

**AUTOMATIZACIÓN DEL CONDENSADOR DIDÁCTICO UBICADO EN EL
LABORATORIO DE TRASFERENCIA DE CALOR.**

DIEGO ARMANDO BALAGUERA PADILLA



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
DECANATURA DE INGENIERÍAS Y ADMINISTRACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2012

**AUTOMATIZACIÓN DEL CONDENSADOR DIDÁCTICO UBICADO EN EL
LABORATORIO DE TRASFERENCIA DE CALOR.**

DIEGO ARMANDO BALAGUERA PADILLA

**Proyecto de grado para optar por el título de
Ingeniero Mecánico**

Director: Javier Mauricio Castellanos Olarte

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
DECANATURA DE INGENIERÍAS Y ADMINISTRACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2012

PAGINA DE ACEPTACIÓN

Firma del Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Bucaramanga, 31 de Enero de 2012

DEDICATORIA

El principal agradecimiento es para Dios que con su ayuda me permitió culminar sobreponiéndome a algunos tropiezos mi carrera de ingeniería. Así mismo para mí Padre quien siempre me ha dado ejemplo de responsabilidad y gracias a su paciencia siempre me apoya a pesar de mis errores que no son pocos. Por supuesto a mi Madre, por creer siempre en mí, muchas veces haciéndolo más de lo que yo lo hacía.

DIEGO ARMANDO BALAGUERA PADILLA

AGRADECIMIENTOS

Al ingeniero Javier Mauricio Castellanos, Director del trabajo de grado, así como al ingeniero Edwin Córdoba Tuta y al Ingeniero Rene Carreño por su indispensable asesoría prestada, y a todos los profesores de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad, por compartir su experiencia durante la realización del proyecto.

A la Corporación CDT del Gas, que por medio de Edinson Rueda facilitó el equipo de calibración para los sensores de temperatura.

GLOSARIO

CONDENSADOR: es un enfriador cuyo propósito principal es eliminar calor latente en lugar de calor sensible.

CALOR SENSIBLE: aquel que recibe un elemento y hace que aumente su temperatura sin modificar su estado. En el fenómeno de condensación es la diferencia de temperatura entre el aire y el alcohol Isopropilico.

CALOR LATENTE: cambio de estado físico del Alcohol Isopropilico a vapor.

TEMPERATURA: Es una magnitud escalar que representa la cantidad de energía interna en un sistema definido.

AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL: se trata del uso de sistemas computarizados y electromecánicos para controlar maquinarias y/o procesos industriales sustituyendo total o parcialmente la mano de obra.

SENSOR: Es un dispositivo capaz de detectar magnitudes llamadas variables físicas, y transformarlas en señales eléctricas.

SISTEMA SCADA: Software para supervisión, control y adquisición de datos a distancia una instalación de cualquier tipo.

PC ACCES: Software que actúa de medio de comunicación e interacción entre dos plataformas no compatibles.

MICROWIN: Es un paquete de software para la programación de PLC siemens, que se ajusta a la norma IEC 1131-3 de programación.

CONTROL PID: Estrategia de control de lazo cerrado que calcula la desviación o error entre un valor medido y el valor que se quiere obtener, para aplicar una acción correctora proporcional, integral y derivativa que ajuste el proceso.

LAZO CERRADO: Es una estrategia de control con retroalimentación, es decir, un sistema que tiende a mantener una relación preestablecida entre la salida y una entrada de referencia, comparándolas y utilizando la diferencia como medio de control.

CONTENIDO

1. OBJETIVOS	2
1.1 OBJETIVO GENERAL	2
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	2
2. MARCO TEORICO	3
2.1 CONDENSACION – EVAPORACION	3
2.2 CURVA DE EBULLICION	4
2.3 CONDENSACION DE PELICULA LAMINAR	5
2.4 BANCO DE CONDENSACION	8
2.4.1 Fluido de trabajo – Alcohol Isopropilico	9
2.4.2 Sensores Instalados	9
2.4.2.1 Sensor de Temperatura	9
2.4.2.2 Sensor de Flujo	9
2.4.2.3 Sensor de Presión	10
2.4.3 Actuador	10
2.4.4 Diagrama de proceso e instrumentación	10
2.5 SISTEMA SCADA	13
2.5.1 Fuente de Poder	13
2.5.2 Protección eléctrica	13
2.5.2.1 Elementos de protección eléctrica	13
2.5.3 Acondicionamiento de señales	14
2.5.3.1 Elementos de tratamiento de señales	14

2.5.4 Controlador lógico programable	14
2.5.5 Módulos de ampliación análogos	16
2.5.6 Modulo Ethernet	16
2.6 AUTOMATIZACION	17
2.6.1 STEP 7 – Microwin V4.0	17
2.6.2 Lenguaje de programación KOP	17
2.6.3 Lazo de control PID	18
2.7 ESTADO DEL ARTE	19
3 CALIBRACION DE SENSORES	20
3.1 RTD PT 100	20
3.2 SENSOR DE FLUJO	25
3.2.1 Curva válvula de compuerta	26
3.3 SENSOR DE PRESION	27
4 AUTOMATIZACION	30
4.1 AUTOSINTONIA DEL PID	30
4.2 HMI	32
5. GUIA DE LABORATORIO PROPUESTA	33
5.1 PRACTICA DE CONDENSACION	34
6. PRUEBAS Y RESULTADOS	36
7. CONCLUSIONES	45
8. RECOMENDACIONES	47
9. BIBLIOGRAFIA	48
ANEXO A	51

ANEXO B	55
ANEXO C	59
ANEXO D	65

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Curva Típica de Ebullición	5
Figura 2. Relación resistencia vs temperatura en el platino	9
Figura 3. Diagrama P & ID Condensador	11
Figura 4. Distribución general del gabinete de control	14
Figura 5. Lazo de control cerrado PID	17
Figura 6. Banco seco de calibración de RTD's	19
Figura 7. Diagrama Q vs # giros válvula de compuerta	27
Figura 8. Barómetro usado en la calibración del Presostato	29
Figura 9. Panel de control de sintonía PID	31
Figura 10. HMI	32
Figura 11. Balance de Energía Banco de Condensación	41
Figura 12. curva de temperatura control PID (alcohol isopropilico liquido)	44

RESUMEN GENERAL DEL TRABAJO DE GRADO

TITULO: Automatización del condensador didáctico ubicado en laboratorio de transferencia de calor.

AUTOR: Diego Armando Balaguera Padilla

FACULTAD: Ingeniería Mecánica

DIRECTOR: Msc. Javier Mauricio Castellanos

RESUMEN

Este documento contiene el proyecto para la automatización del condensador didáctico ubicado en el laboratorio de transferencia de calor de la Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga. Proceso que consiste en verificar el correcto funcionamiento de los instrumentos de medición, y el diseño la estrategia de supervisión y control del proceso, que se realizará mediante la programación de un PLC con las normas y parámetros para la operación desde la red local de la universidad.

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: Automatización del condensador didáctico ubicado en laboratorio de transferencia de calor.

AUTHOR: Diego Armando Balaguera Padilla

FACULTY: Mechanical Engineering

DIRECTOR: Javier Mauricio Castellanos

SUMMARY:

In this diploma work it will be developed and implemented a strategy focused on the supervision and control of the variables involved in the process of the didactic condensator, located in the heat transfer laboratory of the UPB. In order to do this, the right operation of the bench components will be verified and a PLC will be programmed, this device will operate within the university intranet.

INTRODUCCIÓN

Los procesos industriales, casi por norma se configuran en procesos repetitivos, en los que una vez implementadas ciertas tareas, el mayor problema radica en el mantener una disponibilidad de datos del proceso y control continuo sobre estos. Para resolver esta situación, desde décadas atrás se han venido desarrollando dispositivos electrónicos con sus respectivas instrumentaciones complementarias, capaces de efectuar estas actividades. Sistemas que han cumplido con los objetivos de ejercer una gestión permanente sobre dichos procesos, y a los cuales denominamos como automatización industrial. Las ventajas que trae consigo no son pocas. Indicadores como la eficiencia y la seguridad industrial, se ven positivamente afectados. Es así, que con el fin de capitalizar estos beneficios, se implementan estas tecnologías.

En este documento se presenta, el proceso de automatización del condensador didáctico ubicado en el laboratorio de transferencia de calor de la Universidad Pontificia Bolivariana, detallando todo el procedimiento seguido. La calibración de los instrumentos que lo componen, con lo que los datos obtenidos del proceso se hacen fiables, y la elaboración del sistema de supervisión y control, por medio del cual el operador va a interactuar con el proceso y podrá manipularlo, el cual será ejecutado por un PLC. Con lo que se amplía el alcance del banco didáctico desde la línea térmica, hasta la línea de automatización de procesos. Esta tarea de automatización lograra en el equipo un aumento de la seguridad durante su funcionamiento, un aspecto muy relevante teniendo en cuenta su aplicación académica.

1 OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Automatizar el condensador didáctico del laboratorio de Transferencia de calor de la Universidad Pontificia Bolivariana, con miras a la realización de prácticas de laboratorio, a través de la programación de un PLC.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Realizar la puesta a punto de los instrumentos de medición del banco de condensación, a través de la calibración de los mismos. **Resultado:** obtener mediciones aproximadas a las teóricas. **Indicador:** se seguirán protocolos disponibles en material bibliográfico acerca de la calibración de los instrumentos.

Controlar la temperatura del condensador, implementando un sistema de control PID. **Resultado:** Diagrama del comportamiento de la temperatura. **Indicador:** Temperatura del condensador ajustada a la seleccionada por el usuario, con un error del 5%.

Programar el PLC a través del programa STEP 7-Micro/WIN, usando los lenguajes de programación KOP y diagramas de bloques. **Resultado:** Código fuente del programa. **Indicador:** El programas se elaborará bajo la norma IEC 1131-3.

Desarrollar una práctica para el laboratorio de la asignatura transferencia de calor, ajustándolo al contenido de la asignatura. **Resultado:** guía de laboratorio para la asignatura transferencia de calor. **Indicador:** se seguirán las normas disponibles para la elaboración de guías de prácticas de laboratorio.

2 MARCO TEÓRICO

2.1. CONDENSACION - EVAPORACION

Al aumentar la temperatura de un líquido isobáricamente, hasta su temperatura de saturación, se presenta el fenómeno de la evaporación. Igualmente al disminuir la temperatura de un vapor hasta su temperatura de saturación obtenemos el proceso inverso conocido como condensación. En equipo industrial, este proceso normalmente resulta del contacto entre el vapor y una superficie fría. [1] En ambos fenómenos se considera un proceso convectivo la forma como se transfiere el calor, pues se relaciona con los movimientos del fluido, el ascenso de las burbujas en la evaporación y el descenso del flujo condensado en la condensación. Sin embargo a diferencia de otros procesos convectivos, estos dos dependen del calor latente de vaporización h_{fg} del fluido, y de la tensión superficial σ en la interfase líquido – vapor, así como de las propiedades del fluido tanto en ambas fases.

Ya que en las condiciones de equilibrio la temperatura permanece constante durante un proceso de cambio de fase isobárico, se transfieren grandes cantidades de calor aprovechando el calor latente de vaporización liberado durante la ebullición o si es el caso absorbido durante la condensación, ambos a temperatura constante. Aunque en la realidad debe existir una diferencia finita

entre la temperatura superficial y la temperatura de saturación para permitir que se establezca una transferencia de calor.

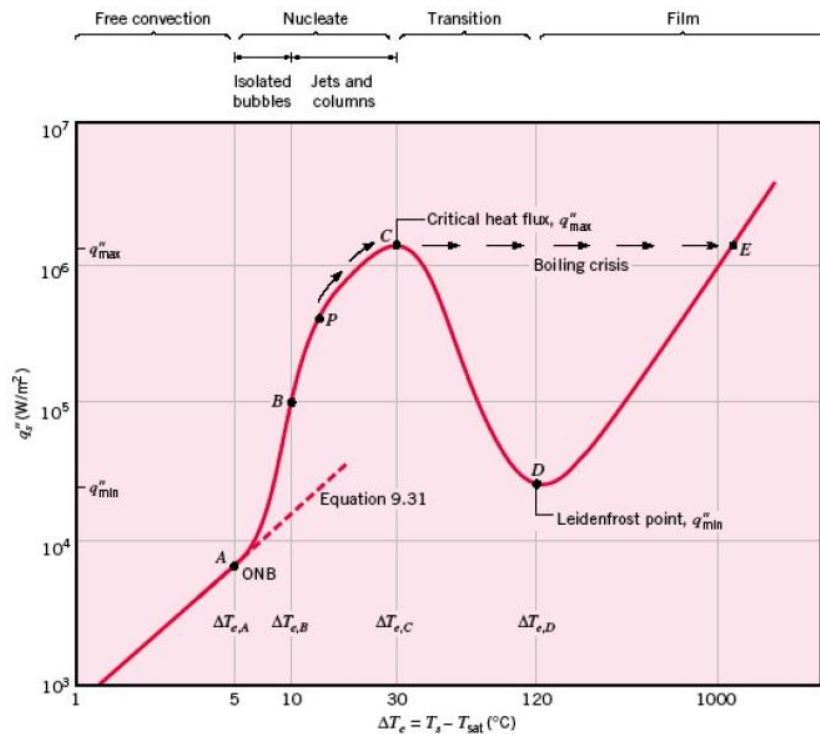
La ebullición se da en la interfase sólido – líquido, cuando un líquido se pone en contacto con una superficie mantenida a una temperatura T_s suficientemente por arriba de la de saturación T_{sat} de ese líquido. El tipo de ebullición que ocurre en el banco se denomina en estanque debido a que el fluido se encuentra en reposo y cualquier movimiento en él se debe a corrientes de convección natural y al movimiento de las burbujas bajo el fenómeno de flotación. [2]

2.2 CURVA DE EBULLICION.

El flujo de calor en una resistencia eléctrica, se obtiene a partir de los datos de corriente y tensión de alimentación, así mismo, su temperatura se determina conociendo la variación de su resistencia eléctrica. Para la curva de Ebullición, a la temperatura de la resistencia se le denomina T_s , en consecuencia $\Delta T_e = T_s - T_{sat}$ sería la variable dependiente. A su vez, la potencia está relacionada con el flujo de calor q_s'' que sería la variable independiente. Como se muestra en la FIGURA 1.

Al revisar la ecuación de flujo de calor $q_s'' = h(T_s - T_{sat}) = h\Delta T_e$, se observa que q_s'' está en función del coeficiente de convección h y de ΔT_e . Así durante las diferentes etapas de ebullición evidenciadas el valor de q_s'' es afectado directamente por el valor de h a medida que ΔT_e aumenta. La caída en el valor de h se debe a que la conductividad térmica al cambiar de fase de líquido a vapor disminuye. Posteriormente al aumentar ΔT_e el aporte de la radiación se va haciendo significativo lo que aumenta de nuevo el coeficiente global de transferencia de calor.

Figura 1. Curva Típica de Ebullición.



Fuente: Termodinamica, Van Wylen. 6ed.

Para flujo turbulento h varía como $\Delta T_e^{1/3}$ con lo que q''_s varía como $\Delta T_e^{4/3}$.

$$q''_s = \Delta T_e^{4/3} \quad [\text{Ec.2.1}]$$

2.3 CONDENSACION DE PELICULA.

El condensado se configura como una resistencia a la transferencia de calor entre el vapor y la superficie, la cual se incrementa con el espesor del condensado. Por esto buscando mantener altas velocidades de transferencia de calor se hace deseable las superficies verticales cortas, o como en el caso del banco de condensación, disponer cilindros horizontales a través de los que un

refrigerante líquido fluya, y alrededor de los que se encuentre el vapor a condensar.

A pesar de ser la condensación de gotas el escenario deseado en estos sistemas, buscando precisamente aumentar la tasa de flujo de calor, su diseño se concibe adoptando como condición crítica la condensación de película.

Aunque es alta la complejidad de la formulación disponible para condensación de película, se parte de las suposiciones a partir de un análisis de Nusselt.

1. Flujo laminar y propiedades constantes para la película líquida.
2. Vapor puro de gas y a temperatura uniforme = T_{sat} evitando así la transferencia de calor por conducción.
3. Esfuerzo cortante insignificante en la interfaz líquido vapor, eliminando así la influencia de las capas límite de velocidad o térmicas.
4. Transferencia de momento y energía por advección insignificantes. Sustentado en las bajas velocidades asociadas con la película.

Del desarrollo de la ecuación del momento se obtienen las formulaciones para el coeficiente de convección local, promedio y del número de Nusselt:

$$\bar{h}_L = 0,729 \left[\frac{g \rho_l (\rho_l - \rho_v) k_l^3 h'_{fg}}{N \mu_l (T_{sat} - T_s) D} \right]^{1/4} \quad [2,2]$$

g = gravedad

ρ_l = densidad del alcohol Isopropílico en estado líquido

ρ_v = densidad del alcohol Isopropilico en estado vapor

k_l = conductividad del alcohol Isopropilico

$h'_{fg} = h_{fg} + 0,68 \cdot c_{p,l} \cdot (T_{sat} - T_s)$ = calor latente de vaporización

μ_l = viscosidad dinámica alcohol Isopropilico

T_{sat} = temperatura de saturación

T_s = temperatura superficial

Todas las propiedades del alcohol se deben evaluar a la temperatura de película

$$T_f = (T_{sat} + T_s) / 2 \quad [2.3]$$

h_{fg} se debe evaluar a T_{sat}

La transferencia total de calor a la superficie se obtiene mediante la ley de enfriamiento de Newton:

$$q = \bar{h}_L A (T_{sat} - T_s) \quad [2,4]$$

La velocidad total de condensación se determina de la relación

$$\dot{m} = \frac{q}{h'_{fg}} = \frac{\bar{h}_L A (T_{sat} - T_s)}{h'_{fg}} \quad [2,5]$$

2.4 BANCO DE CONDENSACION

El banco de condensación fue concebido para la realización de experiencias académicas relacionadas con la transferencia de calor que se evidencia en la condensación y ebullición de un líquido, procesos estos de gran aplicación en la

industria. Cuenta con sensores para la medición de las variables físicas involucradas, con las cuales se obtienen los datos necesarios para hacer los respectivos cálculos de la cantidad de calor que se transfiere durante la experiencia en la práctica de laboratorio. Además posee la infraestructura necesaria para la implementación de un sistema de supervisión y control a través de la programación de un PLC.

El condensador cuenta con un serpentín por dentro del cual circula el agua de intercambio y una resistencia eléctrica de calefacción ambos ubicados al interior de la cámara de condensación y en posiciones opuestas dentro del mismo. Esta cámara es formada por un recipiente cilíndrico de vidrio y con superficies metálicas en ambos extremos, esto con el fin de confinar el proceso y a la vez hacerlo visible al usuario, debido a la naturaleza didáctica del banco.

El fluido de trabajo se logra evaporar tras calentarlo con la resistencia eléctrica, y posteriormente confinarlo dentro de un recipiente cilíndrico, dentro del cual está el serpentín por el cual circula agua a una temperatura menor. Es entonces cuando el vapor al entrar en contacto con esta superficie que está a una temperatura menor, se enfría por calor sensible (diferencia de temperatura entre el vapor y el agua de intercambio que circula por el serpentín). Hasta que libera su energía latente (por el cambio del estado físico), transfiriendo así el calor a la superficie (la del serpentín), dando finalmente lugar a la condensación. Cabe aclarar que aunque el proceso es evaporativo, no existe una pérdida de fluido de trabajo considerable, debido a que el recipiente es cerrado.

2.4.1 FLUIDO DE TRABAJO - ALCOHOL ISOPROPILICO.

Su nombre químico es isopropanol, de fórmula química $\text{CH}_3\text{CHOHCH}_3$, se le conoce también como 2-propanol o Iso propanol. Usado en productos farmacéuticos, perfumes, glicerina, revestimientos entre otras aplicaciones

industriales. Es un líquido claro, incoloro, móvil, transparente como el agua, extremadamente volátil, con olor fuerte y característico del alcohol. [3]

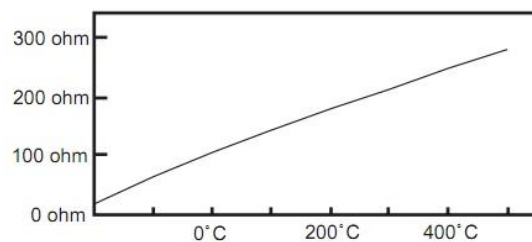
Es el líquido para el cual ha sido concebida la operación del banco de condensación, debido a su baja temperatura de ebullición (83°C) y su densidad específica (2,07), propiedades que van en beneficio de la seguridad al evitar que se eleve demasiado la temperatura y a su vez la presión dentro de la cámara de condensación, sus propiedades físicas y químicas se pueden consultar en el ANEXO 2.

2.4.2 SENSORES Y ACTUADOR INSTALADOS

2.4.2.1 SENSOR DE TEMPERATURA:

- **RTD:** Las instaladas son PT 100, sondas de resistencia de platino de 100 Ω a 0 °C de 3 hilos. En la FIGURA 2 se muestra la curva de variación de la resistencia eléctrica del platino con la temperatura.

Figura 2: relación resistencia vs temperatura en el platino



Fuente: www.arian.cl

- **TRANSMISOR DE TEMPERATURA:** es un circuito digital de medida de resistencia que convierte la señal de resistencia de la RTD a una señal industrial análoga de 4 – 20 mA DC. [4] las instaladas son de la referencia Inor IPAQ C201. Para un rango de Temperatura de operación de -40°C a 85°C, la cual se ajusta al entorno del banco.

2.4.2.2 SENSOR DE FLUJO:

Envía la información del caudal que circula por la tubería al sistema de supervisión, siendo adaptable en un rango entre 0.1 m/s a 6 m/s. A través de un procesador lee los pulsos medidos por el rotor y los registra en el programa.

+GF+SIGNET 2536 Rotor-X. Para flujos de 0.3 a 6 m³/s, diámetros de 0,5 a 36 in..

2.4.2.3 SENSOR DE PRESION:

Produce una señal de salida de 0 a 5 V, para un rango de funcionamiento de 0 – 100 Kpa de presión absoluta. Marca Autonics referencia PSA series, que corresponde a un sensor digital de presión.

Las características completas de cada sensor están disponibles en el ANEXO 3.

2.4.3 ACTUADOR

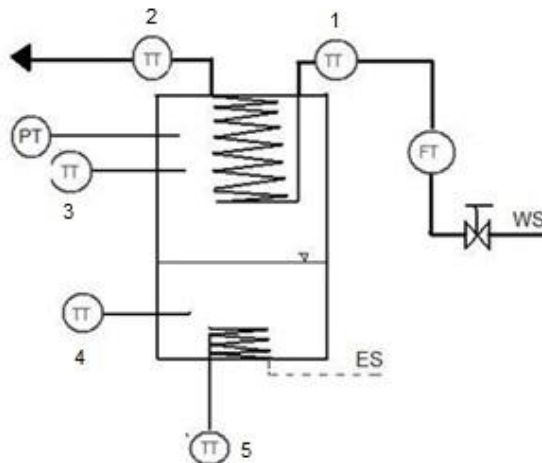
Es el elemento encargado de Mantener las variables físicas dentro de los parámetros previamente definidos. Para el banco de condensación la Resistencia de calentamiento cumple este fin, disipa energía en forma de calor para calentar el medio que lo rodea, que para el banco sería el fluido de trabajo.

Entre sus características conocemos su potencia de 530 Watts, opera a 220 V AC, y su resistencia interna equivale a 91.4 Ω.

2.4.4 DIAGRAMA DE PROCESO E INSTRUMENTACION

Son una representación secuencial de los elementos y procesos involucrados en un sistema instalado, donde la proporción en la distribución no es relevante, ya que su fin es permitir un entendimiento integrado de los procesos y del sistema de control.[5] El flujo del proceso, la interconexión, los instrumentos de medición y los actuadores, se representan mediante símbolos e iconos simples estipulados por las normas ISA S5.1 - S5.3 [6], así por ejemplo para las conexiones entre instrumentos se utilizan líneas de trazo discontinuo o líneas de trazo continuo con marcas. ISA-5.1-1984 (R1992) contiene los Símbolos de instrumentación e identificación, ISA-5.2-1976 (R1992) los Diagramas binarios lógicos para operación de procesos, e ISA-5.3-1983, los símbolos gráficos para control distribuido [6]. En la FIGURA 3 se muestra el diagrama P&ID del banco de condensación.

Figura 3: Diagrama P & ID Condensador



Fuente: Autor del proyecto

TT: sensor de temperatura.

FT: sensor de flujo.

FT: sensor de flujo.

PT: sensor de presión.

ES: alimentación eléctrica

WS: agua de alimentación

2.5 SISTEMA SCADA

"Supervisory Control And Data Acquisition" (Control de Supervisión y Adquisición de Datos) se denomina así a la plataforma sobre la que se implementara el programa de control. Se conoce así al sistema que se compone de un ordenador que efectúa tareas de supervisión, o de tratamiento de datos y control de procesos, que realiza la comunicación mediante buses especiales o redes LAN. Los programas necesarios, y el hardware adicional que se necesite, también reciben en general este nombre. [7] Su capacidad de supervisión y control está determinada por la capacidad instalada de estos últimos. La distribución de los elementos instalados dentro del gabinete de control se muestra en la FIGURA 4.

2.5.1 FUENTE DE PODER

Alimenta los transmisores de los sensores, y el PLC con sus ampliaciones y módulos instalados.

Tensión de entrada: 220 VAC

Salida de 5 A y 24 VDC

2.5.2 PROTECCION ELECTRICA

Cumple la función de conexión y desconexión de la alimentación eléctrica, y a su vez provee protección contra sobrecargas

2.5.2.1 ELEMENTOS INSTALADOS DE PROTECCION ELECTRICA

TACO TERMOMAGNETICO: Ofrece protección contra sobrecargas y cortocircuitos a la línea de alimentación del elemento de control y a las 2 fases de alimentación de la fuente

CONTACTOR TRIPOLAR: por medio de la alimentación a una bobina a 220 VAC se alimenta o no, los indicadores ubicados en el banco a 220VAC y el sensor de presión.

2.5.3 ACONDICIONAMIENTO DE SEÑALES

El PLC S7 – 200 acciona el elemento final de control alimentado a 220 VAC mediante una señal de + 24 VDC, elemento que para el banco de condensador lo representa la resistencia de calentamiento. Esta señal de control luego de ser emitida por el PLC es acondicionada por medio de relés, Igualmente están instalados relés electromagnéticos y un relé de estado sólido. Elementos que permiten mantener aislada la señal de control de la alimentación de potencia de la resistencia de calentamiento, y la manipulación de esta última con una señal de control de solo algunos voltios.

2.5.3.1 ELEMENTOS INSTALADOS DE TRATAMIENTO DE SEÑALES

RELÉ ELECTROMAGNETICO:

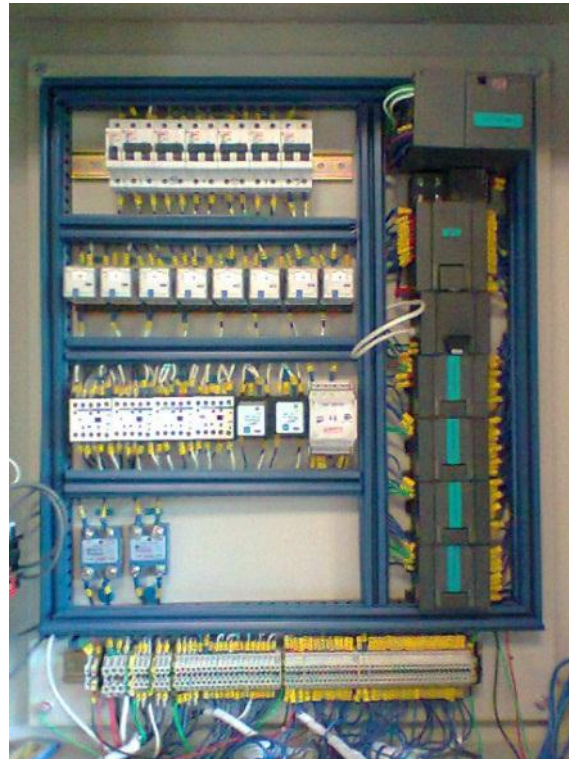
mediante la atracción entre una cobertura de hierro y una bobina por la que circula una corriente, activa un sistema de contactos eléctricos. Permitiendo así

que con el suministro de pequeños voltajes y corrientes a la bobina, se controle un circuito de alto voltaje y corriente. [8]

RELÉ DE ESTADO SOLIDO:

aísla galvánicamente mediante acopladores ópticos el circuito de control y el de potencia. El circuito de control con voltaje continuo se compone de un LED en serie con una resistencia, y el de potencia se configura de acuerdo al tipo de señal que se trabaje para la carga. [9] Cumplen la misma función que el relé electromagnético pero con la ventaja de no ser activados mecánicamente.

Figura 4: Distribución general del gabinete de control.



Fuente: Autor del proyecto

2.5.4 CONTROLADOR LOGICO PROGRAMABLE

Se cuenta con un PLC SIMATIC S7 – 200 CPU 224 XP, el cual incorpora una CPU, una memoria interna, entradas y salidas digitales y análogas. Se alimenta a través de la fuente de 24 VDC, con la que se abastece a la unidad central, a los módulos de ampliación y a la instrumentación.

Su función consiste en correr el programa cargado y almacenar los datos del proceso, a través de las entradas se supervisa los datos de los sensores y la salida controla la resistencia de calentamiento.

Cuenta con 14 entradas digitales a 24 VDC, 10 salidas digitales a 24 VDC, 2 entradas análogas, 1 salida análoga, 2 puertos de comunicación RS – 485 y una fuente de alimentación para instrumentación.

2.5.5 MODULOS DE AMPLIACION ANALOGOS

El EM 231 cuenta con 4 entradas análogas y 1 salida análoga

Las señales de los sensores son enviadas en corriente 0 - 20 mA, y las entradas analógicas del módulo son en corriente continua de 4 – 20 mA, por lo tanto a través de interruptores DIP se configuran las entradas de 0 – 20 mA y en el programa instalado se realiza posteriormente el escalado. Una vez leídos los datos, estos son enviados a la CPU a través de una palabra (16 bits) en una disposición de 12 bits.

2.5.6 MODULO ETHERNET

CP 243 – 1, permite conectar a IE industrial Ethernet con el software STEP 7 MICROWIN y tiene la posibilidad de comunicarse con un servidor OPC, característica aprovechada para comunicar por medio del PC ACCES el PLC con el software Excel en proyectos de automatización. [10]

2.6 AUTOMATIZACIÓN

Los sistemas de automatización implementados en los procesos industriales permiten un control sobre las variables de proceso tales como la temperatura y la presión, como es el caso del banco de condensación, y de otras variables como humedad, viscosidad, flujo y muchas otras en la industria actual. De esta manera se toma los beneficios que trae consigo la implementación de una estrategia de automatización como lo es el aumento de la seguridad y el liberarse de operaciones manuales rutinarias y repetitivas en los procesos para aplicarla a un instrumento didáctico, campo en el que también se puede sacar provecho de estas bondades. [11]

La estrategia de control a implementar será la de un PLC que comande el funcionamiento del banco de condensación mediante un control de lazo cerrado, el cual tiene la ventaja de ser bastante preciso para igualar el valor real y el deseado. [12]

2.6.1 STEP 7 - MICROWIN V4.0

Software de programación que se maneja de forma análoga a las aplicaciones de Windows, y que cuenta con las aplicaciones necesarias para programar el PLC siemens S7 – 200 conforme a las norma IEC 1131 – 3.

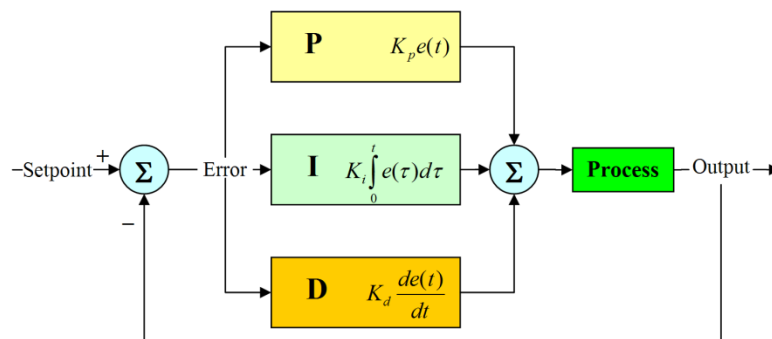
2.6.2 Lenguaje de programación KOP

En la programación de la tecnología SIMATIC de Siemens se usan 3 lenguajes: KOP, AWL y FUP. Sin embargo, el KOP se considera el de más amplio uso. Estos programas actúan como un circuito de corriente eléctrica, a través de condiciones lógicas de entrada que habilitan condiciones lógicas de salida. Esta lógica se divide en unidades pequeñas "networks". El programa se ejecuta network por network, de izquierda a derecha y luego de arriba abajo, y tras completar el recorrido programado, reinicia en el primer network.

2.6.3 SISTEMA DE CONTROL PID

PID (Proporcional, Integral y Derivativa). Es un lazo de control cerrado diseñado para eliminar la necesidad de supervisión continua de una operación, el cual tiene entre sus operaciones más comunes el control de temperaturas. Manteniéndolas en un valor seleccionado por el usuario a lo que se le conoce como valor de "set

Figura 5. Lazo de control cerrado PID



Fuente: Mecatronica. W. Bolton

point”, sin embargo la variable de proceso, en este caso la temperatura, puede tomar valores diferentes al Set Point. A la diferencia entre estos dos puntos se le conoce como el error, que es lo que el controlador trata de minimizar al ajustar las entradas del lazo de control. A la variable de salida ajustada se le conoce como "Variable de Control" y cambia en respuesta al cambio presentado en la medida de la variable de proceso. El organigrama del lazo se ilustra en la FIGURA 5.

La acción Proporcional determina el error leído. La acción Integral corrige proporcionalmente a la integral del error, por ultimo la acción Derivativa determina la reacción del tiempo en el que se produce el error.

STEP 7 – Microwin incorpora una función para auto ajustar estos parámetros a valores óptimos para la ganancia, el tiempo de acción integral y el tiempo de acción derivativa. Función que se basa en la retroalimentación por relé, que al generar una oscilación en un proceso estable, determina la frecuencia y la ganancia máximas del proceso, según el periodo de las oscilaciones y los cambios de amplitud de la variable de proceso. Con estos valores el auto sintonizador asigna los valores de la ganancia y de las acciones integral y derivativa.

2.7 ESTADO DEL ARTE

El control automático es actualmente parte indispensable de los procesos industriales y de manufactura, e incluye el control y la supervisión de variables como la presión, la temperatura, y el flujo en los procesos industriales. la actividad académica no es ajena a esta realidad y por medio de la automatización de los bancos didácticos de procesos industriales se han puesto a tono los equipos del laboratorio para abarcar esta importante rama de la ingeniería mecánica. El

alcance que se tiene sobre el control del proceso depende del grado o estrategia de automatización que se implemente, que puede ser desde un software asesor para el operador, pasando por un control por PC, hasta un PLC que comande el funcionamiento del condensador.[13] Esta ultima será nuestra estrategia a implementar en el proyecto, esto gracias a que el sistema fue diseñado con la posibilidad de expandirlo y adaptarle posteriormente otras interfaces y nuevos sistemas de supervisión y control.

3 CALIBRACION DE SENSORES

3.1 RTD PT 100

Para la calibración de estos elementos se utilizará una unidad patrón, se trata de un bloque seco calibrado, con el cual se confrontaran las medidas leídas por cada RTD. El procedimiento consiste en ajustar en el instrumento de calibración las temperaturas según el rango en el que van a funcionar, pues es en estas donde se necesita mejorar la exactitud de los datos obtenidos, entonces no se hace necesaria la calibración para zonas de temperatura donde no será la operación normal del instrumento.

Figura 6. Banco seco de calibración de RTD's



Fuente: Autor del proyecto

Tabla 1. Sensor temperatura agua entrada

TEMP PATRON	VALOR DECIMAL	TEMP INDICADOR [°C]
18	11037	18,8
	11036	18,7
	11021	18,5
19	11272	20
	11275	20,1
	11280	20,3
20	11524	21,3
	11528	21,4
	11532	21,1
21	11785	22,4
	11777	22,2
	11779	22,1

Valor Decimal / Temperatura Indicador

	Promedio	Varianza	Desv Estandar	Margen Error	% Error
18	11031,3	53,55	7,3181	4,801	5.54
19	11275,6	10,89	3,2998	2,165	2,5
20	11528	10,67	3,26	2,139	2,47
21	11780,3	11,56	3,399	2,23	2,576

18	18,7	3,5	0,1247	1,23	3,74
19	20,1	1,392	0,1367	2,45	5,47
20	21,3	1,9	1,4	3,29	6,1
21	22,2	2,275	1,108	2,27	5,4

En la tabla 1 se encuentran los valores obtenidos de las pruebas en el sensor de temperatura de agua de entrada, relacionando la temperatura patrón, con el valor decimal leído desde el PLC y la mostrada por el indicador ubicado en el tablero. La temperatura normal de operación será de 20 °C, se aprecia que existe una diferencia de 1,47 °C en promedio con respecto a la medida patrón, con lo que se estima los porcentajes de error en 5,54 % de las mediciones obtenidas y se ajusta en el código del programa.

Tabla 2. Sensor temperatura agua salida

TEMP PATRON	VALOR DECIMAL	TEMP INDICADOR [°C]
21	11821	22,1
	11817	22,2
	11819	22,4
22	12053	23
	12059	23,1
	12053	23,2
23	12307	23,4
	12296	23,5
	12304	23,5
24	12545	25,2
	12537	25
	12554	25,1

Valor Decimal / temperature indicador

	Promedio	Varianza	Desv Estandar	Margen Error	% Error
21	11819	2,66	1,633	1,071	1,238
22	12055	8	2,8284	1,856	2,144
23	12302,33	21,54	4,0208	2,638	3,047
24	12545,33	48,22	6,944	4,556	5,263

21	22,2	1,55	3,939	2,584	5,4
22	23,1	1,73	2,857	2,56	4,76
23	23,5	1,82	3,29	3,19	2,13
24	25,1	2,23	2,96	3,63	4,38

Esta serie de pruebas se realizaron en el sensor de agua de salida, para el rango de 22 °C como temperatura promedio a medir, se estima un error de 5,26% una diferencia de 1.22 °C, ubicándose en el mismo rango de las pruebas anteriores.

Tabla 3. Sensor temperatura fase liquida (T = 83 °C)

TEMP PATRON	VALOR DECIMAL	TEMP INDICADOR [°C]
83	24419	85
	24426	85
	24417	84,9

84	24742	86,2
	24751	86,3
	24752	86,4
85	25046	87,3
	25088	87,5
	25140	87,7

Valor Decimal / temperatura indicador

	Promedio	Varianza	Desv Estandar	Margen Error	% Error
83	24420,67	14,889	3,8586	2,531	4,89
84	24748,33	20,22	4,4969	2,95	3,41
85	25091,33	1478,21	3,8447	2,52	2,91

83	84,9	2,21	0,0467	3,06	2,24
84	86,3	3,5	0,0593	3,89	2,67
85	87,5	2,37	0,1538	1,32	2,85

Siendo esta la temperatura que estará controlada por el lazo de control PID implementado, se hicieron las pruebas alrededor de los 83 °C, arrojando un porcentaje de error de 4,89 %, el cual combinado al margen de error del control PID el cual por configuración de la aplicación PID de microwin se encuentra por debajo del 5%, permite mantener el porcentaje de error en los rangos esperados.

Tabla 4. Sensor temperatura fase vapor

TEMP PATRON	VALOR DECIMAL	TEMP INDICADOR [°C]
70	24008	71
	24015	71,1
	24030	71,3
74	25039	75,1
	25040	75,2
	25041	75,3
78	26040	79,4
	26047	79,5
	26048	79,5
80	26549	82
	26552	82,2
	26550	82,4

Valor Decimal / temperature indicador

	Promedio	Varianza	Desv Estandar	Margen Error	% Error
70	24017,67	84,219	9,1773	6,02	6,956
74	25040	0,6667	0,8165	0,536	0,061
78	26045	12,66	3,559	2,335	2,697
80	26550,33	1,5293	1,2472	0,818	0,945

70	71,1	5,68	1,828	2,54	1,54
74	75,2	4,53	1,763	2,3	1,59
78	79,5	2,45	1,34	2,22	1,89
80	82,2	2,28	1,508	1,989	2,68

Para la fase gaseosa del alcohol se espera en promedio temperaturas de 70 °C, se encontró el sensor con un mayor porcentaje de error, estando este cercano al 7% y con una incertidumbre de 1,25 °C.

3.2 SENSOR DE FLUJO

Para la calibración del sensor de flujo se realizan aforos y se asigna para un caudal determinado el número de pulsos enviados, y de esta manera se ajusta la programación del sensor en MicroWin.

Se determina siguiendo la formula estadística para el número de pruebas que arrojen un nivel de confianza

$$n = \frac{Z^2 \times \sigma^2}{e^2}; \quad n = \# \text{ de pruebas, } Z = \text{ nivel de confianza (1,96 para el 95\%)} \\ \sigma^2 = \text{varianza, } e = \text{margen de error}$$

Tabla 5. Datos Sensor de flujo válvula de compuerta 100% abierta

	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7
Q [lt/min]	6.6593	6,3526	6,4586	6,3627	6,8807	6,3898	6,3258
Pulsos	39	37	38	37	40	38	37

	Q [lt/min]	Pulsos
Promedio	6,4899	38
Varianza	0,0363	1,1428

Desv. Estandar	0,1906	1,069
Margen de error	0,1525	0,855
% de error	1,8033	1,708

Fuente: Autor del proyecto

Margen de Error

Para un 5% ($e=1.9$), se deben hacer 1,2 pruebas

Para un 2% ($e=0,76$), se deben hacer 7,6 pruebas

Para un 1% ($e=0.38$), se deben hacer 30,4 pruebas

Para un error de 2% tenemos un número de pruebas igual a 7.

Tabla 6. Datos Sensor de flujo válvula de compuerta 50% de apertura

	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7
Q [lt/min]	5,8952	6,1023	5,9938	6,2579	5,7426	6,1246	5,6743
Pulsos	35	36	35	37	34	36	34

	Q [lt/min]	Pulsos
Promedio	5,9701	35
Varianza	0,0385	1,072
Desv. Estandar	0,1963	1,030
Margen de error	0,157	0,824
% de error	1,857	1,646

Fuente: Autor del proyecto

Margen de Error

Para un 5% ($e=1.75$), se deben hacer 1,4 pruebas

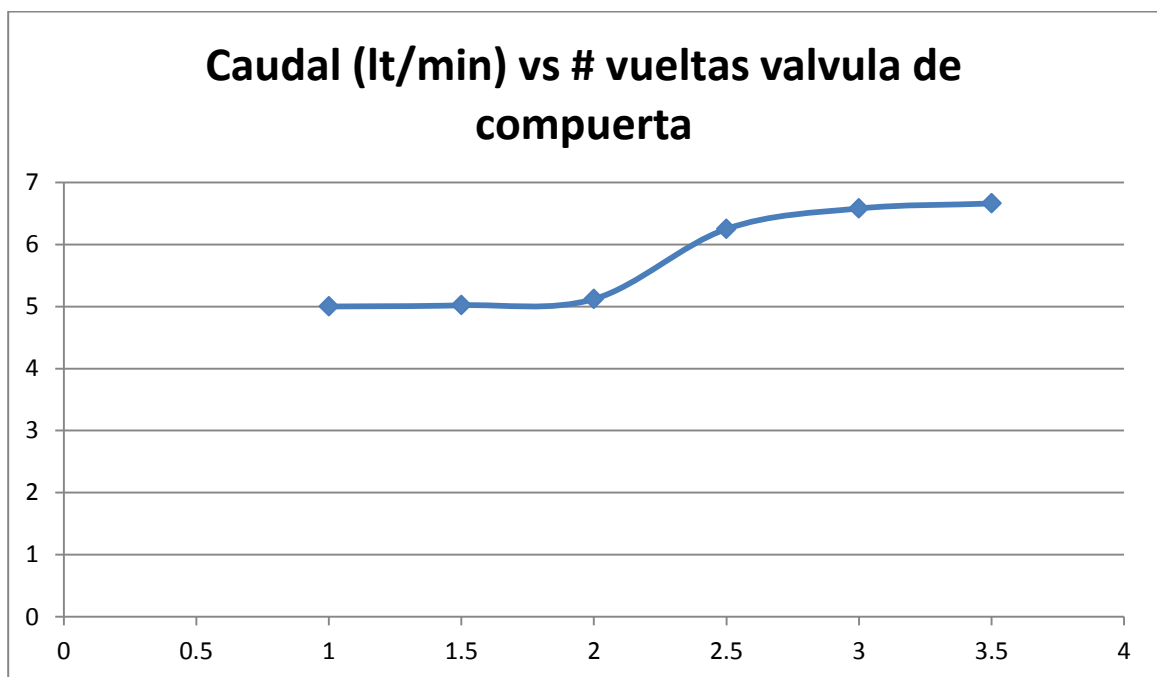
Para un 2% ($e=0,7$), se deben hacer 7,4 pruebas

Para un 1% ($e=0.35$), se deben hacer 33,6 pruebas

Para un error de 2% tenemos un número de pruebas igual a 7.

3.2.1 Curva característica de la válvula de compuerta instalada

Figura 7. Diagrama Q vs # giros válvula de compuerta



Fuente: Autor del Proyecto

En la curva de la válvula de compuerta se nota que el control del caudal es impreciso, obteniendo un salto grande desde 0 hasta un valor de 5 lt/min en cualquier punto del primer giro, para luego volver a ejercer control después de avanzar un giro más, desde donde nuevamente vuelve a aumentar el caudal hasta la apertura total.

3.3 SENSOR DE PRESION

Envía una señal entre 0 y 5 V, para un rango de presión absoluta desde 0 hasta 100 kp. Su aplicación en el banco de condensación además de un dato de proceso, se convierte en una condición de seguridad pues existe una presión crítica para la cual se hace insegura la operación, ya que el recipiente de vidrio cilíndrico impone una limitante en la presión, después de la cual se rompe, condición que se debe evitar. Para esto se mide la columna de agua generada en la cámara durante la condición de mayor temperatura posible de alcanzar en el proceso, y se asigna el valor decimal de esta señal al programa de control. El manual de operación y mantenimiento se encuentra consignado en el ANEXO 3.

Dada la peligrosidad del alcohol isopropílico en estado gaseoso, se realizan las pruebas de presión con agua como fluido de trabajo, lo que añade seguridad adicional debido a la menor compresibilidad del alcohol en su estado de vapor, al tener una densidad de aire saturado inferior a la del agua.

La columna de agua medida a 83 °C en el agua en estado líquido (máxima temperatura en el proceso):

$$1.1 \text{ (m)} \times 1000 \text{ (kg/m}^3\text{)} \times 9,80665 \text{ (m/s}^2\text{)} = 10787,315 \text{ Pa [10,78 KPa]}$$

Presión atmosférica 0,925 Bar = **92,5 KPa** [] (fuente Ideam Estacion Palonegro, Enero 2 de 2012)

$92,5 + 10,78 = \mathbf{103,28\ KPa}$ → **Presión establecida como critica**

A este valor de presión le corresponde el valor decimal leído 6780, es así que para un valor superior a este se consideraría alerta por sobrepresión, se indicara en el tablero y se detendrá el proceso por seguridad, hasta tanto la presión sea inferior a la critica

Figura 8. Tubo en U usado en la calibración del Presostato



Fuente: Autor del proyecto

4. AUTOMATIZACIÓN

La estrategia de automatización a través de un PLC a implementar, tiene como objetivo la adecuación del equipo banco de condensación para la realización de prácticas de laboratorio. Para esto se implementa un sistema de supervisión y control del proceso que permita adquirir las señales enviadas por los sensores instalados y manipular la señal digital de la resistencia de calentamiento que será nuestro elemento de control del proceso.

A través del programa STEP7 Microwin, y utilizando el lenguaje de programación KOP se desarrolla el código que se ejecutara para el desarrollo del proyecto. Para lo cual como primer paso se configuran uno a uno la CPU, el modulo Ethernet, y los modulos análogos de ampliación, respectivamente.

Para la comunicación del modulo Ethernet se hizo necesaria la asignación de una IP fija a su identificación MAC, pues la configuración actual de las redes asigna IP's dinámicas. Mediante solicitud al departamento de sistemas se asigno la IP fija **10.150.68.187**, así mismo su disposición junto a la CPU le da un valor numérico de ubicación igual a 0, la cual se asigno al momento de correr el asistente Ethernet.

Luego de establecer la comunicación entre microwin y el PLC se carga el código del programa en la CPU, desde un punto de red alámbrica dentro del laboratorio de transferencia de calor identificado como I 205.

4.1 AUTOSINTONIA DEL PID

Como requisito previo del autosintonizador PID, se espera a que el proceso se encuentre estable, es decir, una vez cercanos al set point, el cual por supuesto no debe estar variando en forma errática, estando en lo posible en el centro del rango de control, el cual para nuestro caso son los 83°C del sensor de fase liquida

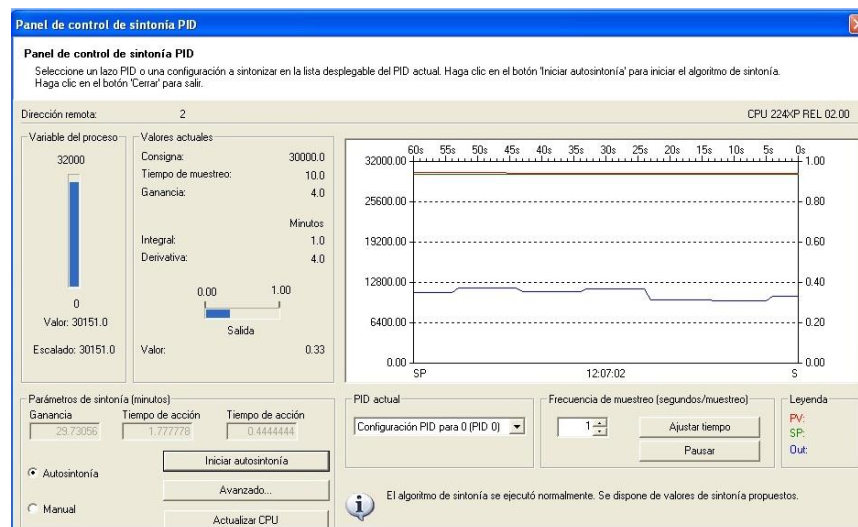
del alcohol. Luego se asigna el valor de histéresis como dos desviaciones estándar; desviación que representa la oscilación pico a pico deseada de la variable de proceso alrededor de la consigna.

Una vez la variable de control, es decir la salida, exceda la histéresis, este detecta un evento de paso por cero, activando la salida en el sentido opuesto cada vez que este evento se de. De esta manera se continuara muestreando la variable de proceso durante aproximadamente 12 ciclos.

Con los valores de frecuencia y la amplitud de las oscilaciones de la variable de proceso, el asistente asigna la ganancia proporcional, y los tiempos de acción integral y derivativa.

Desde el panel de control de sintonía PID, se obtienen los valores asignados por el asistente y se asignan al lazo de control PID.

Figura 9. Panel de control de sintonía PID



Fuente: Autor del proyecto

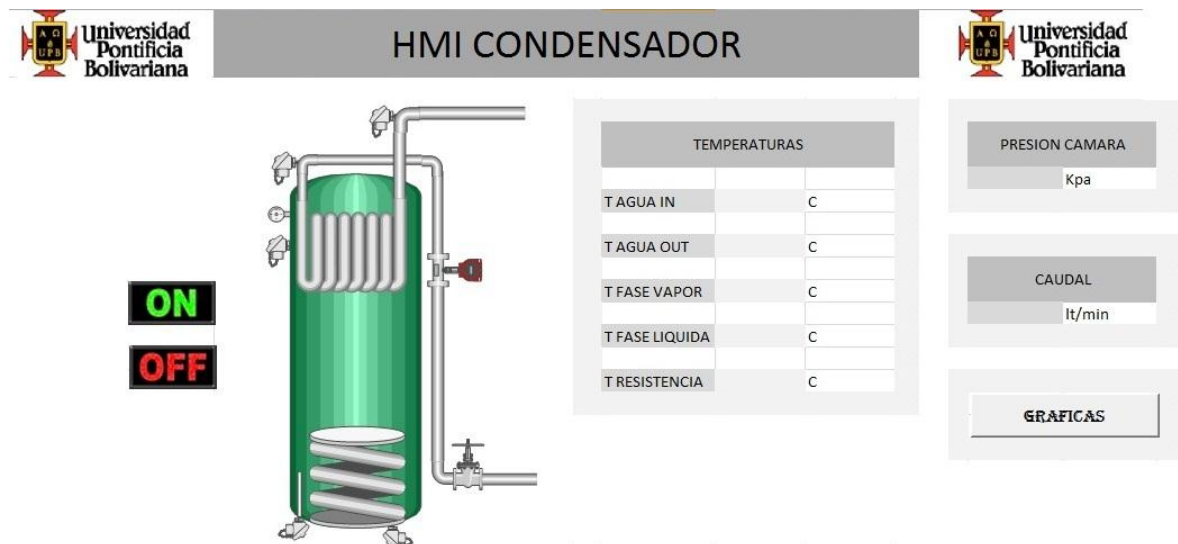
4.2 HMI - INTERFAZ HOMBRE MAQUINA

Su función es facilitar el acceso y la interpretación de los datos obtenidos en el proceso, creando un entorno más intuitivo al usuario. Para la implementación de esta interfaz se estableció la comunicación entre el modulo Ethernet y Microsoft Excel, por medio del paquete de siemens PC ACCES el cual hace la función de servidor OPC.

PC ACCES ofrece además de entablar la mencionada comunicación, la posibilidad de verificar el estado de esta, y verificar en tiempo real el estado de las señales que se están adquiriendo en la HMI, y al hacer parte del mismo paquete siemens facilita sobremanera la importación del proyecto desde STEP7 - Microwin y es compatible con los temporizadores y contadores del S7 200.

En el entorno de la HMI se tiene el control del inicio del proceso, igualmente permite detenerlo en cualquier momento, y el acceso a los valores y las graficas de las variables físicas a supervisar.

Figura 10. HMI



Fuente: Autor del proyecto.

5. GUIA DE LABORATORIO PROPUESTA

La razón principal de la realización del proyecto es el aprovechamiento del equipo para la realización de prácticas de laboratorio, para esto se propone una guía para el laboratorio de la asignatura transferencia de calor. Ajustándola a la estructura de las practicas de laboratorio implementadas en los laboratorios de la universidad.

Para esto se necesita conocer algunas de las características del banco de condensación:

Numero de espiras del serpentín: 12

Diámetro exterior del tubo del serpentín: 7 mm

Espesor del tubo del serpentín: 0,8 mm

Área exterior total del serpentín: 0,043 m²

Área exterior de la resistencia de calefacción: 0,031m²

De la misma manera es importante la revisión de los siguientes temas:

Curva de ebullición

Modos de ebullición (nucleada, de transición, de película)

Mecanismos físicos de condensación

Condensación de película laminar sobre una placa vertica

PRACTICA DE CONDENSACION

El objetivo principal de la práctica propuesta, es determinar el coeficiente global de transferencia de calor en el proceso del banco de condensación basado en los datos obtenidos del proceso.

Procedimiento:

1. Verificar la alimentación a 220V del gabinete de control.
2. Encender el gabinete de control.
3. Verificar que el programa del condensador este cargado en la CPU del PLC. (al Encender el banco de condensación se energizan los indicadores del tablero y comienza el proceso de calentamiento).
4. Encender el banco de condensación.
5. Simultáneamente con el paso anterior abrir las válvulas para permitir el flujo de agua.
6. Esperar hasta que el proceso se estabilice. Esto se da al momento en que la temperatura del alcohol isopropilico en estado líquido se estabilice en 83
7. Hacer la toma de las temperaturas, el caudal y la presión, desde el HMI
8. El sistema de control del condensador cuenta con un sistema de seguridad que evita sobrepresiones dentro de la cámara, en el caso de darse este fenómeno el indicador de sobrepresión se encenderá y desactivara el calentador.

Actividades

1. Hacer una breve descripción de los componentes del banco de condensación y de su conjunto.
2. Graficar los diferentes tipos de ebullición y la condensación de película.
3. Una vez estable el proceso del condensador, realizar la curva $\Delta T_e - q_s''$
 - ¿como afecta la presión la curva de ebullición?

4. Comparar el coeficiente global de transferencia de calor h , medido con el h obtenido de la formulación teórica.
5. Completar la tabla de datos
 - Tensión eléctrica [V]
 - Intensidad eléctrica [A]
 - Temperatura alcohol fase líquida [C]
 - Presión (absoluta) alcohol fase vapor [KN/m²]
 - Temperatura Resistencia de calentamiento [C]
 - Caudal de agua de intercambio [g/s]
 - Temperatura agua in [C]
 - Temperatura agua out [C]
 - Flujo de calor disipado por la resistencia de calentamiento [W]
 - Densidad de Flujo de calor disipado por la resistencia de calentamiento [W/m²]
 - $\Delta T_e = T_s - T_{sat}$ [C]
 - Coeficiente de película de ebullición en el elemento calefactor [W/m² K]
 - Flujo de calor transmitido en el serpentín [W]
 - Flujo de calor transferido al exterior (perdidas) [W]
 - Diferencia promedio de temperaturas en el condensador [C]
 - Coeficiente global de transmisión de calor en el condensador [W/m² K] [medido]
 - Coeficiente global de transmisión de calor en el condensador [W/m² K] [teórico]

Finalmente el informe debe contener un análisis de los resultados obtenidos y una serie de conclusiones sobre la práctica realizada.

En el ANEXO 4 se entrega la práctica de laboratorio ajustada al modelo utilizado en los laboratorios de la universidad,

6. PRUEBAS Y RESULTADOS

En esta sección se consignan los resultados de las pruebas realizadas al banco de condensación, una vez implementada la estrategia de control y supervisión.

Tabla 7. Formulas

FORMULACION PROCESO DE CONDENSADOR	
$h = \Delta T_e^{1/4} ; \quad \text{luego } q_s'' = \Delta T_e^{5/4}$	h medido
$h_x = \left[\frac{g \rho_l (\rho_l - \rho_v) k_l^3 h'_{fg}}{4 \mu_l (T_{sat} - T_s) \chi} \right]^{1/4}$	Coefficiente de convección local
$\bar{h}_L = 0,729 \left[\frac{g \rho_l (\rho_l - \rho_v) k_l^3 h'_{fg}}{N \mu_l (T_{sat} - T_s) D} \right]^{1/4}$	Coefficiente de convección promedio
$\bar{N}_{uL} = \frac{\bar{h}_L L}{k_l} = 0,729 \left[\frac{g \rho_l (\rho_l - \rho_v) h'_{fg} D^3}{N \mu_l k_l (T_{sat} - T_s)} \right]^{1/4}$	Numero de Nusselt

Fuente: Termodinamica. Yunus Cengel 5 ed.

Las pruebas se realizaron con alcohol isopropilico puro, con un volumen de 2 litros correspondientes a 2/5 partes del volumen total del recipiente cilíndrico en el que se encuentra confinado el proceso. Con una apertura de la válvula de compuerta de 50% aproximadamente correspondiente a 2 giros desde la apertura.

Se realizaron 4 secciones de pruebas buscando determinar el número de estas que arroje una muestra representativa del comportamiento de las variables.

Tabla 8. Cálculos realizados con los datos de prueba 50% de caudal.

Caudal [lt/min]	T agua in [C]	T agua out [C]	T vapor [C]	T liquido [C]	Presión [KPa]
5,9701	19,34	20,68	23,43	74,71	0,041
	20,22	21,22	24,1	75,12	0,042
	18,78	19,92	22,9	74,89	0,039
	21,33	21,12	23,24	74,2	0,038
Promedio	19,92	20,74	23,42	74,73	0,04

Fuente: autor del proyecto

Los resultados muestran que las pruebas realizadas arrojan un margen de error del 2% y los cálculos estadísticos se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9. Determinación del número de pruebas con 50% de caudal.

		5%	2%	1%
T agua in	e *	1,8465	0,8180	0,4723
	n *	0,5726	3,5482	15,032
T agua out	e *	1,4305	0,5495	0,1985
	n *	0,3624	2,259	8,7984
T liquido	e *	1,8729	0,8504	0,3648
	n *	0,2534	1,5142	6,1228
T vapor	e *	1,8586	0,7648	0,3680
	n *	0,1753	1,2159	4,5197

e* =margen de error

n* = # de pruebas

Fuente: Autor del proyecto

La segunda serie de pruebas se realizaron con alcohol isopropilico puro, con un volumen de 2 litros correspondientes a 2/5 partes del volumen total del recipiente cilíndrico en el que se encuentra confinado el proceso. Con una apertura de la válvula de compuerta de 100% correspondiente a 4 giros desde la apertura. Se realizaron 4 sesiones de pruebas buscando determinar el número de estas que arroje una muestra representativa del comportamiento de las variables.

Tabla 10. Cálculos realizados con los datos de prueba 100% de caudal.

Caudal [lt/min]	T agua in [C]	T agua out [C]	T vapor [C]	T liquido [C]	Presión [KPa]
6,4899	20,05	21,4	23,06	73,31	0,286
	18,34	21,62	24,62	72,25	0,284
	19,18	20,95	22,58	73,02	0,280
	18,23	21,25	23,25	71,23	0,285
Promedio	18,95	21,31	23,38	72,45	0,284

Fuente: autor del proyecto

Para este caso, las pruebas realizadas arrojan un margen de error del 2% y los cálculos estadísticos se relacionan en la Tabla 11.

Tabla 11. Determinación del número de pruebas con 100% de caudal

		5%	2%	1%
T agua in	e *	1,9862	0,7865	0,3889
	n *	0,5726	3,5944	14,6842
T agua out	e *	1,4024	0,5706	0,2198
	n *	0,3542	2,0295	9,2454
T liquido	e *	1,8902	0,7654	0,3623
	n *	0,2334	1,6542	7,1287
T vapor	e *	1,8926	0,7219	0,3687
	n *	0,1794	1,1549	4,2487

e* =margen de error n* = # de pruebas

Fuente: Autor del proyecto

A partir de los datos del proceso del condensador se busca determinar el coeficiente global de transferencia de calor, basado en las formulas presentadas en el desarrollo teórico y resumidas en la Tabla 7.

Considerando el flujo de calor producido por la resistencia de calentamiento como la energía que entra al sistema mostrado en la FIGURA 11. Este es igual al calor disipado por la resistencia de calentamiento, el cual se determina a partir de la intensidad de corriente y de la caída de tensión así:

$$Q_{in} = V \cdot I \text{ [W]}; \quad V = 220 \text{ [V]} \quad I = 2,4 \text{ [A]};$$

$$\mathbf{Q_{in} = 528 \text{ [W]}}$$

Teniendo en cuenta el área exterior del calefactor se determina el flujo de calor por unidad de área.

$$q''_s = \frac{528}{0,031 \text{ m}^2} \frac{\text{W}}{\text{m}^2} = 17032 \text{ W/m}^2$$

Para calcular la energía suministrada al agua de enfriamiento se determina su cambio de entalpia. Considerando que C_p es constante por la pequeña variación de temperatura. Y usando una temperatura de operación con el 50 % de la válvula de compuerta se tiene que:

$$Q_{out} = \dot{m} C_p \Delta T ;$$

$$Q_{out} = 0,09595 \frac{\text{kg}}{\text{s}} * 4,1813 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg.C}} * (21,4 - 20,2) \text{ C}$$

$$\mathbf{Q_{out} = 50,43 \text{ W}}$$

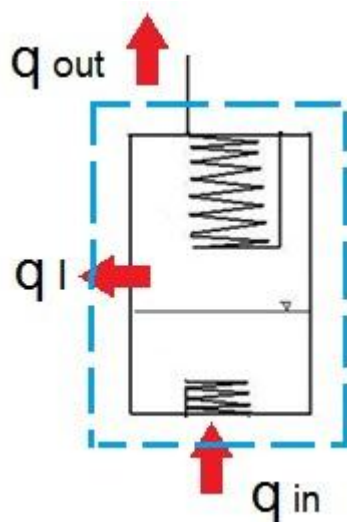
Por tanto el flujo de calor en la superficie del serpentín de cobre es:

$$q''_{SS} = \frac{50,43 \text{ W}}{0,043 \text{ m}^2} = 1172,79 \text{ W/m}^2$$

Las pérdidas en la superficie del vidrio son elevadas por lo que no está aislado. A partir de un balance de energía en las paredes del vidrio se tiene que:

$$q_l = q_{in} - q_{out} = 528 \text{ [W]} - 50,43 \text{ [W]} = 477,57 \text{ [W]}$$

Figura 11. Balance de Energía Banco de Condensación



Fuente: Autor del Proyecto

El Coeficiente de transferencia de calor promedio sobre la superficie del calefactor se determina a partir de la Ecuación 2.1 con una temperatura de superficie medida de 80 C.

$$T_s = 80 \text{ [C]}$$

$$q''_s = h (T_s - T_{sat})^{5/4} = h \Delta T_e^{5/4};$$

$$h = \frac{q_s''}{(T_s - T_{sat})^{5/4}} = \frac{17032}{(80 - 83)^{5/4}} = 4313,84 \frac{K.m^2}{W}$$

En el calculo del coeficiente de transferencia de calor teórico se parte de la ecuación 2.2 y de los datos de la tabla 8 correspondientes a las propiedades del alcohol Isopropilico y calculando h'_{fg} a la temperatura de saturación de 83 C.

$$\bar{h}_D = 0,729 \left[\frac{9,81 \left[\frac{m}{s} \right] 786,3 \left[\frac{Kg}{m^3} \right] \left(786,3 \left[\frac{Kg}{m^3} \right] - 3,14 \left[\frac{Kg}{m^3} \right] \right) 0,0911 \left[\frac{W}{mK} \right] \times 2455000 \left[\frac{J}{Kg} \right]}{12 \times 0,0039 \left[\frac{Kg}{s.m} \right] (356 [K] - 353 [K]) 0,006m} \right]^{1/4}$$

$$\bar{h}_D = 4613,36 \left[\frac{W}{m^2.K} \right]$$

Para determinar el porcentaje de error se toma como base el resultado teórico y se compara con el obtenido de manera experimental así:

$$\% \text{ de error} = \frac{4313,84 - 4613,36}{4313,84} \times 100 = 6,49 \%$$

En este caso se encuentra un porcentaje de error de aproximadamente 6.5%. Este valor servirá como referencia para futuras prácticas.

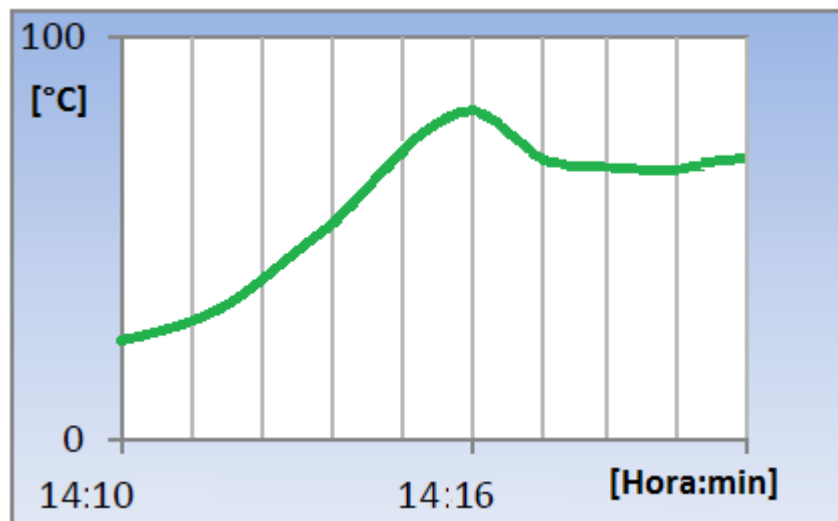
Tabla 8. Propiedades del alcohol Isopropilico

ALCOHOL ISOPROPILICO		
Peso molecular	60.1	gr/mol
Temperatura de ebullición a Presión atmosférica	83	C
Temperatura de congelación	- 88.3	C
Temperatura critica	234,85	C
Presión absoluta critica	48.55	Kg/cm ²
Volumen critico	108	cm ³ /mol
Densidad critica	0,308	g/cm ³
Calor especifico en estado liquido a 30 C	2460	J/kg.K
Calor especifico en estado vapor a 30 C y 1 atm	1588	J/kg.K
Densidad fase liquida a 30C	0,7863	g/ cm ³
Densidad del vapor saturado a la T ebullición	3,14	g/l
Calor latente de vaporización a la T de ebullición	$0,51 \times 10^{-4}$	kJ/kg
Conductividad térmica fase liquida a 30C	911×10^{-4}	W/m.k
Viscosidad fase liquida	0,0039	Kg/s.m

Fuente: www.ciaquimica.com.ar

En la FIGURA 12. se muestra el comportamiento de la temperatura del alcohol Isopropilico en estado líquido en función del tiempo, variable sobre la que se implementó el lazo de control PID, desde el inicio a temperatura ambiente hasta llegar a la temperatura de SetPoint. En cualquier momento del proceso se puede llamar desde el HMI a la gráfica, sin embargo una vez se estabiliza el proceso la gráfica tendera a ser una línea horizontal. Para este caso se utilizó 50% de apertura de la válvula de agua de intercambio.

Figura 12. Curva de temperatura control PID (alcohol Isopropilico liquido)



Fuente: Autor del proyecto

7. CONCLUSIONES

La implementación de la estrategia de automatización sobre el equipo de condensador didáctico, permitirá la realización de prácticas de laboratorio relacionadas con el contenido de la asignatura transferencia de calor, de una manera segura, así mismo, queda abierta la posibilidad de implementar una practica de automatización de procesos sobre este equipo, ampliando así el alcance para el que fue concebido en primera instancia, de un equipo en desuso, lo cual beneficia a la infraestructura de laboratorios disponible en la facultad de ingeniería mecánica.

Se evidenció baja precisión en las mediciones obtenidas con el sensor de flujo, debido al bajo caudal de funcionamiento de la instalación, lo que hace que se considere al sensor como sobredimensionado para el equipo. Sin embargo esto se hace aceptable al considerar que es un equipo didáctico, y la instalación de un nuevo sensor para hacer mas precisa esta lectura requeriría de una inversión adicional.

Para la puesta a punto de las RTD's se dispuso de un banco seco de calibración, equipo certificado propiedad de la corporación privada CDT del gas, lo que permitió cumplir con el objetivo de asegurar mediciones aproximadas a las reales.

La estrategia de control de temperatura del condensador mediante un lazo PID, no fue la alternativa mas simple disponible, pues mediante un control ON/OFF se lograba el mismo resultado, y normalmente la opción mas sencilla es la mas

conveniente, pues un mayor número de personas podrían manipular el código del programa, sin embargo el lazo de control PID trae un beneficio relacionado con la estabilidad de la temperatura que se está controlando.

La configuración de las redes de la universidad no permitió el acceso al PLC desde cualquier punto, pues las comunicaciones solo se pueden establecer dentro de la misma sub máscara de red, las cuales están asignadas una diferente para cada salón, de esta manera el acceso se da dentro de cualquier punto de la red alámbrica dentro del salón I 205.

8. RECOMENDACIONES

Por el tipo de fluido de trabajo de este equipo es absolutamente necesario que los usuarios sigan las recomendaciones de seguridad descritas en el anexo 2, y se cuente de la misma manera en el laboratorio con los equipos de seguridad allí recomendados, debido al peligro que representa un accidente durante la manipulación del alcohol isopropílico.

Es muy importante que una vez se presente un evento de sobrepresión en el equipo, se de un tiempo de espera aproximado de 10 minutos, para volver a encenderlo, y aunque esto sería algo excepcional, es muy importante cumplirlo, pues el recipiente cilíndrico de vidrio sería el primero en sufrir el efecto de una presión por encima de su resistencia, y sería muy peligroso para el usuario. Sin embargo por la misma configuración de la instalación y los elementos que componen el banco esto sería un caso totalmente excepcional.

Así mismo y como medida recomendada por los fabricantes, el uso de gafas de seguridad es altamente recomendable pues cada inversión que se haga en seguridad no está de más.

Por ningún motivo se debe modificar el líquido de trabajo, pues cada uno de los elementos de los que se compone el banco fueron seleccionados para trabajar con el alcohol isopropílico, entonces cada una de las indicaciones de operación dadas en este libro no serían ajustadas a la realidad, y será única responsabilidad de quien haga esta modificación los efectos que pudiera traer.

9. BIBLIOGRAFÍA

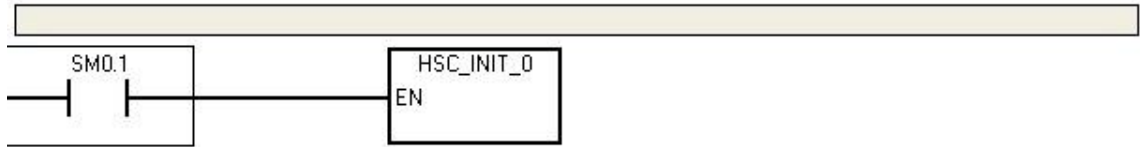
- [1] DONALD Q. KERN, "Condensación de vapores simples", Procesos de transferencia de calor, compañía editorial continental, paginas 301 – 368, MEXICO D.F. (2006)
- [2] YUNUS A. CENGEL, MICHAEL A. BOLES, "Termodinamica", Quinta edición MacGrawHill, paginas 543 – 568, México, 2007.
- [3] DONALD Q. KERN, "Condensación de vapores simples", Procesos de transferencia de calor, compañía editorial continental, paginas 301 – 368, MEXICO D.F. (2006)
- [4] CREUS SOLE, Antonio. Instrumentación Industrial. Sexta Edición. Barcelona, España: Marcombo, 1997. 741p.
- [5] ISA, Education & Training. www.isa.org. Consultada [30 de noviembre de 2011]
- [6] T.E. Martin. Process Control. McGrawHill. 1995. P 234 - 239
- [7] W. BOLTON, MECATRONICA, Sistemas de control eléctrico en ingeniería mecánica y electrónica. segunda edición. Ed Alfa Omega. 1998.
- [8] FOWLER, RICHARD. Electricidad: Principios y Aplicaciones. Barcelona: Reverte, 1994. 140p.
- [9] BALCELLS SENDRA, José y BARCELLS, Josep. Interferencias Electromagnéticas en Sistemas Electrónicos. Barcelona: Marcombo, 1992. P. 193 – 194.
- [10] SIMATIC S7-200. "Manual del Usuario" Siemens. ALEMANIA, 2008.
- [11] KATSUHIKO, OGATA., " Ingeniería de control moderna", Tercera Edición, Pearson Educación, México, 1998.

- [12] W. BOLTON, MECATRONICA, Sistemas de control eléctrico en Ingeniería mecánica y electrónica, Segunda Edición, Editorial Alfaomega, 1998.
- [13] SIEMENS, SIMATIC, “Manual del sistema de automatización S7-200” (en línea); 6 de Diciembre 2011, www.siemens.com/s7-200; 8 edición, 2008.

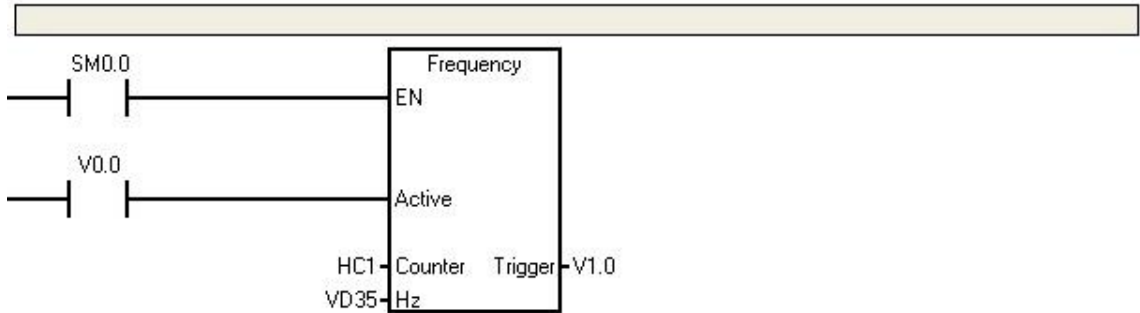
ANEXOS

ANEXO A

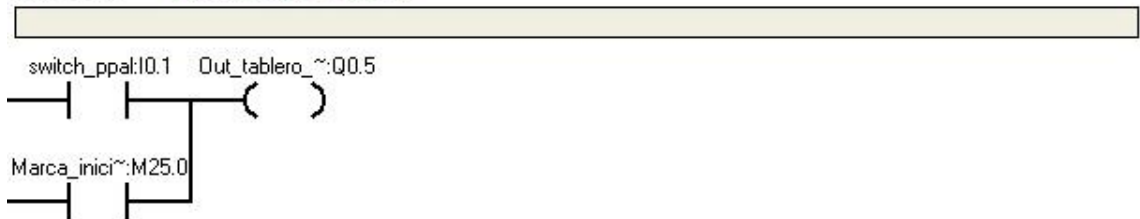
Network 1



Network 2

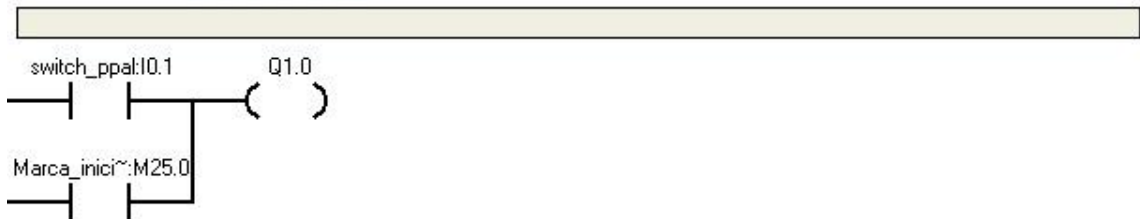


Network 3 INDICADORES TABLERO



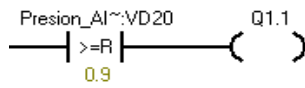
Símbolo	Dirección	Comentario
Marca_inicio_HMI	M25.0	marca inicio HMI
Out_tablero_ppal	Q0.5	salida tablero principal
switch_ppal	I0.1	swithc principal

Network 4 TESTIGO ON TABLERO



Símbolo	Dirección	Comentario
Marca_inicio_HMI	M25.0	marca inicio HMI
switch_ppal	I0.1	swithc principal
testigo_tablero_on	Q1.0	testigo tablero on

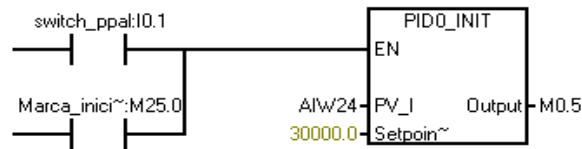
Network 5 TESTIGO SOBREPRESION



Símbolo	Dirección	Comentario
Presion_AIW32	VD20	Presion en la camara
testigo_sobreP	Q1.1	testigo sobrepresion

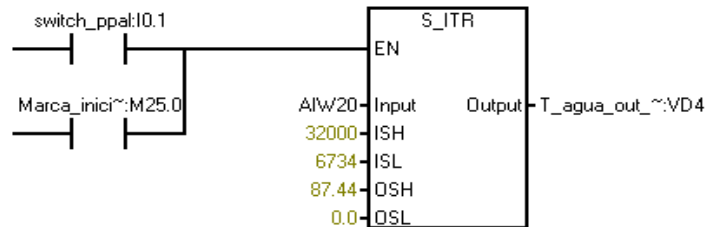
Network 6 PID

Comentario de segmento



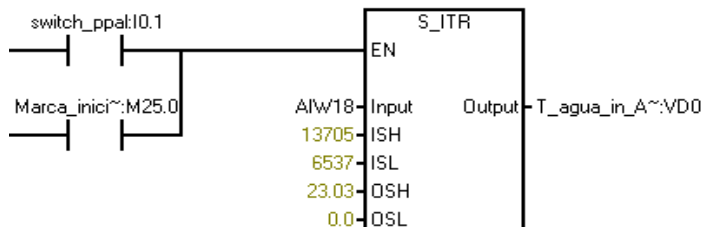
Símbolo	Dirección	Comentario
Marca_inicio_HMI	M25.0	marca inicio HMI
switch_ppal	I0.1	swithc principal

Network 7 TEMPERATURA AGUA SALIDA



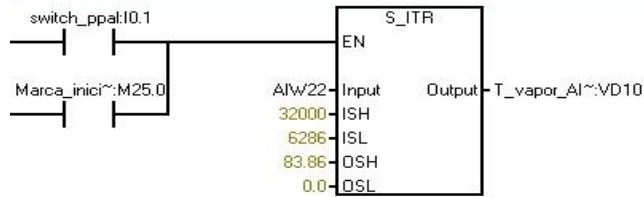
Símbolo	Dirección	Comentario
Marca_inicio_HMI	M25.0	marca inicio HMI
switch_ppal	I0.1	swithc principal
T_agua_out_AIW20	VD4	Temperatura agua de salida (escalada)

Network 8 TEMPERATURA AGUA ENTRADA



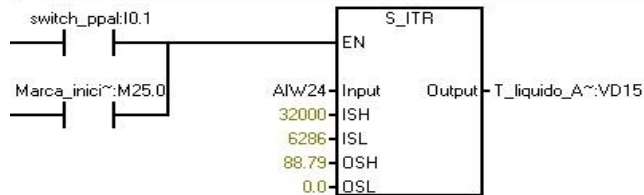
Símbolo	Dirección	Comentario
Marca_inicio_HMI	M25.0	marca inicio HMI
switch_ppal	I0.1	swithc principal
T_agua_in_AIW18	VD0	Temperatura agua de entrada (escalada)

Network 9 TEMPERATURA FASE VAPOR



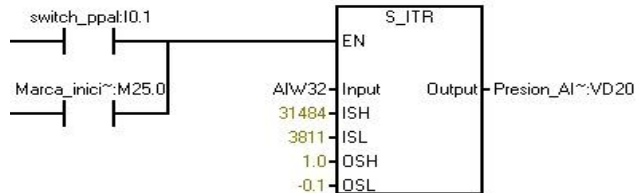
Símbolo	Dirección	Comentario
Marca_inicio_HMI	M25.0	marca inicio HMI
switch_ppal	I0.1	swithc principal
T_vapor_AIW22	VD10	Temperatura alcohol fase vapor (escalada)

Network 10 TEMPERATURA FASE LIQUIDA



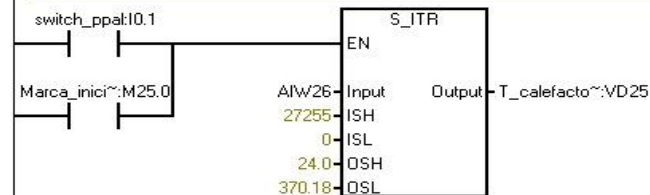
Símbolo	Dirección	Comentario
Marca_inicio_HMI	M25.0	marca inicio HMI
switch_ppal	I0.1	swithc principal
T_liquido_AIW24	VD15	Temperatura alcohol fase liquida (escalada)

Network 11 PRESION



Símbolo	Dirección	Comentario
Marca_inicio_HMI	M25.0	marca inicio HMI
Presion_AIW32	VD20	Presion en la camara
switch_ppal	I0.1	swithc principal

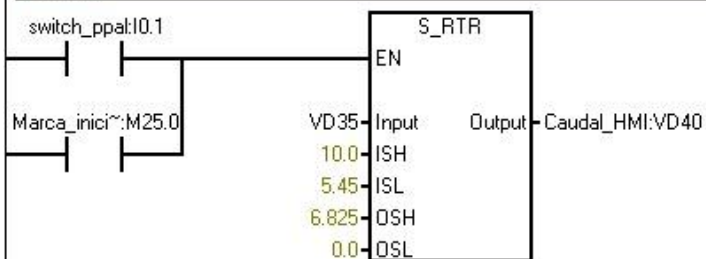
Network 12 TEMPERATURA RESISTENCIA



Símbolo	Dirección	Comentario
Marca_inicio_HMI	M25.0	marca inicio HMI
switch_ppal	I0.1	swithc principal
T_calefactor_AIW26	VD25	Temperatura calefactor (escalada)

Network 14

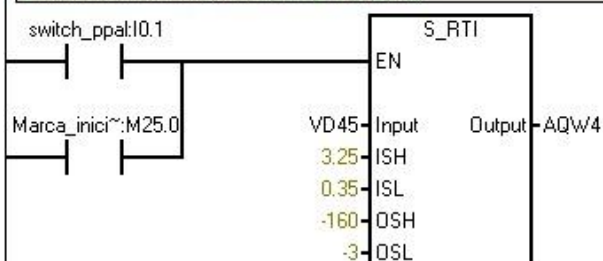
CAUDAL



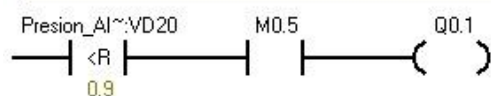
Símbolo	Dirección	Comentario
Caudal_HMI	VD40	Caudal Escalado a HMI
Marca_inicio_HMI	M25.0	marca inicio HMI
switch_ppal	I0.1	swithc principal

Network 15 AL INDICADOR DE CAUDAL

LINEALIZACION A INDICADOR DE TABLERO

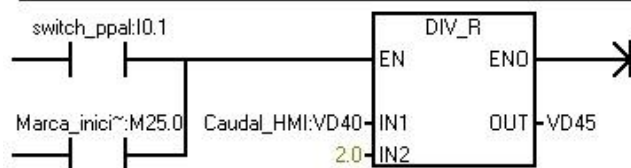


Network 16



Símbolo	Dirección	Comentario
on_calefactor	Q0.1	on_calefactor
Presion_AIw32	VD20	Presion en la camara

Network 17



Símbolo	Dirección	Comentario
Caudal_HMI	VD40	Caudal Escalado a HMI
Marca_inicio_HMI	M25.0	marca inicio HMI
switch_ppal	I0.1	swithc principal

ANEXO B

CÍA. QUÍMICA Y AGROQUÍMICA ARGENTINA – ALCOHOL ISOPROPILICO ANHIDRO Página 1 de 4
MSDS N° 1013 Versión 2 (Febrero/2006)

 <p>Cía. Química y Agroquímica Argentina S.A.</p>	<p>Calle 119 N° 3488 Villa Bonich – San Martín (1650) Pcia. de Buenos Aires TE/FAX: 4768-9939 y Rotativas</p>			
HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD - MSDS				
ALCOHOL ISOPROPILICO ANHIDRO				
REVISION: M. Nupieri	FECHA: 02/2006	REEMPLAZA A: 10/2005	VERSION: 2	APROBACION: F. Olmedo

1.- Identificación del producto y de la empresa

Nombre del producto: Alcohol Isopropílico 99 % Anhidro

Otras designaciones: isopropanol, 2 – propanol, alcohol sec – propílico, IPA.

Descripción: Líquido claro, incoloro, móvil, transparente como el agua, extremadamente volátil con olor fuerte y característico al alcohol.

Usos: Diluyentes para Pinturas, Esmaltes, lacas, barnices, selladores, adhesivos, resinas, tintas, removedores, derivados de celulosa, etc.

Empresa: CÍA. QUÍMICA Y AGROQUÍMICA ARGENTINA S.A.

Calle 119 N° 3488

(1650) Villa Bonich – San Martín – ARGENTINA

Pcia. De Buenos Aires

TE: 54 -11-4768-9939

2.- Composición o Ingredientes

Nombre químico: isopropanol

Fórmula química: CH₃CHOHCH₃

Peso molecular: 60.1

Número de CAS: 63-63-0

Contenido: Se presenta con contenido mínimo 99,0 % P/P, siendo el resto agua en su mayoría.

3.- Identificación de peligros

Precaución: Utilizar Equipos de Protección Respiratoria. Absorber el líquido con material absorbente, contener el derrame y depositarlo en tambores cerrados. Ventilar el área. Restringir el ingreso a toda persona que no esta interviniendo en la operación de limpieza.

Resumen de riesgos: Almacenar en tambores metálicos firmemente cerrados (libre de aire) en un espacio fresco, seco y bien ventilado lejos de fuentes de calor y materiales incompatibles. Controlar los inventarios seguido. Proteger a los tambores contra golpes y daños físicos.

Antes de usar el producto a granel, controlar una pequeña cantidad para verificar la calidad así como el contenido de peróxidos.

Órganos afectados: Piel, Ojos, Sistema respiratorio, CNS.

Formas de entrada:

Absorción: El contacto con los ojos puede causar ceguera y daños en los tejidos. El contacto con la piel puede causar irritación.

Ingestión: Dolor abdominal, náuseas, vómitos, tos, somnolencia, dolor de cabeza, jadeo, debilidad.

Inhalación: Los vapores causan irritación del tracto respiratorio superior con tos, disnea, dolor de cabeza, congestión, salivación, suave deshidratación, bronquitis, neumonitis química y/o edema pulmonar y efectos sobre el sistema nervioso central.

4.- Medidas de primeros auxilios

Ojos: Lavar inmediatamente con agua durante 15 minutos (mínimo), buscar atención médica.

Piel: Quitar toda la ropa contaminada, lavar inmediatamente con grandes cantidades de agua y buscar atención médica.

Inhalación: Sacar a la persona del lugar de exposición. Proveer asistencia respiratoria y RCP. Derivar a centro medico asistencial.

Ingestión: Buscar atención medica inmediata a centro de toxicología. No inducir al vómito.

Datos para el Médico: Cualquier desorden del sistema nervioso puede ser agravado por la exposición.

5.- Medidas de extinción

Flash point (OC): 12 °C- (53 °F)

Temperatura auto ignición: 399 °C (750 ° F)

LEL: 2.0 %

UEL (a 100 °C): 12.7 %



Medios de extinción: Utilizar Polvo Químico Seco, spray de agua, espuma, dióxido de carbono en fuegos pequeños.

Riesgos poco usuales de incendio o explosión: Líquido combustible que puede incrementar el quemado de los materiales. Los contenedores pueden explotar en incendios.

Procedimientos especiales de lucha contra incendio: Use ropa de protección total y equipo de respiración autónomo. No utilice spray para diluir el derrame. Dispersar los vapores para mantener los contenedores fríos.

6.- Medidas de fugas accidentales

Derrames y fugas: En caso de derrame informar al personal de seguridad. Eliminar cualquier fuente de ignición. Ventilar el área con máxima protección contra explosión.

Método para limpieza: El personal involucrado en el operativo de limpieza, debe tener equipo protector contra inhalación y contacto con piel y ojos. Absorber pequeños derrames con papel o vermiculita. Contener los derrames grandes y si es posible, absorberlos con arena o vermiculita. Colocar el residuo en recipientes cerrados empleando para ello herramientas a prueba de chispas. Impedir el drenaje del producto a desagües o cursos de agua.

7.- Manipuleo y Almacenamiento

Manipuleo: Los recipientes deben ser conectados a tierra cuando se hace el llenado para evitar el riesgo de chispas por estática. No fumar en el área cuando se manipula este producto.

Almacenamiento: Almacenar el producto en contenedores cerrados, en un área seca, bien ventilada y alejada de agentes oxidantes, fuentes de ignición, chispas y llamas. El área debe cumplir con las exigencias de almacenamiento para inflamables clase 1B. No fumar en el área donde se almacena este producto. Evitar el daño de los contenedores. Mantener los niveles de concentración en áreas confinadas por debajo del 25% del LEL (ver Sec.5).

8.- Control de exposición/Protección personal

Límites en niveles de exposición

D.N.S.S.T. Res.

CMP: 400 ppm (983 mg/m³)

CMP-CPT: 400 ppm (983 mg/m³)

TLV (1998) ACGIH

TLV -TWA: 400 ppm (983 mg/m³)

TLV - STEL: 500 ppm (1230 mg/m³)

OSHA PEL

8 Horas, TWA: 400 ppm (983 mg/m³)

Mascaras: Utilizar máscaras faciales y/o antiparras para proteger cara y ojos. Evitar el uso de lentes de contacto en el manipuleo de acetato de etilo, ya que las lentes blandas pueden absorber sustancias irritantes y todas las lentes las concentran.

Protección respiratoria: Utilizar máscaras con provisión de aire o equipos de respiración autónomos en situaciones de excesiva concentración de vapores o niebla.

Para trabajos de emergencia o no rutinarios (limpieza de derrames, reactores y tanques), utilizar equipos de protección completa, con aparatos de respiración autónomos. **Las máscaras con purificación de aire no protegen a los trabajadores en atmósferas deficientes de oxígeno.**

Otros elementos: Usar guantes, botas, delantales y ropa protectora impermeable, para evitar el contacto con la piel, prolongado o repetido, de materiales como goma Butilo; no se recomienda el uso de goma, neoprene, goma nitrilo, PVC, Vitón.

Ventilación: Mantener sistemas exhaustivos de ventilación local y general de forma de mantener los niveles de contaminación ambiental en valores bajos, así como para disminuir el riesgo de inflamabilidad. Los ventiladores y todo el material eléctrico deben ser antichispas y diseñados a prueba de explosiones.

Dispositivos de Seguridad: Disponer en el área de lava ojos, lluvias de seguridad. Separar y lavar la ropa contaminada, antes de volver a usar.

Nunca comer, beber o fumar en áreas de trabajo. Lavarse siempre las manos, cara y brazos antes de comer, beber o fumar.

9.- Propiedades físicas y químicas

Aspecto y olor: Líquido claro, incoloro, móvil, transparente como el agua, extremadamente volátil con olor fuerte y característico al alcohol.

Presión de vapor: 33 mmHg a 20 °C

Punto de ebullición: 83 °C (181° F)

Punto de fusión: -88.3 °C (-127F)

Densidad 20/4 °C: 0.79 gr/ml

Densidad de aire saturado (Aire=1): 2.07

Solubilidad en agua: Miscible en agua.

Otras solubilidades: Soluble en alcohol, éter, cloroformo y benceno.

PH: 5

Viscosidad a 20 °C: 42000 c.s.p.

Índice de refracción a 20 °C: 1,38

10.- Estabilidad y reactividad

Estabilidad: El alcohol Isopropilico es estable bajo condiciones normales del almacenaje y de la operación. Evite el contacto con el material incompatible. Guarde lejos de calor, de la llama, y de otros fuente de ignición.

Polimerización: Bajo que condiciones normales la temperatura y presión no se espera que ocurra riesgo de polimerización peligrosa.

Incompatibilidad química: Reacciona violentamente en contacto con óxidos fuertes, ácidos inorgánicos, aldehídos e isocyanos. Enciende en contacto con muchos óxidos metálicos.

Productos de descomposición: Cuando se lo caliente hasta descomposición, el alcohol Isopropilico emite humos, que incluye dióxido de carbono (CO2) gaseoso.

11.- Información toxicológica

Absorción: El contacto con los ojos puede causar ceguera y daños en los tejidos. El contacto con la piel puede causar irritación.

Ingestión: Dolor abdominal, náuseas, vómitos, tos, somnolencia, dolor de cabeza, jadeo, debilidad.

Inhalación: Los vapores causan irritación del tracto respiratorio superior con tos, disnea, dolor de cabeza, congestión, salivación, suave deshidratación, bronquitis, neumonitis química y/o edema pulmonar y efectos sobre el sistema nervioso central.

Carcinogénesis: No hay datos.

12.- Información ecológica

No hay datos disponibles.

13.- Consideraciones sobre disposición

Disposición: No hay métodos de disposición preferidos.

Colocar en recipientes adecuados hasta disposición o quemar en incinerador con doble cámara. Deben observarse métodos de eliminación y disposición aprobados por las autoridades nacionales y locales.

14.- Información de transporte

Transporte terrestre

Acuerdo MERCOSUR – Reglamento General para el Transporte de Mercancías Peligrosas

Nombre para transporte: Alcohol Isopropílico

Riesgo principal o Clase: 3

Número de UN: 1219

Rótulo: Líquido Inflamable

Grupo de envase: II

Número de riesgo: 33

Cantidad exenta: 333

Transporte marítimo

Nombre para transporte: Alcohol Isopropílico

Riesgo principal o Clase: 3

Número de UN: 1219

Rótulo: Líquido Inflamable

Grupo de envase: II

15.- Información regulatoria

Líquido inflamable clase 1B.

Considerado como material de ligero riesgo para la salud y alto riesgo por su inflamabilidad.

Figura en el listado del Acuerdo MERCOSUR - Reglamento General de Transporte de Mercancías Peligrosas y en Resolución 444/91 (D.N.S.S.T.).

16.- Información adicional

La información facilitada se considera correcta y confiable, pero se presenta sin garantía o responsabilidad por parte de CÍA. QUÍMICA Y AGROQUÍMICA ARGENTINA S.A. de su aplicación y consecuencias de la misma, por parte del usuario.

FIN DEL DOCUMENTO

Confeccionado por: Mauro C. Nupieri

ANEXO C

+GF+ SIGNET 515/2536 Rotor-X Flow Sensors



Features

- PVDF or Polypropylene molded sensor body
- Simple insertion design
- Separate versions for remote and integral installations
- Wide Turndown Ratio of 66:1 for 2536, 20:1 for 515
- Use with comprehensive line of fittings from DN15 to DN1000 (0.5 to 36 in.)
- Process Ready Signal (3-2536-XX)
- Extended length for wet-tap installations available

Application

- Pure Water Production
- Filtration Systems
- Chemical Production
- Liquid Delivery Systems
- Pump Protection
- Scrubbers

Options

Rotor-X Sensors	Instrument Options									
	8510-1	8510-2	8510-3	8510-4	5090	9075	5100	5500	5600	9010
515	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
8510	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
2536	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
8512	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

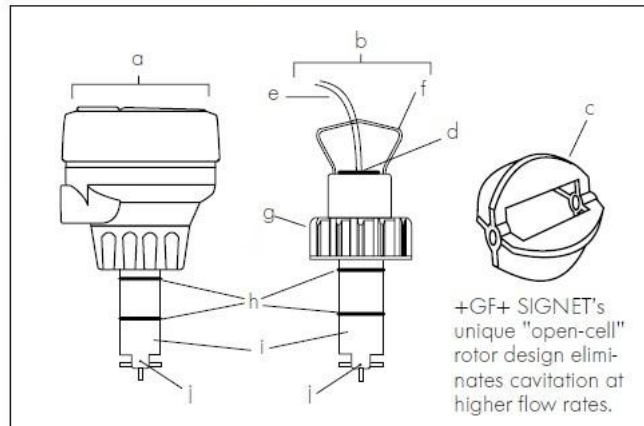
Description

Simple and reliable, Rotor-X paddlewheel flow sensors deliver time-honored performance. These highly repeatable, rugged sensors offer exceptional value with little or no maintenance required. Installation is simple with +GF+ SIGNET's comprehensive line of fittings for all pipe materi-

als in sizes from DN15 to DN1000 (0.5 to 36 in.). Output signal of the 515 is a sinusoidal frequency capable of driving a self-powered flowmeter (3-5090). The 3-2536 has a process-ready open-collector signal and can operate to flows as low as 0.1 m/s (0.3 ft/s).

Technical Features

- Integral mount sensor (8510/8512) shown with field-mount transmitter (sold separately)
- Remote mount sensor (515/2536)
- Open cell rotor and rotor pins available in variety of material options (sleeved rotor available for abrasive solutions)
- 1/2 in. NPT conduit connection
- 7.6m/25 ft. cable standard, extendable up to 60m/200 ft. (515) or 305m/1,000 ft. (2536)
- Large bail for sensor removal
- Glass-filled PP ring nut with provision for lead seal installation
- Dual O-ring seal (FPM standard, EPR and Kalrez® available)
- One-piece injection molded (black glass-filled PP or natural PVDF) sensor body
- Rotor pin

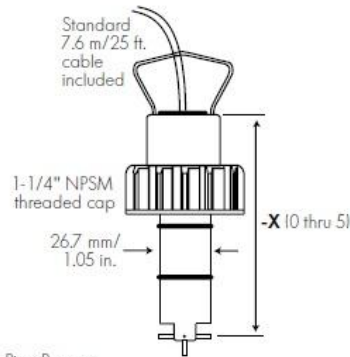


+GF+ SIGNET's unique "open-cell" rotor design eliminates cavitation at higher flow rates.

www.gfsignet.com

Dimensions

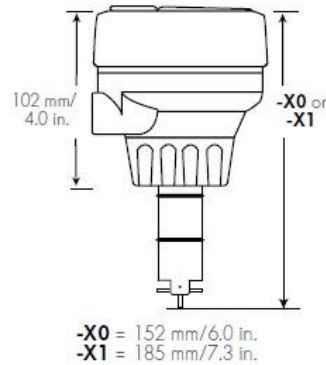
515/2536 Sensor



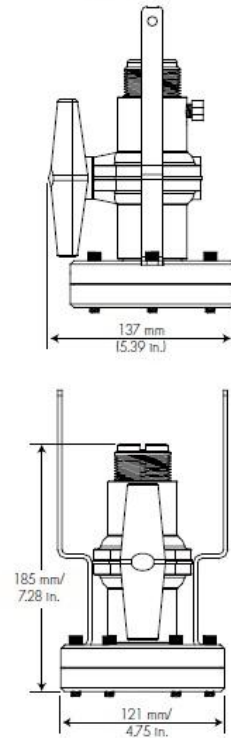
Pipe Range:

1/2 to 4 in.	-X0 = 104 mm/4.1 in.	} Wet-tap Lengths
5 to 8 in.	-X1 = 137 mm/5.4 in.	
10" and up	-X2 = 213 mm/8.4 in.	
1/2 to 4 in.	-X3 = 297 mm/11.7 in.	
5 to 8 in.	-X4 = 333 mm/13.1 in.	
10" and up	-X5 = 409 mm/16.1 in.	

8512 Integral Sensor with Transmitter (sold separately)






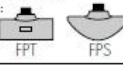






3519 Wet Tap Assembly (see catalog page for details)



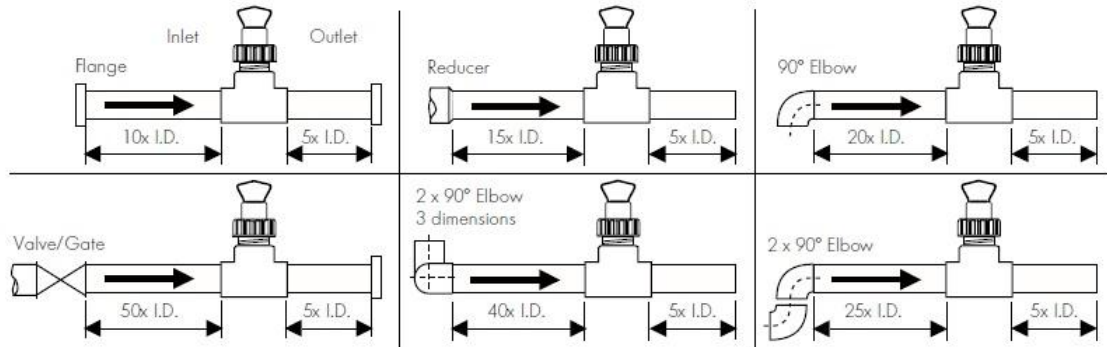
Fitting Types

Refer to Fittings section of +GF+ SIGNET catalog for a complete listing of part numbers

Type	Description	Type	Description
Plastic tees 	<ul style="list-style-type: none"> • 0.5 to 4 inch versions • PVC or CPVC 	Iron, Carbon Steel, 316 SS Threaded tees 	<ul style="list-style-type: none"> • 0.5 to 2 in. versions • Mounts on threaded pipe ends
PVC Glue-on Saddles 	<ul style="list-style-type: none"> • Available in 10 and 12 inch sizes only • Cut 2-1/2 inch hole in pipe • Weld in place using solvent cement 	Carbon steel & stainless steel Weld-on Weldolets 	<ul style="list-style-type: none"> • 2 to 4 inch, cut 1-7/16 inch hole in pipe • Over 4 inch, cut 2-1/4 inch hole in pipe
PVC Saddles 	<ul style="list-style-type: none"> • 2 to 4 inch, cut 1-7/16 inch hole in pipe • 6 to 8 inch, cut 2-1/4 inch hole in pipe 	Fiberglass tees & saddles: FPT FPS 	<ul style="list-style-type: none"> • 1.5 in. to 8 in. PVDF insert • > 8 in. PVC insert • Special order 12 in. to 36 in.
PP Clamp-on Saddles 	<ul style="list-style-type: none"> • Available in 10 and 12 inch sizes only • Cut 2-1/4 inch hole in pipe 	Metric Wafer Fitting 	<ul style="list-style-type: none"> • For pipes DN 65 to 200 mm • PP or PVDF
Iron Strap-on saddles 	<ul style="list-style-type: none"> • 2 to 4 inch, cut 1-7/16 inch hole in pipe • Over 4 inch, cut 2-1/4 inch hole in pipe • Special order 12 in. to 36 in. 	Metric Union Fitting 	<ul style="list-style-type: none"> • For pipes from DN 15 to 50 mm • PP or PVDF

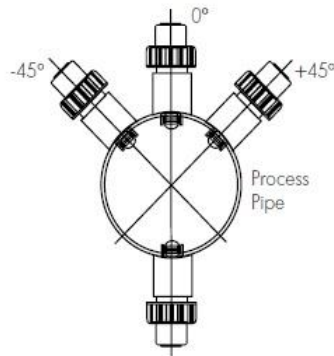
Installation

- Six common installation configurations are shown here as guidelines to help you select the best location in your piping system for a paddlewheel flow sensor.
- Always maximize distance between sensors and pump sources.



Sensor Mounting Position

- Horizontal pipe runs: Mount sensor in a vertical position for best performance, or at a maximum 45° angle to avoid air bubbles (pipe must be full). Do not mount the sensor on the bottom of the pipe if sedimentation is likely.
- Vertical pipe runs: Mount sensor in any orientation. Upward flow is preferred to ensure full pipe.



Maximum Operating Pressure/Temperature

515 Sensor:

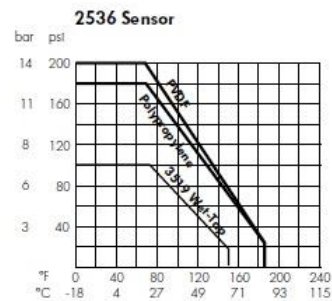
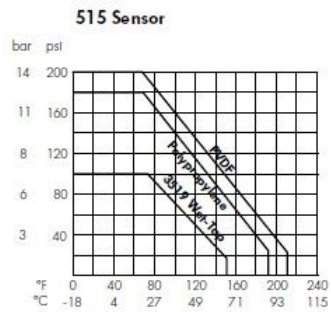
- Glass-filled Polypropylene Body:
- 12.5 bar (180 psi) max. @ 20°C (68°F)
 - 1.7 bar (25 psi) max. @ 90°C (194°F)
- PVDF Body:
- 14 bar (200 psi) max. @ 20°C (68°F)
 - 1.7 bar (25 psi) max. @ 100°C (212°F)

2536 Sensor:

- Polypropylene Body:
- 12.5 bar (180 psi) max. @ 20°C (68°F)
 - 1.7 bar (25 psi) max. @ 85°C (185°F)
- PVDF Body:
- 14 bar (200 psi) max. @ 20°C (68°F)
 - 1.7 bar (25 psi) max. @ 85°C (185°F)

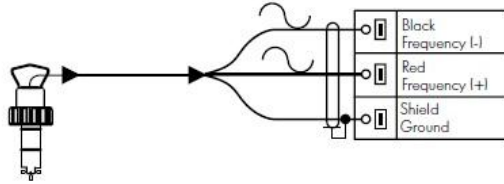
3519 Wet-Tap:

- 7 bar (100psi) max. @ -18° to 20°C (0° to 68°F)
 - 1.4 bar (20 psi) max. @ 66°C (150°F)
- Note: Wet-tap max. installation/removal pressure:
1.7 bar (25 psi) @ 22°C (72°F).

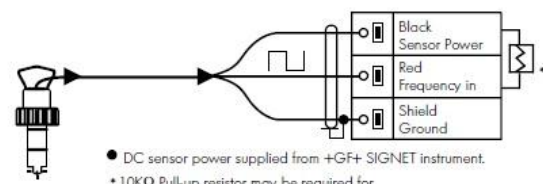


Wiring

515 Sensor Connection to +GF+ SIGNET Instruments



2536 Sensor Connection to +GF+ SIGNET Instruments



- DC sensor power supplied from +GF+ SIGNET instrument.
- 10K Ω Pull-up resistor may be required for non +GF+ SIGNET brand instrument

Technical Data

General (for both 515 & 2536)

Pipe Size Range: 15 to 1000 mm (0.5 to 36 in.)
 Linearity: $\pm 1\%$ of full range
 Repeatability: $\pm 0.5\%$ of full range
 Minimum Reynolds Number Required: 4500
 Wetted Materials:

Sensor Body: Glass-filled Polypropylene (black) or PVDF (natural)
 O-rings: FPM-Viton® (std) or EPDM or FPM-Kalrez®
 Pin: Titanium or Hastelloy-C or PVDF; other material options available
 Rotor: Black PVDF or Natural PVDF; optional Tefzel with or w/o Fluoroyal B® sleeve

Cable Type: 2-conductor twisted pair with shield (22 AWG)
 Shipping Weight:

-X0	0.454 kg	1 lb.
-X1	0.476 kg	1.04 lbs.
-X2	0.680 kg	1.50 lbs.
-X3	0.794 kg	1.75 lbs.
-X4	0.850 kg	1.87 lbs.
-X5	1 kg	2.20 lbs.
3519	1.3 kg	2.86 lbs.

Standards and Approvals (for both 515 & 2536):

- Manufactured under ISO 9001 and ISO 14001
- CE

General (515 Only)

Flow Rate Range: 0.3 to 6 m/s (1 to 20 ft./s)
 Pipe Size Range: DN15 to DN1000 (0.5 to 36 in.)
 Cable Length: 7.6 m (25 ft.) standard/60 m (200 ft.) maximum
 Signal:
 Frequency: 19.7 Hz per m/s nominal (6 Hz per ft/s)
 Amplitude: 3.3 V p/p per m/s nominal (1 V p/p per ft/s)
 Source Impedance: 8 Ω

Standards and Approvals (515 only):

- FM Class I, II, III/Div./groups A-G

General (2536 Only)

Flow Rate Range: 0.1 to 6 m/s (0.3 to 20 ft./s)
 Pipe Size Range: DN15 to DN1000 (0.5 to 36 in.)
 Cable Length: 7.6 m (25 ft.) standard/305 m (1,000 ft.) maximum
 Signal:
 Frequency: 49Hz per m/s nominal (1.5 Hz per ft/s nominal)
 Supply voltage: 3.5 to 24 VDC regulated
 Supply current: <1.5 mA @ 3.3 to 6 VDC
 <20 mA @ 6 to 24 VDC
 Output Type: Open collector transistor, sinking
 Output Current: 10 mA max.



Low Profile Basic Programmable 2-wire Transmitter for RTD and T/C

MINIIPAQ-HLP is a basic, non-isolated, easy-to-use 2-wire transmitter for in-head mounting in DIN B and similar heads.

Reduced height simplifies mounting in low connection heads.

Configuration is made in seconds with the user friendly Windows software, MINIIPAQ Soft. No external power is needed.

MINIIPAQ-HLP is programmable for RTD's in 3- and 4-wire connection as well as for 11 T/C types.

Useful error correction functions improve the accuracy.

- **Measurements with RTD's in 3- and 4-wire connection**

MINIIPAQ-HLP accepts inputs from a number of standardized RTD's such as Pt100, Pt500 and Pt1000 acc. to IEC 60751 ($a=0.00385$), Pt100 acc. to JIS C 1604 ($a=0.003916$) and US standards ($a=0.003902$) as well as Ni100 and Ni1000 acc. to DIN 43760.

3- and 4-wire connection can be selected.

- **Measurements with thermocouples**

MINIIPAQ-HLP accepts inputs from 11 types of standardized thermocouples.

For T/C input, the CJC (Cold Junction Compensation) is fully automatic, by means of an accurate measurement of the terminal temperature. Alternatively, the CJC can be disabled.

- **Temperature linear output**

Fully temperature linear 4-20 mA output for RTD's and thermocouples.

- **Sensor matching and error corrections for maximum accuracy**

A matching to a calibrated temperature sensor can easily be performed with the *Sensor Error Correction* function.

The *System Error Correction* is a convenient way to adjust the sensor/transmitter combination (or just the transmitter) for highest accuracy in a certain measuring range.

- **NAMUR compliant**

Output limitations and fail currents according to NAMUR recommendations.

- **Designed for harsh conditions**

Rugged design tested for 5 g vibrations.

- **Mounting and wiring**

MINIIPAQ-HLP is designed to fit inside connection heads type DIN B or larger.

The large center hole, dia. 7 mm / 0.28 inch, the robust terminals and the low height greatly simplify the mounting and wiring procedure.

- **Configuration without external power**

Edit or read the configuration off-line by just connecting a PC.

- **MINIIPAQ Soft, easy-to-use Windows configuration software**

The simple and user friendly software, MINIIPAQ Soft, is used for transmitter configuration in seconds. In one window all parameters are set, such as sensor type, measuring range, filter activation, CJC, sensor failure action, error corrections etc.

INOR PROCESS AB

PO Box 9125, SE-200 39 Malmö, Sweden, PHONE +46 40 312560, FAX +46 40 312570, E-MAIL support@inor.se WEB www.inor.se

INOR TRANSMITTER OY

PHONE +358 9 83850210, FAX +358 9 83850219, E-MAIL js.inor@surfeu.fi

INOR TRANSMITTER GmbH

PHONE +49 6181 582940, FAX +49 6181 582944, E-MAIL inor.gmbh@t-online.de

INOR TRANSMITTER Inc.

PHONE +1 262 884 4535, FAX +1 262 884 4537, E-MAIL service@inor.com

www.inor.com

Specifications: ^{MIN}IPAQ-HLP

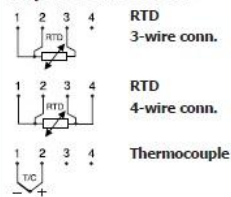
Input RTD's		
Pt100 (IEC60751, $\alpha = 0.00385$)	3-, 4-wire connection	-200 to +1000 °C / -328 to +1832 °F
Pt 100 (JIS1604, $\alpha = 0.003916$)	3-, 4-wire connection	-200 to +1000 °C / -328 to +1832 °F
Pt 100 (US, $\alpha = 0.003902$)	3-, 4-wire connection	-200 to +1000 °C / -328 to +1832 °F
Pt1000 (IEC60751, $\alpha = 0.00385$)	3-, 4-wire connection	-200 to +200 °C / -328 to +392 °F
Ni100 (DIN 43760)	3-, 4-wire connection	-60 to +250 °C / -76 to +482 °F
Ni1000 (DIN 43760)	3-, 4-wire connection	-100 to +150 °C / -148 to +302 °F
PtX (IEC60751, $\alpha = 0.00385$)	3-, 4-wire connection	Any Pt function between Pt10- Pt1000
Sensor current		~ 0.4 mA
Maximum sensor wire resistance		25 Ω /wire
Input Thermocouples		
Range	Type: AE, B, E, J, K, L, N, R, S, T, U	Acc. to T/C standards
Maximum sensor wire resistance		500 Ω (total loop)
Monitoring		
Sensor failure monitoring		Upscale or downscale action
Adjustments		
Zero adjustment	All inputs	Any value within range limits
Minimum spans	Pt100	10 °C / 18 °F
	T/C	2 mV
Output		
Analog		4-20 mA, temperature linear
Resolution		5 μ A
Minimum output signal	Measurement/Failure	3.8 mA / 3.5 mA
Maximum output signal	Measurement/Failure	20.5 mA / 21.6 mA
Permissible load, see load diagram		725 Ω @ 24 VDC, 22 mA
Temperature		
Ambient, storage and operation		-40 to +85 °C / -40 to +185 °F
General data		
Selectable dampening time		~ 2 s
Update time		~ 1.5 s
Isolation In - Out		Non-isolated
Humidity		0 to 100 %RH
Power supply, polarity protected		
Supply voltage		8 to 36 VDC 2-wire
Permissible ripple		4 V p-p @ 50/60 Hz
Accuracy		
Linearity	RTD	± 0.1 % ¹⁾
	T/C	± 0.2 % ¹⁾
Calibration	RTD	Max. of ± 0.2 °C/ ± 0.4 °F or ± 0.1 % ¹⁾
	T/C	Max. of ± 20 μ V or ± 0.1 % ¹⁾
Cold Junction Compensation (CJC)	T/C	± 0.5 °C / ± 0.9 °F
Temperature influence ¹⁾	All inputs	Max. of ± 0.25 °C/25 °C or $\pm 0.25\%/25$ °C ¹⁾²⁾
		Max. of ± 0.5 °F/50 °F or $\pm 0.28\%/50$ °F ¹⁾²⁾
Temperature influence CJC ³⁾	T/C	± 0.5 °C/25 °C / ± 1.0 °F/50 °F
RFI influence, 0.15 to 1000 MHz, 10 V or V/m		± 0.5 % ¹⁾ (typical)
Long-term stability		± 0.2 % ¹⁾ /year
Housing		
Material, Flammability (UL)		PC/ABS + PA, V0
Mounting		DIN B-head or larger, DIN rail (with mounting kit)
Connection	Single/stranded wires	Max. 1.5 mm ² , AWG 16
Weight		32,5 g
Protection, housing / terminals		IP 54 / IP 00

¹⁾ Of input span

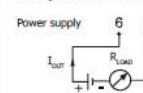
²⁾ If zero-deflection > 100% of input span: add 0.125% of input span/25 °C or 0.14% of input span/50 °F per 100% zero-deflection

³⁾ Reference temperature 23 °C / 73 °F

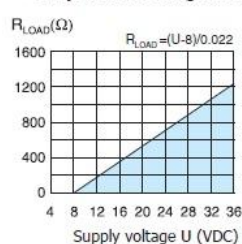
Input connections



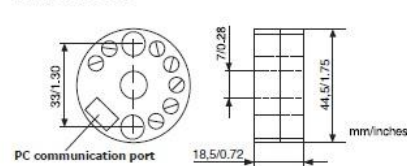
Output connections



Output load diagram




Dimensions



Ordering information

^{MIN} IPAQ-HLP	70MQHLP001
PC configuration kit	70CFG00092
Configuration	70CAL00001
Head mounting kit	70ADA00017
Rail mounting kit	70ADA00013

ANEXO D

 <p>Universidad Pontificia Bolivariana SECCIONAL BUCARAMANGA</p>	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE TRANSFERENCIA DE CALOR
	PRACTICA DE CONDENSACION

OBJETIVO: determinar el coeficiente global de transferencia de calor en el proceso del banco de condensación basado en los datos obtenidos del proceso, con el obtenido por formulación teórica disponible.

1. Revisión Bibliográfica:

- Curva de ebullición
- Modos de ebullición (nucleada, de transición, de película)
- Mecanismos físicos de condensación
- Condensación de película

2. Procedimiento:

1. Verificar la alimentación a 220V del gabinete de control.
2. Encender el gabinete de control.
3. Verificar que el programa del condensador este cargado en la CPU del PLC. (al Encender el banco de condensación se energizan los indicadores del tablero y comienza el proceso de calentamiento).
4. Encender el banco de condensación.
5. Simultáneamente con el paso anterior abrir las válvulas para permitir el flujo de agua.
6. Esperar hasta que el proceso se estabilice. Esto se da al momento en que la temperatura del alcohol isopropílico en estado líquido se estabilice en 83

7. Hacer la toma de las temperaturas, el caudal y la presión, desde el HMI
8. El sistema de control del condensador cuenta con un sistema de seguridad que evita sobrepresiones dentro de la cámara, en el caso de darse este fenómeno el indicador de sobrepresión se encenderá y desactivara el calentador.

3. Datos:

Numero de espiras del serpentín: 12

Diámetro exterior del tubo del serpentín: 7 mm

Espesor del tubo del serpentín: 0,8 mm

Área exterior total del serpentín: 0,043 m²

Área exterior de la resistencia de calefacción: 0,031m²

3. Actividades

1. Hacer una breve descripción de los componentes del banco de condensación y de su conjunto.
2. Graficar los diferentes tipos de ebullición y la condensación de película.
3. Una vez estable el proceso del condensador, realizar la curva $\Delta T_e - q_s''$

4. Comparar el coeficiente global de transferencia de calor h , medido con el h obtenido de la formulación teórica.
5. Completar la tabla de datos

TABLA DE DATOS	
Tensión eléctrica	[V]
Intensidad eléctrica	[A]
Temperatura alcohol fase líquida	[C]
Presión (absoluta) alcohol fase vapor	[kN/m ²]
Temperatura Resistencia de calentamiento	[C]
Caudal de agua de intercambio	[g/s]
Temperatura agua in	[C]
Temperatura agua out	[C]
Flujo de calor disipado por la resistencia de calentamiento	[W]
Densidad de Flujo de calor disipado por la resistencia de calentamiento	[W/m ²]
$\Delta T_e = T_s - T_{sat}$	[C]
Coeficiente de película de ebullición en la resistencia de calentamiento	[W/m ² K]
Flujo de calor transmitido en el serpentín	[W]
Flujo de calor transferido al exterior (perdidas)	[W]
Diferencia promedio de temperaturas en el condensador	[C]
Coeficiente global de transmisión de calor en el condensador [medido]	[W/m ² K]
Coeficiente global de transmisión de calor en el condensador [teórico]	[W/m ² K]

6. Una vez determinados los coeficientes globales de transferencia de calor en el condensador comparar los resultados e indicar las razones por la que los valores no son iguales.

CONCLUSIONES: a partir de las observaciones hechas durante la práctica, describir las aclaraciones que considere sustentan los resultados obtenidos.