



unitec[®]
LAUREATE INTERNATIONAL UNIVERSITIES[®]

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

PROYECTO DE GRADUACIÓN

INTEGRACIÓN DE SCADA PARA MONITOREO DE RECUPERADOR DE CALOR EN

SECADORA INDUSTRIAL, RLA MANUFACTURING

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO INGENIERO EN MECATRÓNICA

PRESENTADO POR:

212411121

HEBER DANIEL VELÁSQUEZ RIVERA

ASESOR: ING. MARTA REYES RODRÍGUEZ

CAMPUS SAN PEDRO SULA; MAYO, 2019

DEDICATORIA

A Dios: Por darme la determinación y fuerzas, gracias por estar presente no solo en esta etapa tan importante de mi vida, sino en todo momento ofreciéndome lo mejor y buscando lo mejor para mi persona.

A mis padres: Gracias a mis padres por ser los principales promotores de mis sueños, gracias a ellos por cada día confiar y creer en mí y en mis expectativas, gracias a mi madre por siempre desear y anhelar siempre lo mejor para mi vida y luchar para poder darme la oportunidad de llegar a esta etapa; gracias a mi padre apoyarme en todo lo que hago, por cada consejo y por cada una de sus palabras que me han guiado durante mi vida.

A mi familia: Gracias a sus aportes, a su amor, a su inmensa bondad y apoyo, lo complicado de lograr esta meta se ha notado menos. Les agradezco, y hago presente mi gran afecto hacia ustedes.

RESUMEN EJECUTIVO

El presente proyecto se ha elaborado con el fin de monitorear la eficiencia de las unidades de recuperación de calor en secadoras de tela tubular ubicadas en el área de acabado de las instalaciones de RLA Manufacturing. Se ha identificado que los costos de operación de estas máquinas es muy alto ya que se utilizan grandes cantidades de vapor saturado y energía eléctrica para mantener una temperatura óptima para secar la tela que entra a la máquina.

Estas máquinas utilizan una unidad de recuperación de calor para transferir la energía que se encuentra en el aire húmedo de salida de la máquina y transferir esta misma al aire seco de entrada. Ya que esta unidad no cuenta con un monitoreo de eficiencia de transferencia de calor, se ha dado la oportunidad de implementar un sistema que permita monitorear su eficiencia y otros procesos que puedan impactar su funcionamiento.

Para implementar este sistema se ha utilizado un PLC Siemens S-1215C con capacidad para recopilar datos (Data Logging) y aplicar un sistema SCADA con una pantalla HMI. Esta pantalla cuenta con los datos requeridos para indicar la temperatura, humedad y eficiencia de transferencia de calor. Al igual, ya que el PLC estará conectado con los servidores de la fábrica por medio de protocolo Profinet, se ha implementado software para recopilar datos por medio de un servidor web y mostrar la información en una página web.

Al implementar este sistema de monitoreo, se dará la oportunidad de encontrar áreas de mejora para incrementar la eficiencia energética de esta maquinaria, como el mejor uso y mantenimiento de la unidad de recuperación de calor.

ABSTRACT

This project has been developed to monitor the efficiency of heat recovery units in tubular fabric dryers located in the finishing area of RLA manufacturing facilities. It has been identified that these dryers have a high operating cost given that these use high quantities of saturated vapor and electric energy to maintain an optimal temperature to dry the incoming fabric.

These dryers use a heat recovery unit to transfer energy present in the humid air coming from the exhaustion air of the dryer to the dry air coming from the air intake. Since this unit does not count with a heat transfer efficiency monitoring system, the opportunity has been given to implement a system to monitor its efficiency and other processes that can impact its operation.

This system has been applied by using a Siemens S-1215C PLC with the ability to use Data Logging and SCADA to be used with an HMI display. This display contains the required data to indicate the temperature, humidity and heat transfer efficiency. As well, since the PLC will be connected to the plant's servers through Profinet protocol, data logging software has been implemented to track the results through a web server and display this information in a webpage.

By applying this monitoring system, the opportunity will be given to find improvement areas to increase the energy efficiency of these machines, such as using the heat recovery unit appropriately and improving its maintenance.

ÍNDICE GENERAL

| | | |
|-------------|---|----------|
| I. | INTRODUCCIÓN | 1 |
| II. | PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... | 3 |
| 2.1 | ANTECEDENTES..... | 3 |
| 2.2 | DEFINICIÓN DEL PROBLEMA | 4 |
| 2.3 | PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN | 4 |
| 2.4 | OBJETIVO GENERAL..... | 5 |
| 2.5 | OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 5 |
| 2.6 | JUSTIFICACIÓN | 5 |
| III. | MARCO TEÓRICO | 7 |
| 3.1 | PROCESO DE SECADO | 7 |
| 3.2 | TRANSFERENCIA DE CALOR..... | 7 |
| 3.2.1 | TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN..... | 8 |
| 3.2.2 | TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN..... | 9 |
| 3.2.3 | TRANSFERENCIA DE CALOR POR RADIACIÓN | 10 |
| 3.3 | INTERCAMBIADORES DE CALOR..... | 10 |
| 3.3.1 | INTERCAMBIADORES DE CONTACTO DIRECTO..... | 11 |
| 3.3.2 | INTERCAMBIADORES DE CONTACTO INDIRECTO..... | 11 |
| 3.4 | RECUPERADORES DE CALOR..... | 12 |
| 3.5 | LA AUTOMATIZACION INDUSTRIAL | 14 |
| 3.6 | CONTROLADOR LOGICO PROGRAMABLE..... | 14 |
| 3.6.1 | CLASIFICACIÓN DE LOS PLC | 15 |
| 3.6.1.1 | CLASIFICACION SEGÚN SU CONSTRUCCIÓN..... | 15 |
| 3.6.1.2 | SEGÚN SUS ENTRADAS Y SALIDAS..... | 16 |
| 3.7 | TIPOS DE SEÑAL ENTRADAS..... | 17 |
| 3.7.1 | SEÑALES DIGITALES..... | 17 |
| 3.7.2 | SEÑALES ANÁLOGAS | 18 |
| 3.7.3 | LAZO DE CORRIENTE | 19 |
| 3.8 | REDES INDUSTRIALES | 21 |

| | | |
|------------|---|-----------|
| 3.8.1 | SISTEMAS DE TRANSPORTE DE SEÑAL..... | 22 |
| 3.8.1.1 | MEDIOS GUIADOS..... | 22 |
| 3.8.1.2 | MEDIOS NO GUIADOS..... | 23 |
| 3.8.2 | PROTOCOLOS DE RED..... | 24 |
| 3.8.2.1 | PROFINET..... | 24 |
| 3.9 | SISTEMA SCADA..... | 25 |
| 3.9.1 | FUNCIONES DE UN SISTEMA SCADA..... | 27 |
| 3.9.2 | HARDWARE DE UN SISTEMAS SCADA..... | 27 |
| 3.9.3 | VENTAJAS DE LOS SISTEMAS SCADA..... | 29 |
| 3.9.4 | SOFTWARE SCADA | 29 |
| 3.10 | RECOPIACIÓN DE DATOS | 30 |
| IV. | METODOLOGIA..... | 32 |
| 4.1 | HIPÓTESIS..... | 32 |
| 4.2 | VARIABLES..... | 32 |
| 4.2.1 | VARIABLES DEPENDIENTES | 32 |
| 4.2.2 | VARIABLES INDEPENDIENTES..... | 33 |
| 4.3 | MÉTODO Y ENFOQUES | 33 |
| 4.4 | FUENTES DE INFORMACIÓN..... | 34 |
| 4.5 | CRONOGRAMA | 35 |
| V. | RESULTADOS Y ANALISIS..... | 36 |
| 5.1 | ANÁLISIS..... | 36 |
| 5.1.1 | TERMÓMETRO DE RESISTENCIA – PT100 | 36 |
| 5.1.2 | FLUJÓMETRO | 38 |
| 5.1.3 | SENSOR DE HUMEDAD..... | 40 |
| 5.1.4 | ACONDICIONAMIENTO DE SEÑAL ANALÓGICA | 41 |
| 5.1.5 | EFICIENCIA DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR..... | 43 |
| 5.1.6 | UBICACIÓN DE LOS SENSORES | 44 |
| 5.2 | RESULTADOS..... | 46 |
| 5.2.1 | DESARROLLO DE SCADA..... | 46 |
| 5.2.1.1 | PANTALLA PRINCIPAL..... | 47 |

| | | |
|--------------|---|-----------|
| 5.2.1.2 | MONITOREO DE VARIABLES..... | 47 |
| 5.2.1.3 | PANTALLA DE EFICIENCIAS..... | 49 |
| 5.2.1.4 | PANTALLA DE PARAMETRIZACIÓN | 51 |
| 5.2.2 | DESARROLLO DE PROGRAMACIÓN..... | 52 |
| 5.2.2.1 | PROGRAMACIÓN DE MONITOREO | 52 |
| 5.2.2.2 | PROGRAMACIÓN DE RECOPIADOR DE DATOS..... | 55 |
| VI. | CONCLUSIONES | 58 |
| VII. | RECOMENDACIONES | 59 |
| 7.1 | HACIA LA EMPRESA..... | 59 |
| 7.2 | HACIA LA UNIVERSIDAD | 59 |
| VIII. | BIBLIOGRAFÍA..... | 60 |
| IX. | ANEXOS..... | 64 |
| Anexo 1 - | Diagrama eléctrico de sensores..... | 64 |
| Anexo 2 - | Plano de componentes a integrar..... | 65 |
| Anexo 3 - | Fotografía del recuperador de calor | 65 |
| Anexo 4 - | Imagen de ductos de entrada y salida de aire exterior | 66 |
| Anexo 5 - | Ducto de salida de aire caliente de la secadora | 66 |
| Anexo 6 - | Instalación de PT100 en ducto de salida de la secadora..... | 67 |
| Anexo 7 - | Instalación de PT100 en ducto de entrada de aire exterior | 67 |
| Anexo 8 - | Instalación de PT100 en ducto de salida de aire exterior | 68 |
| Anexo 9 - | Instalación de flujómetro en ducto de entrada de aire exterior..... | 68 |
| Anexo 10 - | Instalación de flujómetro en ducto de salida de aire exterior..... | 69 |
| Anexo 11 - | Instalación de PLC con módulos analógicos y pantalla HMI..... | 69 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

| | | |
|------------------|--|----|
| Ilustración 1 - | Conducción en gases, líquidos y sólidos | 8 |
| Ilustración 2 - | Ejemplo de transferencia de calor por convección..... | 9 |
| Ilustración 3 - | Imagen de torres de vapor | 11 |
| Ilustración 4 - | Instalación de módulo de expansión en PLC Compacto..... | 16 |
| Ilustración 5 - | Imagen de PLC modular marca Festo..... | 16 |
| Ilustración 6 - | Forma de onda de una señal digital..... | 18 |
| Ilustración 7 - | Ejemplo de diagrama para conversión de señal analógica a digital | 19 |
| Ilustración 8 - | Diagrama de bucle analógico de corriente | 21 |
| Ilustración 9 - | SCADA de control de nivel hecho en WinCC..... | 26 |
| Ilustración 10 - | Arquitectura básica de hardware en sistema SCADA | 28 |
| Ilustración 11 - | Elementos que componen un sistema de datos de investigación | 31 |
| Ilustración 12 - | TS500, PT100 distribuida por Siemens | 37 |
| Ilustración 13 - | TH100, transductor de señal resistiva distribuido por Siemens..... | 37 |
| Ilustración 14 - | Sensor de flujo distribuido por Wika | 38 |
| Ilustración 15 - | Dimensiones del ducto de salida de aire de secadora..... | 39 |
| Ilustración 16 - | Dimensiones del ducto de entrada de aire exterior..... | 39 |
| Ilustración 17 - | Sensor de humedad marca Setex..... | 41 |
| Ilustración 18 - | Programación para normalizar y escalar una señal de PT100..... | 42 |
| Ilustración 19 - | Programación para acondicionar señal del sensor de humedad..... | 43 |
| Ilustración 20 - | Programación para acondicionar la señal del flujómetro | 43 |
| Ilustración 21 - | Esquema con posición de sensores en recuperador de calor | 45 |
| Ilustración 22 - | Esquema con posición de sensores de humedad en secadora..... | 46 |
| Ilustración 23 - | Pantalla principal de SCADA..... | 47 |

| | | |
|------------------|---|----|
| Ilustración 24 - | SCADA para monitoreo de variables en sistema métrico | 48 |
| Ilustración 25 - | SCADA para monitoreo de variables en sistema inglés..... | 48 |
| Ilustración 26 - | Pantalla de SCADA para monitoreo de humedad..... | 49 |
| Ilustración 27 - | Pantalla SCADA de eficiencias general..... | 50 |
| Ilustración 28 - | Pantalla SCADA de grafica de eficiencias..... | 50 |
| Ilustración 29 - | Pantalla de parametrización de tiempo de muestra y sensores..... | 51 |
| Ilustración 30 - | Imagen de programación de monitoreo de todos los sensores | 52 |
| Ilustración 31 - | Programación para cálculo de eficiencia de transferencia de calor | 54 |
| Ilustración 32 - | Programación para cálculo de caudal..... | 55 |
| Ilustración 33 - | Programación para recopilar datos de temperatura y flujo..... | 56 |
| Ilustración 34 - | Programación de recopilación de datos de humedad..... | 57 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | | |
|---------|--|----|
| Tabla 1 | - Nivel lógico en un bucle de corriente | 20 |
| Tabla 2 | - Características de protocolo Profinet..... | 25 |
| Tabla 3 | - Tabla de software SCADA por desarrollador..... | 30 |
| Tabla 4 | - Cronograma de actividades | 35 |
| Tabla 5 | - Rangos de lectura de los sensores utilizados en este sistema | 42 |
| Tabla 6 | - Tabla de parámetros de sensores de flujo..... | 53 |
| Tabla 7 | - Tabla de parámetros de sensores de temperatura PT100..... | 53 |
| Tabla 8 | - Tabla de parámetros de sensores de humedad..... | 54 |

ÍNDICE DE ECUACIONES

| | | | |
|------------|---|---|----|
| Ecuación 1 | - | Formula para calcular la eficiencia de un intercambiador de calor..... | 13 |
| Ecuación 2 | - | Ecuación de flujo volumétrico..... | 39 |
| Ecuación 3 | - | Ecuación de cálculo de área de un rectángulo..... | 40 |
| Ecuación 4 | - | Ecuación para calcular la eficiencia de un intercambiador de calor..... | 44 |

GLOSARIO

1. **Controlador Lógico Programable (PLC):** Es una computadora utilizada en la automatización industrial, para automatizar procesos electromecánicos.
2. **Registrador de Datos (Data Logger):** Es un dispositivo electrónico o software que registra datos en el tiempo o en relación a la ubicación por medio de instrumentos y sensores propios o conectados externamente.
3. **Interfaz Hombre-Maquina (HMI):** Es la interfaz entre el proceso y los operadores, es la herramienta principal con la cual los operadores y los supervisores de la línea coordinan y controlan los procesos industriales y de fabricación en la planta.
4. **Caudal:** Es la cantidad de fluido que circula a través de una sección del ducto por unidad de tiempo.
5. **Intercambiador de calor:** Es un radiador diseñado para transferir calor entre dos fluidos, o entre la superficie de un sólido y un fluido en movimiento.
6. **Entalpia:** es una magnitud termodinámica que define la cantidad de energía que un sistema intercambia con su entorno.
7. **SCADA:** Sistema de monitoreo para entornos industriales.
8. **Detector de Temperatura Resistivo (RTD):** Es un sensor de temperatura basado en la variación de la resistencia de un conductor con la temperatura.
9. **Eficiencia energética:** Es el uso eficiente de la energía, de manera de optimizar los procesos productivos y el empleo de la energía, utilizando lo mismo o menos para producir más bienes y servicios

I.INTRODUCCIÓN

En el siguiente trabajo se detallará un proyecto de mejora para su implementación en el área de acabado de RLA Manufacturing.

En toda industria, tener bajos costos de operación es necesario para mantener precios competitivos y una de las mejores formas de mantener bajos costos de operación es incrementar la eficiencia energética de la maquinaria. Este trabajo se centrará en la implementación de SCADA para monitorear la eficiencia de una unidad de recuperación de calor.

Este proyecto está compuesto por secadoras de tela tubular con una unidad de recuperación de calor para aprovechar el aire de salida de la secadora. Estas unidades tienen dos entradas, una introduce aire seco a temperatura ambiente y otra introduce aire húmedo con alta temperatura, esta última es utilizada para calentar el aire seco dándonos las dos salidas, el aire seco precalentado que se recicla y aire húmedo a baja temperatura que es desechado.

Ya que actualmente estas unidades no son monitoreadas, se implementarán 3 sensores de temperatura para obtener los datos de temperatura en ambas entradas de aire al recuperador de calor y en la salida de aire precalentado que reciclará en la secadora, también se utilizarán dos flujómetros para medir el caudal de ambas entradas y 5 sensores de humedad para monitorear la humedad específica en cada zona de la secadora ya que el ventilador de extracción actualmente se acciona con el valor de un sensor de humedad defectuoso. "La automatización nació con el fin de usar la capacidad de las máquinas para llevar a cabo determinadas tareas anteriormente efectuadas por seres humanos y para controlar la secuencia de las operaciones sin intervención humana." (Lugo, J. G. C., Ybarra, J. J. P., &

Romero, E. ,2005, p. 18). El sistema de SCADA podrá verse en las oficinas de monitoreo y en el piso de producción por medio de una pantalla HMI. Igualmente, se implementará software para recopilar datos por medio de una página web, el administrador de esta página podrá ingresar ingresando la dirección IP del PLC y descargar datos de humedad, temperaturas, caudal y eficiencia en un tiempo determinado. Siendo esta implementación una mejora para el monitoreo de eficiencia energética de la máquina.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 ANTECEDENTES

RLA Manufacturing es una compañía textilera subsidiada por Fruit of the Loom, con Berkshire Hathaway Inc. como empresa matriz. Esta compañía se dedica a la manufactura textil enfocada a la producción de tela para ropa de deporte que es exportada hacia México, Estados Unidos y El Salvador. RLA Manufacturing tiene diferentes departamentos o áreas en los cuales realizan este producto como el área de tejido, teñido, acabado, corte y costura. El área de acabado consta de 3 procesos: secado, felpado y compactado de tela, siendo el primer proceso el enfoque de este proyecto.

El proceso de secado se encarga de secar la tela tubular que viene del área de teñido, teniendo ésta un 70-80% de humedad para posteriormente secarla a un 3-7%. El proceso de secado está compuesto por 5 secadoras a vapor, cada una con la capacidad de secar entre 22.86 y 41.15 metros de tela por minuto dependiendo éste parámetro del tipo de tela a secar y sus dimensiones. Debido a que el proceso de secado utiliza bastantes recursos energéticos, la empresa decidió implementar un intercambiador de calor para precalentar el aire seco de entrada y minimizar el uso de vapor saturado de la planta de generación de vapor.

Desde el momento de su instalación, esta unidad de recuperación de calor no ha recibido mantenimiento o monitoreo de rendimiento, por lo cual, se ha decidido realizar un proyecto de mejora que consiste implementar un sistema de monitoreo SCADA ya que esto les permitirá saber si esta unidad no está siendo eficiente y aplicar una solución para mejorar su eficiencia.

2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Debido a que el uso de las secadoras industriales conlleva un gran gasto operativo en vapor saturado y energía eléctrica, es necesario buscar formas de mejorar la eficiencia energética de la maquinaria o de su producción. En este caso, RLA Manufacturing decidió ahorrar el uso de vapor saturado instalando un recuperador de calor en sus secadoras. Lamentablemente, estas unidades no tienen un sistema de monitoreo que demuestre que están siendo utilizadas efectivamente ya que factores como alto accionamiento en tiempo indebido, caudal de salida muy alto, suciedad en la unidad y sus filtros pueden reducir su efectividad de transferencia de calor. No saber si este sistema está recuperando calor efectivamente puede ocasionar pérdidas energéticas, de producción y por último un bajo desempeño en comparación a la eficiencia indicada por el proveedor puede ser un indicador que es necesario dar mantenimiento a estas unidades y a si encontrar formas de mejorar su eficiencia.

2.3 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

Una vez definido el problema, surgieron las siguientes preguntas de investigación:

1. ¿Cuál es el valor del caudal en los ductos de funcionamiento del intercambiador de calor?
2. ¿Se cuenta actualmente con un control del caudal de entrada de los ductos?
3. ¿De qué forma desearían obtener los datos de temperatura y eficiencia del recuperador de calor?
4. ¿Se ha dado mantenimiento a la unidad, si es así, con que recurrencia lo han hecho?

2.4 OBJETIVO GENERAL

Implementar sistema SCADA para monitorear la humedad y la eficiencia de transferencia de calor en una unidad de recuperación de calor y el uso efectivo de esta misma. "La Eficiencia Energética es la relación entre las energías consumidas y el volumen o cantidad producida o movilizadas." (Carolina Altmann, 2010, p. 2)

2.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Monitorear la temperatura, humedad y eficiencia de la unidad de recuperación de calor en tiempo real mediante la implementación de un sistema SCADA.
- Desarrollar programación e implementar sensores para determinar el caudal en los ductos de entrada del recuperador de calor y la eficiencia de transferencia de calor de este mismo.
- Desarrollar un recopilador de datos por medio de programación para obtener los datos históricos de temperatura, humedad, caudal y eficiencia de transferencia de calor para poder descargarlos de forma remota.

2.6 JUSTIFICACIÓN

La importancia de disminuir el gasto es vital para toda empresa, por lo que monitorear la eficiencia de la maquinaria o sistemas de producción es necesario ya que omitir estos datos puede resultar en grandes pérdidas económicas y estas solo aumentarían con el transcurso del tiempo.

Al implementar este sistema de monitoreo SCADA, se podrá obtener la información necesaria que nos indicará la eficiencia del recuperador de calor, los parámetros de operación y los datos

darán indicación de alguna falla en caso de que esta no tenga la eficiencia adecuada. Tener estos datos de monitoreo permitirá dar seguimiento a formas de mejorar la eficiencia de la secadora lo cual se trasladará en ahorro económico para la empresa. Igualmente, la implementación del acceso de datos remotamente será de gran conveniencia para la gerencia de la compañía ya que no será necesario ir al piso de producción para obtener datos históricos del rendimiento de la máquina.

III.MARCO TEÓRICO

3.1 PROCESO DE SECADO

El proceso de secado en RLA Manufacturing tiene como objetivo extraer la humedad de las fibras para que el producto salga del secador en porcentajes de humedad deseados (entre 6.5-3.5%). El proceso de secado es de los más críticos en la industria textil ya que este proceso requiere grandes recursos energéticos y no tener un control o monitoreo sobre este podría causar grandes problemas de producción por lo cual es necesario mantener las variables como humedad, temperatura y flujo de aire bajo control. (Mejía-A, s,f) afirma: "la implementación de un sistema de control, preciso, debería ser considerado por todos los productores que buscan una mayor eficiencia y rentabilidad en sus operaciones."

Las máquinas de secado en la empresa están divididas en zonas indicadas por la sección que ocupa cada uno de los ventiladores principales, estos se encargan de recircular el aire dentro de la secadora para remover la humedad en la tela y para enviar el aire con exceso de humedad a los ductos de extracción y ser reutilizado en el recuperador de calor.

3.2 TRANSFERENCIA DE CALOR

En los procesos de secado un factor importante a tener en cuenta es la transferencia de calor, ya sea entre el vapor saturado a las fibras de tela o la eficiencia de transferencia de calor en los intercambiadores de calor utilizados en estas mismas. "Se ha descrito a la transferencia de calor como el estudio de las velocidades a las cuales el calor se intercambia entre fuentes de calor y recibidores" (Kern, 2006, p. 16). Los mecanismos de transferencia de calor son los siguientes:

- Conducción
- Convección
- Radiación

En el proceso de secado realizado en RLA Manufacturing se aprovechan todas estas formas de transferencia de calor. "En muchos e importantes problemas de ingeniería y tecnología intervienen conducción y convección al mismo tiempo" (Kurt C. Rolle, 2006, p. 521).

3.2.1 TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN

Es el proceso de transmisión de calor que se da por el contacto directo entre cuerpos, en este proceso se intercambia calor que fluye de un cuerpo con alta temperatura a uno con menor temperatura hasta que ambos cuerpos lleguen a un punto de equilibrio de temperatura.

La conducción puede tener lugar en los sólidos, líquidos o gases. En los gases y líquidos la conducción se debe a las colisiones y a la difusión de las moléculas durante su movimiento aleatorio. En los sólidos se debe a la combinación de las vibraciones de las moléculas en una red y al transporte de energía por parte de los electrones libres. (Çengel, 2007, p. 18)

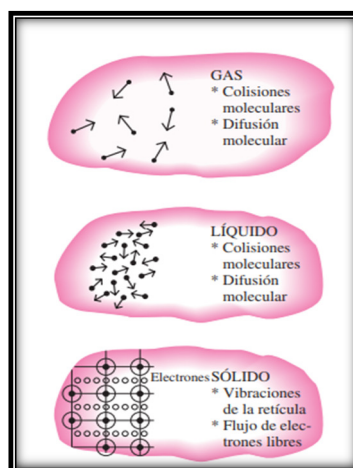


Ilustración 1 - Conducción en gases, líquidos y sólidos

Fuente: (Çengel, 2007)

La rapidez o razón de la conducción de calor a través de un medio depende de la configuración geométrica de éste, su espesor y el material de que esté hecho, así como de la diferencia de temperatura a través de él. (Çengel, 2007, p. 19)

Por lo cual, tomar en consideración estas variables es importante al usar este método de transferencia de calor especialmente el material del cual está hecho debido a que no todos los materiales poseen la misma conductividad térmica o capacidad para conducir calor.

3.2.2 TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN

La transferencia de calor por convección ocurre debido al movimiento de moléculas dentro de una mezcla de fluidos como gases o líquidos, en los cuales al existir una diferencia de temperatura se transmitirá calor de un fluido con mayor energía hacia el fluido con menor energía. "La convección es el movimiento de grandes cantidades de materia hacia un sistema con distinta temperatura. El sistema se calienta o se enfría debido a este movimiento." (Connors & Jiménez, 2018, p. 22)



Ilustración 2 - Ejemplo de transferencia de calor por convección.

Fuente: (Connors & Jiménez, 2018)

La mezcla de estos fluidos puede ser inducida por la diferencia de densidad entre los fluidos o por elementos de accionamiento como bombas en una tubería o mezcladores en tanques de

almacenamiento.

3.2.3 TRANSFERENCIA DE CALOR POR RADIACIÓN

La transferencia de calor por radiación es aquella en la cual un cuerpo emite ondas electromagnéticas a través del espacio, las cuales son recibidas por otro cuerpo y este las convierte en energía térmica. Medina (2017) afirma: "La radiación térmica es un proceso de propagación de la energía interna de una sustancia emisora sólida, líquida o gaseosa, por medio de ondas electromagnéticas." (p.645). Podemos ver este proceso en la energía que recibimos del sol, este emite grandes cantidades de ondas electromagnéticas que viajan a través del espacio y que son recibidas por nuestro planeta convirtiéndolas en energía térmica.

3.3 INTERCAMBIADORES DE CALOR

Hoy en día se utilizan intercambiadores de calor en muchos equipos y maquinas, desde automóviles hasta en nuestros hogares para transferir energía de un fluido a otro. Pueden utilizarse para calentar o enfriar un fluido a una temperatura deseada, esto depende de la aplicación para la que será utilizado. Este tipo de sistemas es de gran importancia y utilidad en la industria manufacturera, desde acondicionamiento de aire para oficinas hasta su uso en secadoras. Las principales razones por las que se utilizan los intercambiadores de calor son:

1. Calentar un fluido por mediante un fluido con mayor temperatura
2. Condensar fluidos en estado gaseoso por medio de un fluido frio
3. Enfriar un fluido caliente mediante un fluido con menor temperatura
4. Evaporar fluidos en estado líquido por medio de un fluido caliente

Jaramillo (2007) afirma: "...los fluidos utilizados no están en contacto entre ellos, el calor es

transferido del fluido con mayor temperatura hacia el de menor temperatura al encontrarse ambos fluidos en contacto térmico con las paredes metálicas que los separa” (p.3). Por lo que su uso en procesos con fluidos de operación homogéneos es perfecto

Los intercambiadores de calor se clasifican principalmente entre el dos tipos, diferenciándose estos entre el tipo de contacto para la transferencia de calor, se dividen entre intercambiadores de contacto directo e indirecto.

3.3.1 INTERCAMBIADORES DE CONTACTO DIRECTO

Los intercambiadores de contacto directo son aquellos en el cual hay una mezcla física de los fluidos, estos son utilizados cuando no es de importancia mantener un fluido de salida homogéneo, este tipo de intercambiador es utilizado en torres de enfriamiento en plantas de generación de vapor.



Ilustración 3 - Imagen de torres de vapor

Fuente: Tomada de la página principal de ESINDUS

3.3.2 INTERCAMBIADORES DE CONTACTO INDIRECTO

Los intercambiadores de contacto indirecto son utilizados para transferir calor entre fluidos

sin que estos se mezclen. "En los intercambiadores de tipo contacto indirecto, las corrientes permanecen separadas y la transferencia de calor se realiza a través de una pared divisora, o desde el interior hacia el exterior de la pared de una forma no continua." (Medina, 2017, p.751) Este tipo de intercambiador directo es ideal para transferencia de temperatura a fluidos que se necesitan mantener homogéneos. Los intercambiadores de calor de contacto indirecto se dividen con respecto a la dirección y flujo en el cual los fluidos pasan, se pueden dividir entre:

- Flujo paralelo
- Flujo a contracorriente
- Flujo cruzado

Según los datos recolectados, el intercambiador de calor utilizado es en la unidad de recuperación de calor es de flujos cruzados. "Se denominan intercambiadores de calor de flujos cruzados a aquellos en los que las dos corrientes fluidas forman un ángulo en el espacio; en general ambas corrientes son perpendiculares" (Montes Pita, Muñoz Domínguez, & Rovira de Antonio, 2014, p. 184).

3.4 RECUPERADORES DE CALOR

En la industria textil existe mucha maquinaria que utiliza grandes cantidades de energía y vapor saturado para sus procesos por lo cual se da la amplia implementación de equipos de recuperación de calor para recuperar parte de la energía que normalmente sería desechada y mediante un intercambiador de calor, introducir parte de esta energía a sus procesos sin que se mezclen los fluidos y tener un fluido de proceso homogéneo. "Se sabe que reducir el consumo energético es más efectivo que evitar su gasto, por lo que la innovación en sistemas de recuperación ofrece ambas opciones: reducir la demanda innecesaria de combustibles y

aprovechar el calor que se genere” (Antonio Nieto, 2014).

Debido a que el proceso de secado desprende más humedad de la tela, el aire circundante dentro de la maquina tiende a estar más húmedo. Al utilizar un sistema de recuperación de calor introducimos aire seco del ambiente y deseamos aire húmedo lo cual nos ayudara a reducir la humedad dentro del sistema y así evitar la saturación agua en el aire y evitar su condensación, lo cual impactaría la eficiencia de la máquina y la calidad del producto.

La efectividad de los intercambiadores de calor es importante, ya que esto nos permite verificar si este necesita limpieza o si estamos recuperando más calor del que estamos sacando del sistema. Montes Pita, Muñoz Domínguez, & Rovira de Antonio (2014) afirman: “La efectividad de un intercambiador de calor es la relación entre la transferencia real de calor en el cambiador y la transferencia de calor máxima que podría aceptar” (p.216).

Ya que por los ductos pasan dos fluidos con propiedades diferentes, es necesario saber cuál que el que contiene mayor capacidad calorífica, en este caso al tener mayor humedad, el aire que sale de la secadora tiene un calor específico mayor que el del aire exterior. Teniendo esto en cuenta y de acuerdo con la siguiente formula podremos calcular fácilmente la eficiencia de transferencia de calor en el recuperador de calor:

$$\varepsilon = \frac{(T_{ff} - T_{fi})}{(T_{ci} - T_{fi})}$$

Ecuación 1 - Formula para calcular la eficiencia de un intercambiador de calor

Fuente: (Montes Pita, Muñoz Domínguez, & Rovira de Antonio, 2014)

Donde:

T_{fi} = *Temperatura inicial del aire frio*

T_{ci} = *Temperatura inicial del aire caliente*

$T_{ff} = \text{Temperatura final del aire frio}$

3.5 LA AUTOMATIZACION INDUSTRIAL

Con la revolución industrial apareció la producción en serie, la cual contiene muchas tareas repetitivas que en aquel entonces eran laboradas por humanos. Poco a poco los avances tecnológicos han permitido minimizar la cantidad de tareas repetitivas que en las que no es necesaria la intervención humana. Hoy en día es fácil encontrar procesos de automatización industrial en muchos sectores, esta se aplica para mejorar procesos, generar mayor cantidad de producto en el menor tiempo posible y así reducir costos. "Los proyectos de automatización de procesos representan innovaciones tecnológicas, con serio impacto en la gestión de las empresas" (Vilaboa B., 2006, p.34)

3.6 CONTROLADOR LOGICO PROGRAMABLE

Los controladores lógicos programables o PLC es un sistema industrial de control computacional que monitorea continuamente el estado de los estados de sus entradas y acciona sus salidas en base a la programación personalizada que se le ha cargado. Estos autómatas fueron creados para reemplazar relés electromecánicos como elementos lógicos, pasando esta lógica a un computador y de esta forma ser guardada.

Un PLC permite controlar un proceso o realizar una secuencia de acciones de manera automática a partir de un programa definido por el usuario. Esto lo realiza ejecutando en forma cíclica una secuencia de instrucciones que, a partir de la información que llega a sus entradas desde los sensores, deciden cuándo conmutar sus salidas, donde se encuentran conectados los actuadores. (Daneri, 2008, p. 89)

La implementación de estos autómatas es de gran ayuda ya que son fáciles de instalar y utilizar

sus entradas y salidas ya que antes de su implementación eran utilizados circuitos de mando para realizar esta tarea y en caso de tener grandes circuitos, reemplazar uno de sus elementos se volvía una gran tarea. "Hasta ahora la automatización de máquinas y procesos ha permitido mejorar la productividad, la disminución de costes, y la mejora de la calidad de los productos" (Mayol i Badía, 1988, p.7). El uso de estos autómatas es de gran importancia en la industria ya que versiones tienen mayor capacidad de automatizar procesos más complejos y compartir datos a través de una red, lo que nos permite enviar información de los datos captados a un servidor para ser analizados.

3.6.1 CLASIFICACIÓN DE LOS PLC

Los PLC pueden utilizarse en muchas aplicaciones, ya sea simples o complejas por lo que tener en mente el alcance del proyecto ayudará a elegir el PLC adecuado para el proyecto. Las características a tener en cuenta al utilizar un PLC son su construcción y la cantidad de entradas y salidas digitales y análogas que este posee.

3.6.1.1 CLASIFICACION SEGÚN SU CONSTRUCCIÓN

Los PLC pueden ser clasificados según su construcción, entre compacto o modular dependiendo su elección de la complejidad su aplicación o necesidad de ampliación de sus entradas o salidas.

- Los PLC compactos son aquellos que alojan todas las partes esenciales como entradas, salidas, CPU y fuente de alimentación en una misma unidad. Este tipo de PLC tiende a tener baja cantidad de entradas y salidas, pero con capacidad de incluir unidades de expansión. "La mayor ventaja que ofrece es su bajo costo, y las desventajas residen en las limitaciones a la hora de expandir el equipo" (Danieri, 2008, p.91)

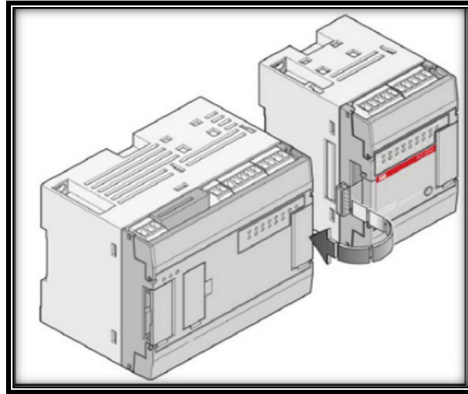


Ilustración 4 - Instalación de módulo de expansión en PLC Compacto

Fuente: (Danieri, 2008)

- Los PLC modulares son aquellos que necesitan que sus componentes como CPU, entradas y salidas, fuente de alimentación sean ensamblados en un panel permitiendo ajustar la composición del PLC de acuerdo con la necesidad que tenga el proceso a automatizar. Cabe mencionar que este tipo de PLC permite adjuntar módulos de expansión de entradas y salidas, comunicación y de seguridad.



Ilustración 5 - Imagen de PLC modular marca Festo

Fuente: Página principal de Festo

3.6.1.2 SEGÚN SUS ENTRADAS Y SALIDAS

Aunque los PLC pueden tener muchas características que difieran tecnológicamente entre ellos,

como tipo puertos de comunicación, tamaño de memoria, instrucciones específicas de programación, protocolos de comunicación compatibles. Las marcas de PLC definen el dispositivo en base a la cantidad de entradas y salidas que este tenga. A continuación, se presentan la clasificación de los PLC según la cantidad de entradas y salidas:

- Micro PLC: hasta 64 E/S
- PLC Pequeño: 65 a 225 E/S
- PLC Mediano: 256 a 1023 E/S
- PLC Grande: más de 1024 E/S

3.7 TIPOS DE SEÑAL ENTRADAS

Los procesos de automatización industrial necesitan obtener información de su ambiente para poder operar de la manera programada. Esta información puede ser recopilada por medio de sensores que mandan una señal eléctrica que el PLC puede captar. "En todo proceso industrial automatizado, es preciso captar señales que serán procesadas posteriormente" (González, 2012, p. 6). La cantidad y tipo de señales a obtener son de gran importancia al decidir el tipo de PLC a utilizar por lo que saber diferenciar entre estas es importante.

3.7.1 SEÑALES DIGITALES

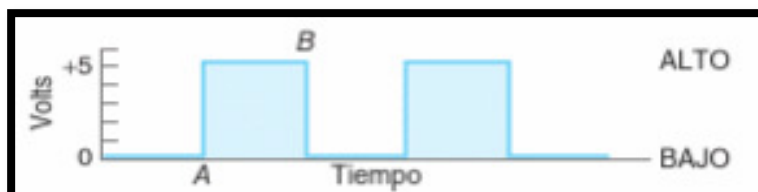
Las señales digitales son aquellas en el que el estado de señal es apagado o encendido, expresado en 0 cuando está apagado o 1 cuando está encendido. "Una señal puede definirse como información útil transmitida dentro, hacia o desde circuitos electrónicos" (Tokheim, 2008, p.2) Hay muchos elementos en los procesos de automatización en la que su señal puede ser tomada como 0 y 1 como el estado de un interruptor, un sensor de limite o el estado de

funcionamiento de un motor.

Ilustración 6 - Forma de onda de una señal digital

Fuente: (Tokheim, 2008)

Los sensores digitales son los más comunes en las instalaciones industriales, usualmente



usados como interruptores o contadores. Entre los sensores digitales más utilizados podemos encontrar los siguientes:

1. Sensor capacitivo
2. Sensor inductivo
3. Sensor fotoeléctrico

Como podemos observar, estos utilizan diferentes formas para captar una señal lo cual nos da una gran variedad de usos para diferentes aplicaciones. "Todos estos sensores, aun midiendo variables físicas de naturaleza totalmente diferente, tienen en común que la señal que entregan a su salida es (normalmente) una tensión eléctrica que puede ser alta o baja" (González, 2012, p. 7)

3.7.2 SEÑALES ANÁLOGAS

Las señales análogas son aquellas que toman la forma de los cambios de voltaje o corriente. Estas pueden medir posición, velocidad, flujo u otra magnitud física. Las señales análogas se conectan a entradas capaces de convertir la señal análoga en digital para ser interpretadas por

el dispositivo de control.

Ilustración 7 - Ejemplo de diagrama para conversión de señal análoga a digital



Fuente: (Tokheim, 2008)

Las señales análogas son expresadas entre rangos de tensión o corriente, usualmente entre 0-10V o 0-20mA. La implementación de sensores con señales análogas en la automatización industrial es de gran importancia ya que pueden ser utilizados para monitoreo de un sistema en el cual es necesario mantener en un rango la magnitud a medir. Entre los sensores análogos tenemos los siguientes:

1. Sensor de temperatura
2. Sensor de presión
3. Sensor de flujo
4. Sensor de posición

“En todos los sistemas de control es necesario medir las variables que se van a controlar, utilizar esta información para diagnosticar la mejor forma de operar el proceso o planta y disponer de medios para modificar el proceso.” (Sarduy, 2005, p.1).

3.7.3 LAZO DE CORRIENTE

El bucle de corriente es una tecnología creada en los años 60 para estandarizar la transmisión de señales analógicas de 4-20mA por grandes distancias sin pérdidas o modificación de la señal. En esta tecnología se utilizan diferentes niveles de corriente en una línea de transmisión

para indicar niveles lógicos.

Tabla 1 - Nivel lógico en un bucle de corriente

| Nivel de corriente | Nivel lógico |
|---------------------------|---------------------|
| 0 mA | Hilo roto |
| 4 mA | Medida del 0% |
| 20 mA | Medida del 100% |

Fuente: Propia

Este tipo de tecnología es utilizada en sensores de medición ya que estos proporcionan una salida con un valor representativo al parámetro siendo leído, este valor es acondicionado por un transmisor y lo convierte en una corriente proporcional entre 4 y 20 mA la cual puede ser leída por un receptor o controlador. Para poder realizar un bucle de corriente es necesario tener los siguientes materiales:

- Un emisor o transductor
- Una fuente de alimentación
- Cable
- Un receptor o controlador

Estos materiales en conjunto permiten realizar un lazo de corriente que puede ser utilizado para transportar señales análogas de un sensor a un PLC para ser interpretadas.

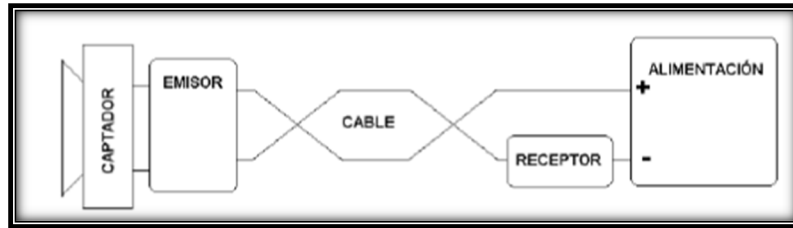


Ilustración 8 - Diagrama de bucle analógico de corriente

Fuente: (Penin, 2007)

Entre las ventajas de esta tecnología están:

- Transmisión a largas distancias
- Detección de fallos de sensores
- Alta inmunidad a interferencias electromagnéticas

Por lo cual su implementación en procesos industriales es de gran beneficio por su fácil implementación y resistencia a ruidos en el ambiente.

3.8 REDES INDUSTRIALES

Las redes industriales son redes especiales creadas para transmitir y controlar datos entre dispositivos industriales como controladores lógicos, interfaces humano-maquina o sensores y actuadores. Estas son de gran importancia en cualquier sistema de automatización ya que, al proveer la capacidad de intercambiar datos entre dispositivos y al dar flexibilidad para conectar varios dispositivos de control o medición, "La necesidad de comunicación entre dos sistemas, más o menos distantes (tomando un concepto amplio de sistema), está presente desde el origen de la vida y es intrínseco a multitud de procesos, tanto creados por el hombre como naturales" (Castro, Orueta, Pérez, 2012, p.31). La implementación de estas redes facilita la integración de proyectos y su escalabilidad supone un gran ahorro a las empresas.

3.8.1 SISTEMAS DE TRANSPORTE DE SEÑAL

Para poder intercambiar información entre dispositivos, ya sean sensores o controles lógicos es necesario tener un medio de transporte físico por el cual la señal será transmitida. Para seleccionar el medio correcto de transmisión se debe tener en cuenta la distancia, la cantidad de información a intercambiar y la velocidad a la que esta debería ser transmitida. Los medios de transporte se pueden dividir entre guiados y no guiados.

3.8.1.1 MEDIOS GUIADOS

Los medios guiados son aquellos en los que se utiliza un medio sólido para transmitir información, estos medios confinan la señal de un emisor en un material conductor y la guían a lo largo de su estructura hasta un receptor. Es importante mencionar que la señal a ser transmitida puede ser eléctrica o lumínica, por lo cual es necesario tener en cuenta la señal a transmitir para seleccionar el medio de transporte correcto. Entre los medios guiados más utilizados están:

- Cables de par trenzado: estructurados por un conjunto de conductores metálicos cilíndricos aislados entre sí y resguardados por una cubierta plástica común. Estos están divididos entre UTP (par trenzado sin apantallar) STP (cada par está apantallado) y FTP (existe un apantallado común para todos los pares) clasificados por el tipo de protección contra interferencias del medio ambiente. Son fáciles de instalar, de bajo coste y de velocidad de transmisión moderada.
- Cable coaxial: compuesto por un hilo de cobre en la parte central y recubierto de un material plástico aislante que a su vez está recubierto por una malla metálica y protegido por una cubierta exterior. A diferencia del par trenzado, este es menos

susceptible a interferencias, puede ser utilizado a mayores distancias y ofrece mayor velocidad de transmisión.

- Fibra óptica: compuesto por un conductor de material transparente, cristal o plástico, que se utiliza para guiar señales luminosas por su interior. Este tipo de cable tiene una velocidad de transmisión muy alta y es ideal para conexiones a larga distancia, pero su instalación y mantenimiento tiene un costo elevado.

3.8.1.2 MEDIOS NO GUIADOS

Los medios no guiados son aquellos en el que las señales se transportan por un medio intangible la atmosfera, la señal toma la forma de una onda electromagnética que se transporta la atmosfera y finalmente es recogida por una antena receptora. Entre los medios no guiados más utilizados están:

- Ondas de radio: utiliza la zona menos energética del espectro electromagnético llamada radiofrecuencia con una frecuencia entre 3 Hz y 300 GHz. Son capaces de recorrer grandes distancias y atravesar materiales solidos como paredes.
- Microondas: son señales de radio que viajan con frecuencias mayores al Gigahercio. En este método, sus señales viajan en línea recta por lo que es necesario mantener el emisor y receptor alineados, también hay que tener en cuenta que su transmisión no es efectiva cuando hay objetos que interrumpen el haz de la antena.
- Infrarrojo: utilizado principalmente en dispositivos electrodomésticos como televisores y teléfonos debido a su baja efectividad en grandes distancias.

Estos se diferencian entre el ancho de banda en el que operan y son utilizados principalmente porque son excelentes para cubrir grandes distancias y hacia cualquier dirección.

3.8.2 PROTOCOLOS DE RED

Cuando se ha decidido el medio físico y las características de las señales a transmitir, es necesario determinar la forma adecuada en la que se intercambiarán los datos. Para esto, es necesario utilizar protocolos de red, que son un conjunto de normas o reglas que permiten la transferencia e intercambio de datos entre dispositivos que conforman una red. Los protocolos de red en el área industrial están divididos por marcas que utilizan sus propios protocolos optimizados para su implementación en los dispositivos que distribuyen. Entre los protocolos de redes más utilizados en la automatización industrial están:

- DeviceNet
- Profinet
- Profibus
- Modbus

Dependiendo el uso de estos de la marca del dispositivo de control a utilizar, estos pueden ser utilizados en mecanismos de control como PLC, SCADA o Centros de control distribuido (DCS). "El objetivo de cualquier protocolo de comunicación es poder conectar y mantener el diálogo entre dos Equipos Terminales de Datos (DTE), permitiendo que la información pueda fluir entre ambos con seguridad (sin fallos)." (Rodríguez Penin, 2007, p. 264)

3.8.2.1 PROFINET

Profinet es uno de los protocolos de comunicación utilizado por dispositivos Siemens para intercambiar datos entre controladores y dispositivos de una manera rápida y segura incluso en ambiente de procesos.

Los objetivos de PROFINET son crear un estándar Ethernet abierto para la automatización

basada en Industrial Ethernet, que los componentes de Industrial Ethernet y Standard Ethernet puedan utilizarse conjuntamente, aunque los equipos de Industrial Ethernet son más robustos y, por consiguiente, más apropiados para el entorno industrial... (Oliva, Castro Gil, & Díaz Orueta, 2013, p. 408)

Entre los principales dispositivos de control que utilizan este protocolo están:

- Controladores lógicos programables o PLC
- Sistemas de procesos Distribuidos o SCD
- Controladores de automatización programables o PAC

Tabla 2 - Características de protocolo Profinet

| Características | Descripción |
|------------------------|--|
| Instalación | Conectores RJ 45 o M12. Fibra óptica |
| Velocidad | 100 Mbit/s |
| Estaciones máximas | Ilimitadas |
| Características | Sistema escalable, con buen funcionamiento en tiempo real tanto de diagnóstico como de alarmas |

Fuente: Propia

Este protocolo de red es de gran conveniencia en sistemas de automatización industrial por la facilidad de instalación y ventajas que este provee.

3.9 SISTEMA SCADA

Los sistemas SCADA son sistemas que, por medio de un programa de aplicación de software, aportan una interfaz de dialogo hombre-máquina para facilitar tareas de supervisión y control

de variables de proceso, desde oficinas de control. Estos sistemas son utilizados en todas las industrias, desde plantas de generación de energía hasta en telecomunicaciones para tener un mayor control de los múltiples procesos que se involucran en una planta. "En el contexto industrial, existen los sistemas llamados SCADA (supervisory control and data acquisition), con los que es posible confeccionar la monitorización del proceso atendiendo a cada caso industrial en particular" (Asensio, Arbós, 2005, p.15).

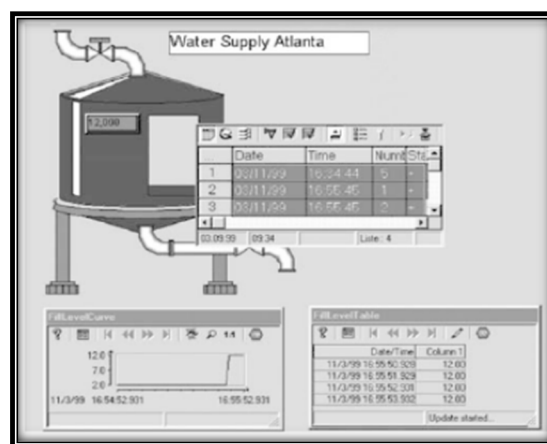


Ilustración 9 - SCADA de control de nivel hecho en WinCC

Fuente: (Penin, 2007)

Alonso (2012) menciona que:

Un sistema SCADA permite una interacción entre el usuario y la planta o sistema a controlar. Dichos elementos de interacción se basan en paneles o pantallas con gráficos visuales que permiten a usuarios poco experimentados o implicados en el control a bajo nivel comprender e interpretar los valores que se recogen del estado de una planta. (p.160)

Por lo que la implementación de un sistema SCADA intuitivo y fácil de manejar es de gran importancia para que sea utilizado de forma efectiva y así mejorar procesos y evitar paros en la planta.

3.9.1 FUNCIONES DE UN SISTEMA SCADA

Además de aportar una interfaz de comunicación entre operador y máquina, los sistemas SCADA poseen otras funciones que impulsan la mejora de procesos. Entre las funciones más importantes que se pueden encontrar en los sistemas SCADA están:

- Supervisión: consiguen la representación en equipos o pantallas de la evolución de las variables de control.
- Control: permiten la modificación de las variables del proceso, logrando modificar la evolución del proceso.
- Adquisición de datos: se encargan de la adquisición, procesamiento y almacenaje de la información de las variables de proceso.
- Transmisión: permite la intercomunicación de distintitos equipos de campo que conforman el sistema a controlar.
- Base de datos: tras la adquisición de datos, estos sistemas permiten la gestión y procesamiento de estos.

Siendo las más utilizadas en la automatización industrial la supervisión y control de procesos y adquisición de datos.

3.9.2 HARDWARE DE UN SISTEMAS SCADA

Los sistemas SCADA necesitan una configuración de hardware para poder ser implementados correctamente, estos están divididos en dos grupos:

- Recopiladores de datos: recopilan los datos de las variables de control del sistema y los procesan para su utilización. Actúan como servidor.

- Utilizadores de datos: utilizan la información recogida por los recopiladores de datos. Actúan como cliente.

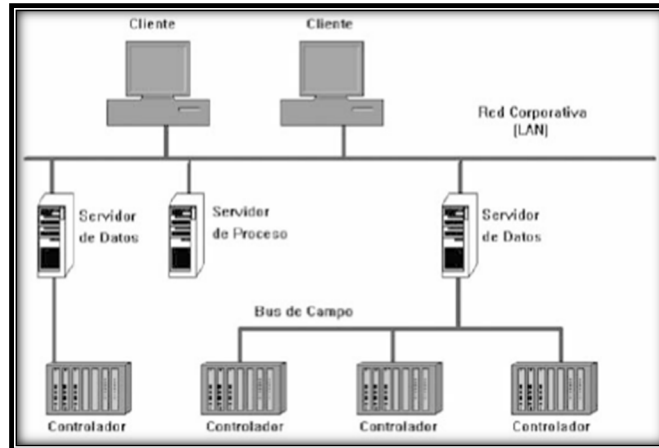


Ilustración 10 - Arquitectura básica de hardware en sistema SCADA

Fuente: (Penin, 2007)

Una vez estos grupos cumplen su función, se puede establecer una relación cliente-servidor, en el que los clientes o utilizadores de datos, evalúan la información de los recopiladores de datos, permitiendo realizar cambios para mantener las variables de proceso en valores normales.

Los sistemas SCADA están formados principalmente por:

- Interfaz HMI: son los dispositivos finales de comunicación y visualización con los que debe interactuar el operario.
- Unidad central: es el equipo encargado de realizar las operaciones programadas de supervisión y control en función de las variables medidas y establecidas en la programación.
- Unidad Remota: es el equipo encargado de enviar información a la unidad central y que se encuentra alejada del centro de control.

- Sistemas de comunicaciones: son los equipos encargados de transferir la información y los datos entre actuadores y sensores y la unidad central.

Alonso (2012) menciona que:

Los sistemas SCADA deben programarse de forma abierta, de modo que puedan crecer sobre su base, adaptarse a las nuevas exigencias y posibles ampliaciones. Dichos sistemas deben ser sencillos de instalar, con interfaces amigables con el usuario, que permitan de un simple vistazo ver la situación real de la planta a controlar. (p.163)

Tomando esto en cuenta, el desarrollo del sistema SCADA para este proyecto, se realizará tomando en cuenta posibles ampliaciones de variables o más maquinaria.

3.9.3 VENTAJAS DE LOS SISTEMAS SCADA

Cuando los sistemas SCADA son aplicados correctamente, estos pueden ayudar a una empresa a ahorrar tiempo y dinero de desarrollo, ya que este ayuda a:

- Tener control sobre los diferentes actuadores en un proceso.
- La generación de datos históricos sobre las diferentes variables de proceso.
- Almacenar y mostrar información continuamente de forma confiable, correspondiente a los estados de dispositivos y mediciones.

Por lo que la implementación de SCADA en este proyecto traerá grandes beneficios y simplificará la recopilación de datos.

3.9.4 SOFTWARE SCADA

Existen muchos programas para desarrollar software de SCADA, normalmente cada fabricante tiene desarrolla su propio programa para implementar sistemas SCADA. A continuación, se

presentarán algunos de estos softwares y sus fabricantes:

Tabla 3 - Tabla de software SCADA por desarrollador

| Desarrollador | Software SCADA |
|----------------------|-----------------------|
| Siemens | SIMATIC(WINCC) |
| Rockwell Automation | RsView32 |
| National Instruments | LabVIEW |
| Omron | Cx-Supervisor |

Fuente: Propia

En el caso de este proyecto, debido a que los materiales a utilizar serán marca Siemens, se utilizara el software SCADA SIMATIC o WINCC.

3.10 RECOPIACIÓN DE DATOS

La recopilación de datos es el proceso de acumular datos y medir información de variables clave en un sistema, con el objetivo de analizar los datos recopilados y evaluar resultados para responder incógnitas importantes del sistema. "Atendiendo al gran volumen de información presente en las industrias manufactureras y de procesos, resultan necesarios el registro diario de tales variables, su almacenamiento ordenado y la posibilidad de extraer información precisa de toda la información en bruto." (Asensio, Arbós, 2005, p.15).



Ilustración 11 - Elementos que componen un sistema de datos de investigación

Fuente: (Corréa, 2016)

Ya que el PLC que utilizaremos en este proyecto tiene capacidades para recopilar datos, crear software para este objetivo será de gran ayuda ya que estos podrán ser enviados remotamente al acceder a la IP asignada a este dispositivo. “La continua revolución tecnológica de los últimos tiempos ha inducido a una digitalización enorme de la documentación y la información que se produce y, por lo tanto, un acceso mayor, vía medios electrónicos, a dicha información.”

(Amil, 2013, p.7)

IV.METODOLOGIA

4.1 HIPÓTESIS

RLA Manufacturing expresó la necesidad de la implementación de un sistema de monitoreo para verificar si la eficiencia de la unidad de recuperación de calor en la maquinaria de secado es la adecuada o establecida por el vendedor. Para poder visualizar la eficiencia de esa unidad, se han utilizado sensores de temperatura para obtener la eficiencia de transferencia de calor y flujómetros para saber la velocidad a la que el aire fluye por los ductos. Cabe mencionar que el accionamiento para el flujo de aire por los ductos se realiza cuando hay demasiada humedad en la secadora por lo cual es necesario incluir esta variable en nuestro problema.

La implementación de este sistema de monitoreo nos lleva a formular la siguiente hipótesis: El sistema de monitoreo a integrar ayudará a verificar la eficiencia de transferencia de calor y los datos recolectados darán indicaciones de posibles fallas en el proceso de recuperación de calor. En caso de que esta no sea óptima, se podrían plantear mejoras para su uso óptimo, ya sea mejor planificación de mantenimiento, automatización del caudal en las entradas y salidas del recuperador de calor.

4.2 VARIABLES

4.2.1 VARIABLES DEPENDIENTES

Puesto que el propósito final de este proyecto es el monitoreo de eficiencia de la unidad de recuperación de calor en las secadoras de tela tubular podemos establecer que la eficiencia de la unidad de recuperación de calor es nuestra variable dependiente.

4.2.2 VARIABLES INDEPENDIENTES

Las variables por monitorear y de gran importancia en nuestro proyecto, debido a que influyen en la correcta obtención de nuestra variable dependiente son:

1. Temperaturas en las entradas y salidas del recuperador de calor
2. Caudal en los ductos de entrada del recuperador de calor
3. Accionamiento de blower de entrada de aire a recuperador de calor

4.3 MÉTODO Y ENFOQUES

Los métodos de investigación son los procedimientos que los investigadores siguen para obtener conocimiento o avalar una hipótesis o serie de preguntas que necesitan un proceso de desarrollo para dar solución al problema expuesto. En este proyecto se ha utilizado el método científico el cual permite realizar una investigación basada en adquisición y observación de variables que afectan un sistema para poder declarar si este trabaja de forma correcta.

En este proyecto se ha utilizado un enfoque mixto ya que nos enfocamos en la obtención de datos como temperatura y caudal para monitorear la eficiencia de la unidad de recuperación de calor y dependiendo de estos resultados decidir si es necesario hacer cambios en el sistema o hacer mantenimiento frecuente a esta unidad.

4.4 FUENTES DE INFORMACIÓN

Las fuentes de investigación utilizadas en este proyecto han sido clasificadas entre primarias y secundarias.

Fuentes primarias utilizadas:

- Libros físicos sobre termodinámica y transferencia de calor.
- Libros electrónicos recuperados de la base de datos del CRAI.
- Tesis e investigaciones referentes al tema, obtenidas de Google Scholar y de la base de datos del CRAI.
- Software de programación TIA Portal V13
- Software para desarrollo de SCADA, WINCC

Fuentes secundarias utilizadas:

- Manuales técnicos de programación y sobre los sensores de medición, tomados de la página de soporte técnico de Siemens.
- Revistas referentes al tema de investigación.
- Páginas web de procedencia refutable y referentes al tema de investigación.

4.5 CRONOGRAMA

Tabla 4 - Cronograma de actividades

| No. Actividad | Semana 1 | Semana 2 | Semana 3 | Semana 4 | Semana 5 | Semana 6 | Semana 7 | Semana 8 | Semana 9 | Semana 10 |
|---------------|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|
| 1 | Estudiar funcionamiento general de máquina de secado | | | | | | | | | |
| 2 | Estudiar manual eléctrico de máquina de secado | | | | | | | | | |
| 3 | Realizar SolidWorks de máquina de secado | | | | | | | | | |
| 4 | Lectura de manuales de programación Siemens | | | | | | | | | |
| 5 | Lectura de libros referentes a transferencia de calor e intercambiadores de calor | | | | | | | | | |
| 6 | Desarrollo de programación general para lectura de temperatura y obtención de eficiencias | | | | | | | | | |
| 7 | Lectura de implementación de Data Logging para PLC Siemens S-1215C | | | | | | | | | |
| 8 | Implementación de programación de Data Logging a programación general | | | | | | | | | |
| 9 | Lectura de manuales de programación de SCADA en WinCC | | | | | | | | | |
| 10 | Implementación de interfaz HMI a Programación General, Incluyendo mejoras continuas | | | | | | | | | |
| 11 | Curso de Data Logging para PLC Siemens S-1200 | | | | | | | | | |
| 12 | Realizar SolidWorks de maquina volteadora de tela | | | | | | | | | |
| 13 | Estudio de funcionamiento de maquina Foulard | | | | | | | | | |
| 14 | Realizar SolidWorks de mecanismo para detección de costura, incluyendo mejoras | | | | | | | | | |
| 15 | Instalación de sensores de temperatura y flujómetros en unidad de recuperación de calor | | | | | | | | | |
| 16 | Auditoria de medias en máquinas de compactado y foulard | | | | | | | | | |
| 17 | Implementación de sensores de humedad | | | | | | | | | |
| 18 | Implementación de PLC y HMI en panel principal | | | | | | | | | |

Fuente: Propia

V.RESULTADOS Y ANALISIS

5.1 ANÁLISIS

Para poder obtener la lectura de temperaturas y caudal es necesario utilizar un sensor industrial que pueda ser utilizado cuando la secadora esté en funcionamiento, ya que en la parte superior donde está situado el recuperador de calor tiende a tener temperaturas elevadas. Se utilizaron los siguientes sensores con señales de proceso lineal para poder medir las magnitudes necesarias para el monitoreo de la eficiencia del recuperador de calor:

1. Termómetro de resistencia – PT100
2. Flujómetro

Ambos de estos sensores dan una señal análoga de entrada al PLC entre 4 a 20 mA, las cuales pueden ser interpretadas por este mismo como unidades digitales o de ingeniería, en caso de los PLC Siemens, estas serían de 0 a 27648 unidades digitales. Cabe recalcar que también se utilizó un transductor TH100 de Siemens para el de resistencia de la PT100 y convertirla en una señal que el PLC pueda leer, en este caso de 4 a 20 mA. Debido a que estos transductores pueden ser parametrizados para poder obtener una lectura precisa por medio de escalado, se ha parametrizado de tal forma que este nos dé un valor de proceso entre 0 °C a 250 °C el cual está entre el rango de proceso del aire en el ducto y puede ser interpretado por el PLC.

5.1.1 TERMÓMETRO DE RESISTENCIA – PT100

Los termómetros de resistencia como las PT100 son de gran ayuda para monitorear la temperatura en cualquier proceso, ya que estos no son invasivos o podrían ocasionar perturbaciones en el sistema a monitorear. Estos dispositivos se basan en la propiedad de

resistencia térmica que tienen algunos materiales como cobre, níquel y el más común platino.



Ilustración 12 - TS500, PT100 distribuida por Siemens

Fuente: Página principal de Siemens

El funcionamiento de estos dispositivos es simple, estos trabajan entre un rango de temperaturas que va cambiando, dependiendo de la resistividad del material termo resistivo, mientras mayor la temperatura, mayor será la resistencia (en caso de las PT100 100Ω nos da 0° C). Debido a que la magnitud que nos dará el sensor es resistencia, es necesario utilizar un transductor que interprete esta magnitud y nos dé una señal eléctrica que el PLC pueda utilizar.



Ilustración 13 - TH100, transductor de señal resistiva distribuido por Siemens

Fuente: Página principal de Siemens

Este dispositivo se encarga de aislar la señal del sensor de temperatura, filtrar ruido electromagnético circundante y convertir la señal del sensor de temperatura a 4-20 mA o 0-10 V DC para ser interpretado por el PLC.

5.1.2 FLUJÓMETRO

Los flujómetros son dispositivos utilizados para medir la velocidad instantánea de un fluido, ya sea gas o líquido. Ya que se conoce el área de los ductos de entrada y salida, este tipo de dispositivo es de gran utilidad para calcular el flujo volumétrico.

Debido a que el fluido que pasa por estos ductos no es inflamable, se decidió utilizar un flujómetro de hilo caliente para obtener valores expresados en corriente entre 4-20 mA.



Ilustración 14 - Sensor de flujo distribuido por Wika

Fuente: Página principal de Wika

El funcionamiento de los flujómetros de hilo caliente consiste en una resistencia expuesta al flujo que es calentada, este mismo está conectado a un circuito electrónico que es capaz de monitorear la variación de resistencia eléctrica por la acción del flujo, estableciendo así una relación entre la velocidad del flujo y la resistencia en la resistencia calentada.

Teniendo el instrumento para medir el flujo el área de ambos ductos de entrada, podemos determinar el flujo volumétrico en ambas entradas con la siguiente ecuación:

Siendo A el área de la sección en la que está colocado el flujómetro

Siendo v la velocidad del fluido en cada ducto

$$Q = Av$$

Ecuación 2 - Ecuación de flujo volumétrico

Fuente: Propia

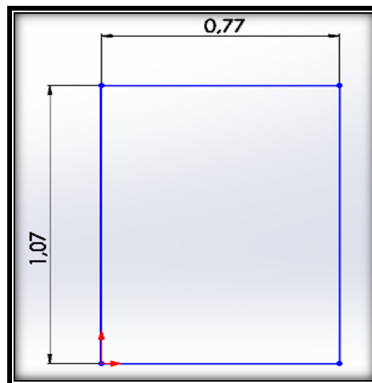


Ilustración 15 - Dimensiones del ducto de salida de aire de secadora

Fuente: Propia

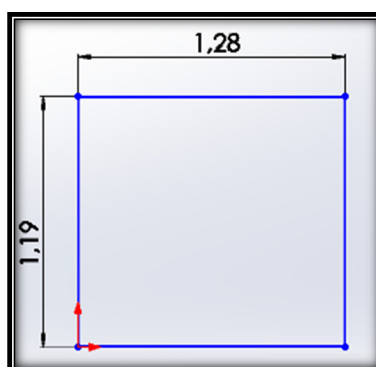


Ilustración 16 - Dimensiones del ducto de entrada de aire exterior

Fuente: Propia

Siendo los únicos datos fijos es importante calcular el área de ambos ductos de entrada con la ecuación para calcular el área de un rectángulo:

Siendo B la base del rectángulo

Siendo h la altura del rectángulo

$$A = B * h$$

Ecuación 3 - Ecuación de cálculo de área de un rectángulo

Fuente: Propia

Con el cálculo de área de un rectángulo podremos obtener el valor fijo del área de ambos ductos, siendo A_1 el área del ducto de entrada de aire utilizado por la secadora y A_2 el área del ducto de entrada del aire exterior tenemos:

$$A_1 = 1,07m * 0,77m$$

$$A_1 = 0,8239 m^2$$

$$A_2 = 1,19m * 1,28m$$

$$A_2 = 1,5232 m^2$$

Con el cálculo de área anterior, podremos utilizar esta información para calcular en tiempo real el flujo volumétrico dependiendo de la velocidad de flujo que el PLC reciba del flujómetro de hilo caliente.

5.1.3 SENSOR DE HUMEDAD

El proceso de secado es uno de los procesos textiles con más consumo energético, por lo que es necesario tener un control sobre el aire de salida de la secadora. En este proceso se evapora la humedad que la tela trae de los procesos anteriores, este vapor se mezcla con el aire caliente

y se recircula el sistema, debido a que este es un proceso continuo, es importante mantener un control de humedad en este sistema para mantener una mezcla de aire de alta calidad de secado y con bajo consumo energético. Los sensores de humedad son utilizados para medir la humedad en $\frac{g}{Kg}$ (gramos de vapor de agua por kilogramo de aire) dentro de la secadora. En este caso, la relación máxima aceptable es $100 \frac{g}{Kg}$, una vez alcanzado este valor se acciona un ventilador centrífugo para evacuar el exceso de aire húmedo. Para medir la humedad en cada zona de la secadora se utilizaron 5 sensores de humedad marca Setex, estos sensores tienen un rango de lectura de 0 a $300 \frac{g}{Kg}$ y su señal de salida es de 0 a 20mA la cual puede ser leída por nuestro PLC S-1215C.



Ilustración 17 - Sensor de humedad marca Setex

Fuente: Página principal de Setex

5.1.4 ACONDICIONAMIENTO DE SEÑAL ANALÓGICA

Los sensores utilizados en este sistema de monitoreo dan una señal de salida que nuestro PLC puede leer, estas son expresadas en valores eléctricos entre 0-20mA o 4-20mA, siendo 0mA o 4mA el valor mínimo de lectura del sensor y 20mA el valor máximo. En caso de los sensores utilizados en este proyecto, los rangos de lectura son expresados de la siguiente forma:

Tabla 5 - Rangos de lectura de los sensores utilizados en este sistema

| Sensor | Rango de lectura | Salida |
|-------------------|------------------|--------|
| PT100 | -100 – 400°C | 4-20mA |
| Flujómetro | 0-10 m/s | 4-20mA |
| Sensor de humedad | 0-300 g/Kg | 0-20mA |

Fuente: Propia

Los rangos de salida eléctricos de 0-20mA o 4-20mA en los PLC Siemens son proporcionales a 0-27648 unidades digitales. Estas unidades digitales pueden ser utilizadas en el programa para normalizar y escalar la señal al rango de operación del sensor, este proceso se puede hacer por medio de la ecuación de una recta, o en caso de utilizar el software de TIA Portal, se pueden utilizar los bloques de normalización y escalado para obtener el mismo resultado, donde el Norm X es utilizado para normalizar la señal de entrada entre 0 a 27648 unidades digitales, la salida de este bloque es utilizada en el bloque Scale X para escalar la señal al rango de operación del sensor y la salida es el resultado final o valor real de lectura del sensor.

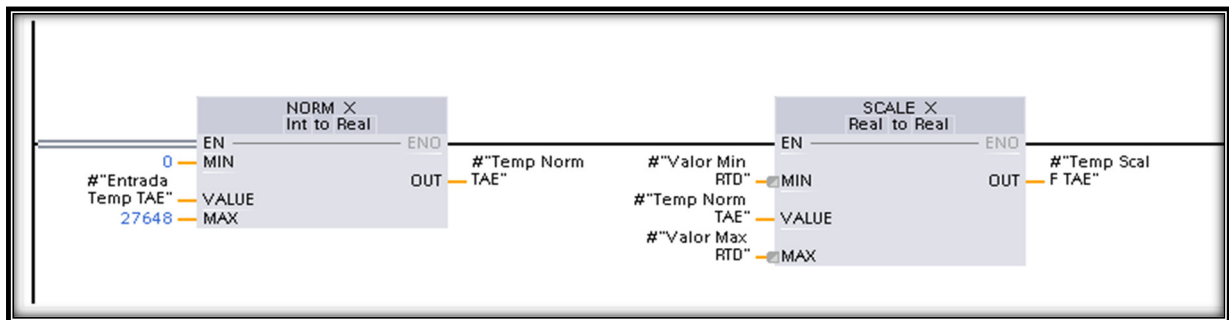


Ilustración 18 - Programación para normalizar y escalar una señal de PT100

Fuente: Propia

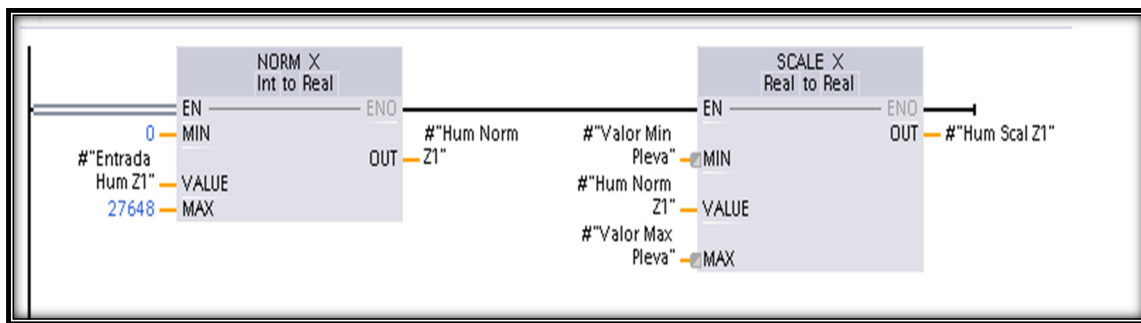


Ilustración 19 - Programación para acondicionar señal del sensor de humedad

Fuente: Propia

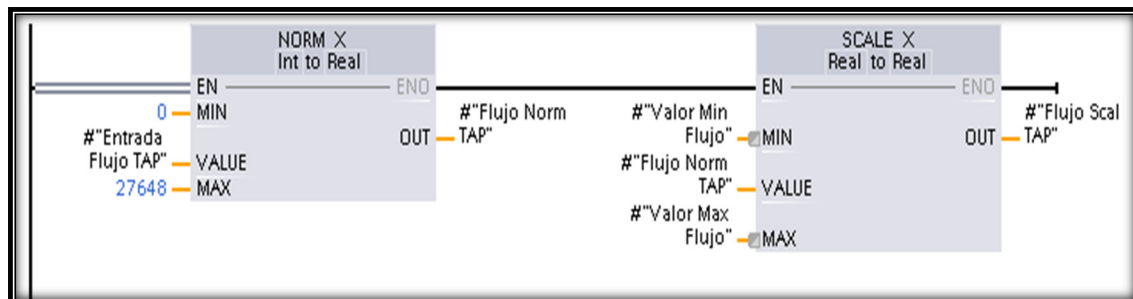


Ilustración 20 - Programación para acondicionar la señal del flujómetro

Fuente: Propia

Obteniendo la lectura de estos valores podemos continuar a analizar la eficiencia de transferencia de calor, la humedad y el caudal en la unidad de recuperación de calor.

5.1.5 EFICIENCIA DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR

Dado que la eficacia del intercambiador de calor en la unidad de recuperación de calor es uno de los principales objetivos de proyecto, es necesario conocer las propiedades de los fluidos que sufrirán intercambio de energía como el calor específico de ambas entradas de aire y la temperatura de entrada y salida del sistema. La eficiencia de un intercambiador de calor en el cual el calor específico de los fluidos es diferente está dada por:

$$\varepsilon = \frac{(T_{ff} - T_{fi})}{(T_{ci} - T_{fi})}$$

Ecuación 4 - Ecuación para calcular la eficiencia de un intercambiador de calor

Fuente: (Montes Pita, Muñoz Domínguez, & Rovira de Antonio, 2014)

Donde:

T_{fi} = *Temperatura inicial del aire frio*

T_{ci} = *Temperatura inicial del aire caliente*

T_{ff} = *Temperatura final del aire frio*

En este caso, todas las temperaturas serán medida por medio de los sensores temperatura y el cálculo será desarrollado por la programación del PLC.

5.1.6 UBICACIÓN DE LOS SENSORES

Para poder tener una medida de temperatura y caudal con precisión y sin ruido del ambiente industrial, es necesario elegir una posición en la que se mitigue o eviten ruidos que perturben la señal o medición de nuestros sensores, por lo que se decidió instalar los sensores de temperatura y flujómetros después de los motores que impulsan el aire dentro de los ductos para evitar cualquier interferencia en la señal. A continuación, se presenta la ubicación en la que se instalarán estos sensores.

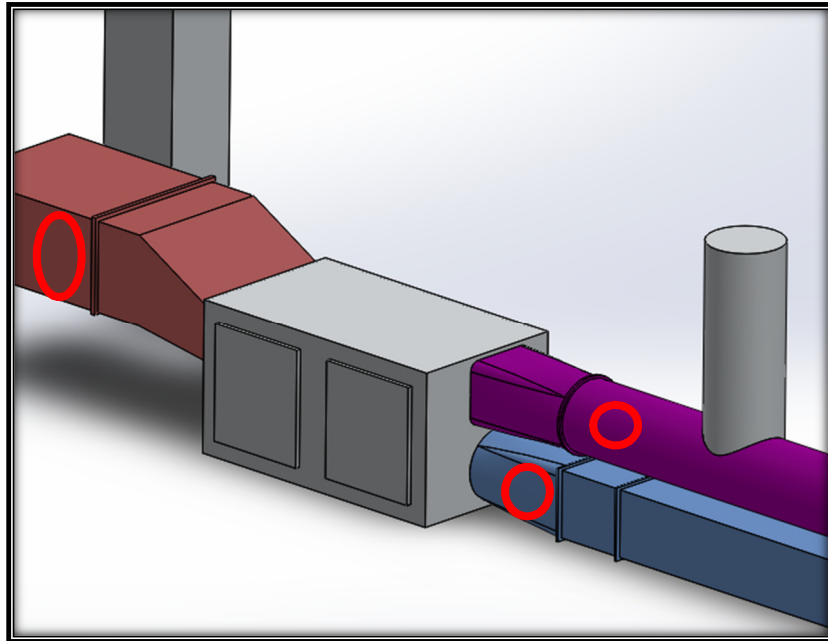


Ilustración 21 - Esquema con posición de sensores en recuperador de calor

Fuente: Propia

Siendo:

Ducto azul: entrada de aire del ambiente

Ducto morado: salida de aire precalentado

Ducto rojo: entrada de aire caliente de la secadora

En este caso, los ductos rojo y azul tendrán un sensor de temperatura y un flujómetro, mientras que el ducto morado solamente tendrá un sensor de temperatura.

Los sensores de humedad deben ser instalados en cada una de las zonas de la secadora tomando en cuenta que la humedad debe ser medida antes que el aire de maquillaje sea introducido a las boquillas expongan el aire caliente a la tela, por lo cual su instalación deberá realizarse antes de la entrada al colector de aire de salida. A continuación, se presenta la ubicación en la que se instalarán estos sensores.

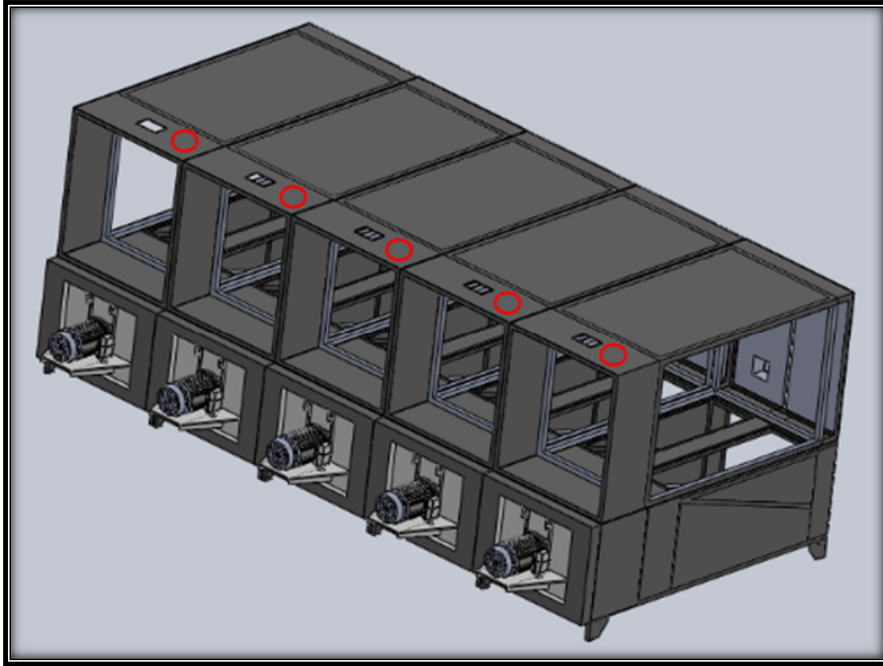


Ilustración 22 - Esquema con posición de sensores de humedad en secadora

Fuente: Propia

Teniendo en cuenta estos factores, se garantizará la correcta obtención de los valores de proceso que impactan la eficiencia del recuperador de calor.

5.2 RESULTADOS

A continuación, se mostrará el resultado final del proyecto siendo este el desarrollo de nuestro SCADA, programación y recopilador de datos remoto. El desarrollo de SCADA, programación y del recopilador de datos fue realizado en TIA Portal.

5.2.1 DESARROLLO DE SCADA

En esta sección se mostrará y explicará cada una de las pantallas en el sistema SCADA, desde los gráficos a parametrización de tiempo de muestreo del recopilador de datos remoto.

Cabe mencionar el sistema SCADA fue hecho de forma escalable teniendo en mente que este

proyecto pueda ser implementado en todas las secadoras. Lo cual ahorraría tiempo de programación y ahorro monetario al evitar la compra de equipo para implementación individual.

5.2.1.1 PANTALLA PRINCIPAL

En la pantalla principal, tenemos la opción de visualizar entre los valores de temperatura, humedad o eficiencia de las secadoras, al igual hay una sección para seleccionar el rango de tiempo en el que se quiere tomar muestras con el recopilador de datos.

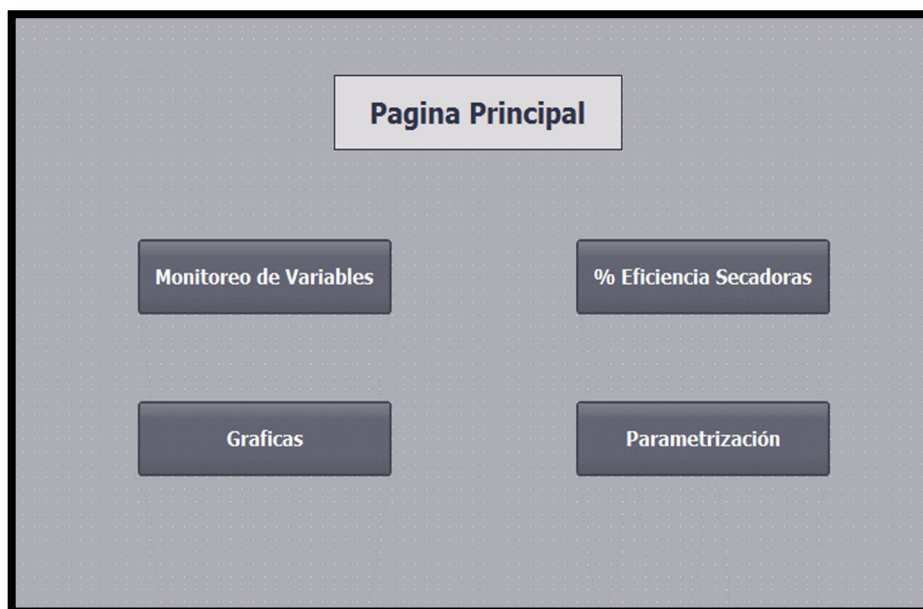


Ilustración 23 - Pantalla principal de SCADA

Fuente: Propia

5.2.1.2 MONITOREO DE VARIABLES

La imagen de monitoreo de variables contiene datos de lectura en tiempo real de las temperaturas en los ductos del recuperador de calor, al igual la eficiencia de transferencia de calor en este mismo y el caudal en los ductos de entrada.

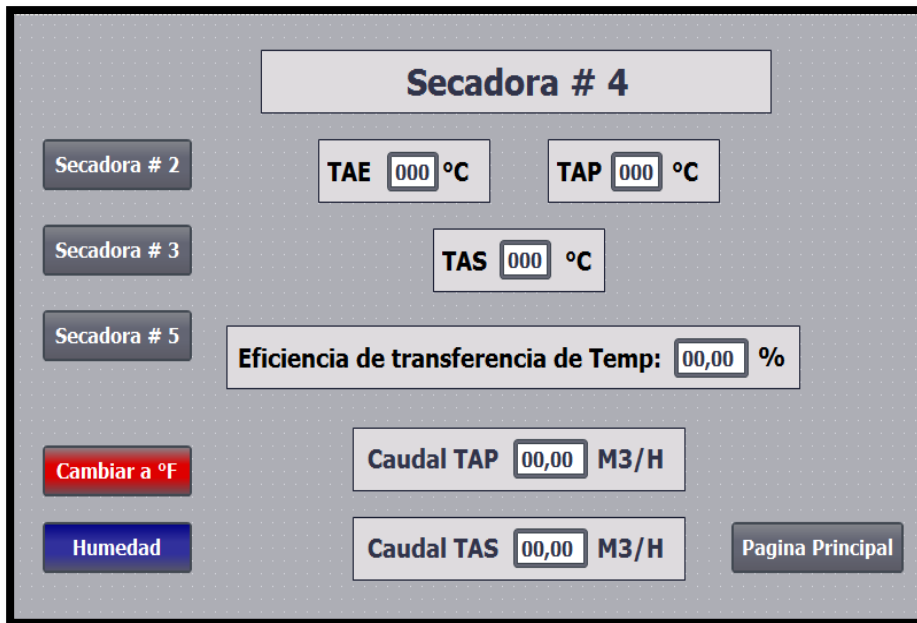


Ilustración 24 - SCADA para monitoreo de variables en sistema métrico

Fuente: Propia

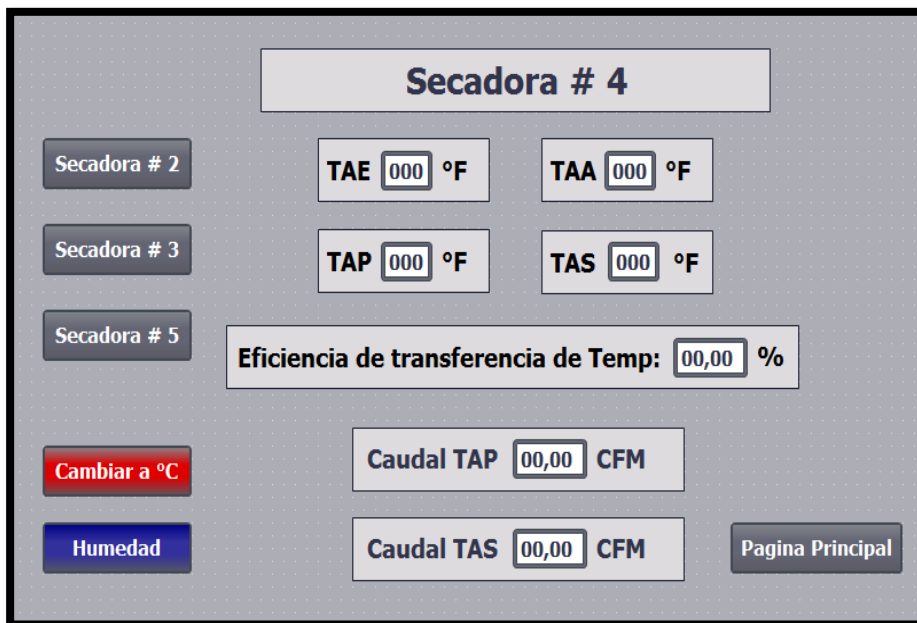


Ilustración 25 - SCADA para monitoreo de variables en sistema inglés

Fuente: Propia

Debido a que la mayoría de las maquinas utilizadas en RLA Manufacturing utilizan el sistema métrico y sistema inglés en los sistemas SCADA para poder observar los valores en diferentes sistemas, se tomó la decisión de implementar esta opción en el desarrollo de nuestro sistema SCADA, el usuario podrá cambiar de sistema al apretar el botón rojo que indica las medidas a las que se cambiará.

En la pantalla de monitoreo de variables también es posible ingresar a la imagen de monitoreo de humedad en cada una de las secadoras, esta pantalla muestra la humedad absoluta expresada en gramos de agua por kilogramo de aire y permite al usuario regresar a la pantalla de monitoreo de temperaturas de forma conveniente.

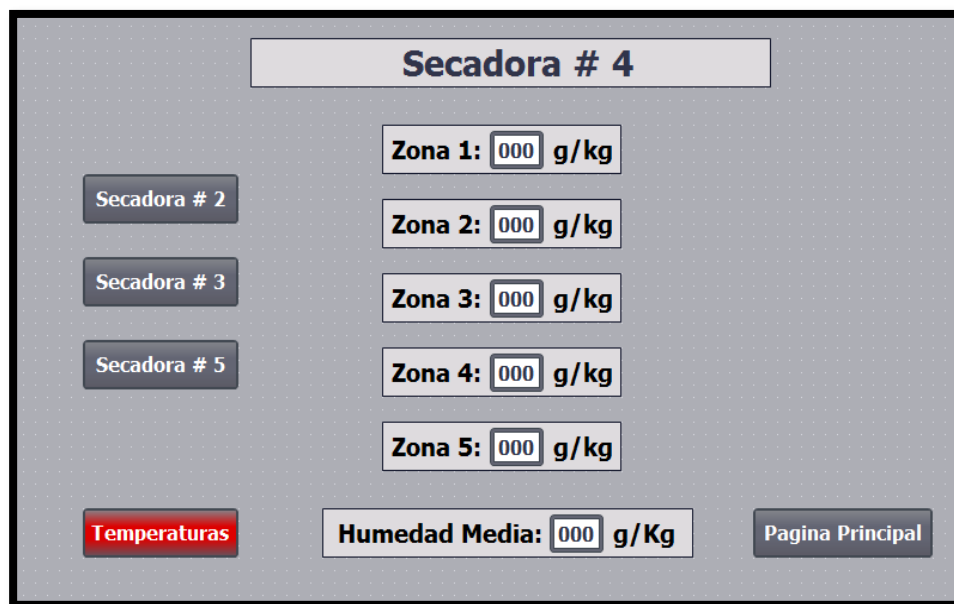


Ilustración 26 - Pantalla de SCADA para monitoreo de humedad

Fuente: Propia

5.2.1.3 PANTALLA DE EFICIENCIAS

La pantalla de SCADA de eficiencias contiene la eficiencia de cada secadora, esto hará más fácil el trabajo de ver las eficiencias generales.

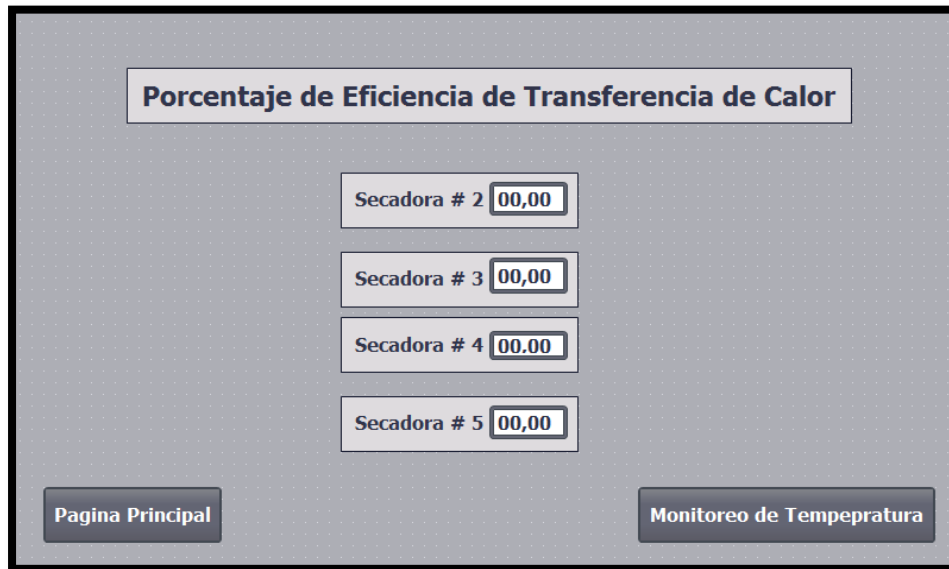


Ilustración 27 - Pantalla SCADA de eficiencias general

Fuente: Propia

Se decidió incluir una pantalla con un gráfico que muestre el cambio de eficiencia en el tiempo para que el usuario pueda ver un plano del comportamiento del sistema con el tiempo. Esta tabla se actualizará en tiempo real con las variables de PLC que nos da la eficiencia de cada secadora.

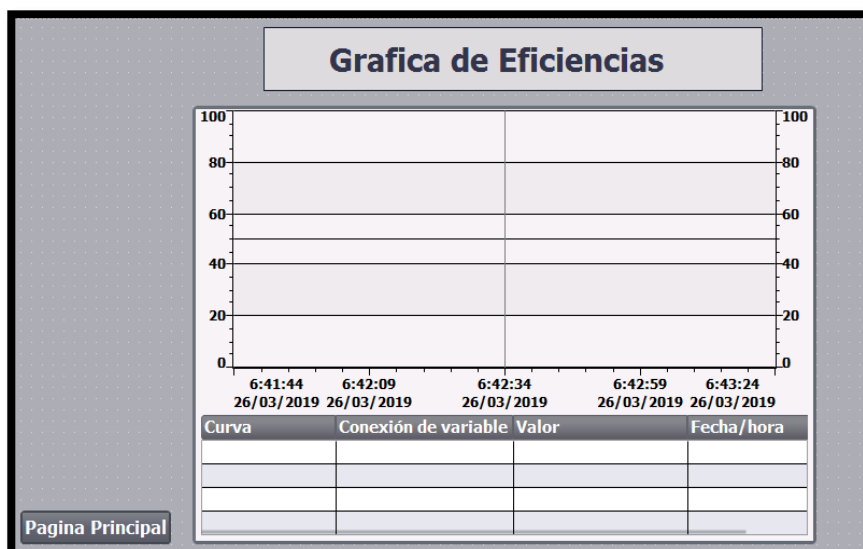


Ilustración 28 - Pantalla SCADA de grafica de eficiencias

Fuente: Propia

La implementación de la pantalla de gráficos tuvo gran aceptación de parte del usuario final ya que le facilitaría ver el estado de todos los sistemas fácilmente.

5.2.1.4 PANTALLA DE PARAMETRIZACIÓN

La pantalla de parametrización permite al usuario configurar cada cuanto tiempo se escribirá un nuevo valor en el recopilador de datos, se colocaron dos selectores en caso de que se quiera tomar datos de temperatura y humedad diferentes tiempos.

| Parametrización | |
|---------------------------|---------------------------|
| Tiempo de muestra HRU | Tiempo de muestra humedad |
| 1 min | 1 min |
| Sensor | |
| Temperatura | OFF |
| Humedad | OFF |
| Flujómetro | OFF |
| Rango de operación | |
| Minimo Actual | 0000000 |
| Maximo Actual | 0000000 |
| Minimo Nuevo | 0000000 |
| Maximo Nuevo | 0000000 |

Ilustración 29 - Pantalla de parametrización de tiempo de muestra y sensores

Fuente: Propia

Esta pantalla también incluye permite cambiar los rangos de operación de los sensores en caso de que se quieran hacer pruebas con sensores nuevos o se cambie la configuración de estos ya que el sensor de flujómetro puede trabajar en diferentes rangos para obtener una lectura precisa. Cabe mencionar que esta pantalla fue asegurada con un usuario y clave para mantener la integridad de la parametrización de los sensores, solamente el usuario maestro podrá entrar

y hacer cambios en esta pantalla.

5.2.2 DESARROLLO DE PROGRAMACIÓN

La programación de este proyecto se divide entre la programación para monitorear el estado del sistema por medio de los sensores y en la creación de bloques de dato para enviar la información capturada al recopilador de datos.

5.2.2.1 PROGRAMACIÓN DE MONITOREO

La programación de monitoreo está dividida entre el monitoreo de los 3 tipos de sensores utilizados en el proyecto. La programación de monitoreo general está compuesta por 3 bloques de función creados para facilitar la programación para las demás secadoras al igual, este método permite mantener la programación general ordenada.

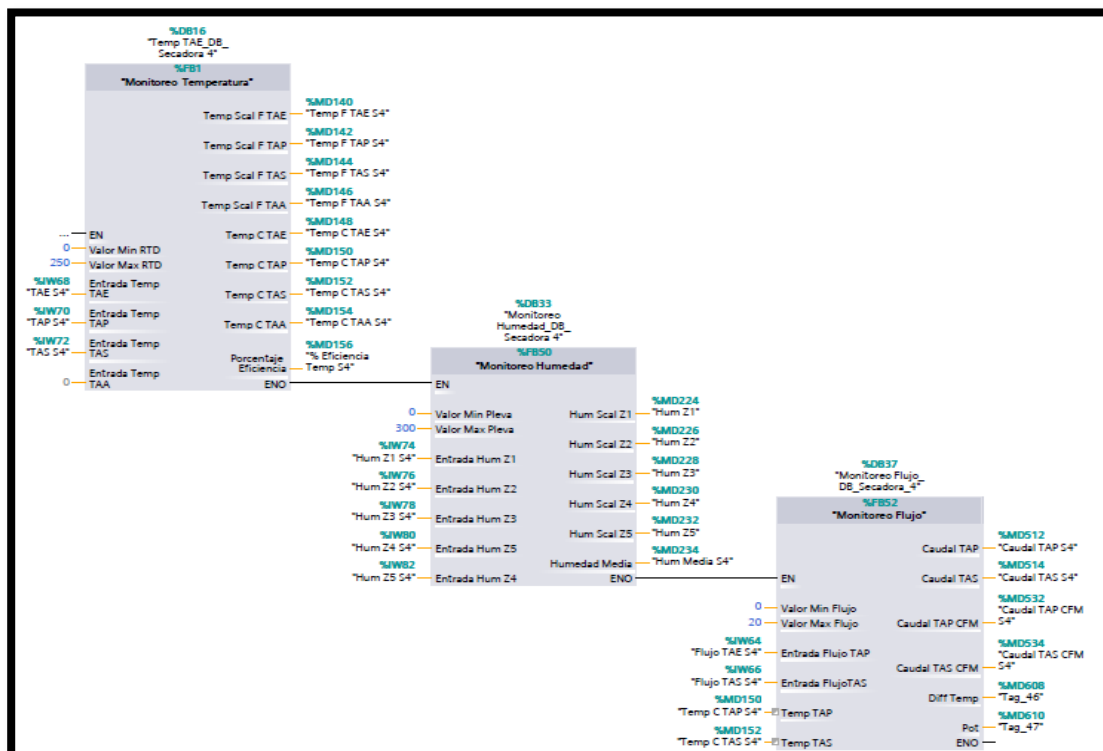


Ilustración 30 - Imagen de programación de monitoreo de todos los sensores

Fuente: Propia

Cada una de las funciones de bloque contiene programación para monitorear los valores de entrada de cada uno de los sensores. La programación de los bloques de función está compuesta por lectura de la señal eléctrica del sensor y su interpretación a los rangos de función del sensor para que se puedan mostrar en la pantalla, este paso se aplica para la lectura todos los sensores. Esta sección también contiene un bloque para convertir el valor con medidas del sistema métrico a imperial para ser implementado en el sistema SCADA.

A continuación, se indicarán los parámetros de operación de cada sensor y las variables que tienen en la programación.

Tabla 6 - Tabla de parámetros de sensores de flujo

| Entradas del PLC | Rango de operación | Rango de Salida | Variables de programación |
|--|---------------------------|------------------------|----------------------------------|
| Flujómetro de ducto de aire de entrada | 0 - 10 m/s | 0-10V | IW64 |
| Flujómetro de ducto de aire de salida de la secadora | 0 - 10 m/s | 0-10V | IW 66 |

Fuente: Propia

Tabla 7 - Tabla de parámetros de sensores de temperatura PT100

| Entradas de sensor de temperatura del Módulo 1 | Rango de operación | Rango de Salida | Variables de programación |
|--|---------------------------|------------------------|----------------------------------|
| Transductor de PT100 de ducto de entrada de aire exterior | 0 - 150°C | 4-20mA | IW68 |
| Transductor de PT100 de ducto de entrada de aire precalentado | 0 - 150°C | 4-20mA | IW70 |
| Transductor de PT100 de ducto de salida de aire de la secadora | 0 - 150°C | 4-20mA | IW72 |

Fuente: Propia

Tabla 8 - Tabla de parámetros de sensores de humedad

| Entradas de sensor de humedad del Módulo 1 | Rango de operación | Rango de Salida | Variables de programación |
|---|---------------------------|------------------------|----------------------------------|
| Entrada de sensor de humedad Zona 1 | 0 - 300g/kg | 0-20mA | IW74 |
| Entradas de sensor de humedad del Módulo 2 | Rango de operación | Rango de Salida | Variables de programación |
| Entrada de sensor de humedad Zona 2 | 0 - 300g/kg | 0-20mA | IW76 |
| Entrada de sensor de humedad Zona 3 | 0 - 300g/kg | 0-20mA | IW78 |
| Entrada de sensor de humedad Zona 4 | 0 - 300g/kg | 0-20mA | IW80 |
| Entrada de sensor de humedad Zona 5 | 0 - 300g/kg | 0-20mA | IW82 |

Fuente: Propia

Para hacer el cálculo del caudal de los fluidos en los ductos y la eficiencia de cada secadora, se desarrolló programación en base a las fórmulas obtenidas en nuestra sección de resultados. La programación tomará los datos del PLC en tiempo real y realizará los cálculos. A continuación, se mostrarán imágenes de la programación de las fórmulas.

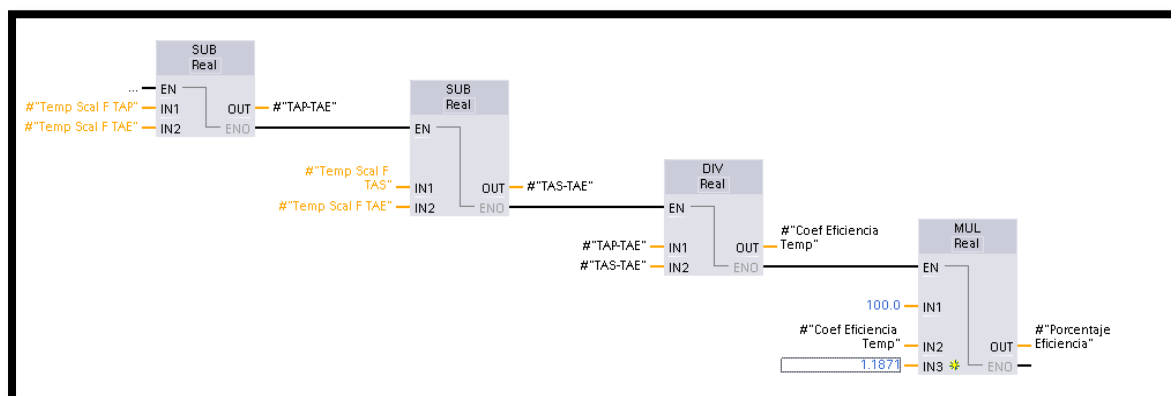


Ilustración 31 - Programación para cálculo de eficiencia de transferencia de calor

Fuente: Propia

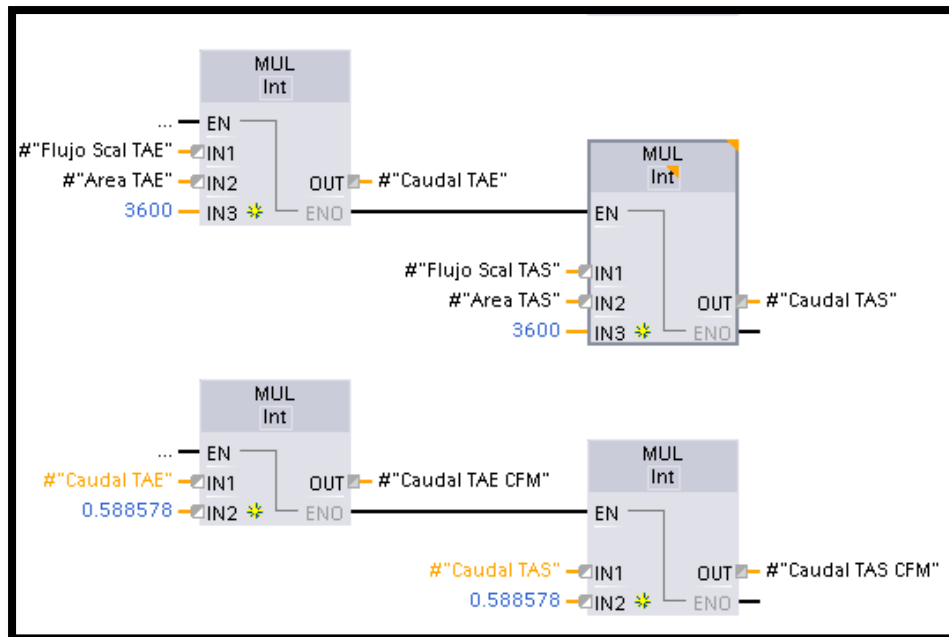


Ilustración 32 - Programación para cálculo de caudal

Fuente: Propia

5.2.2.2 PROGRAMACIÓN DE RECOPIADOR DE DATOS

La programación del recopilador de datos está compuesta por la creación de bloque de datos para cada una de las secadoras, uno de temperaturas y otro de humedad. Este bloque de datos necesita ser llenado con los datos tomados por el PLC, por lo que se utiliza una función de escribir que ya incluye el software del programa poder cambiar la cantidad de tiempo entre toma de muestras se programó un bloque de función para facilitar la implementación a todas las secadoras. A continuación, se presenta la programación para la recopilación de datos.

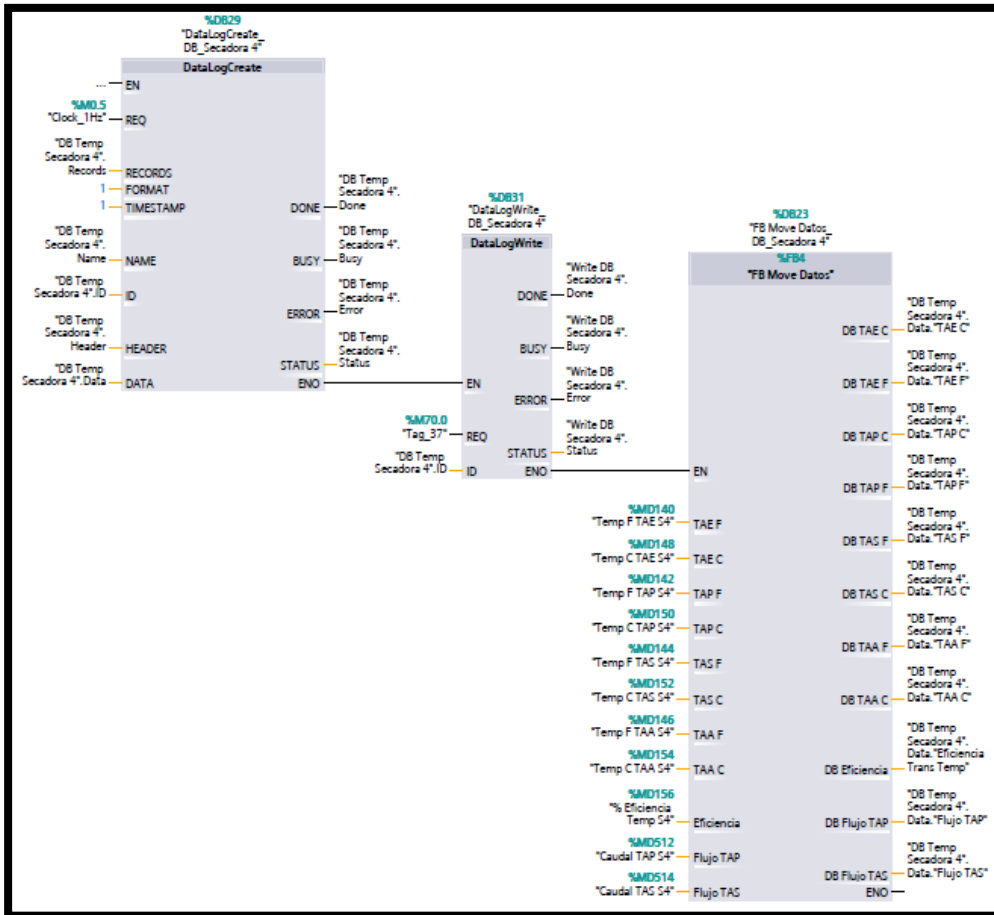


Ilustración 33 - Programación para recopilar datos de temperatura y flujo

Fuente: Propia

Para poder crear el bloque de datos es necesario configurarlo con los parámetros que se requieren recopilar, como: nombre de archivo, cantidad de muestras que se desean tomar, nombre de cada dato a recopilar y las variables en las que se desea guardar. A continuación, se presenta la imagen de la tabla de datos utilizada para cada bloque de datos.

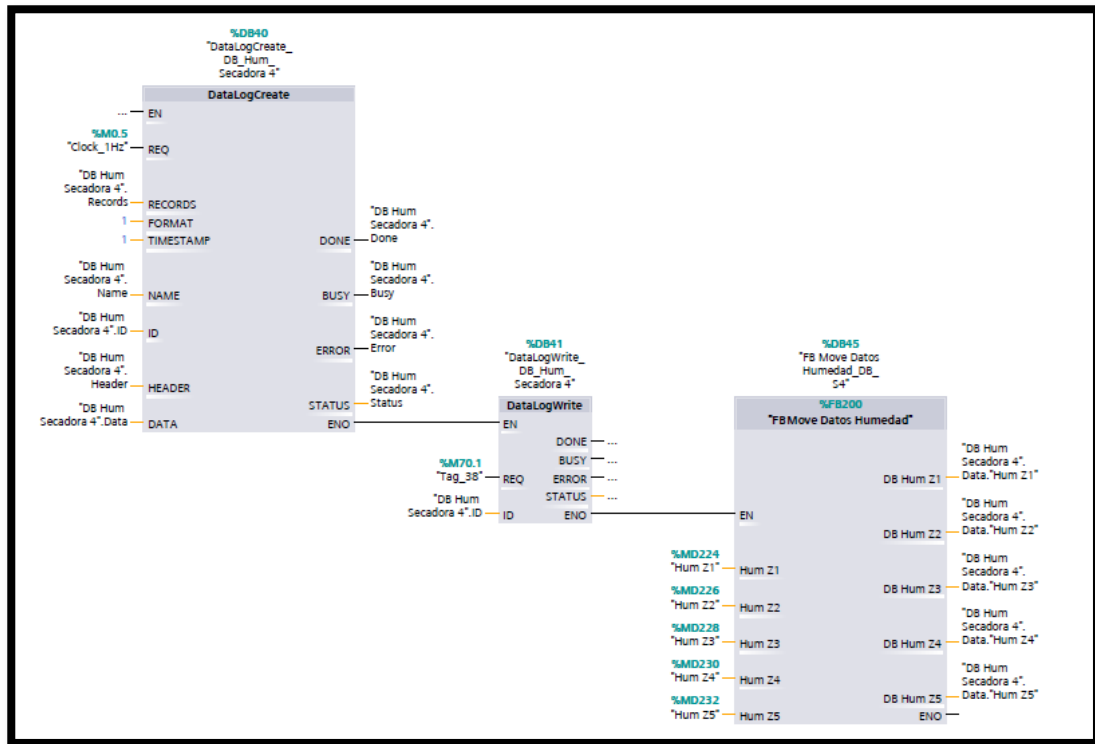


Ilustración 34 - Programación de recopilación de datos de humedad

Fuente: Propia

Teniendo todas estas configuraciones, el PLC creará un bloque de datos cuando este comience operación y escribirá los datos en tiempo real dependiendo del parámetro que el usuario elija en la pantalla, siendo el parámetro por defecto cada minuto, esto continuará hasta que la cantidad de 500 datos sea alcanzada.

VI.CONCLUSIONES

Como finalización de este proyecto de graduación, se detallarán las conclusiones obtenidas en base a los objetivos enunciados anteriormente.

- Se implementó un sistema SCADA para el monitoreo de la eficiencia de transferencia de calor y humedad exitoso en base a las pruebas de programación y parametrización de sensores realizadas, lo cual aportará a obtener detalles sobre el estado del recuperador de calor y si es necesario, tomar acción para mejorar su eficiencia.
- Se desarrolló programación e implementaron sensores que permitirán obtener los datos de caudal y eficiencia en el recuperador, con esta implementación se aportará a verificar que el proceso de recuperación de calor es óptimo.
- Se desarrollo programación para recopilación de datos histórico exitosamente, dando la opción al departamento de ingeniería descargar remotamente los datos históricos de los valores de proceso tomados por los sensores instalados en el recuperador de calor. Esta implementación simplificará el proceso de la recolección de datos al departamento de ingeniería ya que no tendrán que ir al piso de producción a tomar los datos directamente de la pantalla HMI.

VII.RECOMENDACIONES

7.1 HACIA LA EMPRESA

Este proyecto fue realizado para la implementación por parte de RLA Manufacturing. A continuación, se detallan las recomendaciones a la empresa según la experiencia obtenida en este proyecto.

- Mejorar el sistema de control de humedad, ya que actualmente el accionamiento del blower de extracción comienza solamente tomando en cuenta una de las zonas de la secadora.
- Implementar un sistema de filtro de tamo automático en las secadoras que aún no lo tienen, esto podría incrementar la eficiencia y reducir los tiempos de paro por limpieza.
- Implementar mejoras de automatización en los procesos de acabado, ya que hay varios procesos que actualmente son manuales y podrían ser automatizados, esto ayudaría a mejorar la producción e incluso mejorar la calidad del producto final.

7.2 HACIA LA UNIVERSIDAD

En este proyecto se aplicaron muchos conocimientos aprendidos durante el ciclo académico, siendo estos teóricos y prácticos, sin embargo, existen algunos puntos que la universidad puede mejorar o incluir para mejorar las competencias sus estudiantes.

- Redes industriales, se recomienda potenciar esta área ya que es uno de los factores más importantes en la automatización industrial por las ventajas que introduce.
- Realizar más visitas técnicas, para ir conociendo los ambientes laborales.
- Ampliar la enseñanza sobre eficiencia energética.

VIII.BIBLIOGRAFÍA

1. Carolina Altman. (s. f.). El Mantenimiento y la Eficiencia Energetica, 7. Recuperado de <http://www.mantenimientomundial.com/notas/eficiencia-energetica.pdf>
2. Lugo, J. G. C., Ybarra, J. J. P., & Romero, E. (2005). Metodología para realizar una automatización utilizando PLC. *Impulso*, 18. Recuperado de https://www.itson.mx/publicaciones/rieeyc/documents/v1/v1_art4.pdf
3. Mejia-a, F. (s. f.). Programa de Textilización - Ciencias Textiles: Capítulo 11 - Los acabados de las telas. Recuperado 25 de febrero de 2019, de <https://programadetextilizacion.blogspot.com/2015/01/capitulo-11-los-acabados-de-las-telas.html>
4. Kern, D. Q. (2006). *Procesos de transferencia de calor*. México: Compañía Editorial Continental.
5. Kurt C. Rolle. (2006). *Termodinámica*. (Virgilio González y Pozo, Trad.) (6ta ed.). Mexico: PEARSON EDUCACIÓN. Recuperado de <https://www.biblionline.pearson.com/Pages/BookDetail.aspx?b=268>
6. Antonio Nieto. (2014, junio 24). Sistemas de recuperación de calor. Recuperado 25 de febrero de 2019, de <https://www.mundohvacr.com.mx/2014/06/sistemas-de-recuperacion-de-calor/>
7. Connors, K., & Jiménez, A. (2018). *El Calor (Heat)*. New York, NY, UNITED STATES: Gareth Stevens Publishing LLLP. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtual-ebooks/detail.action?docID=5539732>
8. Camaraza Medina, Y. (2017). *Introducción a la Termotransferencia*. La Habana, CUBA:

- Editorial Universitaria. Recuperado de
<http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=4945975>
9. Arribas, J. H. (2003). Análisis económico de la utilización de cambiadores de calor en procesos de recuperación de calor de corrientes residuales. *Tecnología y desarrollo*, 1, 14. Recuperado de https://revistas.uax.es/index.php/tec_des/article/view/501
10. Montes Pita, M. J., Muñoz Domínguez, M., & Rovira de Antonio, A. (2014). *Ingeniería térmica*. Recuperado de
<http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3226895>
11. Díaz, V. S. (2001). *Acondicionamiento térmico de edificios: eficiencia y uso racional de la energía (2a. ed.)*. Recuperado de
<http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3220920>
12. Medina, J. L. (2010). *La automatización en la industria química*. Recuperado de
<http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3429967>
13. Vilaboa B., J. (2006). *Gestión de la automatización de plantas industriales en Chile*. Recuperado de
<http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3167355>
14. Jaramillo, O. A. (2007). Intercambiadores de calor. Centro de Investigación en Energía, 10. Recuperado de
<http://www.cie.unam.mx/~ojs/pub/HeatExchanger/Intercambiadores.pdf>
15. Mayol i Badía, A. (1988). *Autómatas programables*. Recuperado de
<http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3185163>
16. Daneri, P. A. (2008). *PLC: automatización y control industrial*. Recuperado de
<http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3183744>

17. González, E. (2012). *Programación de autómatas SIMATIC S7-300: lenguaje AWL*.
Recuperado de
<http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3227141>
18. Tokheim, R. L. (2008). *Electrónica digital: principios y aplicaciones (7a. ed.)*. Recuperado de
<http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3195989>
19. Gómez Sarduy, J. R., Reyes Calvo, R., & Guzmán del Río, D. (2005). *Temas especiales de instrumentación y control*. Recuperado de
<http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3191622>
20. Castro Gil, M.-A., Díaz Orueta, G., & Mur Pérez, F. (2012). *Comunicaciones industriales: principios básicos*. Recuperado de
<http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3198983>
21. Ponsa Asensio, P., & Vilanova Arbós, R. (2005). *Automatización de procesos mediante la guía GEMMA*. Recuperado de
<http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3229256>
22. Rodríguez Penin, A. (2008). *Comunicaciones industriales*. Recuperado de
<http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3175914>
23. Rodríguez Penin, A. (2007). *Sistemas SCADA (2a. ed.)*. Recuperado de
<http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3175459>
24. Couto Corrêa, F. (2016). *Gestión de datos de investigación*. Recuperado de
<http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=4849782>
25. Pérez Amil, J. J. (2013). *Recopilación y tratamiento de la información con procesadores de texto (UF0327)*. Recuperado de
<http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=4421896>

26. Oliva, N., Castro Gil, M. A., & Díaz Orueta, G. (2013). *Redes de comunicaciones industriales*.

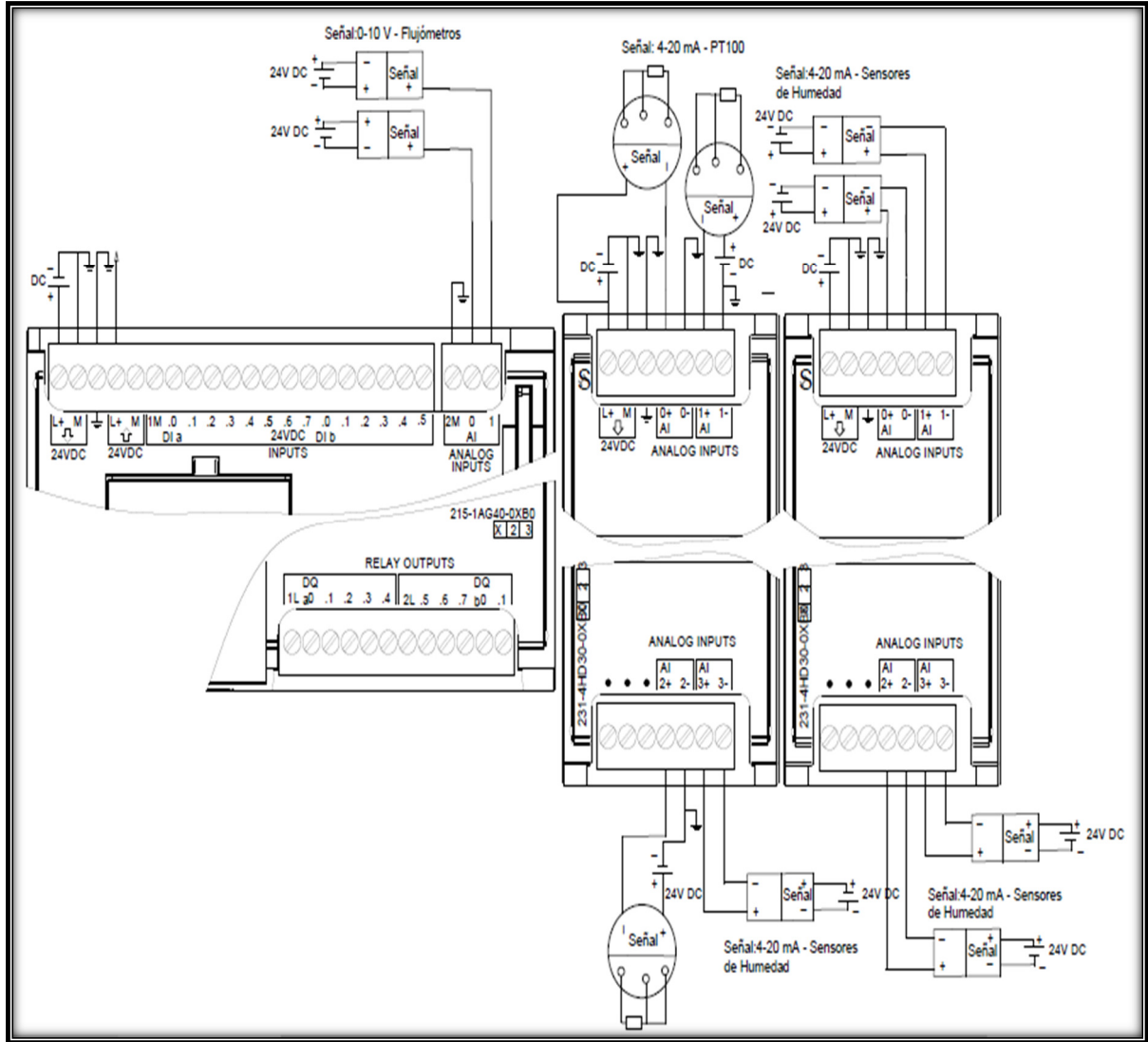
Recuperado de

<http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3216642>

27. Pardo Alonso, J. L. (2012). *Montaje y puesta en marcha de sistemas robóticos y sistemas de visión en bienes de equipo y maquinaria industrial (UF0461)*. Recuperado de

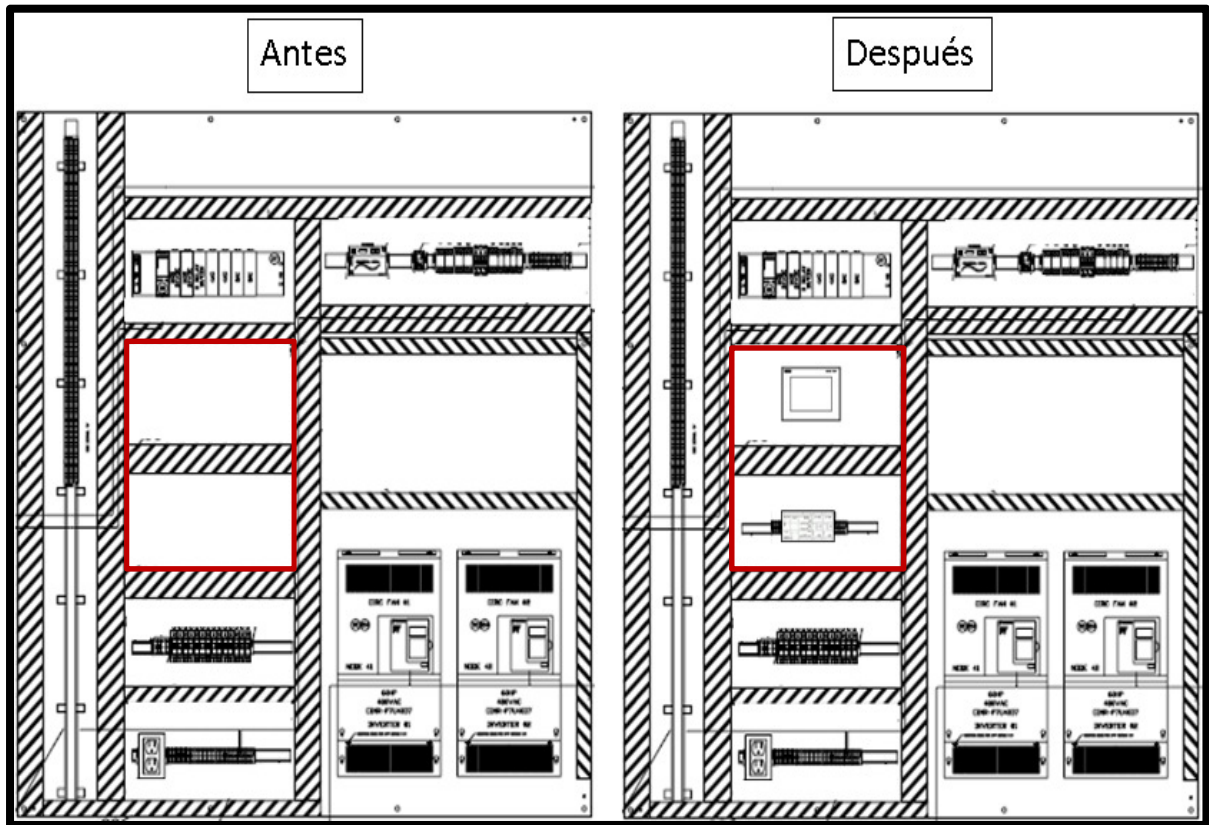
<http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3212280>

IX.ANEXOS



Anexo 1 - Diagrama eléctrico de sensores

Fuente: Propia



Anexo 2 - Plano de componentes a integrar

Fuente: Propia



Anexo 3 - Fotografía del recuperador de calor

Fuente: Propia



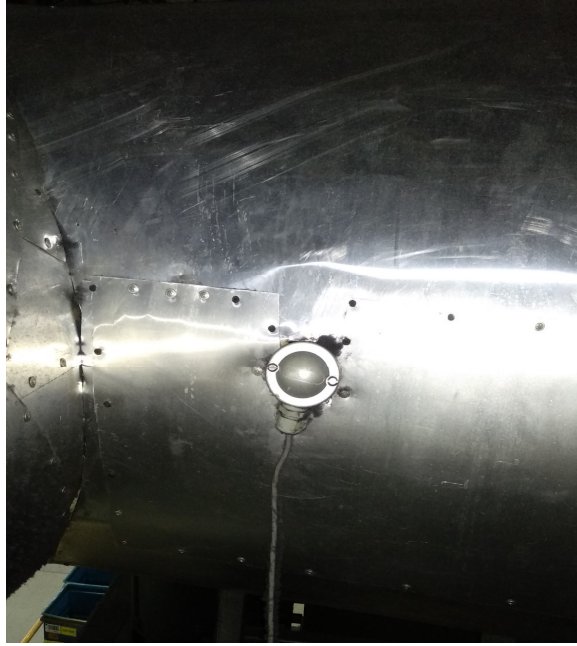
Anexo 4 - Imagen de ductos de entrada y salida de aire exterior

Fuente: Propia



Anexo 5 - Ducto de salida de aire caliente de la secadora

Fuente: Propia



Anexo 6 - Instalación de PT100 en ducto de salida de la secadora

Fuente: Propia



Anexo 7 - Instalación de PT100 en ducto de entrada de aire exterior

Fuente: Propia



Anexo 8 - Instalación de PT100 en ducto de salida de aire exterior

Fuente: Propia



Anexo 9 - Instalación de flujómetro en ducto de entrada de aire exterior

Fuente: Propia



Anexo 10 - Instalación de flujómetro en ducto de salida de aire exterior

Fuente: Propia



Anexo 11 - Instalación de PLC con módulos analógicos y pantalla HMI

Fuente: Propia