubicado en el laboratorio de la planta y contará con su gabinete de tensión para su protección y prolongación de su vida útil, el cable de red será conectado a una pantalla táctil para la visualización de los datos en tiempo real. Finalmente se entregará un manual abarcando la correcta utilización de la programación desarrollada.

3. JUSTIFICACIÓN

La importancia de este proyecto de grado radica en adaptar herramientas digitales de monitoreo en el laboratorio de plantas térmicas para la Facultad Ingeniería Mecánica de la UPB seccional Bucaramanga, enfocado hacia los estudiantes para desarrollar habilidades en el control y manejo eficiente de estos sistemas, también afianzar los conocimientos adquiridos en el aula de clases y además contribuir con la instrumentación que se ha venido implementando a este laboratorio en los últimos semestres.

Este proyecto no tiene antecedentes en la planta térmica, ya que desde el comienzo de su funcionamiento no han instalado elementos digitales para su monitoreo, pero si se ha intentado automatizar algunos sistemas tales como el gobernador de la turbina.

Con esta instrumentación también se dará apoyo a futuros proyectos de automatización que se deseen implementar, puesto que la lectura digital de las variables manejadas es parte importante en estos procesos.

4. MARCO TEÓRICO

La instrumentación en cualquier sistema es una herramienta poderosa que provee un análisis en tiempo real, y ayuda en la visualización de las variables que influyen en dicho sistema.

Los procesos de adquisición de datos y monitoreo de ciclos termodinámicos son ampliamente utilizados en el mundo como método para encontrar una mayor eficiencia en la producción, distribución y uso de la energía con el menor impacto ambiental posible.

Este proceso ha sido implementado en la industria por los buenos resultados obtenidos, todas las plantas térmicas tienen sistemas de adquisición de datos, monitoreo, y además de eso han sido automatizadas para obtener la mayor eficiencia posible.[1]

En la actualidad podemos encontrar gran cantidad de empresas que han desarrollado elementos para realizar labores de monitoreo y análisis como lo son sensores y PLC's, dentro de estas empresas se destacan algunas como son SIEMENS, ALLEN BRADLEY, NATIONAL INSTRUMENTS, entre otros.



Figura 1. Pirámide de Instrumentación

4.1. SENSOR

Definición: Un sensor es un aparato capaz de transformar diferentes tipos de señales ya sean físicas o químicas, llamadas señales de instrumentación en magnitudes eléctricas dependiendo del tipo de sensor que este captando la señal.[2]

4.1.1. Sensor de temperatura

Son dispositivos generalmente pequeños que se utilizan para medir la temperatura en cualquier ambiente. Estos dispositivos funcionan básicamente gracias al cambio de su resistencia interna provocado por el cambio de temperatura, este valor de resistencia es la señal de salida.



Figura 2. Sensor tipo RTD

Fuente: Autor del proyecto

4.1.2. Sensor de presión (fluidos)

Son dispositivos utilizados para medir la presión en cualquier tipo de fluido, ya sea líquido o gaseoso. Su funcionamiento está basado en un pequeño circuito eléctrico que está conectado a una membrana, esta membrana posee una resistencia que varía con su extensión, es decir, cuando el fluido presiona la membrana, esta cambia su longitud, esto hace que cambie su resistencia eléctrica, entonces la corriente de salida en el circuito eléctrico varía, y ésta es la señal de salida en estos dispositivos.



Figura 3. Sensor de Presión

Fuente: Autor del proyecto

4.1.3. Sensor de flujo

Son dispositivos utilizados para medir el caudal de un fluido; acoplados a las tuberías, estos elementos (los más comunes) poseen en su interior una pequeña turbina que gira con el paso del fluido, esta turbina esta acoplada a un pequeño generador que produce una corriente, esta corriente varia con la velocidad de la turbina y se convierte en la señal de salida.

Otro tipo de sensores funcionan de forma más compleja, midiendo la frecuencia con la que se crean vórtices generados cuando el flujo pasa alrededor de un obstáculo dentro del sensor, esta frecuencia es proporcional al flujo que la genera.



Figura 4. Sensor de Flujo
Fuente: Autor del proyecto

4.2. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC)

Definición: El PLC o autómatas programables industriales es un equipo electrónico de control que se basa en un programa interno, con el cual un operador definirá la secuencia de acciones que se realizarán según el requerimiento. Esta secuencia se ejercerá sobre las salidas del autómatas a partir del estado de sus señales de entrada. [3]

El PLC trabaja atendiendo sus entradas y dependiendo de su estado conecta/desconecta sus salidas. La National Electrical Manufacturers Association (NEMA) define al PLC: *“como un dispositivo electrónico digital que utiliza una memoria programable para almacenar instrucciones y para implementar funciones específicas tales como funciones lógicas, secuenciales, de temporización, de conteo y aritméticas para controlar máquinas y procesos”*. [4]

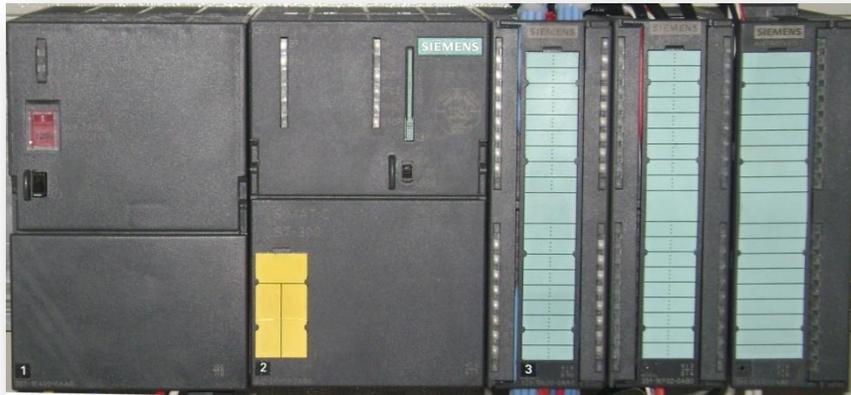


Figura 5. Hardware control

Fuente: Autor del proyecto

EL PLC está compuesto por dos partes fundamentales:

El hardware: comprendido por la parte física del PLC. Como se muestra en la figura anterior, para su funcionamiento el PLC debe contar con algunos módulos, tales como:

- La fuente de alimentación, este módulo se encarga de suministrar las distintas corrientes continuas que necesita el autómatas para poder funcionar.
- La CPU, o Unidad de Control de Proceso, es el cerebro operacional de todo el sistema, ya que en este módulo se encuentra el microprocesador junto con los dispositivos necesarios para que éste realice su función: las tarjetas de memoria, temporizadores, contadores, etc. [5]

· Las interfaces de entrada y salida, son las que tiene la tarea de establecer la comunicación del autómatas con la planta.

El software es la parte que no es tangible: es el programa o programas que hacen que el PLC realice un trabajo determinado. [4]

4.2.1. Clasificación de los PLC

Debido a su gran variedad en cuanto a funciones, capacidad, aspecto físico y otras características los PLC pueden ser clasificados en diferentes categorías. Una de ellas se presenta en la siguiente tabla:

PLC NANO	PLC COMPACTO	PLC MODULAR
Generalmente es de tipo compacto (Fuente, CPU, Módulos de I/O integradas).	Tienen incorporado la Fuente de Alimentación, CPU y un solo Módulo principal con I/O.	Se componen de un conjunto de elementos que conforman el controlador final, los cuales son: <ul style="list-style-type: none"> • Rack • Fuente de Alimentación • CPU • Módulos de I/O
Maneja una mínima cantidad de I/O (100 apróx.)	Maneja desde poca cantidad hasta apróx. 500 I/O.	
Maneja I/O Digitales.	Soporta módulos adicionales: I/O análogas, contadores rápidos, de comunicaciones, interfaces de operador, expansiones de I/O.	
Se le pueden adaptar módulos especiales.		

Tabla 1. Clasificación de los PLC [6]

4.3. LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN

La realización de un programa que permita controlar el manejo del PLC depende de muchas características, entre ellas se encuentra el lenguaje que el software maneje para el montaje o escritura de dicho programa. Los dos tipos principales de lenguajes que se manejan para la programación de un PLC son:

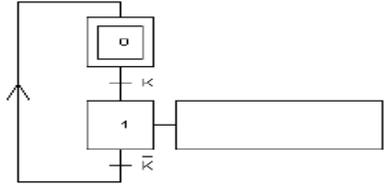
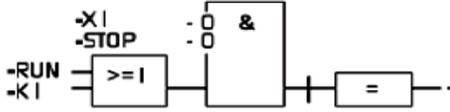
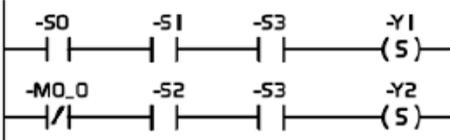
LENGUAJE GRÁFICO		
Funciones Secuenciales o Grafcet	Consiste en una secuencia de etapas (acciones a realizar) y transiciones (condiciones que se deben cumplir para ir desarrollando acciones).	
Plano de Funciones	Representación gráfica orientada hacia las puertas lógicas AND, OR y sus combinaciones. Las funciones individuales se representan con un símbolo, donde a su lado izquierdo se ubican las entradas y en el derecho las salidas.	
Diagrama de Contactos o Plano de Funciones	Es la representación gráfica que tiene cierta analogía a los esquemas de contactos según la norma Nema (USA). Existe una semejanza con los circuitos de control con lógica cableada.	

Tabla 2. Lenguaje Gráfico [7]

4.4. TERMINAL TÁCTIL

Es un tipo especial de pantalla que permite la entrada de datos y órdenes a los dispositivos que se encuentren asociados a ella por medio de toques, ya sea a través de los dedos, por un lápiz u otras herramientas similares; este tipo de dispositivos no son solo de tipo industrial, en la actualidad se encuentran en diferentes equipos tales como teléfonos celulares, monitores de computadoras, etc.

También permite visualizar los datos introducidos previamente en los sistemas en los que trabaja.

Existen diferentes tipos de pantallas dependiendo de sus características: TFT de 65.536 colores, STN de 4.096 colores o monocromáticas de 8/16 niveles de gris. Manejan numerosos puertos de comunicación (líneas en serie, Ethernet,

tarjetas CANOPEN, PROFIBUS, etc.). Permiten la instalación de memorias flash hasta de 1Gb.



Figura 6. Pantalla Táctil

Fuente: Autor del proyecto

4.5. PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN

Llamamos protocolo de comunicaciones a una serie de normas que usan los equipos informáticos para gestionar sus diálogos en los intercambios de información. Dos equipos diferentes de marcas diferentes se pueden comunicar sin problemas en el caso en que usen el mismo protocolo de comunicaciones. [8]

En la industria los protocolos de comunicación se pueden clasificar dependiendo del tipo de dispositivo que se vaya a conectar. El protocolo más usado en Internet es el TCP/IP.

4.5.1. Tipos de comunicaciones industriales

REDES INDUSTRIALES	
Ethernet Industrial	Este protocolo posee una alimentación redundante, está diseñado para soportar condiciones extremas ya sea de vibración, aceleración y choque.
Canbus	Protocolo de comunicaciones tipo serie, maneja un control distribuido en tiempo real y posee nivel de seguridad y multiplexación alto.
Fieldbus	Es un sistema de comunicación digital bidireccional que conecta equipos e instrumentos de campo o de control.
Modbus	Este protocolo está basado en la estructura maestro/esclavo, es público, se implementa fácilmente y requiere poco desarrollo.
Profibus	Es un estándar de bus de campo abierto, que cubre necesidades de tiempo real además que permite integrar los dispositivos menos inteligentes

Tabla 3. Redes Industriales [9][10]

4.6. TRANSFORMADOR

El transformador es un dispositivo que se encarga de "transformar" la corriente alterna que tiene a su entrada en otra de diferente amplitud, que entrega a su salida. Se compone de un núcleo de hierro sobre el cual se han arrollado varias espiras (vueltas) de alambre conductor. Este conjunto de vueltas se llaman bobinas y se denominan: *Bobina primaria* o "*primario*" a aquella que recibe la corriente de entrada y *Bobina secundaria* o "*secundario*" a aquella que entrega la corriente transformada. [11]



Figura 7. Transformador

Fuente: Autor del proyecto

4.7. TRANSDUCTOR

Un transductor es un dispositivo que convierte una señal de un tipo de energía en otra. La base es sencilla, se puede obtener la misma información de cualquier secuencia similar de oscilaciones, ya sean ondas sonoras (aire vibrando), vibraciones mecánicas de un sólido, corrientes y voltajes alternos en circuitos eléctricos, vibraciones de ondas electromagnéticas radiadas en el espacio en forma de ondas de radio o las marcas permanentes grabadas en un disco o una cinta magnética. [12]



Figura 8. Transductor

Fuente: Autor del proyecto

4.8. PLANTA TÉRMICA

Son instalaciones dedicadas a la conversión de calor en energía eléctrica, esto se hace calentando una cantidad de agua, convirtiéndola en vapor y luego liberando toda esa energía acumulada en una turbina que esta acoplada a un generador eléctrico. Todo este proceso es un ciclo, así que se repite tantas veces hasta que la demanda de energía eléctrica se detenga. A continuación se muestra el ciclo Rankine de vapor de una planta térmica.

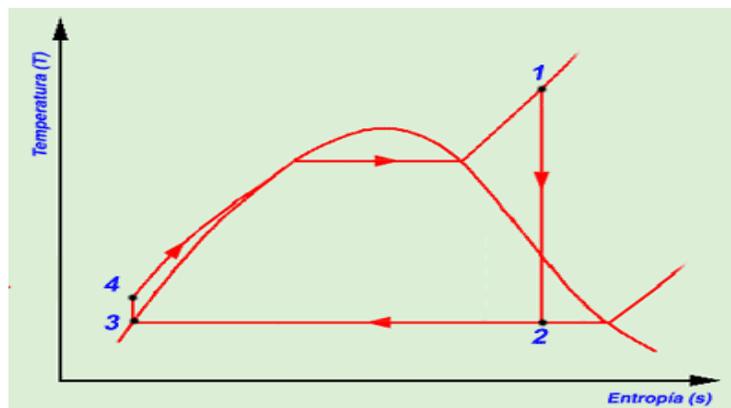


Figura 9. Ciclo Rankine de la Planta Térmica

Fuente: Ing. Germán López Martínez, turbina de vapor para generación eléctrica, [web en línea]. Disponible desde Internet en: http://www.uamerica.edu.co/tutorial/1intro_text_1_1.htm

Los puntos representan los elementos instalados en la planta (1.bomba, 2.caldera, 3.sobrecalentador, 4.turbina, 5.condensador.), estos puntos son de interés ya que los valores que toman las variables en estas coordenadas de la grafica son los valores de las propiedades necesarias para el análisis de la planta (presión, temperatura, entropía). [13]

Los principales elementos en un sistema de generación de energía son:

4.8.1. Caldera

Es una maquina diseñada para transformar el agua en vapor saturado. Este proceso se realiza a través de la transferencia de calor que se genera desde la quema de un combustible (gas, diesel, carbón) y se lleva hasta el agua almacenada en la caldera.

Existen básicamente dos tipos de calderas según su fabricación: acuotubulares y pirotubulares.

En las calderas acuotubulares el agua recorre el interior de la caldera por unos tubos, éstos a su vez están rodeados de los gases calientes producidos por la combustión, la transferencia de calor se realiza desde el exterior de los tubos hacia el interior de ellos.

En las calderas pirotubulares los gases de la combustión recorren el interior de la caldera por medio de tubos, el agua se encuentra alrededor de estos tubos haciendo que la transferencia de calor se produzca desde el interior de los tubos hacia afuera. [13]

4.8.2. Sobrecalentador

Es un dispositivo utilizado para aumentar la temperatura del vapor saturado, convirtiéndolo en vapor sobrecalentado. Esto se realiza para aumentar la energía del vapor y así poder producir más energía. [13]

4.8.3. Turbina

La turbina de vapor es una máquina de fluido en la que la energía de éste pasa al eje de la máquina saliendo el fluido de ésta con menor cantidad de energía. La energía mecánica del eje procede en la parte de la energía mecánica que tenía la corriente y por otra de la energía térmica disponible transformada en parte en mecánica por expansión. Esta expansión es posible por la variación del volumen específico del fluido que evoluciona en la máquina. El trabajo disponible en la turbina es igual a la diferencia de entalpia entre el vapor de entrada a la turbina y el de salida. [13]

4.8.4. Generador

Son elementos construidos con imanes y cobre, su tarea es convertir la energía mecánica en energía eléctrica, esto se realiza a través del movimiento de un eje, el cual hace girar unos imanes alrededor de unas bobinas de cobre, o viceversa, estos imanes inducen un campo magnético en las bobinas produciendo así electricidad.

4.9. MONITOREO

Es el proceso de recoger información rutinariamente con el fin de de observar el comportamiento de un sistema y usarlo para generar posibles mejoras en su funcionamiento. [14]

Para realizar un proceso de monitoreo se necesita un sistema de adquisición de datos que se da por medio de una instrumentación, que consiste en componentes dedicados a medir variables tales como: presión, caudal, temperatura, nivel, velocidad, fuerza, etc.

5. METODOLOGÍA

- Definición de parámetros para la instrumentación:

Reunión con los docentes encargados de la planta y del proyecto para definir la instrumentación a utilizar, las variables y características a tener en cuenta.

- Diseño de planos para la ubicación de instrumentos:

Plasmar la ubicación exacta de los instrumentos que se van a introducir por medio de un plano hidráulico, y la distribución de los elementos dentro del gabinete por medio un plano eléctrico; elaborados en Microsoft Office Visio

- Instalación y cableado de la instrumentación:

Instalar los instrumentos adquiridos en los lugares previamente designados mediante los planos anteriormente mencionados, verificar su correcto funcionamiento y llevar la información por medio de cables hasta los módulos.

- Programación:

Desarrollar la programación del PLC y la interfaz HMI para permitir la visualización de los datos de una manera sencilla y agradable.

- Pruebas de funcionamiento:

Realizar las pruebas necesarias hasta tener la certeza del eficaz funcionamiento tanto de los sensores como del PLC para eliminar los posibles errores en la adquisición de datos.

6. DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA

6.1. DEFINICIÓN DE PARÁMETROS PARA LA INSTRUMENTACIÓN.

El proyecto se inicio con el estudio del proceso de la planta térmica, seleccionando las variables necesarias relacionadas con la instrumentación (presión, temperatura, flujo másico, corriente eléctrica), en seguida se seleccionaron los instrumentos a adquirir por medio de proveedores nacionales.



Figura 10. Planta Térmica

Fuente: Autor del proyecto

La selección de la instrumentación se realizó en base a los siguientes parámetros dados por el análisis del proceso involucrado (generación de energía eléctrica por medio de vapor):

Variable	Instrumento	Parámetros de selección
Temperatura	Sensor	<ul style="list-style-type: none"> • Rango mínimo entre 0°C y 300°C • Material en contacto: acero inoxidable • Fluido de trabajo: agua y vapor • Resiste presión hasta 150 Psi • Voltaje de alimentación: 24VDC
Presión	Sensor	<ul style="list-style-type: none"> • Rango mínimo entre 0 Psi y 150 Psi • Resiste temperatura hasta 100°C • Fluido de trabajo: agua y vapor • Material en contacto: acero inoxidable • Voltaje de alimentación: 24VDC
Flujo másico	Sensor	<ul style="list-style-type: none"> • Rango mínimo entre 0 y 250 Lb/h • Protocolo HART • Material en contacto: acero inoxidable • Fluido de trabajo: vapor • Voltaje de alimentación: 24VDC

Tabla 4. Parámetros de Selección de Instrumentos

Fuente: Autor del proyecto

En base a los anteriores parámetros de selección y mediante reuniones con los ingenieros interesados en el proyecto se escogieron los siguientes sensores disponibles en el mercado teniendo en cuenta sus respectivas características:

Sensor de temperatura (RTD)

Tipo: PT100.

- Alto coeficiente de temperatura.
- Construcción en acero inoxidable.
- Fácil de adquirir en el mercado.
- Alta resistividad, lo que permite una mayor variación de resistencia por °C.
- Relación lineal resistencia – temperatura.
- Estabilidad de sus características durante su vida útil.
- Fácil instalación en las tuberías de la planta térmica.

Sensor de presión (VEGABAR 14)

Tipo: Membrana.

- Resistente a temperaturas entre -40°C y 100°C
- Estabilidad a largo plazo 0.1%/2 años.
- Fácil instalación y conexión eléctrica.
- Señal de salida de fácil manejo e interpretación (4...20 mA)
- Desviación curva característica 0.5%.
- Disponibilidad en el mercado.
- Precio accesible al presupuesto del proyecto.
- Buena reputación del fabricante.

Sensor de flujo (PROWIRL 72F)

Tipo: Vórtice.

- Alta resistencia a las vibraciones y choques de temperatura.
- No requiere de ningún tipo de mantenimiento.
- Alta reputación del fabricante.
- Calibración de por vida.
- Señal de salida de fácil manejo e interpretación (4...20 mA)
- Configuración inicial establecida.
- Disponibilidad en el mercado nacional.
- Posibilidad de calcular flujo másico desde el dispositivo.

El sensor de flujo fue adquirido a través del proveedor *COLSEIN* con sede en la ciudad de Bogotá debido a factores como la confiabilidad del fabricante, tiempos de entrega y garantía del producto.

Los sensores de presión y temperatura fueron adquiridos a través de *INSTRUMATIC* con sede en la ciudad de Bucaramanga, debido a que ofrecía una mejor relación costo/beneficio y mejores condiciones de entrega.

6.2. DISEÑO DE PLANO PARA LA UBICACIÓN DE INSTRUMENTOS.

En esta fase se inicio con el manejo del software “Visio” correspondiente a Microsoft Office, donde se realizó la construcción del plano hidráulico de la planta térmica mostrando dentro de éste la ubicación exacta de los sensores y los principales componentes de la planta tales como: caldera, sobrecalentador, turbina, la sección de condensación incluyendo la torre de enfriamiento y demás accesorios.

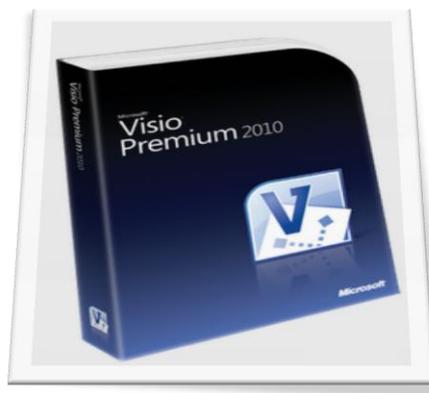


Figura 11. Software Microsoft Office Visio

Fuente: <http://www.mailstreet.com/hosted-applications/visio2010.asp>

Continuando con la planeación y después de la aprobación del plano hidráulico, se dio continuidad con la realización de un plano eléctrico concerniente al gabinete de instrumentación, este se inició con la creación grafica del PLC, bornes, totalizador, breakers, entre otros, para después concluir con el cableado de todos estos elementos anteriormente mencionados incluyendo los sensores.

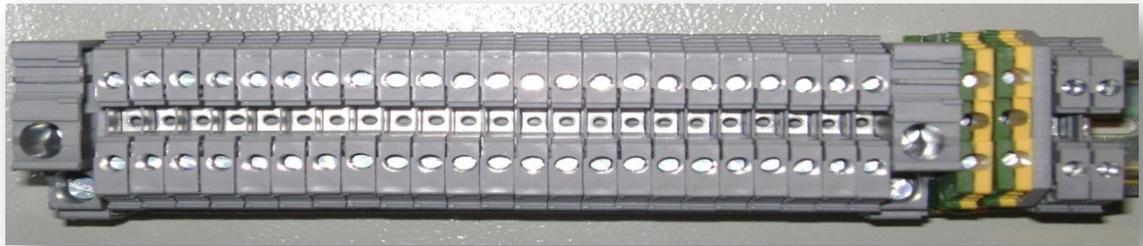


Figura 12. Conjunto de Bornes

Fuente: Autor del proyecto

6.3. INSTALACIÓN Y CABLEADO DE LA INSTRUMENTACIÓN.

En esta fase se procedió con la instalación de los instrumentos, adquiridos por las facultad de Ingeniería Mecánica, en los lugares previamente designados en el plano P&ID.



RTD Tanque de
Agua

Figura 13. RTD Tanque de Agua

Fuente: Autor del proyecto

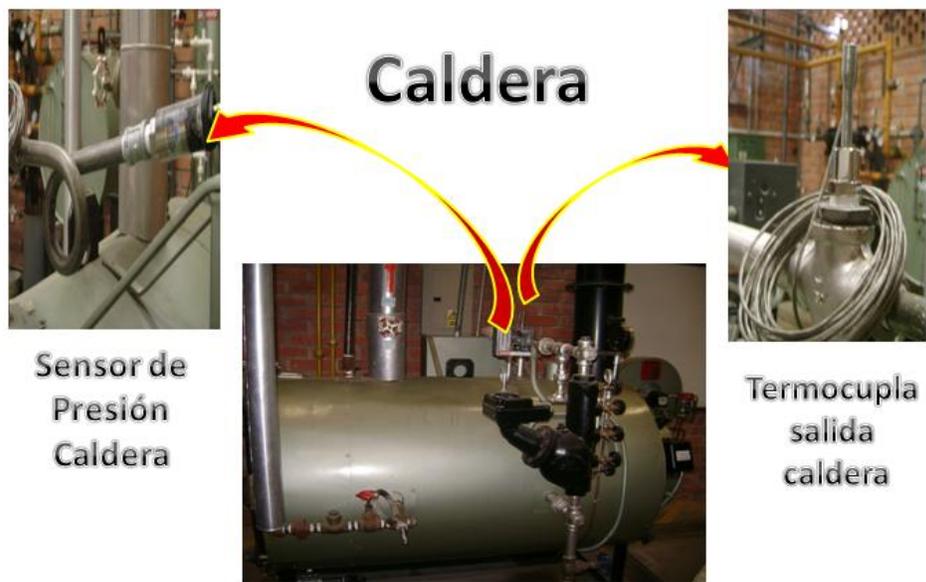


Figura 14. Posicionamiento de los Sensores en la Caldera

Fuente: Autor del proyecto



Figura 15. Posicionamiento de sensores en la turbina

Fuente: Autor del proyecto

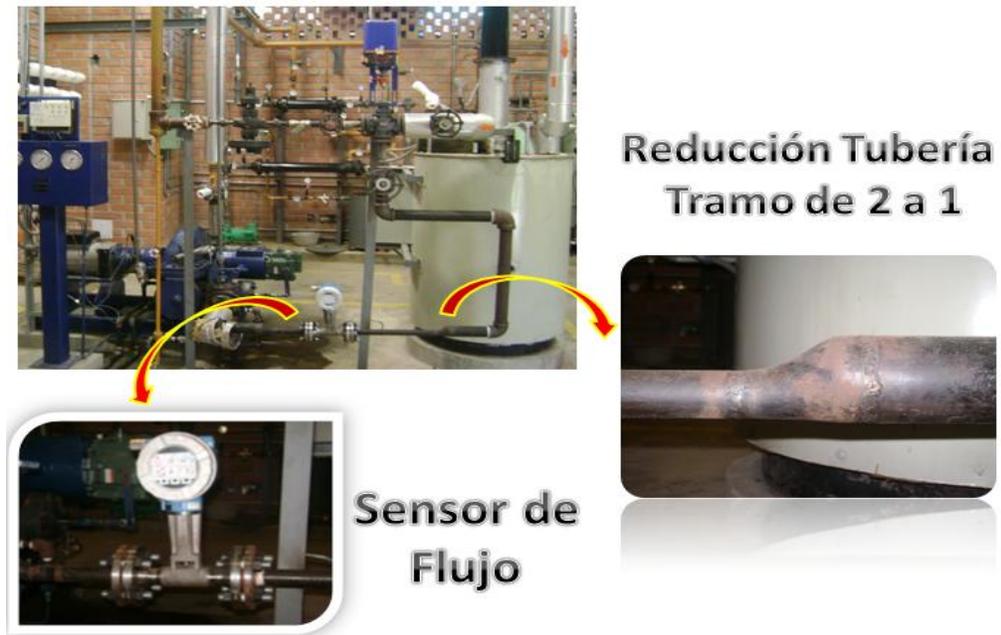


Figura 16. Sensor de flujo y su reducción

Fuente: Autor del proyecto

Para la instalación del medidor de flujo se decidió retirar un acople flexible metálico ya que el lugar que ocupaba este acople era el adecuado para la ubicación del sensor, además este acople se encontraba instalado de forma inadecuada ya que debe ser ubicado de forma vertical, además se tuvo que prolongar la tubería alrededor de 2m para poder cumplir con los requisitos mínimos de distancia desde el dispositivo, hasta los codos y las reducciones, que se encontraban dentro del manual. En esta prolongación se realizaron dos reducciones excéntricas de 2" a 1" debido a que el diámetro del sensor de flujo adquirido es de 1" y el tramo de tubería en el cual se designó su instalación era de 2", también se ordenó construir dos bridas necesarias para el acople del sensor a la tubería. Acto seguido se realizó el montaje del aislamiento del tramo agregado mediante fibra de vidrio y posterior a esto se compró e instaló el recubrimiento en acero galvanizado.

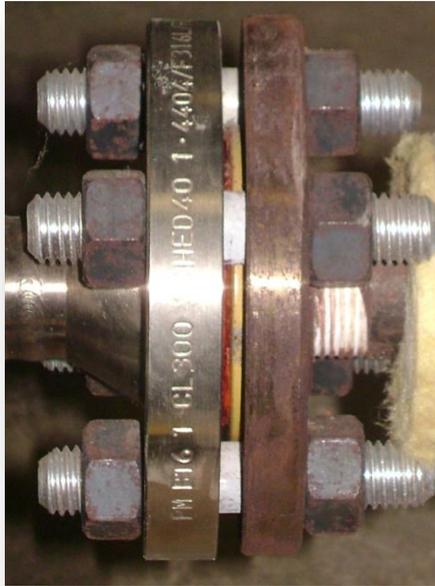


Figura 17. Brida a medida para el sensor

Fuente: Autor del proyecto

Continuando con el proyecto, se procedió a la revisión de los instrumentos que arribaron a la universidad, se comprobó el buen funcionamiento de los mismos y se dio paso a la construcción del gabinete principal, con la instalación de las canaletas, los rieles, etc. Luego de esto se ubicó el hardware (PLC, módulos) y se cablearon algunas conexiones posibles en ese momento.

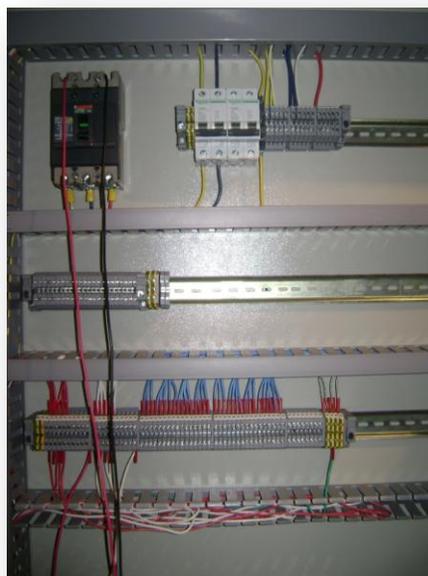


Figura 18. Cableado

Fuente: Autor del proyecto

Posterior a esto se observo la necesidad de realizar compras de elementos de planta física, que permitiera entregar un adecuado cableado de los instrumentos como son: tubos galvanizados livianos, conduínea, escalerilla, flexiconduit, etc.



Figura 19. Conduínea

Fuente: Autor del proyecto

En el área de la sección de condensación se ubicaron 2 RTD's, una de ella se encuentra en la entrada de la bomba de la torre de enfriamiento, la otra se encuentra en la salida del intercambiador numero 1. Esta ubicación está dispuesta de esta forma ya que se desea conocer el valor delta de la temperatura de la torre de enfriamiento.



Figura 20. Posicionamiento de RTD's en Intercambiadores

Fuente: Autor del proyecto

Siguiendo con lo planeado se procedió a anclar el gabinete en el lugar final designado dentro del laboratorio, mediante chasos metálicos de ¼".



Figura 21. Ubicación del Gabinete

Fuente: Autor del proyecto

Luego de tener todos los instrumentos situados en las ubicaciones designadas de las tuberías, se procedió a instalar un tramo de escalerilla que cumple la función de llevar los cables con seguridad al gabinete, luego de esto se instalaron 5 secciones de tubos de acero galvanizado de ½” como forma de seguridad y como un método de mejor presentación al cableado, y también se instalo por parte del personal de servicios generales, una puerta para mayor protección del gabinete.



Figura 22. Tramo de escalerilla adicionado

Fuente: Autor del proyecto

Después de esto, se procedió a realizar el cableado desde cada uno de los instrumentos hasta el gabinete principal por medio de cable de instrumentación de 3 hilos calibre 20, posteriormente se realizaron las conexiones de estos cables hacia los módulos análogos previamente descritos en el plano. También se realizo el cableado de potencia.



Figura 23. Gabinete principal

Fuente: Autor del proyecto

6.4. PROGRAMACIÓN

En esta fase se procedió a realizar la configuración del hardware la programación mediante el software “STEP 7” de SIEMENS, donde se usó el lenguaje KOP. También se desarrolló la interfaz grafica por medio del software “WinCC flexible 2008” de SIEMENS.



Figura 24. Logos del software

Fuente: Autor del proyecto

6.5. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

En la realización de adquisición de datos a tiempo real, se decidió tomar unas fotografías a la interfaz grafica creada, pero al mismo instante, para la corroboración de estos datos se fotografiaron los datos físicos que mostraban los manómetros y termómetros de cada sección.

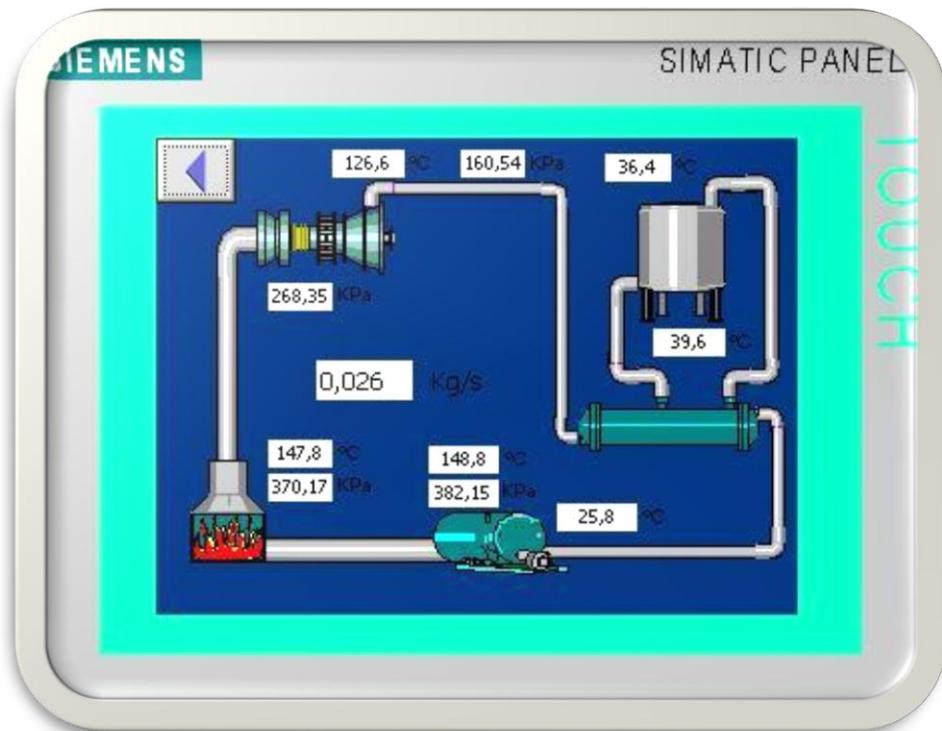


Figura 25. Interfaz de la Planta con Valores Reales

Fuente: Autor del proyecto

Al observar las comparaciones de las imágenes, detallamos que existe una leve diferencia entre los datos reales adquiridos con los sensores, y los mostrados por los indicadores análogos, estos rangos oscilan entre 2° y 4° Celsius con respecto a las RTD's, y 4 a 8 KPa de presión con los manómetros, esto se da por la resolución de los indicadores ya que aseguran una confiabilidad y exactitud mucho menor que la instrumentación instalada.

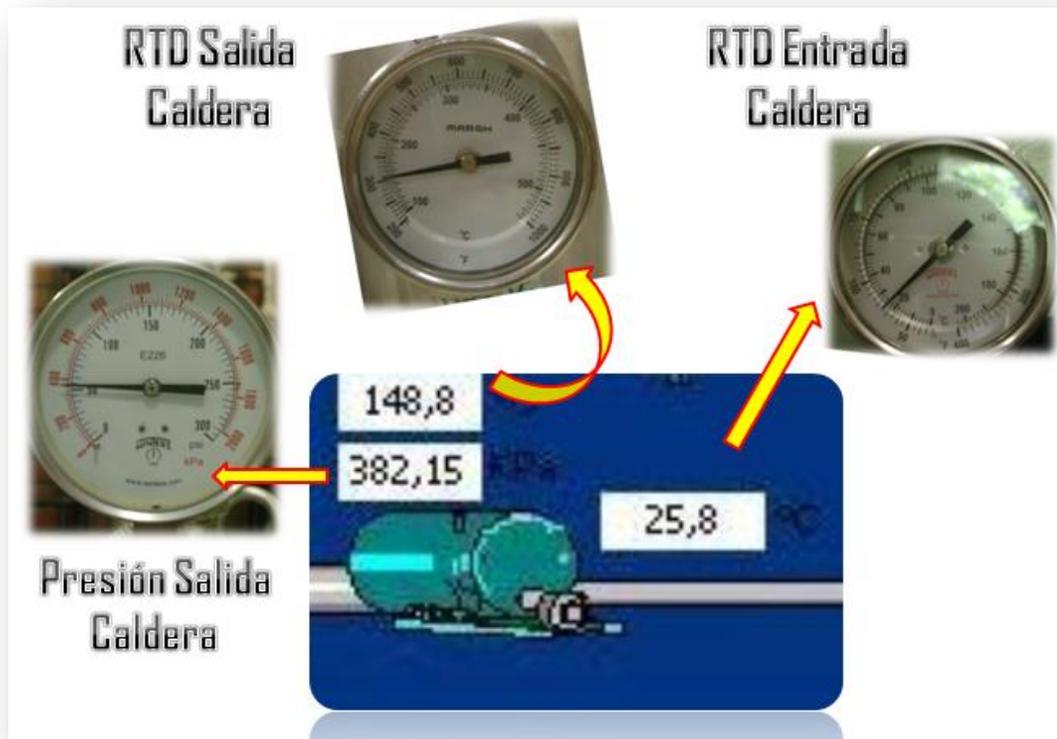


Figura 26. Comparación de datos de instrumentación con los medidores análogos en la caldera

Fuente: Autor del proyecto

Dentro de esta gráfica observamos la sección de caldera, apreciamos tres datos en la imagen de la interfaz, estas pertenecen a las temperaturas de entradas y salida de la caldera y la presión de salida. En la parte externa observamos los indicadores, captados al mismo tiempo que los resultados digitales, estos poseen una alta similitud, lo que nos permite concluir que la instrumentación y programación están en excelente estado. La RTD de la entrada de la caldera se cambió de posición como anteriormente fue señalado en la figura 13 por motivos de que en su primera ubicación, la cual era en la válvula de entrada del agua a la caldera, presentaba datos muy similares a la temperatura de caldera.

En la toma de datos esta temperatura era muy similar a la de salida de la caldera, lo que nos impedía tomar datos necesarios para poder calcular el calor generado, dado esto se decidió situarla en la salida del tanque de agua con el objetivo de que el delta de temperaturas entre ellas fuera el previsto.



Figura 27. Comparación de datos de instrumentación con medidores analógicos en la turbina

Fuente: Autor del proyecto

En esta figura observamos la sección de turbina con sus datos de entrada y salida de presión y temperatura de salida. En esto se realizó el mismo proceso de toma de datos en el mismo instante de tiempo para tener un método de comparación entre ellas.

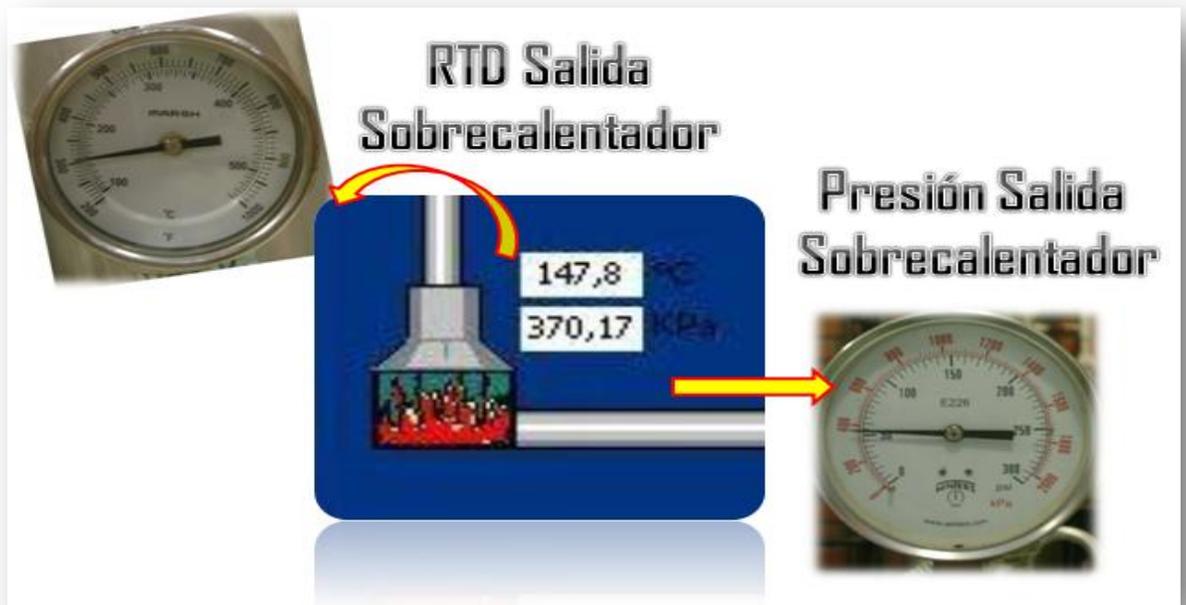


Figura 28. Comparación de datos de instrumentación con los medidores análogos en el sobrecalentador

Fuente: Autor del proyecto

En esta sección por problemas internos del sobrecalentador, el cual no funciona, no se obtuvieron datos del proceso real, estos que salen señalados en la interfaz y manómetros son los mismos de la caldera. Pero se aclara que si estuviese en funcionamiento la instrumentación y programación se encuentran en la capacidad de brindar los datos reales.

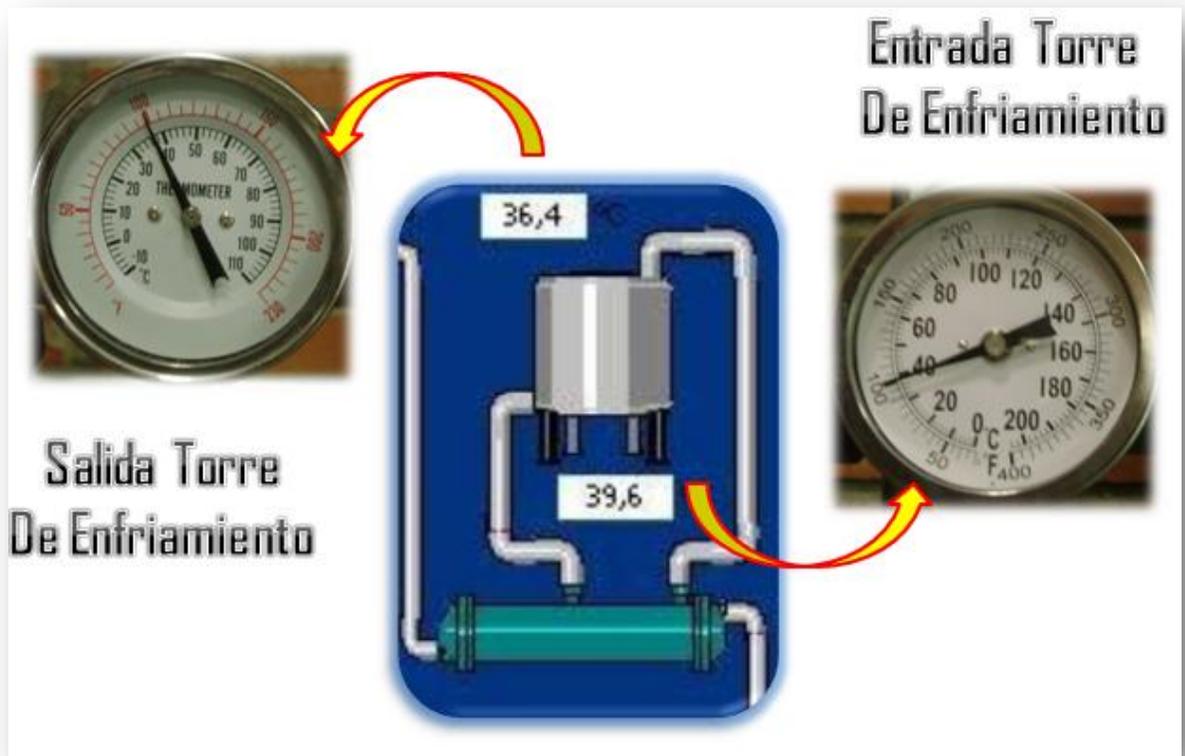


Figura 29. Comparación de datos de instrumentación con los medidores análogos en condensación

Fuente: Autor del proyecto

Finalmente en las secciones de la planta térmica encontramos la de condensación, en estas se realizó el mismo proceso que los anteriores, se observó que en el intercambiador de turbina, la RTD puesta en este lugar se encontraba marcando valores de temperaturas falsos, el motivo fue el mismo que en la situación de la caldera, la tubería cercana a la RTD se sobrecalentaba incrementado el valor. Por eso se decidió ubicarla en la parte de arriba de la tubería perteneciente a la bomba de torre de enfriamiento, permitiéndonos tener datos más preciso del proceso.

En las graficas ubicadas en la parte inferior, se encuentran ilustradas las temperaturas de todas las RTD'S con sus respectivos nombres y colores al igual que los datos de presiones capturados por los sensores, las variables se encuentran graficadas contra tiempo en un periodo de 999 segundos.

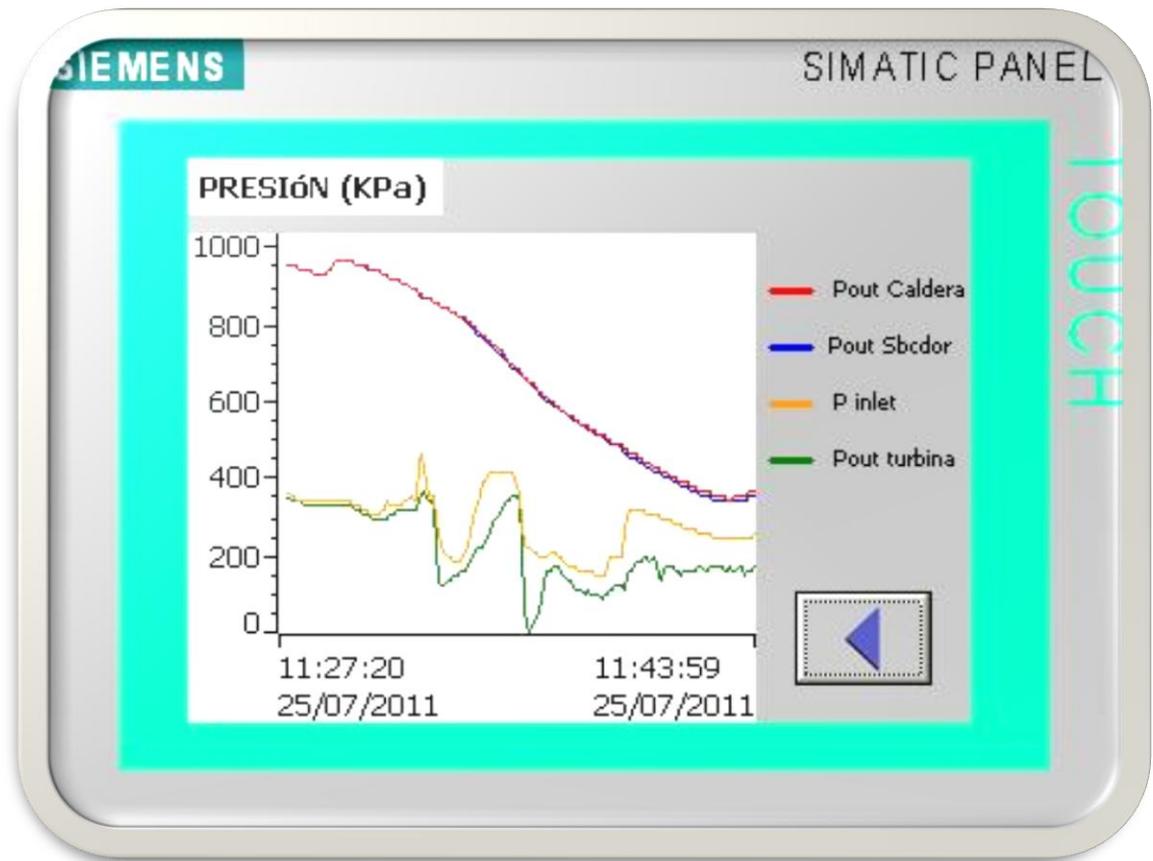


Figura 30. Presiones vs. Tiempo

Fuente: Autor del proyecto

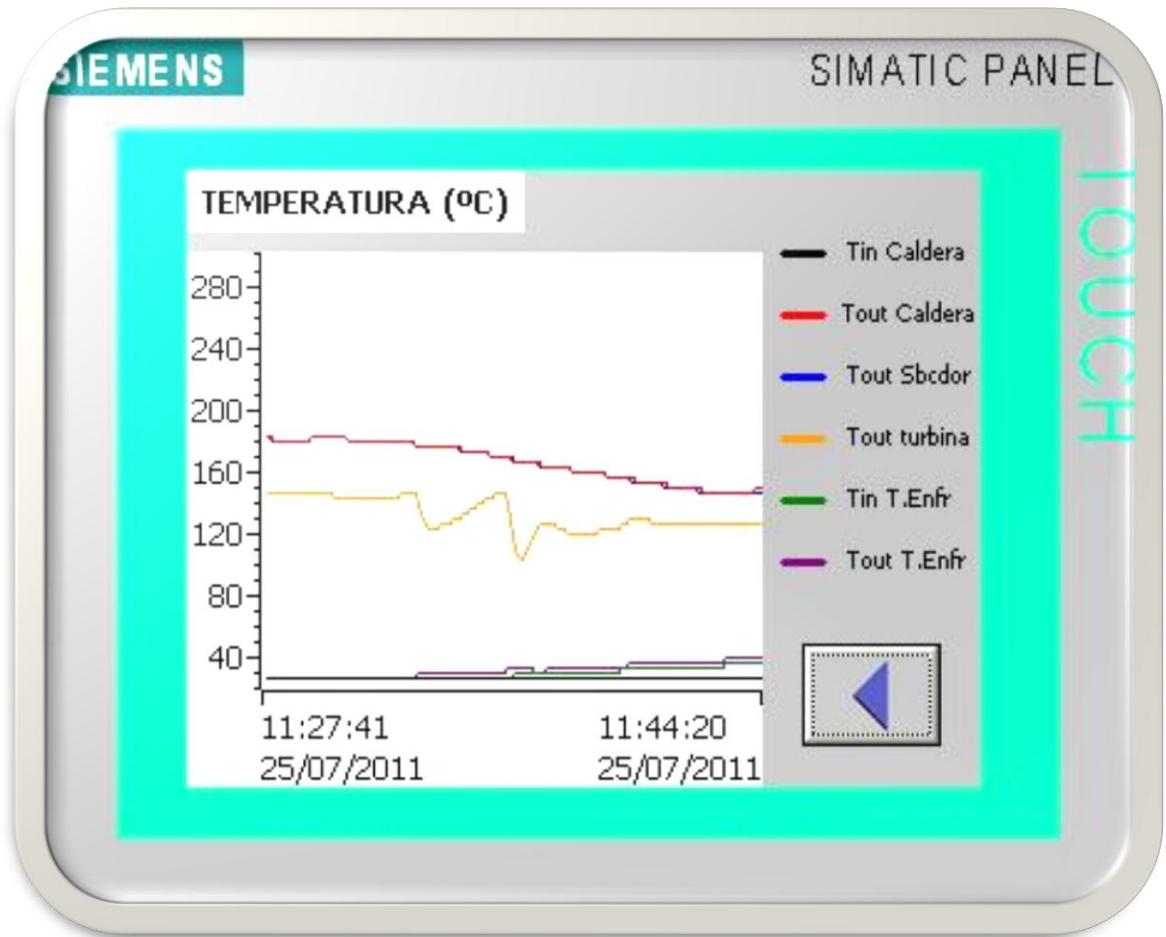


Figura 31. Temperaturas vs. Tiempo

Fuente: Autor del proyecto

7. DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS FUNCIONALES

ELEMENTO	Sensor de presión VEGABAR 14
IMAGEN	
FUNCIÓN	Permite conocer la presión a la cual se encuentra el vapor en las distintas partes de la planta
CONTROL	Valor de presión enviado al PLC
CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO	Activación y desactivación por el PLC

Tabla 5. Descripción Sensor de Presión

Fuente: Autor del proyecto

ELEMENTO	RTD (PT100)
IMAGEN	
FUNCIÓN	Permite conocer la temperatura a la cual se encuentra el agua y el vapor en las distintas partes de la planta
CONTROL	Valor de temperatura enviado al PLC
CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO	Activación y desactivación por el PLC

Tabla 6. Descripción Sensor de Temperatura

Fuente: Autor del proyecto

ELEMENTO	Sensor de flujo
IMAGEN	
FUNCIÓN	Permite conocer el flujo de vapor en la planta entre el sobrecalentador y la turbina
CONTROL	Valor de flujo enviado al PLC, también mostrado en el display integrado en el instrumento.
CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO	Activación y desactivación por la fuente y PLC

Tabla 7. Descripción Sensor de Flujo

Fuente: Autor del proyecto

ELEMENTO	Transductor de corriente alterna
IMAGEN	
FUNCIÓN	Permite conocer la corriente producida por el generador
CONTROL	Valor de corriente enviado al PLC
CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO	Activación y desactivación por el PLC

Tabla 8. Descripción Transductor de Corriente Alterna

Fuente: Autor del proyecto

8. DESARROLLO PROGRAMACIÓN

8.1. PROGRAMACIÓN EN "STEP 7" DE SIEMENS

El desarrollo de la programación se llevó a cabo en el software STEP 7 en la que se puede encontrar tres diferentes tipos de lenguaje de programación (AWL, KOP, FUP).

Para este proyecto el lenguaje utilizado fue KOP (esquema de contactos) debido a su fácil manejo y versatilidad.

Para comenzar se tomaron los valores de entrada de los sensores de presión y se realizó el correspondiente escalamiento para transformar esta señal que viene en miliamperios (mA) a un valor útil de presión de Kilo Pascales (KPa), esto se hizo mediante un bloque (FC 165) descargado directamente desde la página web de SIEMENS, que permite realizar esta conversión por medio de una rápida interpolación.

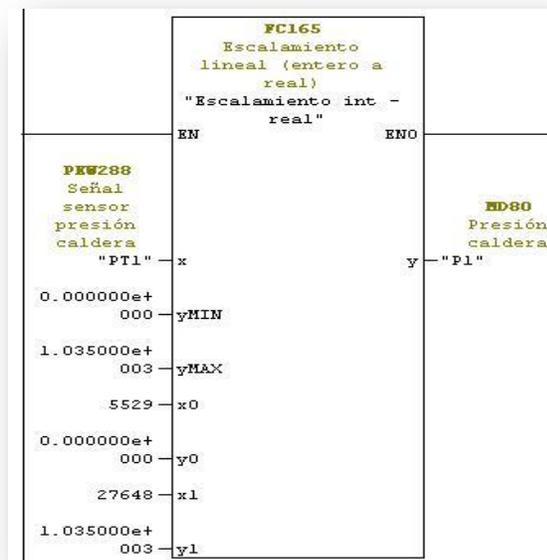


Figura 32. Bloque FC 165 escalamiento señal sensor de presión

Fuente: Autor del proyecto

El resultado de estos valores se almacenó en espacios de memoria del PLC. Lo mismo se realizó con la señal del sensor de flujo.

También se tomaron los valores de las señales de las RTD's, se realizó la correspondiente conversión de tipo de dato (de entero a real), luego se dividió en 10 debido a que el dato entregado por el modulo tiene un decimal pero es de tipo entero, y finalmente se almacenaron en espacios de memoria.

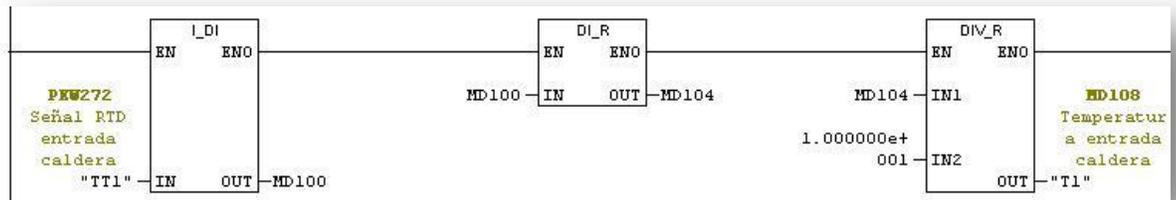


Figura 33. Adquisición y modificación señal RTD

Fuente: Autor del proyecto

Posterior a esto se realizaron los cálculos de eficiencia por medio de interpolaciones tomando valores de tablas del libro Termodinámica Cengel[10] de la siguiente manera:

Cuando los datos de presión y temperatura recibidos corresponden a líquido saturado o vapor saturado, se realiza un solo escalamiento.

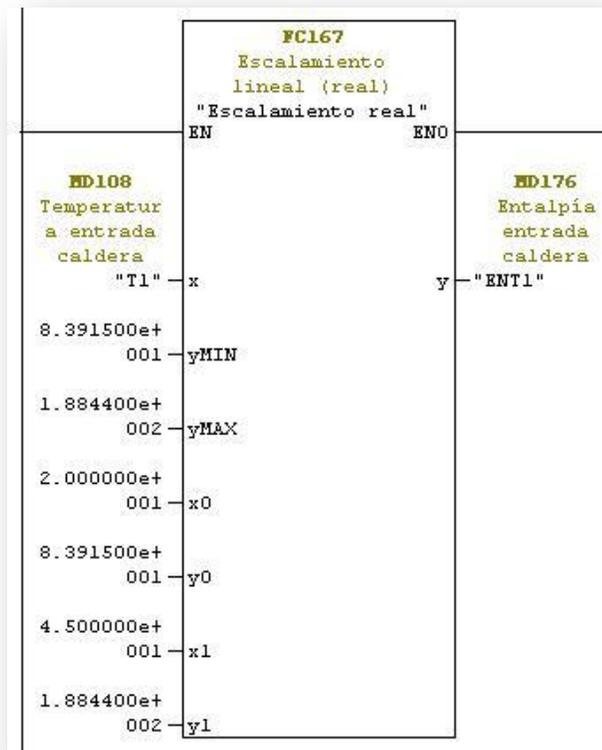


Figura 34. Escalamiento simple para calcular entalpia

Fuente: Autor del proyecto

Y cuando los valores correspondían a vapor sobrecalentado se realiza un escalamiento triple.

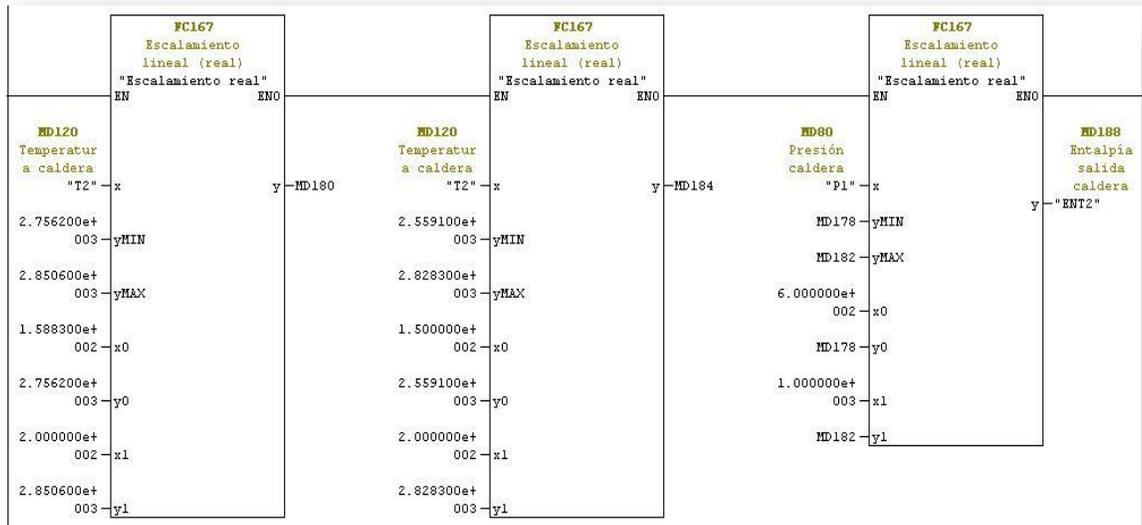


Figura 35. Escalamiento triple para calcular entalpia

Fuente: Autor del proyecto

Después de esto se programó el cálculo de la potencia generada por la turbina y el calor extraído mediante la torre de enfriamiento por medio de operaciones básicas matemáticas.

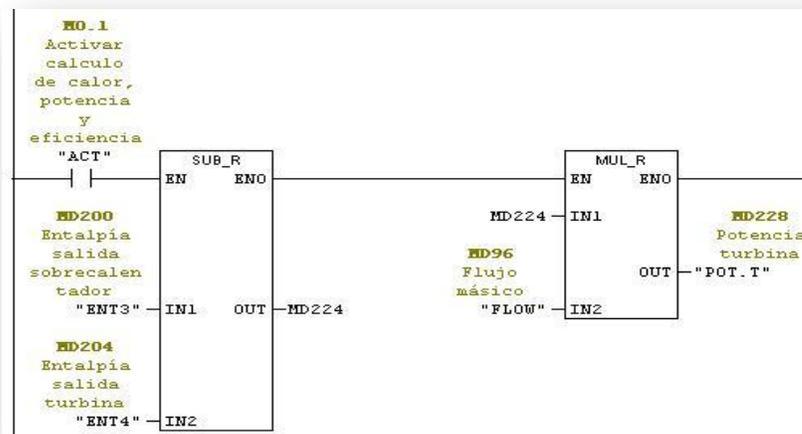


Figura 36. Cálculo potencia turbina

Fuente: Autor del proyecto

De este modo fue calculado el calor específico de la caldera, sobrecalentador, turbina, condensación.

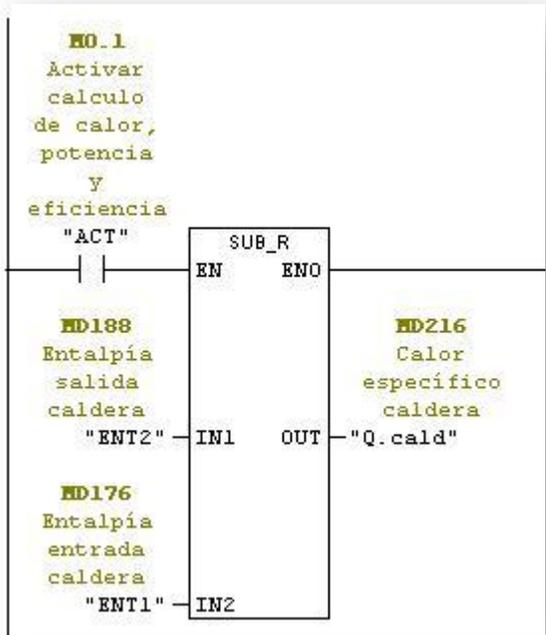


Figura 37. Cálculo del calor específico

Fuente: Autor del proyecto

Y por último se calculó la eficiencia térmica de la planta.

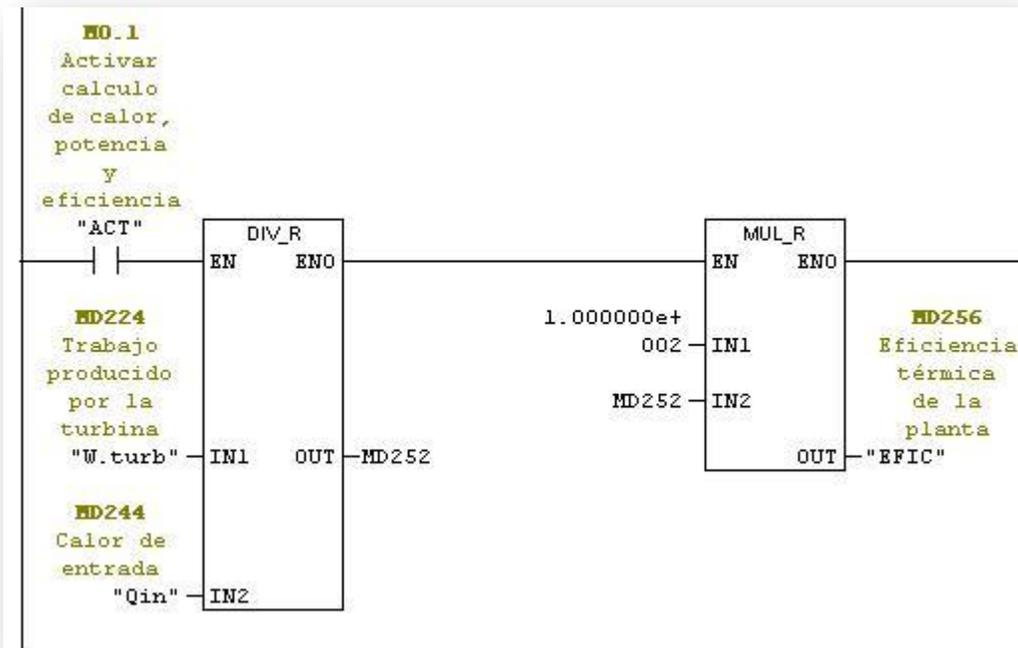


Figura 38. Cálculo eficiencia térmica

Fuente: Autor del proyecto

8.2. DESARROLLO DE INTERFAZ EN “WinCC flexible 2008” DE SIEMENS

La creación del HMI (Human-Machine Interface) se creó por medio del software “WinCC flexible”, el cual muestra un ambiente grafico sencillo para su manipulación.

La interfaz desarrollada contiene un menú principal el cual muestra las opciones a las que se puede acceder, que son:

- Inicio



Figura 39. Pantalla de inicio

Fuente: Autor del proyecto

- Esquema

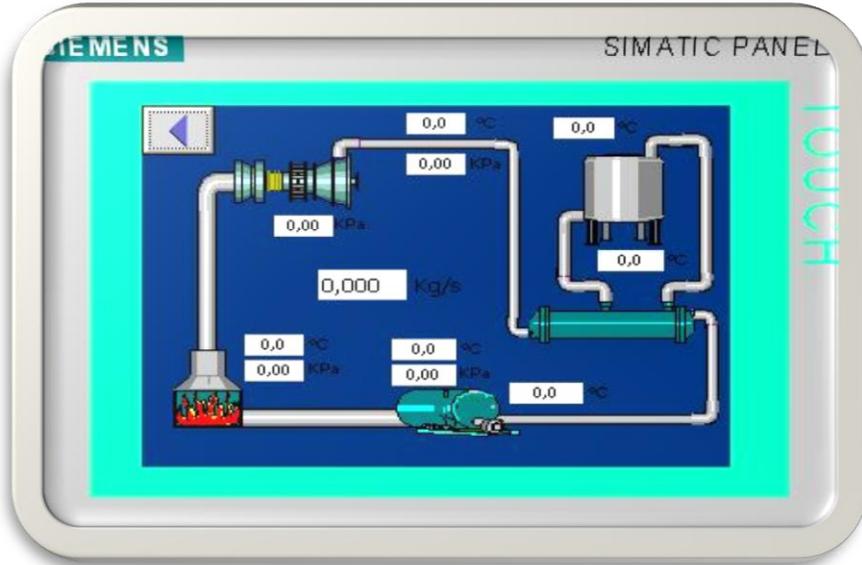


Figura 40. Interfaz esquema de la planta térmica

Fuente: Autor del proyecto

- Presión (diagrama)

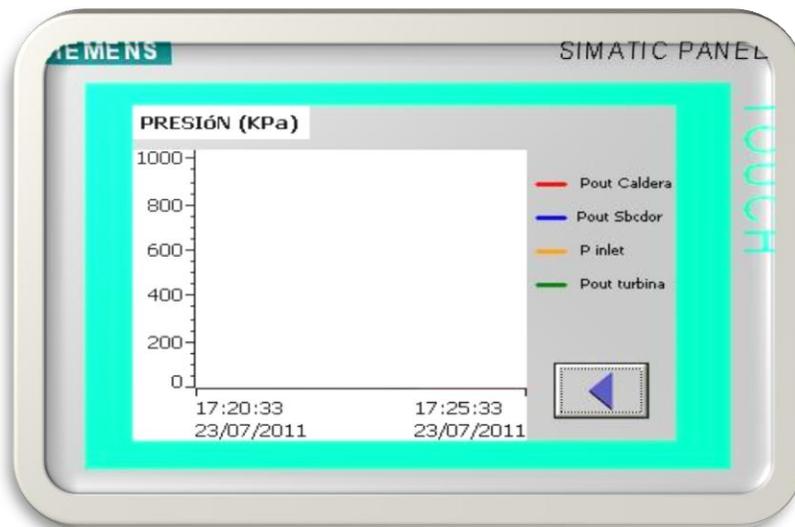


Figura 41. Interfaz diagrama de presión

Fuente: Autor del proyecto

- **Temperatura (diagrama)**

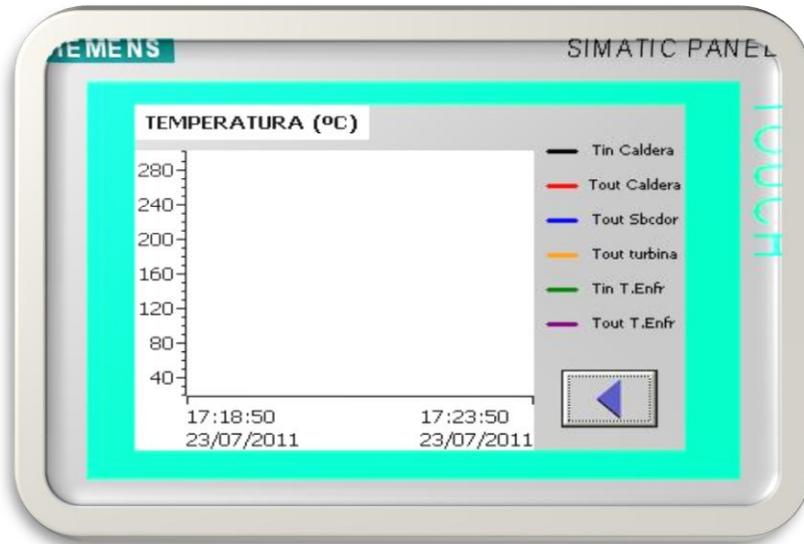


Figura 42. Interfaz diagrama de temperatura

Fuente: Autor del proyecto

- **Entalpia (diagrama)**

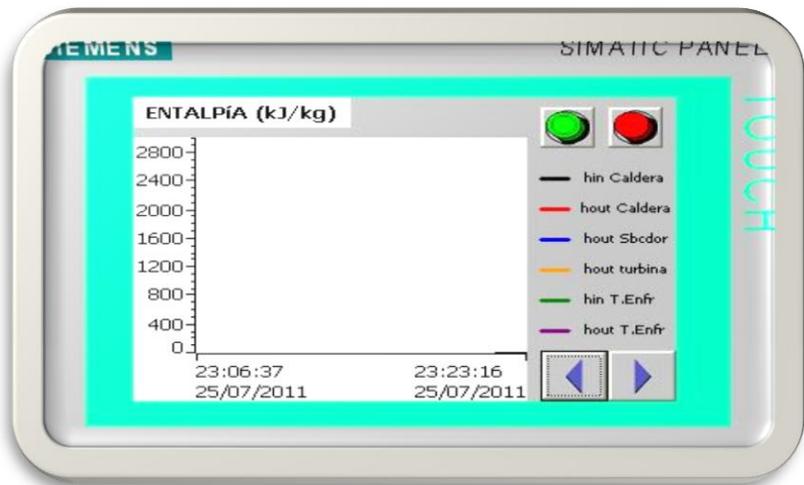


Figura 43. Interfaz diagrama de entalpia

Fuente: Autor del proyecto

- **Valores entalpia**

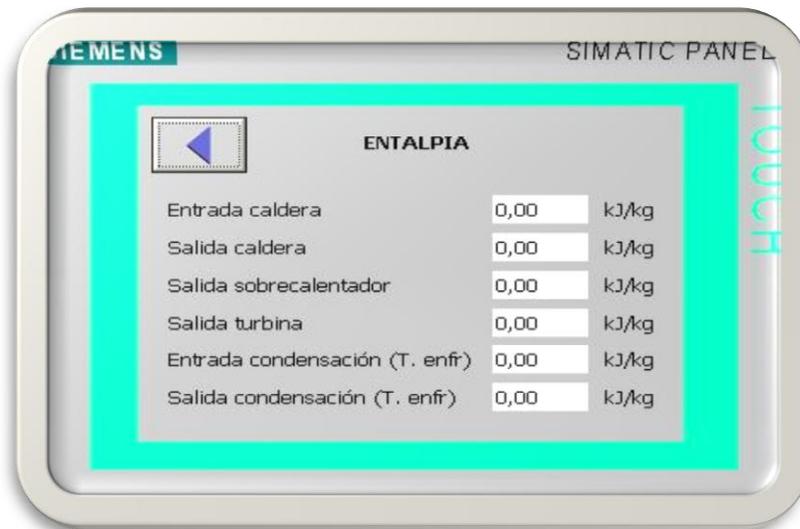


Figura 44. Interfaz valores de entalpia

Fuente: Autor del proyecto

- **Calor**

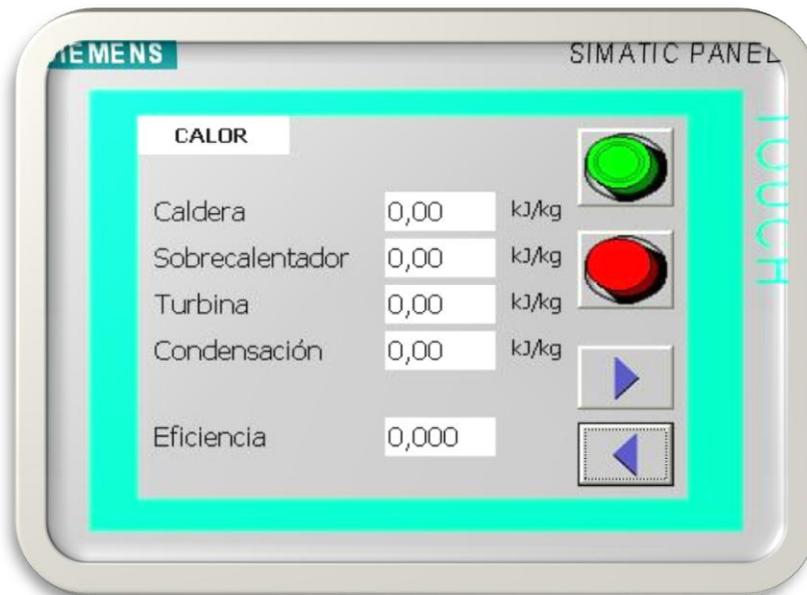


Figura 45. Interfaz calor y eficiencia

Fuente: Autor del proyecto

- **Potencia**

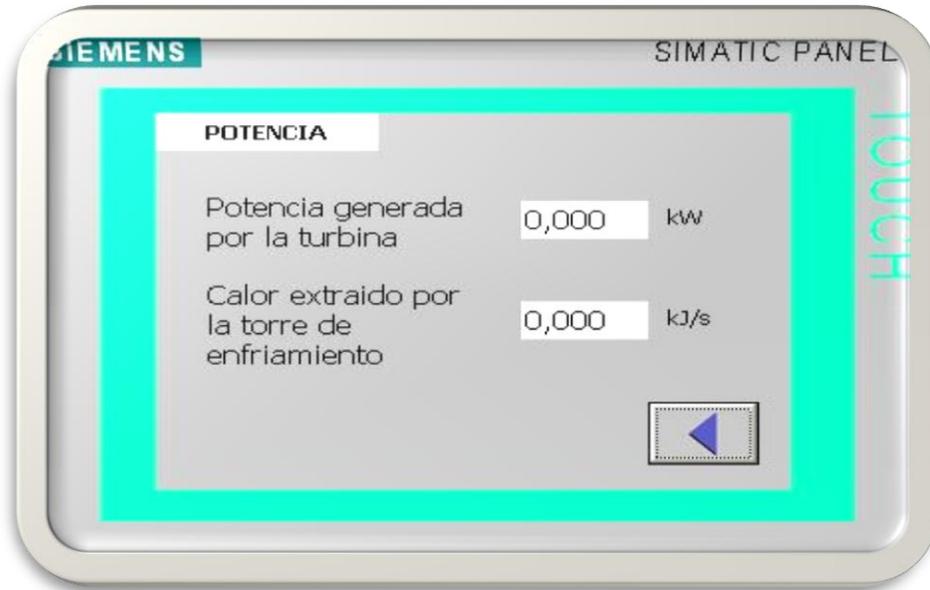


Figura 46. Interfaz de potencia

Fuente: Autor del proyecto

Cada ventana muestra de forma agradable los datos correspondientes a su tema. La ventana “eficiencia” y “calor” tienen dos botones para activar y desactivar la indicación de valores, esto con el fin de activarla aconsejablemente en el momento en el que la generación de energía se constante para que los valores sean verídicos.

CONCLUSIONES

1. Se crearon los planos correspondientes al proyecto (plano eléctrico y plano P&ID) para ofrecer una cómoda interpretación de la instrumentación y facilitar cualquier consulta o modificación futura con el fin de mejorar el proceso.
2. El proceso de instrumentación de la planta térmica se desarrolló a cabalidad, ya que se instalaron los instrumentos adquiridos en los lugares designados en el plano P&ID, y se cablearon adecuadamente desde su ubicación hasta el gabinete principal por medio de tubos galvanizados y escalerilla metálica, dejando una buena presentación del interior del laboratorio.
3. El desarrollo de la interfaz en “WinCC flexible” permite la lectura e interpretación de las señales de los sensores, mostrando los valores de las variables medidas, en unidades de presión, temperatura y caudal usadas comúnmente.
4. Por medio de comparaciones con los manómetros y termómetros analógicos instalados anteriormente en la planta se pudo demostrar la veracidad de los datos, realizando pruebas durante el arranque y la fase de generación de energía, obteniendo valores con un pequeño margen de diferencia debido a la exactitud de los instrumentos involucrados.

5. Se desarrollaron manuales para la completa operación del sistema de manera adecuada y sin poner en riesgo los elementos eléctricos o la integridad física de cualquier persona que opere algún dispositivo del gabinete.

RECOMENDACIONES

1. Lectura e interpretación del MANUAL DE OPERACIÓN.
2. Consultar los planos eléctricos e hidráulicos del proyecto si se tiene alguna duda con el cableado o la ubicación de los instrumentos instalados dentro de la planta.
3. Ordenar los gabinetes pertenecientes a las secciones de condensación y turbina, por motivo de que no se identifican el tipo cableado existente, lo que dificulta futuros avances de instrumentación dentro de la planta.
4. Por la carga que demanda el sistema, se utilizó una alimentación monofásica, para futuras aplicaciones es recomendable utilizar una alimentación trifásica.
5. Reparar el sobrecalentador para que la toma de datos y el cálculo de entalpías, calor y eficiencia tengan una mayor precisión, debido a que la programación se diseñó contemplando el funcionamiento de toda la planta.
6. Realizar la compra de una pantalla táctil, preferiblemente de un tamaño mediano o grande, para poder visualizar los datos con una mayor facilidad y poder tener acceso a otras funciones disponibles en el software SCADA.
7. Programar el sensor de flujo para que la medición en el display corresponda a flujo másico, debido a que este dato es más útil para efectos de cálculos del proceso térmico.

8. Rellenar con agua por lo menos cada semestre, las extensiones curvas de tubería usadas para la instalación de los sensores de presión, esto con el fin de prolongar la vida del instrumento.

9. Tener en cuenta los manuales de los sensores a la hora de realizar cualquier manipulación de los mismos para no afectar su correcto funcionamiento.

BIBLIOGRAFÍA

[1] CENTRO INTERAMERICANO PARA EL DESARROLLO DEL CONOCIMIENTO EN LA FORMACIÓN PROFESIONAL: Monitoreo y evaluación www.ilo.org/public/spanish/region/ampro/cinterfor/temas/gender/em_ca_eq/m_eva.htm [2010-12-7]

[2] MUHAMMAD H. RASHID: Electrónica de potencia, Tercera edición. Editorial Pearson, capítulos 11, 14.

[3] UNIVERSIDAD DE CARABOBO VENEZUELA. Fundamentos de los PLC`s. [Página de internet]. http://www.ing.uc.edu.ve/~emescobar/automat_I/contenido_menu/Unidad_IV/pag_ppal.htm [Consulta: 2011-05-21].

[4] DOMINGUEZ PEREZ VICTOR HUGO, Que es un PLC, http://www.wikilearning.com/articulo/que_es_un_controlador_logico_programable_plcque_es_un_plc/18471-1 [Consulta: 2011-05-10]

[5] W. BOLTON, Instrumentation and Control Systems Elsevier Ltd. www.sciencedirect.com

[6] UNIVERSIDAD RAFAEL LANDIVAR. Automatización Industrial. http://ingenieria.url.edu.gt/boletin/URL_10_MEC01.pdf [Consulta: 2011-07-08].

[7] CONTROLADORES LOGICOS PROGRAMABLES, LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN, <http://www.mailxmail.com/curso-controladores-logicos-programables/programacionplc-1>

[Consulta: 2010-12-10]

[8] DUIOPS, Protocolos de comunicación, Que es un protocolo de comunicación, <http://www.duiops.net/manuales/faqinternet/faqinternet10.htm>

[Consulta: 2011-06-23]

[9] C.I.P EIT Tudela, PROFIBUS, Redes industriales, <http://www.etitudela.com/profesores/mpm/profibusomron/downloads/profibus1.pdf>

[Consulta: 2011-06-08]

[10] PROFIBUS, <http://www.ethernetindustrial.es/>

[Consulta: 2011-06-08]

[11] WM. T. MCLYMAN, COLONEL WILLIAM T. MCLYMAN, Transformer and Inductor Design Handbook, chapter 16, page 414

[12] UNIVERSIDAD DEL PAIS VASCO, Transductores, Que es un transductor <http://www.ehu.es/acustica/espanol/electricidad/transes/transes.html>

[Consulta: 2011-06-08]

[13] CENGEL. YUNUS A.: Termodinámica, Cuarta edición. Editorial McGraw-Hill, capítulo 10.

[14] ANTONIO CREUS SOLÉ: Instrumentación industrial, Sexta edición. Editorial Alfaomega Marcombo, capítulos 3, 4, 6.

ANEXO A

MANUAL DE OPERACIÓN

MANUAL DE OPERACIÓN

Para realizar el adecuado manejo del gabinete de instrumentación es necesario seguir una serie de pasos para lograr el óptimo desempeño de éste. Estos pasos deben ser seguidos con estricto orden y deben ser ejecutados uno a la vez.

SISTEMA MECANICO

1. Verifique que el sistema se encuentre apagado y sin energía antes de manipular cualquier elemento. Para ello, constate que el breaker tripolar se encuentra en off es decir que esté interrumpiendo la corriente.



Figura 47. Tablero autómatas

Fuente: Autor del proyecto

2. Inicialmente se debe garantizar que el paro de emergencia esté deshabilitado, es decir que el botón no haya sido pulsado; si ya fue pulsado, debe girarlo (liberarlo) para que regrese a su estado desactivado.



Figura 48. Parado de emergencia

Fuente: Autor del proyecto

3. Activar el breaker tripolar del tablero de automáticos.



Figura 49. Breaker de alimentación

Fuente: Autor del proyecto

4. Activar el totalizador del gabinete principal de instrumentación como lo sugiere la flecha en la imagen.



Figura 50. Totalizador

Fuente: Autor del proyecto

5. Activar el breaker implementado, únicamente el señalado en la foto con el número 1 en el gabinete.

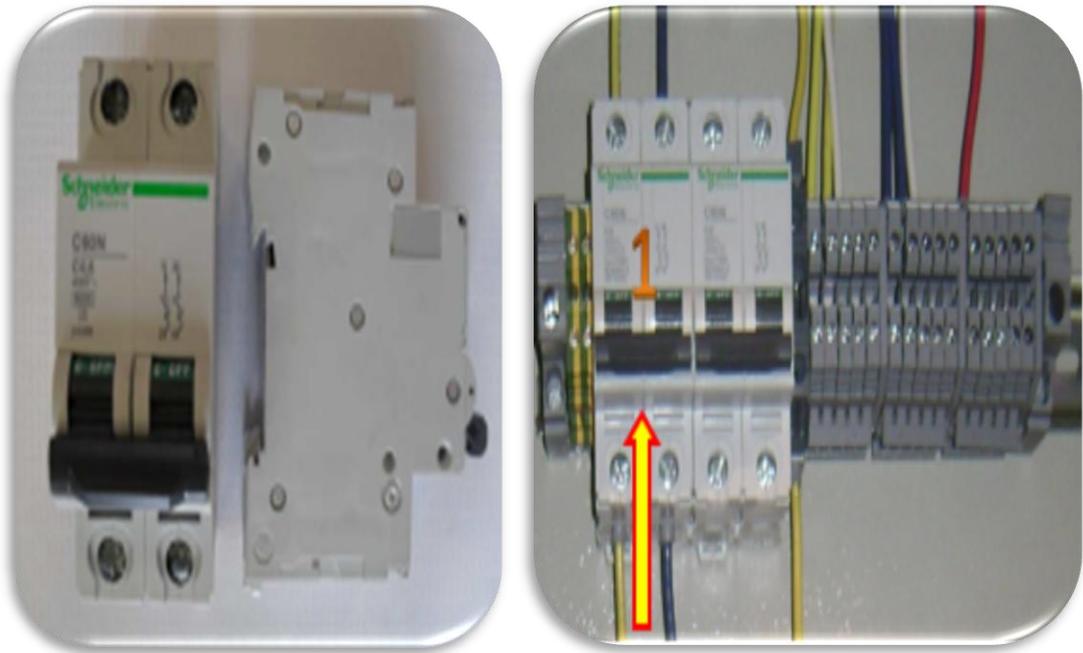


Figura 51. Breakers de seguridad al PLC

Fuente: Autor del proyecto

6. Encienda el computador y en el PC diríjase a todos los programa, SIMATIC, administrador SIMATIC, una vez se accede al programa aparece la ventana principal y si aparece la ventana de asistente oprimir la opción cancelar.



Figura 52. Pantallazo principal

Fuente: Autor del proyecto



Figura 53. Asistente de STEP 7

Fuente: Autor del proyecto

7. En el menú de archivo se procede a *Abrir*. Una vez se seleccionada esta opción aparece una ventana con el nombre abrir proyecto, hace click en examinar, selecciona el proyecto y hace click en aceptar para cargar el proyecto.

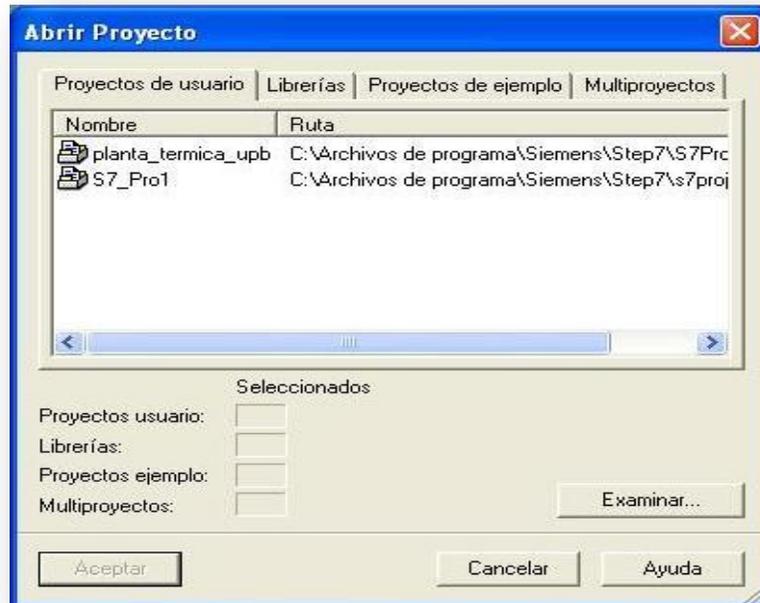


Figura 54. Menú Abrir Proyecto

Fuente: Autor del proyecto

8. Finalmente se procede a poner el PLC en modo RUN, como lo indica la flecha.

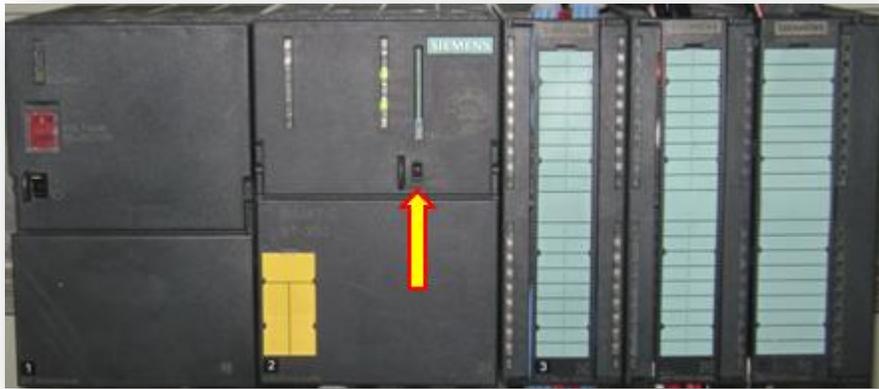


Figura 55. PLC en RUN

Fuente: Autor del proyecto

9. Una vez abierto el programa se procede de la siguiente manera, en la barra de herramientas se hace click en el icono online, cargar la conexión y esto procede a transferir el programa al PLC.



Figura 56. Pantallazo de STEP7

Fuente: Autor del proyecto

10. Encienda el computador y en el PC diríjase a todos los programa, SIMATIC, wincc flexible 2008, wincc flexible, una vez se accede al programa aparece la ventana inicial y seleccionamos abrir proyecto existente.

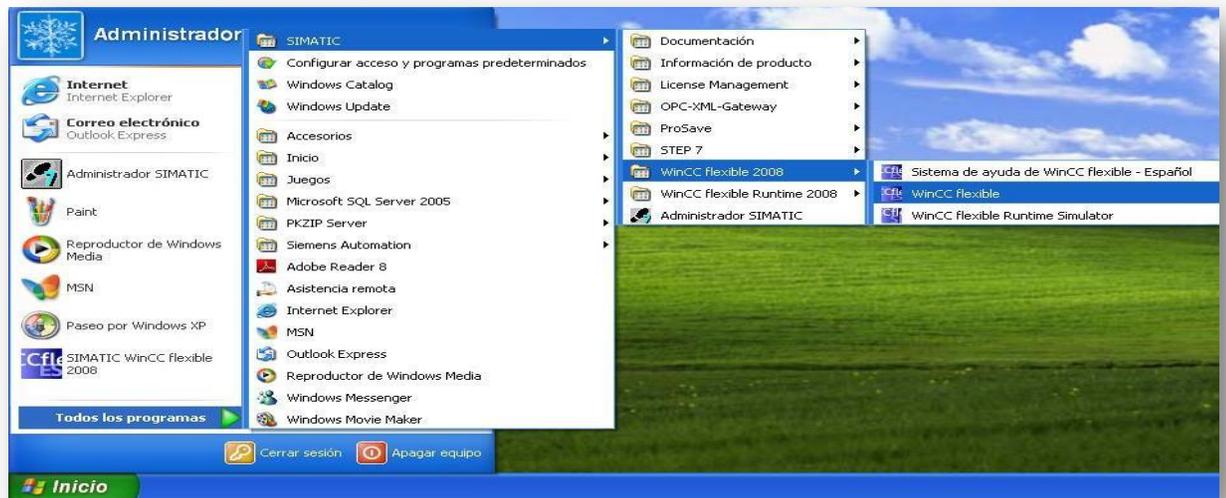


Figura 57. Guía para iniciar Wincc Flexible

Fuente: Autor del proyecto

11. Una vez se da clic sobre esta opción se abre una nueva ventana para seleccionar la ubicación del proyecto, seleccionamos “planta_upb.hmi” y luego seleccionamos abrir.

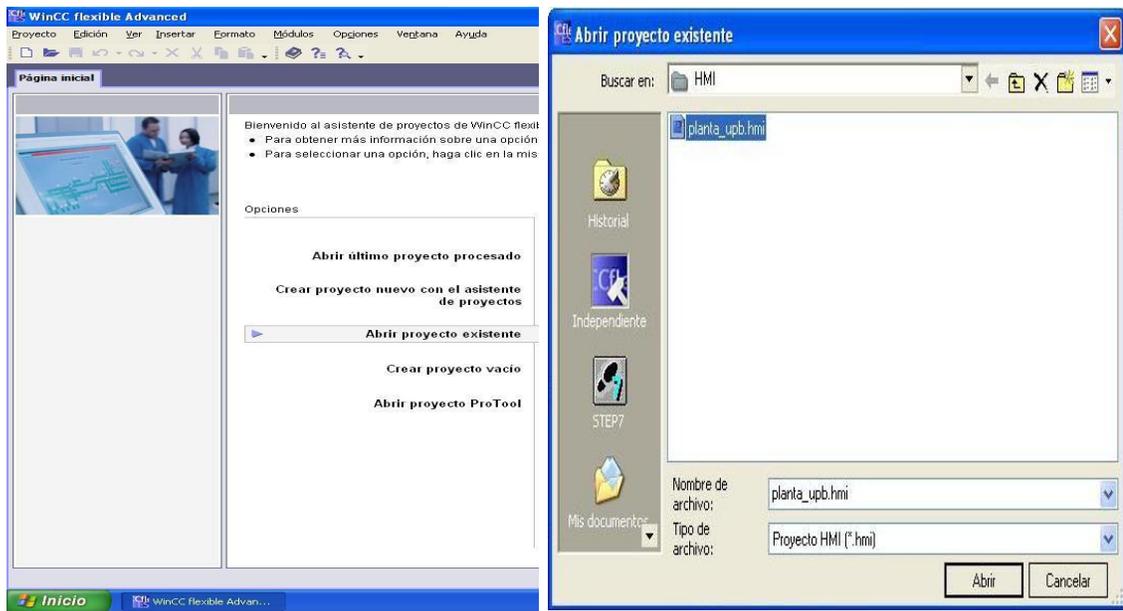


Figura 58. Como cargar el programa

Fuente: Autor del proyecto

12. Una vez hecho este paso, se desplegará la ventana interactiva de wincc flexible, en ella encontrará la interfaz creada para el proyecto de planta termica.



Figura 59. Ventana interactiva interfaz WinCC Flexible

Fuente: Autor del proyecto

13. En la barra de herramientas hacemos click en el icono transferencia, luego se despliega una ventana para seleccionar el panel y la comunicación, en el menú modo seleccionamos Ethernet, dirección IP, 192.168.0.50.

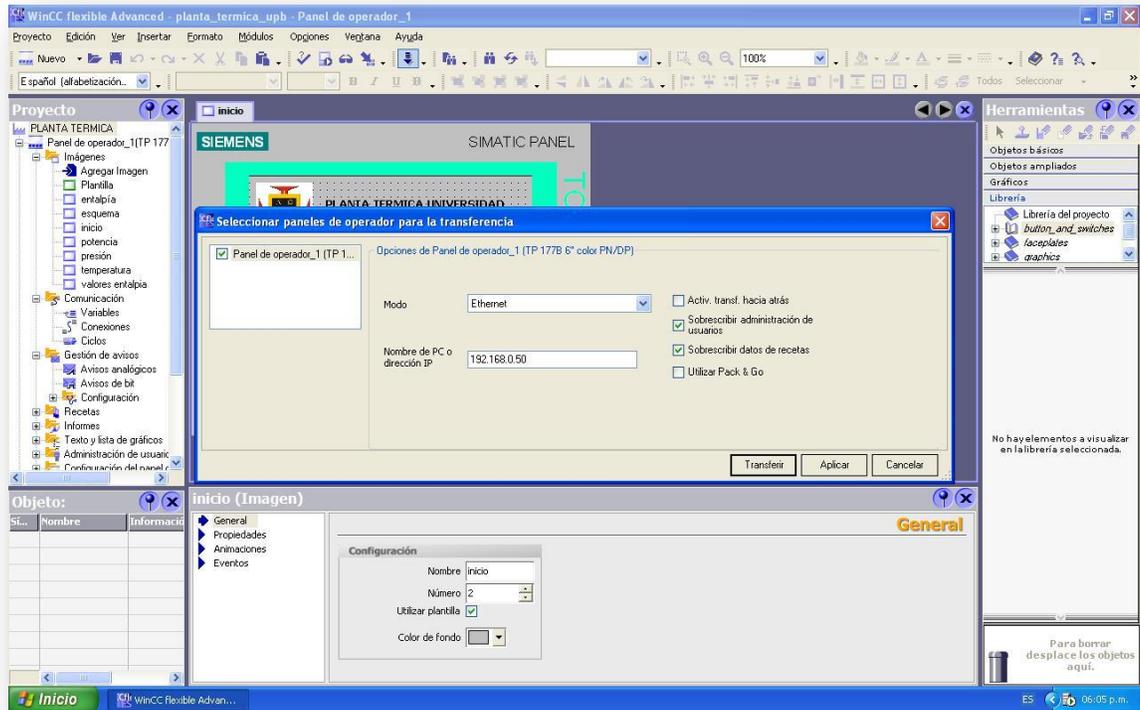


Figura 60. Introducir Dirección IP

Fuente: Autor del proyecto

14. Encender la pantalla táctil y seleccionar la opción *transfer*.



Figura 61. Pantalla táctil e interfaz

Fuente: Autor del proyecto

15. Luego se le hace clic en transferir, continúo a esto el programa es cargado.

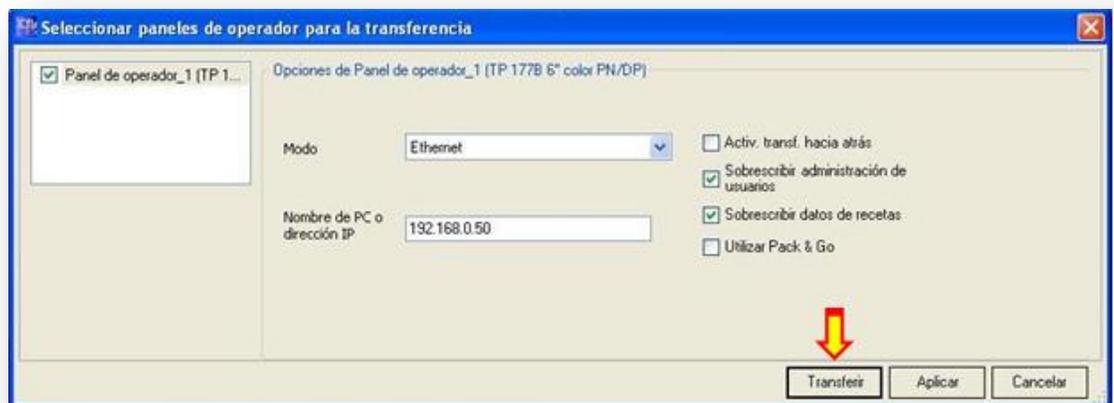


Figura 62. Cargar programa al PLC

Fuente: Autor del proyecto

16. Finalmente no ingresar bebidas ni comidas al cuarto de control, y tener cuidado con los riesgos eléctricos, precisamente cerca al totalizador.

ELEMENTOS DE SEGURIDAD

Antes de ingresar a la planta térmica, deberá tener todas las medidas de seguridad correspondientes, es decir, guantes, botas de seguridad, overol o camisa manga larga, tapa oídos principalmente. Es recomendable no llevar puestos anillos, pulseras o reloj para su mayor seguridad.

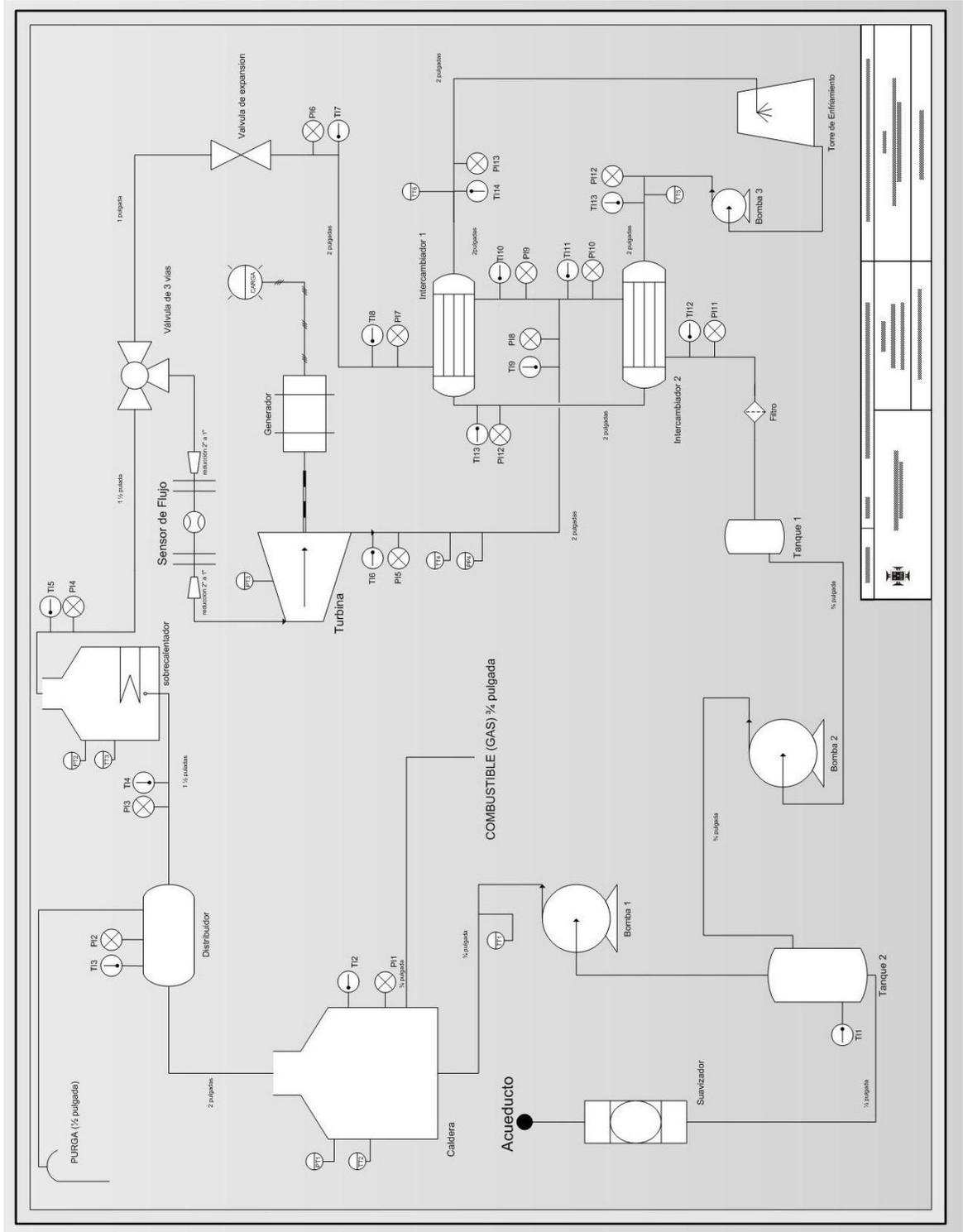


Figura 63. Elementos de seguridad

Fuente: Autor del proyecto

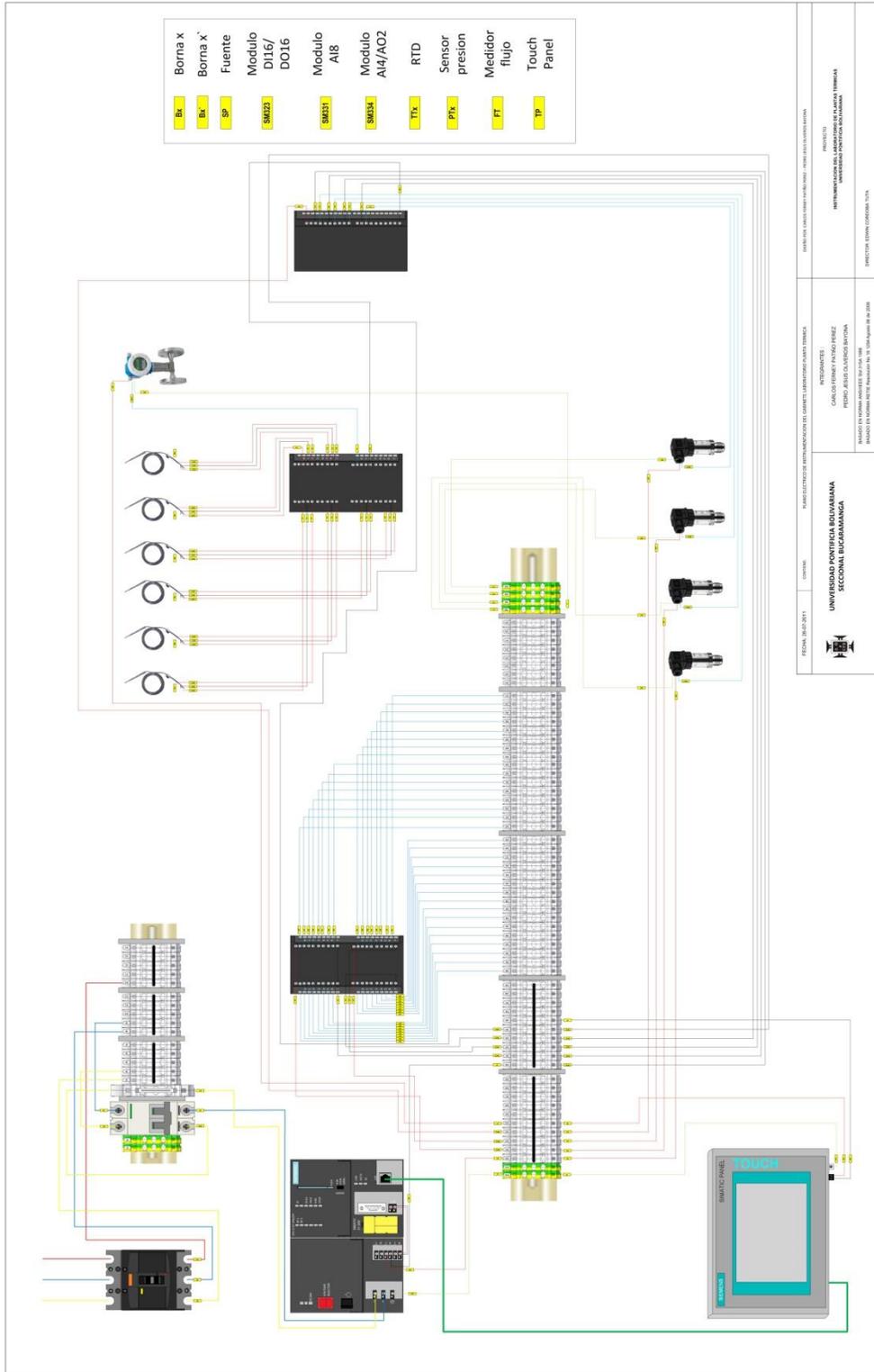
ANEXO B

PLANO P&ID



ANEXO C

PLANO ELÉCTRICO



ANEXO D

TABLA DE SÍMBOLOS

Propiedades de la tabla de símbolos

Nombre: Símbolos
 Fecha de creación: 21/07/2011 22:47:40
 Última modificación: 04/08/2011 11:37:29
 Último criterio de filtrado: Todos los símbolos
 Cantidad de símbolos: 42/42
 Última ordenación: Dirección ascendente

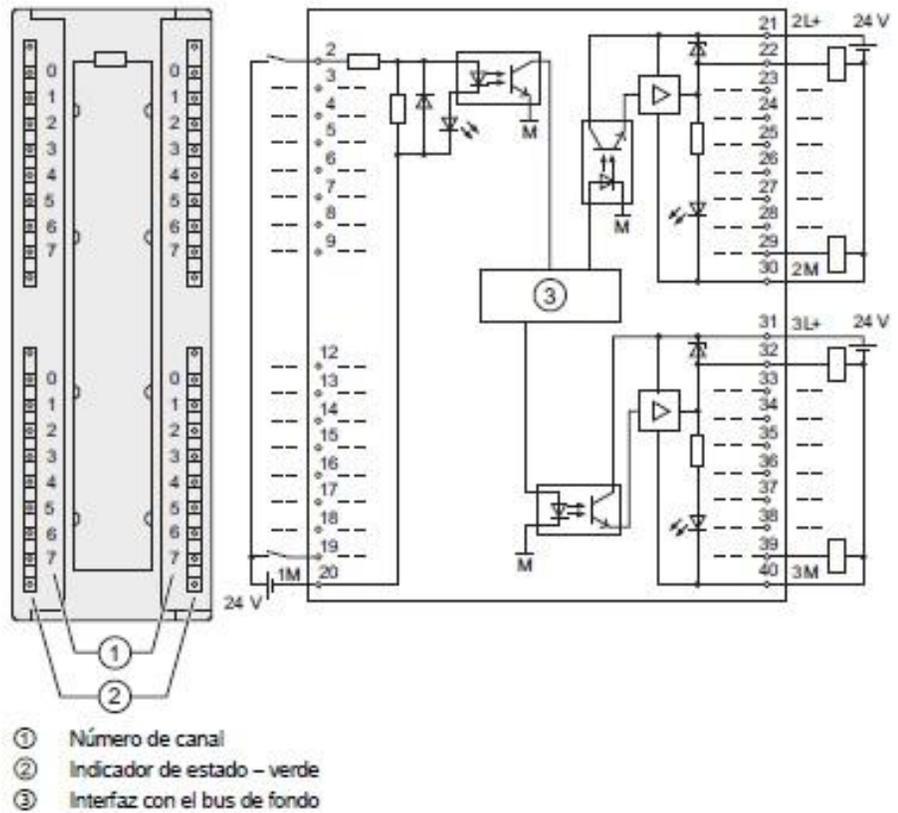
Estado	Símbolo	Dirección	Tipo de datos	Comentario
	Escalamiento int - real	FC 165	FC 165	Escalamiento lineal (entero a real)
	Escalamiento real	FC 167	FC 167	Escalamiento lineal (real)
	ACT	M 0.1	BOOL	Activar calculo de calor, potencia y eficiencia
	ACT. ENT	M 0.2	BOOL	Activar calculo de entalpia
	P1	MD 80	REAL	Presión caldera
	P2	MD 84	REAL	Presión sobrecalentador
	P3	MD 88	REAL	Presión turbina (inlet)
	P4	MD 92	REAL	Presión salida turbina
	FLOW	MD 96	REAL	Flujo másico
	T1	MD 108	REAL	Temperatura entrada caldera
	T2	MD 120	REAL	Temperatura caldera
	T3	MD 132	REAL	Temperatura sobrecalentador
	T4	MD 144	REAL	Temperatura salida turbina
	T5	MD 156	REAL	Temperatura entrada condensación (T. enfr)
	T6	MD 168	REAL	Temperatura salida condensación (T. enfr)
	ENT1	MD 176	REAL	Entalpia entrada caldera
	ENT2	MD 188	REAL	Entalpia salida caldera
	ENT3	MD 200	REAL	Entalpia salida sobrecalentador
	ENT4	MD 204	REAL	Entalpia salida turbina
	ENT5	MD 208	REAL	Entalpia entrada condensación (T. enfr)
	ENT6	MD 212	REAL	Entalpia salida condensación (T. enfr)
	Q.cald	MD 216	REAL	Calor específico caldera
	Q.sobr	MD 220	REAL	Calor específico sobrecalentador
	W.turb	MD 224	REAL	Trabajo producido por la turbina
	POT.T	MD 228	REAL	Potencia turbina
	Q.cond	MD 236	REAL	Calor específico condensación
	Q.T.ENFR	MD 240	REAL	Calor extraído por la torre enfriamiento
	Qin	MD 244	REAL	Calor de entrada
	Qout	MD 248	REAL	Calor de salida
	EFIC	MD 256	REAL	Eficiencia térmica de la planta
	TT1	PEW 272	INT	Señal RTD entrada caldera
	TT2	PEW 274	INT	Señal RTD caldera
	TT3	PEW 276	INT	Señal RTD sobrecalentador
	TT4	PEW 278	INT	Señal RTD salida turbina
	TT5	PEW 280	INT	Señal RTD entrada condensación (T. enfr)
	TT6	PEW 282	INT	Señal RTD salida condensación (T. enfr)
	FT	PEW 284	INT	Señal sensor flujo másico
	AC	PEW 286	INT	Señal transductor
	PT1	PEW 288	INT	Señal sensor presión caldera
	PT2	PEW 290	INT	Señal sensor presión sobrecalentado
	PT3	PEW 292	INT	Señal sensor presión turbina (inlet)
	PT4	PEW 294	INT	Señal sensor presión salida turbina

ANEXO E

DATOS TÉCNICOS MÓDULOS

MÓDULO SM 323; DI 16/DO16 x DC 24 V/0,5 A; (6ES7323-1BL00-0AA0)

Esquema eléctrico y diagrama de principio del módulo SM 323; DI 16/DO16 x DC 24 V/0,5 A

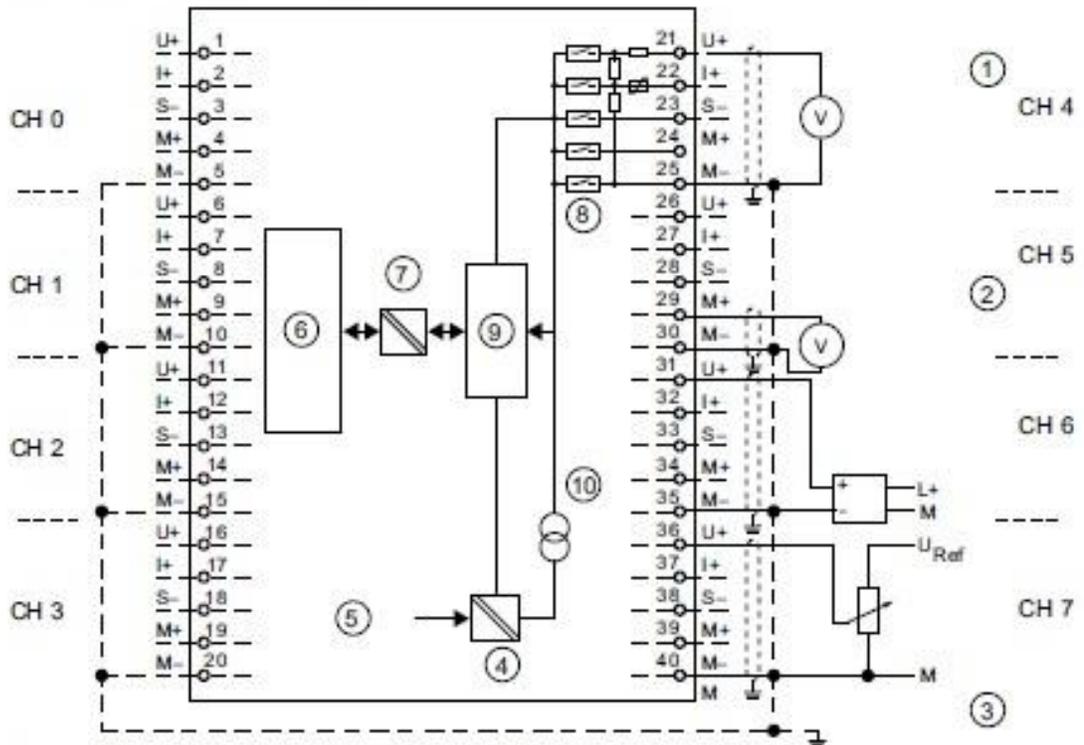


Datos técnicos	
Estados, alarmas, diagnóstico	
Indicador de estado	Un LED verde por canal
Alarmas	Ninguna
Funciones de diagnóstico	Ninguna
Datos para seleccionar un sensor	
Tensión de entrada • Valor nominal • para señal "1" • para señal "0"	24 V DC de 13 a 30 V de - 30 a + 5 V
Intensidad de entrada • con señal "1"	típ. 7 mA
Retardo a la entrada • De "0" a "1" • De "1" a "0"	de 1,2 a 4,8 ms de 1,2 a 4,8 ms
Característica de entrada	Según IEC 61131, tipo 1
Conexión de BERO a 2 hilos • Intensidad de reposo admisible	Posible máx. 1,5 mA
Conexión de los sensores	con conector frontal de 40 pines
Datos para seleccionar un actuador	
Tensión de salida • con señal "1"	Mín. L+ (- 0,8 V)
Intensidad de salida	
• con señal "1" Valor nominal Rango admisible	0,5 A de 5 mA a 0,6 A
• con señal "0" (corriente residual)	máx. 0,5 mA
Retardo a la salida (con carga óhmica)	
• De "0" a "1" • De "1" a "0"	máx. 100 μ s máx. 500 μ s
Rango de resistencia de carga	de 48 Ω a 4 k Ω
Carga de lámparas	máx. 5 W

Datos técnicos	
Conexión en paralelo de 2 salidas	
• para control redundante de una carga	Posible (sólo salidas del mismo grupo)
• para aumentar la potencia	Imposible
Control de una entrada digital	Posible
Frecuencia de maniobra	
• Con carga óhmica	máx. 100 Hz
• Con carga inductiva, según IEC 947-5-1, DC 13	máx. 0,5 Hz
• Con carga de lámparas	máx. 10 Hz
Limitación (interna) de la tensión de corte inductiva	típ. L + (- 53 V)
Protección de salidas contra cortocircuitos	Sí, electrónica
• Umbral de respuesta	típ. 1 A
Conexión de actuadores	con conector frontal de 40 pines

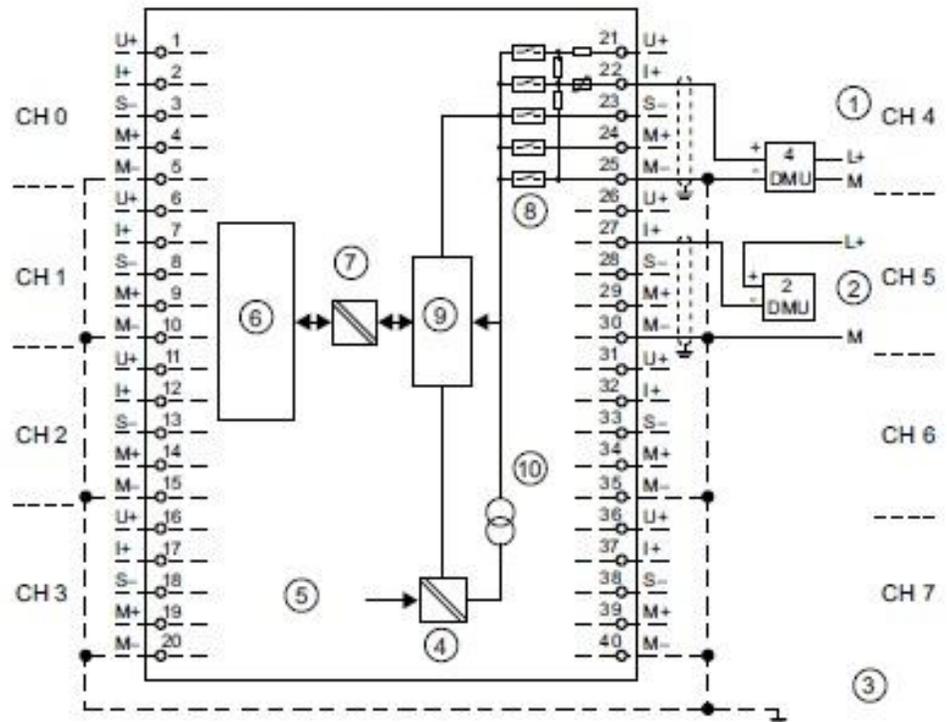
MÓDULO SM 331; AI 8 x 13 Bit;(6ES7331-1KF01-0AB0)

Conexión: medición de tensión



- ① Medición de tensión: ($\pm 5V$, $\pm 10V$, $1...5V$, $0...10V$)
- ② Medición de tensión ($\pm 50\text{ mV}$, $\pm 500\text{ mV}$, $\pm 1\text{ V}$) (observar la resistencia de entrada en los datos técnicos)
- ③ Equipotencialidad
- ④ Alimentación interna
- ⑤ +5V del bus de fondo
- ⑥ Lógica e interfaz con el bus de fondo
- ⑦ Aislamiento galvánico
- ⑧ Multiplexor
- ⑨ Convertidor analógico/digital (CAD)
- ⑩ Fuente de corriente

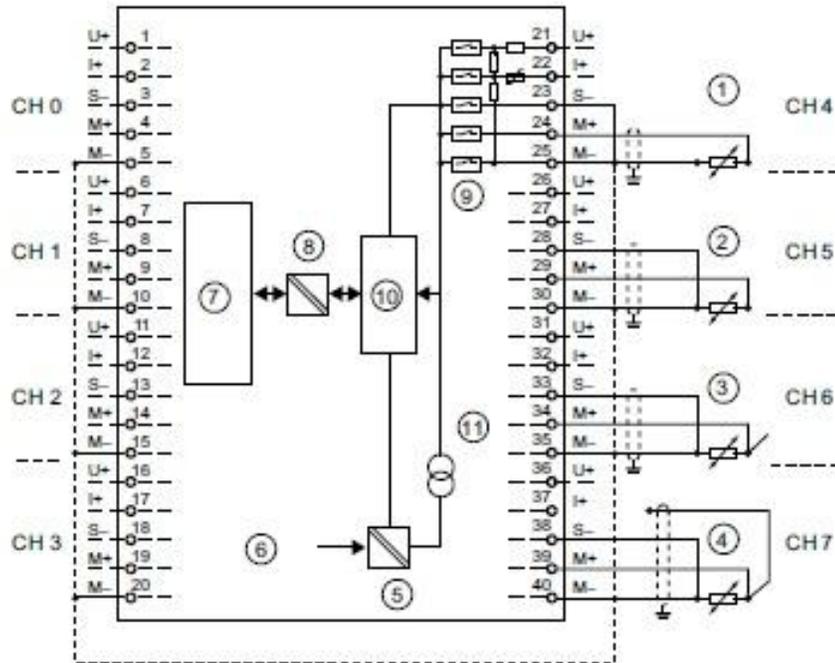
Conexión: Transductor de medida a 2 y 4 hilos para medir la intensidad



- ① Transductor de medida a 4 hilos (0/4...20 mA ó ± 20 mA)
- ② Transductor de medida a 2 hilos (4...20 mA)
- ③ Equipotencialidad
- ④ Alimentación interna
- ⑤ + 5V del bus de fondo
- ⑥ Lógica e interfaz con el bus de fondo
- ⑦ Aislamiento galvánico
- ⑧ Multiplexor
- ⑨ Convertidor analógico/digital (CAD)
- ⑩ Fuente de corriente

Conexión: Medición de resistencia con conexión a 2, 3 y 4 hilos

Las posibilidades de conexión siguientes rigen también para conectar sensores de temperatura de silicio y PTCs.



- ① Conexión a 2 hilos. Entre M- y S- es preciso insertar un puente (sin compensación de las resistencias de hilos).
- ② Conexión a 3 hilos
- ③ Conexión a 4 hilos. No está permitido conectar el cuarto hilo (no se utiliza)
- ④ Conexión a 4 hilos. El cuarto hilo se conduce hasta la regleta de bornes en el armario, pero no se conecta.
- ⑤ Alimentación interna
- ⑥ +5V del bus de fondo
- ⑦ Lógica e interfaz con el bus de fondo
- ⑧ Aislamiento galvánico
- ⑨ Multiplexor
- ⑩ Convertidor analógico/digital (CAD)
- ⑪ Fuente de corriente

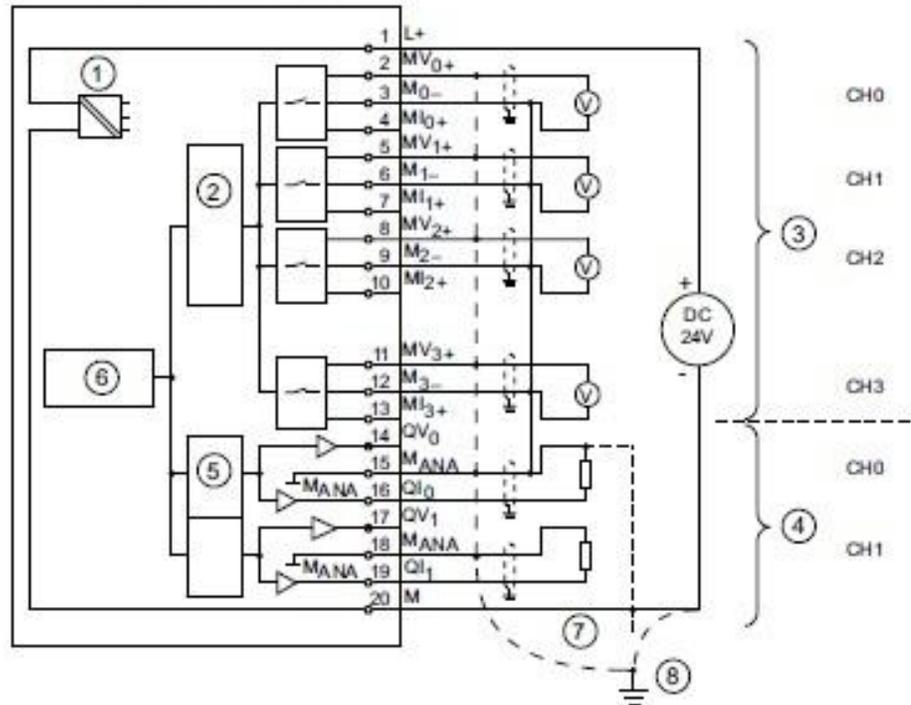
Tipo de medición seleccionado	Rango de medición
Tensión U:	±50 mV ±500 mV ±1 V ±5 V 1 a 5 V 0 a 10 V ±10 V
Intensidad I	0 a 20 mA 4 a 20 mA ± 20 mA
Resistencia (conexión a 4 hilos) R-4L	6 kΩ 600 Ω PTC
Termorresistencia RTD-4L (lineal, conexión a 4 hilos) (medición de temperatura) Sensores de temperatura de silicio	PT 100 climatiz. / estándar Ni 100 climatiz. / estándar Ni 1000 climatiz. / estándar LG-Ni 1000 climatiz. / estándar KTY83/110 KTY84/130

Parámetros	Rango	Ajuste estándar	Tipo de parámetro	Ámbito de validez
Medición • Tipo de medición	desactivado Tensión U Intensidad I Resistencia R, PTC Termorresistencia RTS, sensores de temperatura de silicio	U	dinámico	Canal
• Rango de medición	Tensión ±50 mV; ±500 mV; ±1 V; 1 a 5 V; ±5 V; 0 a 10 V; ±10 V	±10 V		
	Intensidad 0 a 20 mA; 4 a 20 mA; ±20 mA	±20 mA		
	Resistencia 0 a 600 Ω; 0 a 6 kΩ; PTC	600 Ω		
	Termorresistencia (lineal) Pt 100 climatiz. / estándar Ni 100 climatiz. / estándar Ni 1000 climatiz. / estándar LG-Ni 1000 climatiz. / estándar KTY83/110 KTY84/130	Pt 100 estándar		
• Coeficiente de temperatura	Pt 100 0,003850 Ω/Ω/ °C (IST-90) Ni 100 / Ni 1000 0,006180 Ω/Ω/ °C LG-Ni 1000 0,005000 Ω/Ω/ °C	0,003850		
• supresión de frecuencias perturbadoras	50 Hz; 60 Hz	50 Hz		Módulo
• Unidad de temperatura	Grados Celsius, grados Fahrenheit, Kelvin*	Grados Celsius		

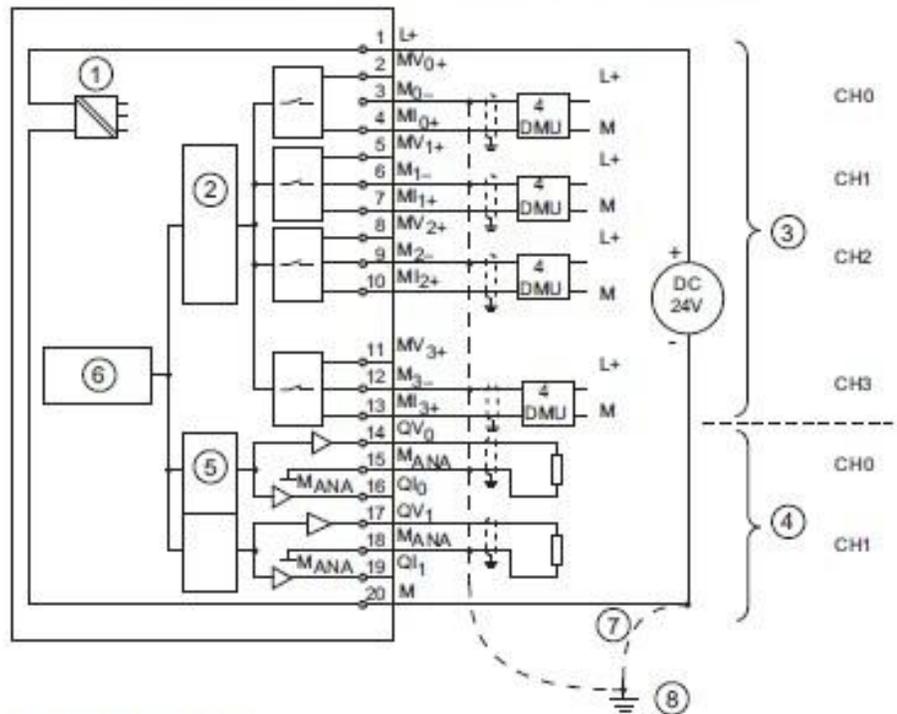
*sólo Pt 100 estándar, Ni 100 estándar, Ni 1000 estándar, LG-Ni 1000 estándar

MÓDULO SM 334; AI 4/AO 2 x 8/8 Bit;(6ES7334-0CE01-0AA0)

Conexión: medición de tensión y salida de intensidad



Conexión: transductor a 4 hilos para la medición de intensidad y la salida de tensión



- ① Alimentación interna
- ② Convertidor analógico/digital (CAD)
- ③ Entradas: medición de intensidad con transductor a 4 hilos
- ④ Salidas: Salida de tensión
- ⑤ Convertidor digital/analógico (CDA)
- ⑥ Interfaz con el bus de fondo
- ⑦ Equipotencialidad
- ⑧ Tierra funcional

Datos técnicos

Datos técnicos	
Dimensiones y peso	
Dimensiones A x A x P (mm)	40 x 125 x 117
Peso	aprox. 285 g
Datos específicos del módulo	
Soporta modo isócrono	No
Número de entradas	4
Número de salidas	2
Longitud de cable	máx. 200 m
• Apantallado	
Tensiones, intensidades, potenciales	
Tensión nominal de alimentación para electrónica y tensión nominal de carga L+	24 V DC
Aislamiento galvánico	No Sí
• Entre los canales y el bus de fondo • Entre los canales y la alimentación de la electrónica	
Entre los canales	No
Diferencia de potencial admisible	1 V DC 1 V DC
• Entre las entradas y M_{ANA} (U_{CM}) • Entre las entradas (U_{CM})	
Aislamiento ensayado con	500 V DC
Consumo	máx. 55 mA máx. 110 mA
• Del bus de fondo • De la tensión de alimentación y de carga L+ (sin carga)	
Disipación del módulo	típ. 3 W
Formación de valores analógicos para las entradas	
Principio de medida	conversión de valores instantáneos
• Resolución (incl. margen de saturación por exceso)	8 bits
Período de integración/tiempo de conversión (por canal)	No <500
• Parametrizable • período integr. en μs	
Tiempo de ejecución básico de las entradas	máx. 5 ms
Constante de tiempo del filtro de entrada	0,8 ms

Datos técnicos	
Formación de valores analógicos para las salidas	
• Resolución (incl. margen de saturación por exceso)	8 bits
Tiempo de conversión (por canal)	No
• parametrizable	<500
• Tiempo de conversión en μ s	
Tiempo de ejecución básico de las salidas	máx. 5 ms
Tiempo de estabilización	
• Con carga óhmica	0,3 ms
• Con carga capacitiva	3,0 ms
• Con carga inductiva	0,3 ms
Supresión de perturbaciones, límites de error para las entradas	
Supresión de tensiones perturbadoras para $f = n \times (f1 \pm 1 \%)$ ($f1 =$ frecuencia parásita)	
• modo común ($U_{cm} < 1$ V)	>60 dB
Diafonía entre las salidas	> 50 dB
Límite de error práctico (en todo el rango de temperaturas, referido al valor final del rango de medición de entrada seleccionado)	
• Entrada de tensión	$\pm 0,9 \%$
• Entrada de intensidad	$\pm 0,8 \%$
Límite de error básico (límite de error práctico a 25 °C, referido al valor final del rango de medición de entrada seleccionado)	
• Entrada de tensión	$\pm 0,7 \%$
• Entrada de intensidad	$\pm 0,6 \%$
Error por temperatura (referido al rango de entrada)	$\pm 0,005 \%/K$
Error de linealidad (referido al rango de entrada)	$\pm 0,05 \%$
Repetibilidad (en estado estacionario a 25 °C, referido al rango de entrada)	$\pm 0,05 \%$
Ondulación de salida; ancho de banda de 0 a 50 kHz (referido al rango de salida)	$\pm 0,05 \%$
Supresión de perturbaciones, límites de error para salidas	
Diafonía entre las salidas	> 40 dB
Límite de error práctico (en todo el rango de temperaturas, referido al valor final del rango de medición de salida seleccionado)	
• Salida de tensión	$\pm 0,6 \%$
• Salida de intensidad	$\pm 1,0 \%$
Límite de error básico (límite de error práctico a 25 °C, referido al valor final del rango de medición de salida seleccionado)	
• Salida de tensión	$\pm 0,5 \%$
• Salida de intensidad	$\pm 0,5 \%$
Error por temperatura (referido al rango de salida)	$\pm 0,02 \%/K$
Error de linealidad (referido al rango de salida)	$\pm 0,05 \%$
Repetibilidad (en estado estacionario a 25 °C, referido al rango de salida)	$\pm 0,05 \%$
Ondulación de salida (ancho de banda referido al rango de salida)	$\pm 0,05 \%$

Datos técnicos	
Estados, alarmas, diagnóstico	
Alarmas	Ninguna
Funciones de diagnóstico	Ninguna
Datos para seleccionar un sensor	
Rango de entrada (valores nom.)/resistencia de entrada • Tensión • Intensidad	0 a 10 V/100 k Ω 0 a 20 mA/50 Ω
Tensión de entrada admisible para las entradas de tensión (límite de destrucción)	máx. 20 V perman.; 75 V durante máx. 1 s (relación puls./pausa 1:20)
Intensidad de entrada admis. para las entradas de intensidad (límite de destrucción)	40 mA
Conexión de los sensores • Para medir la tensión • para medición de intensidad como transductor a 2 hilos como transductor a 4 hilos	Conector frontal de 20 pines Posible Posible, con alimentación externa Posible
Datos para seleccionar un actuador	
Rangos de salida (valores nominales) • Tensión • Intensidad	0 a 10 V 0 a 20 mA
Resistencia de carga (en el rango nominal de la salida)	
• En salidas de tensión – Carga capacitiva • En salidas de intensidad – Carga inductiva	mín. 5 k Ω máx. 1 μ F máx. 300 Ω máx. 1 mH
Salida de tensión • Protección contra cortocircuitos • Corriente de cortocircuito	Sí máx. 11 mA
Salida de intensidad • Tensión en vacío	máx. 15V
Límite de destrucción por tensiones/intensidades aplicadas desde el exterior • Tensión en las salidas respecto a MANA • Intensidad	máx. 15 V perman. máx. 50 mA DC
Conexión de actuadores • Para salida de tensión conexión a 2 hilos conexión a 4 hilos (conductor de medida)	Conector frontal de 20 pines Posible Imposible

ANEXO F

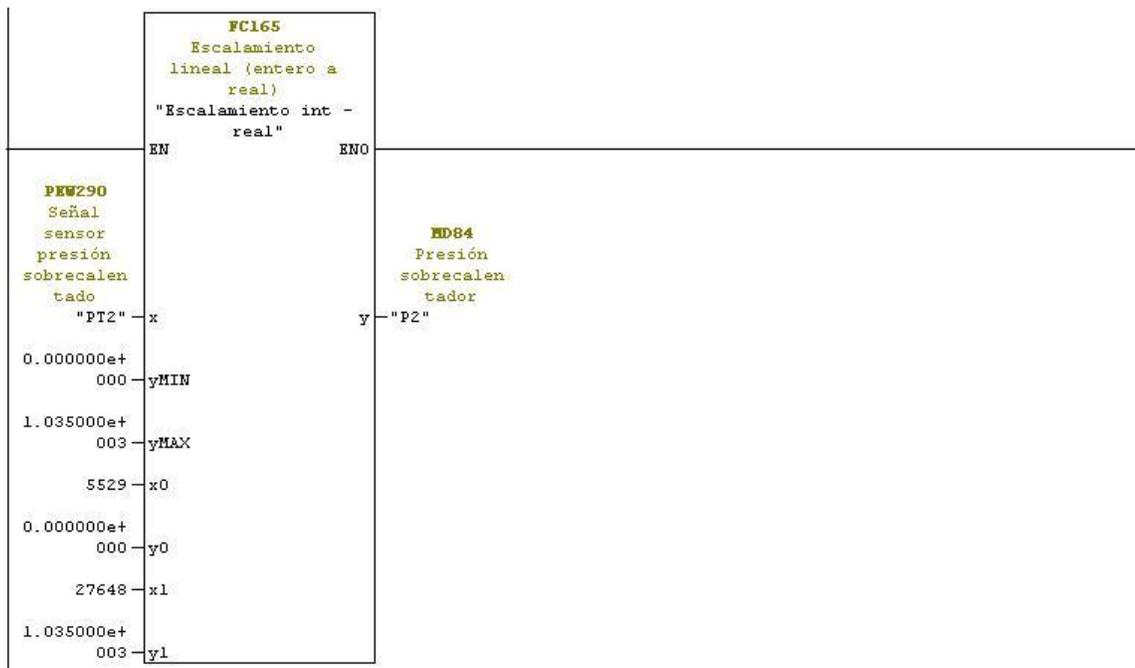
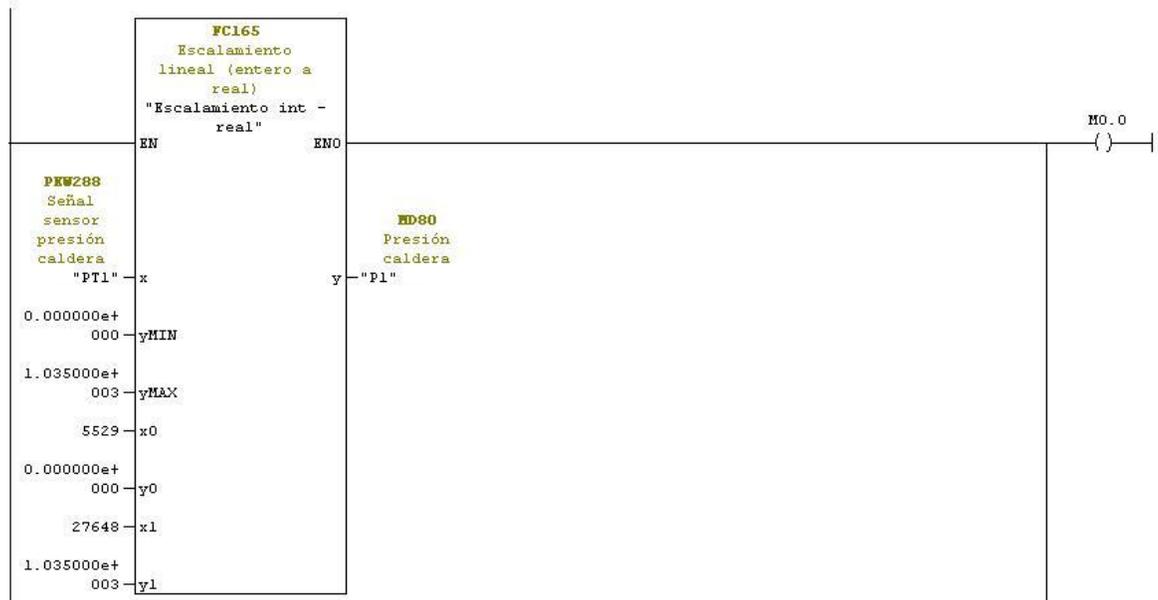
PROGRAMACIÓN STEP 7

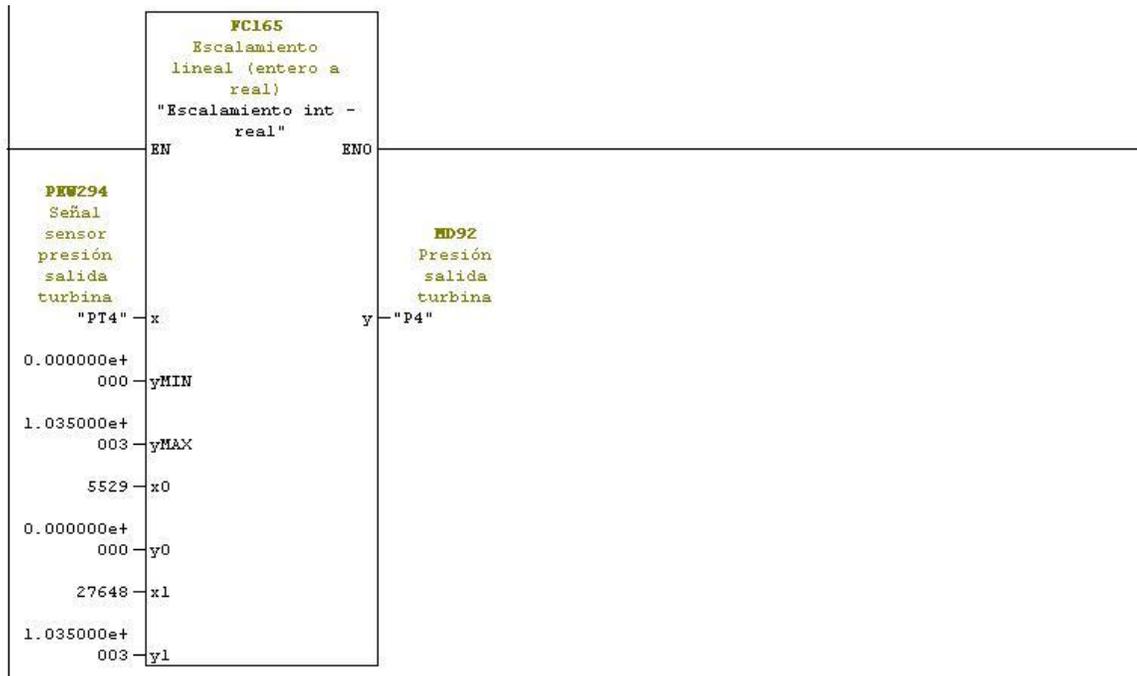
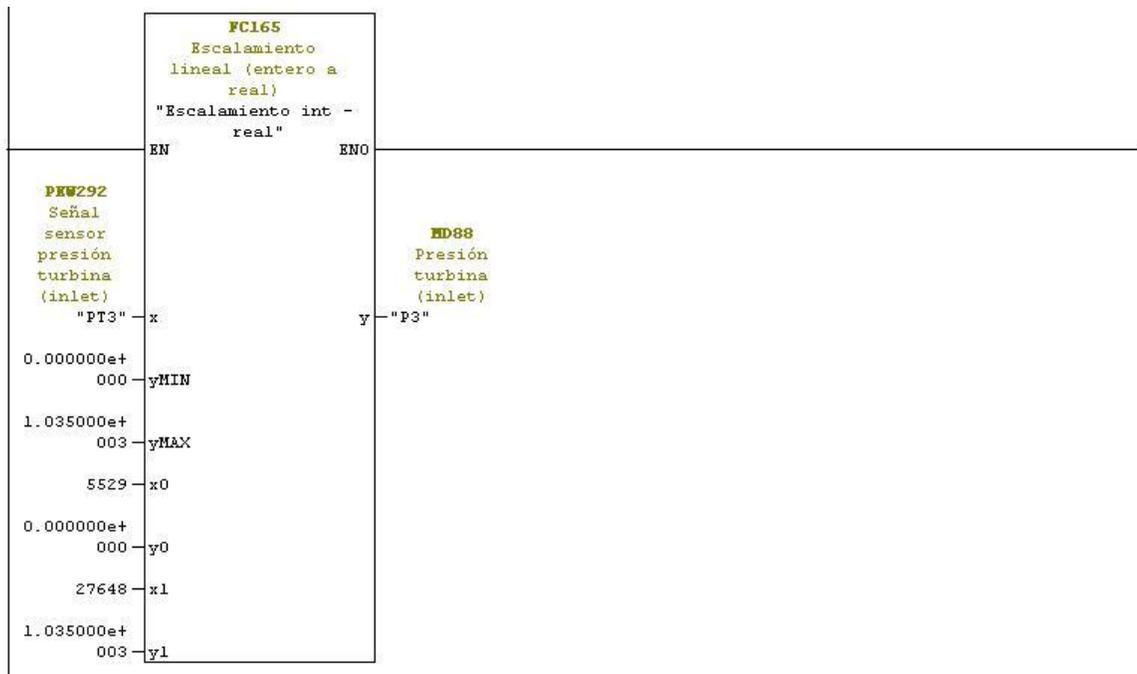
OB1 : "Main Program Sweep (Cycle)"

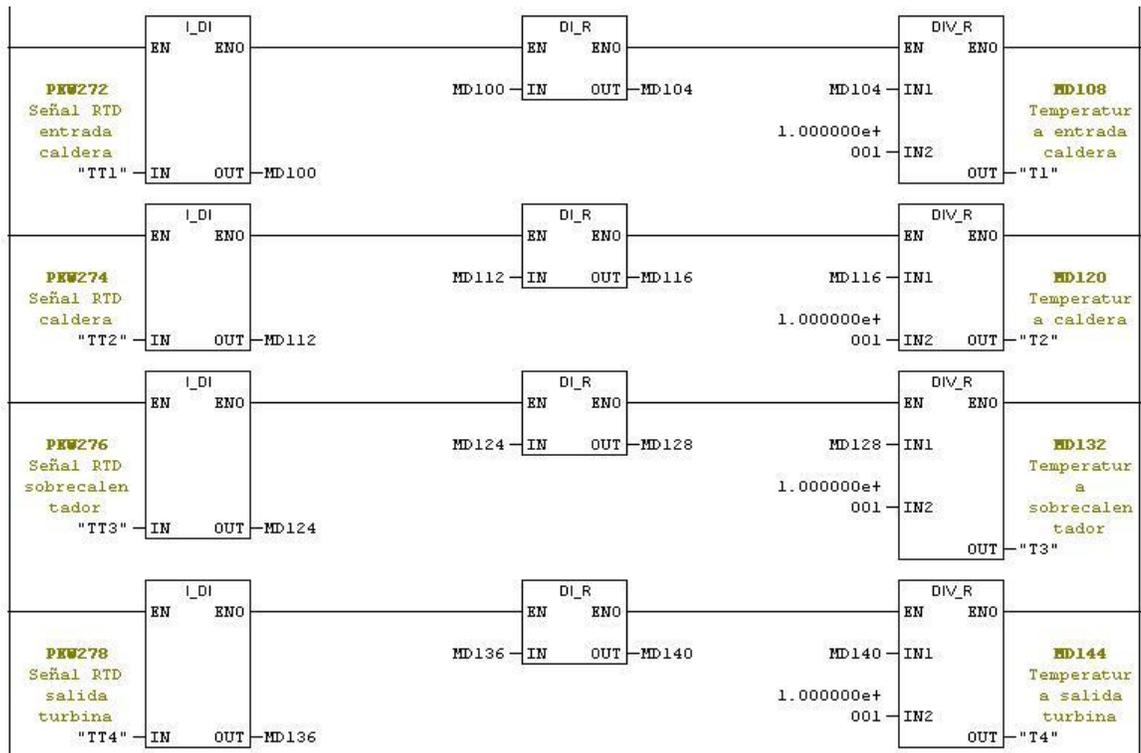
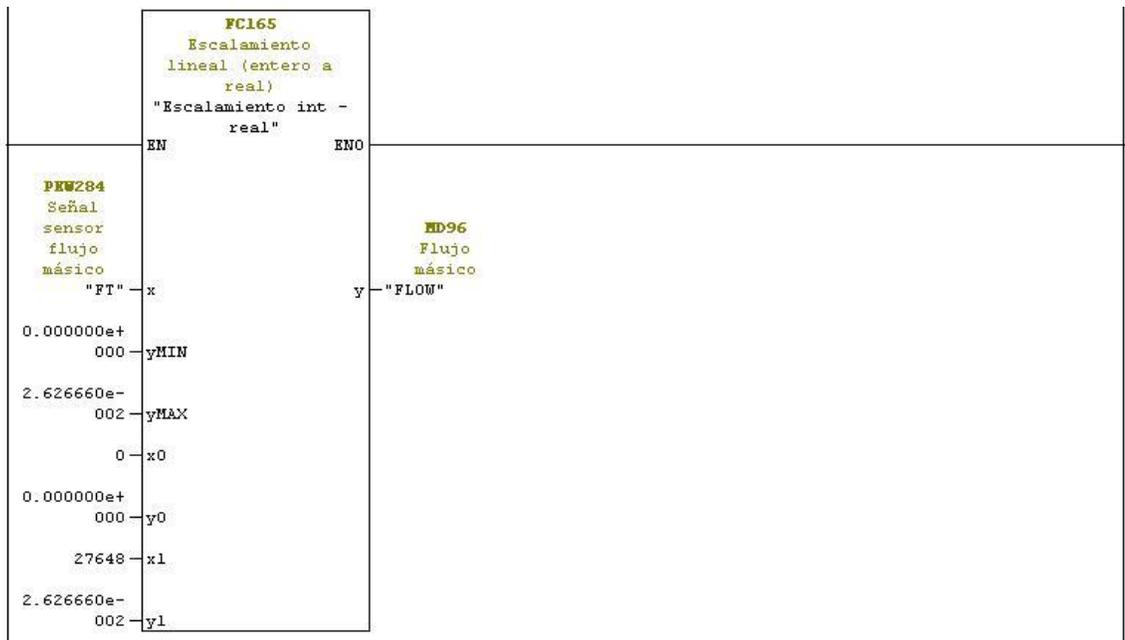
Comentario:

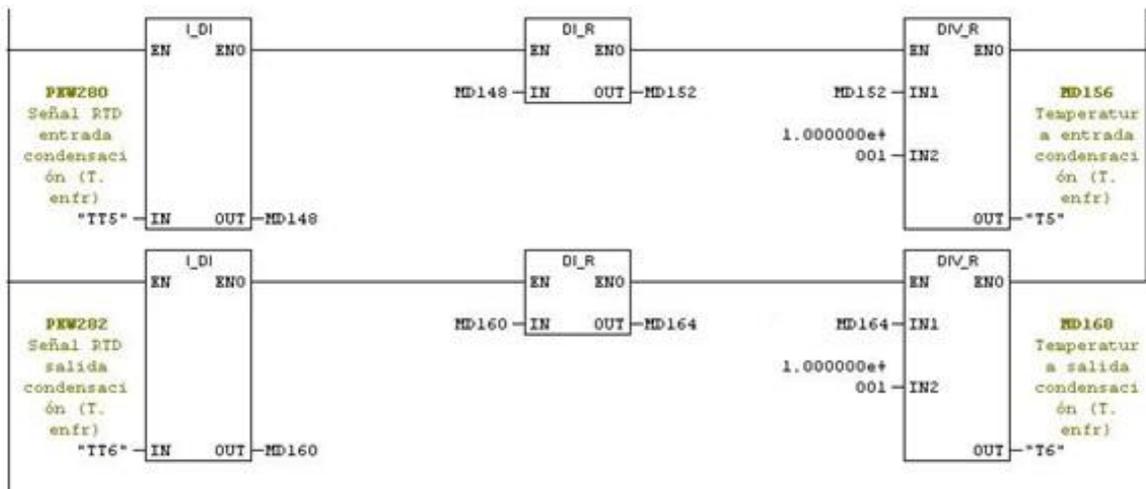
Segm. 1: Lectura y escalamiento de variables

Comentario:



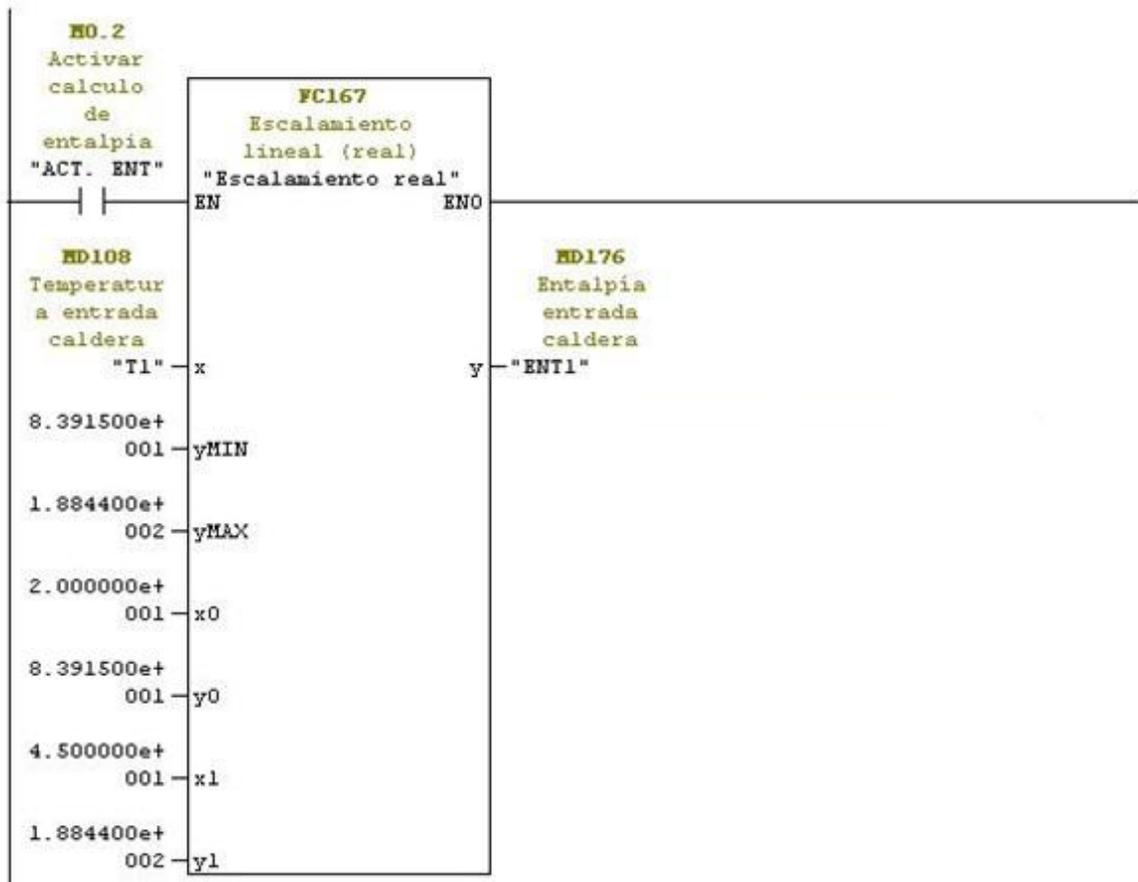


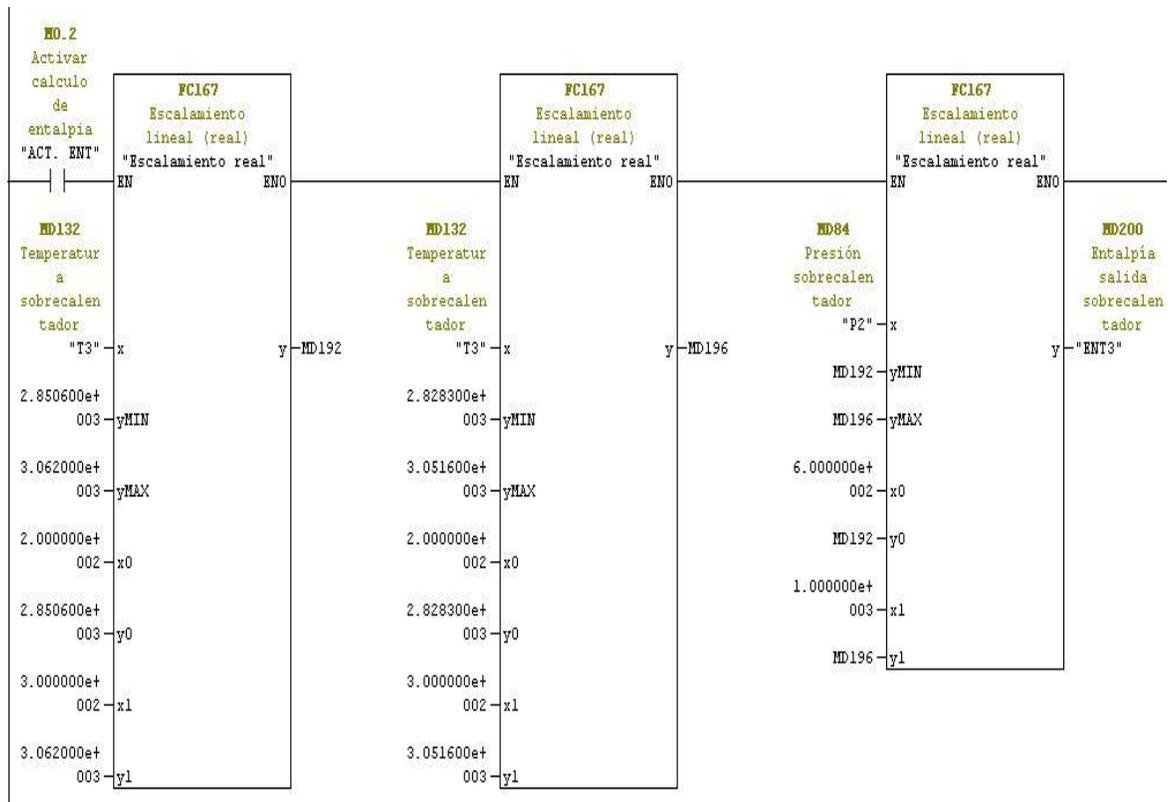
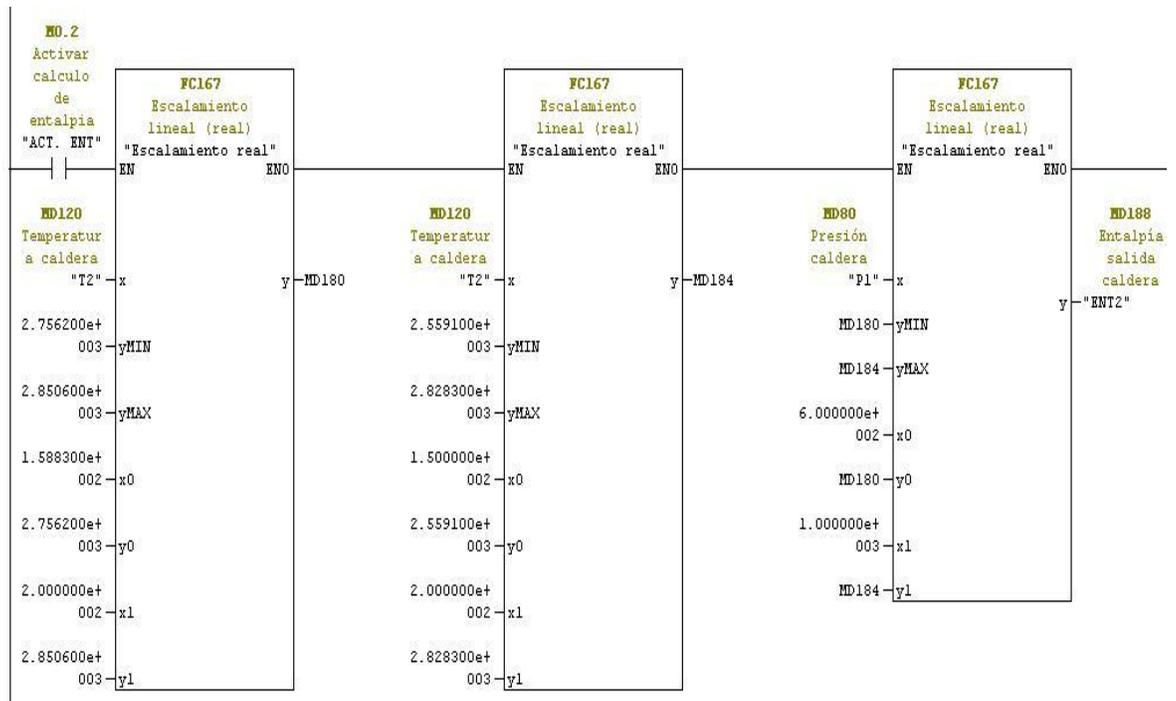


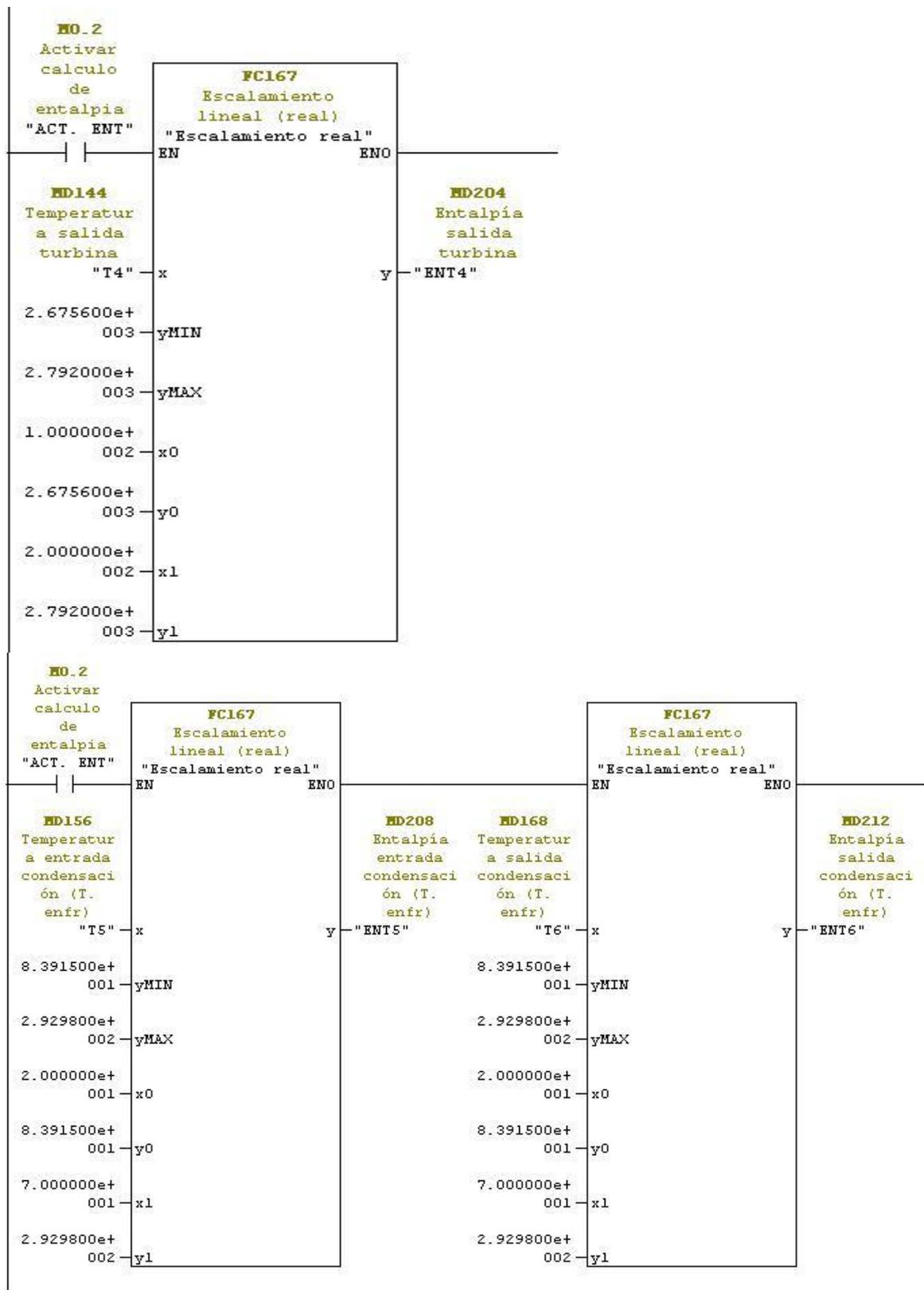


Segm. 2 : Calculo entalpia

Comentario:

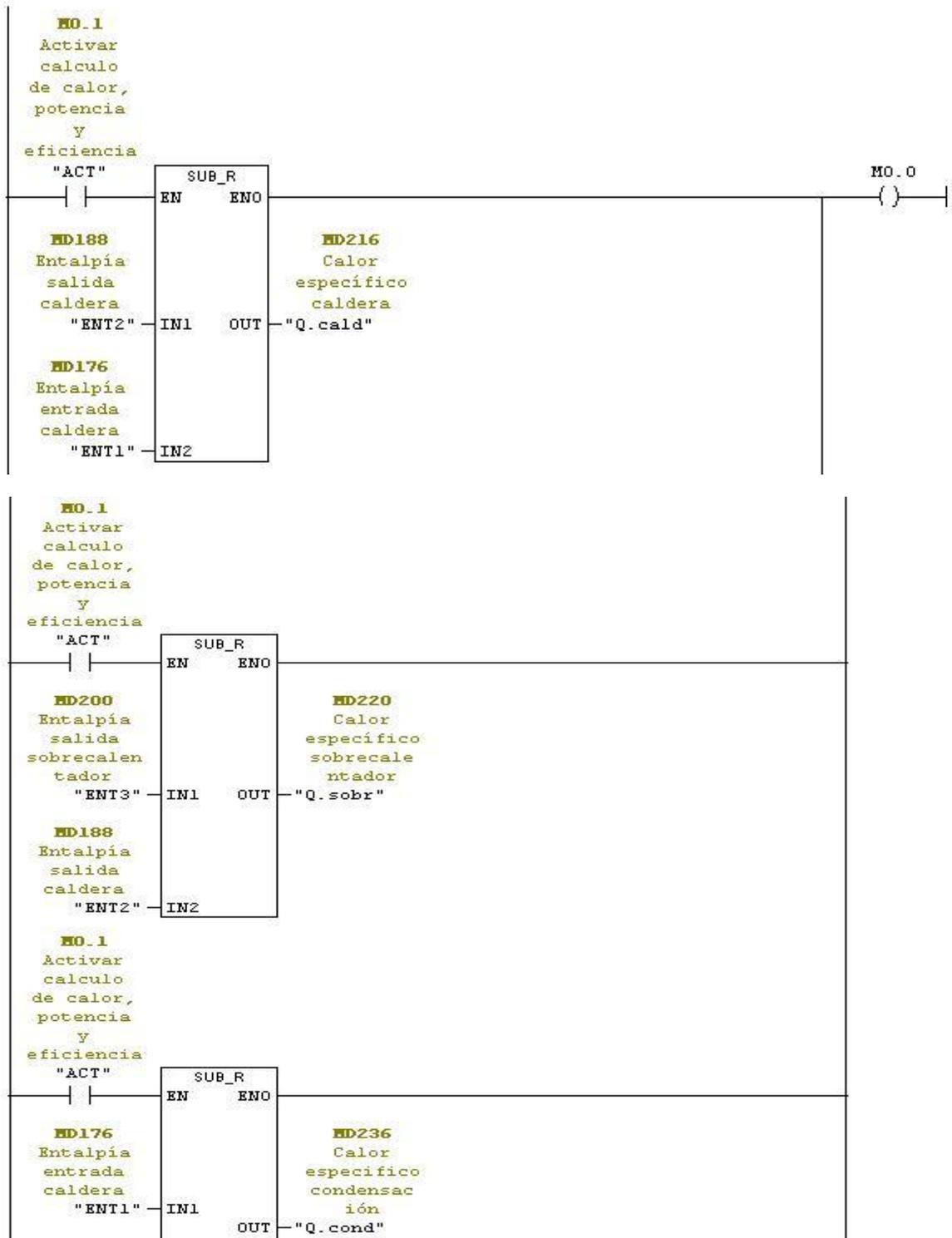


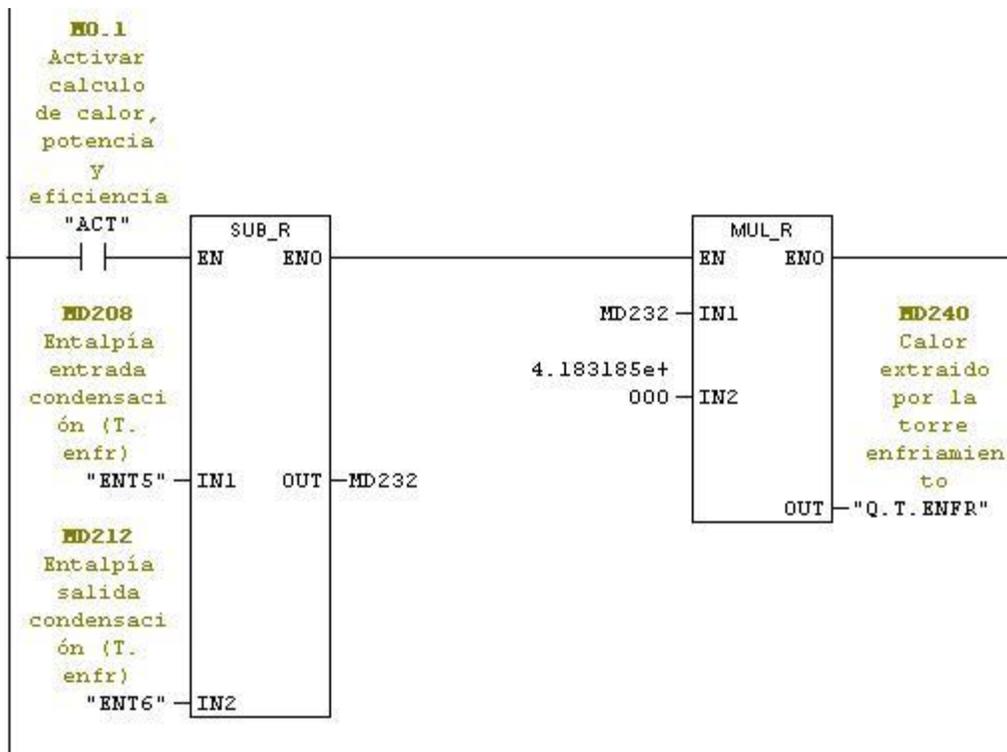
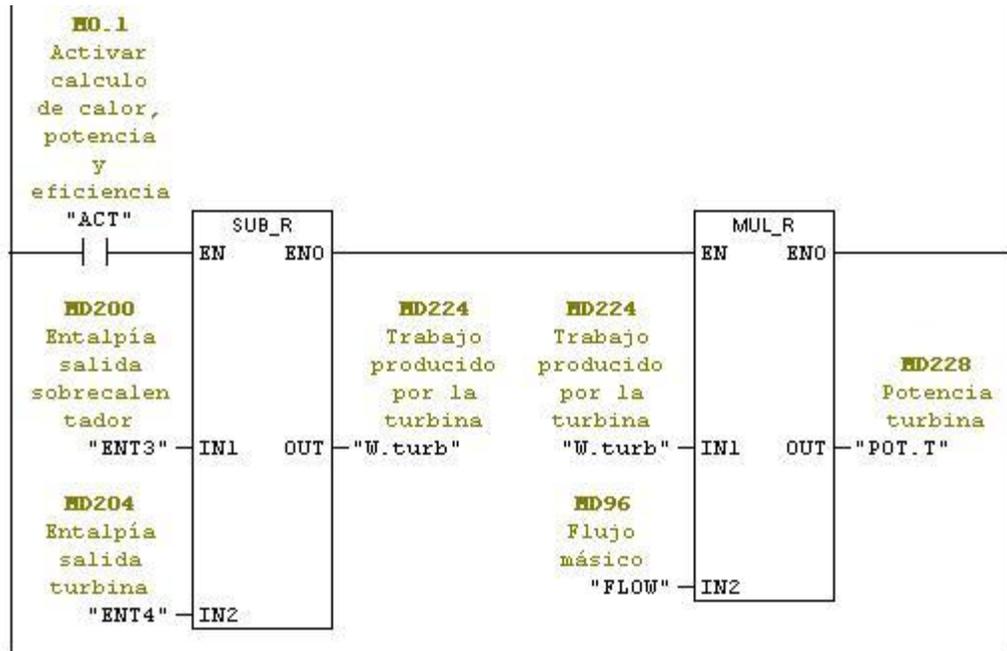




Segm. 3 : Calculo de calor y trabajo

Comentario:





Segm. 4 : Calculo de eficiencia térmica

Comentario:

