



uniatec[®]
LAUREATE INTERNATIONAL UNIVERSITIES[®]

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE HONDURAS

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

PRÁCTICA PROFESIONAL

SCADA PARA MONITOREO DE COMPRESORES EN ELCATEX

RAMÓN Y DANIA INDUSTRIAL

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO

INGENIERO EN MECATRÓNICA

PRESENTADO POR:

21611292 JOEL ANDRÉS GARCÍA ZELADA

ASESOR: ING. ORLANDO AGUILUZ

CAMPUS SAN PEDRO SULA

MARZO 2019

ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	GENERALIDADES DE LA EMPRESA.....	2
2.1.1	MISIÓN	2
2.1	DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA.....	2
2.1.1	VISIÓN	3
2.2	DESCRIPCIÓN DEL DEPARTAMENTO.....	3
2.3	OBJETIVOS.....	3
2.3.1	<i>OBJETIVO GENERAL</i>	4
2.3.2	<i>OBJETIVOS ESPECIFICOS</i>	4
III.	MARCO TEÓRICO	5
3.1	AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL	5
3.2	INDUSTRIA TEXTIL.....	6
3.2.1	<i>IMPORTANCIA ECONÓMICA DE LA INDUSTRIA TEXTIL</i>	6
3.2.2	<i>AUTOMATIZACIÓN EN EL AMBITO TEXTIL</i>	7
3.2.3	<i>PROCESO DE TEÑIDO</i>	8
3.3	MECÁNICA DE FLUIDOS	8
3.3.1	<i>PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS</i>	9
3.3.2	<i>PROPIEDADES DEL AGUA</i>	10
3.3.3	<i>HIDRODINÁMICA</i>	11
3.4	SENSORES Y ACTUADORES	12

3.4.1	<i>TECNOLOGIA IO-LINK</i>	13
3.4.2	<i>ACTUADORES</i>	14
3.5	COMPRESORES.....	14
3.6	INSTRUMENTACIÓN.....	15
3.7	PLC (CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE).....	16
3.7.1	<i>ENTAJAS AL UTILIZAR UN PLC</i>	18
3.7.2	<i>COMPONENTES Y ACCESORIOS DE UN PLC</i>	19
3.7.3	<i>PROGRAMACIÓN DE UN PLC</i>	19
3.8	SISTEMA SCADA.....	21
3.9	REDES DE COMUNICACIÓN	23
3.9.1	<i>MEDIO FÍSICO DE TRANSMISIÓN</i>	23
3.9.2	<i>NIVELES DE TENSIÓN</i>	24
3.9.3	<i>PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN</i>	25
IV.	METODOLOGÍA	28
4.1	VARIABLES.....	28
4.1.1	<i>VARIABLES DEPENDIENTES</i>	28
4.1.2	<i>VARIABLES INDEPENDIENTES</i>	29
4.2	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS.....	29
4.3	FUENTES DE INFORMACIÓN.....	30
4.4	<i>CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES</i>	30
V.	DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DESARROLLADO	32
5.1	SISTEMA DE MONITOREO DE COMPRESORES ELCATEX.....	32

5.1.1	<i>DESARROLLO DE SCADA</i>	33
5.1.2	<i>PROGRAMACIÓN DE PLC</i>	38
5.2	SCADA DE MONITOREO Y CONTROL PARA BENEFICIO SANTA ROSA	40
VI.	CONCLUSIONES	46
VII.	RECOMENDACIONES	47
VIII.	BIBLIOGRAFIA.....	48

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Logo de R y D Industrial	2
Ilustración 2. Participación de las Exportaciones de Textiles y Arnéses de Centroamérica, 2017.	7
Ilustración 3. Densidad de algunos materiales comunes.....	10
Ilustración 4. Logo de tecnología IO-Link.....	14
Ilustración 5. Compresor Quincy QGV-200	15
Ilustración 6. Medidor de energía Phoenix Contact.....	16
Ilustración 7. Diferentes marcas de PLC.....	17
Ilustración 8. PLC AXC1050 de Phoenix Contact acoplado a módulos de I/O digital y un módulo de entrada analógica.....	18
Ilustración 9. Ejemplo de programa realizado en FUP (bloques de función).....	20
Ilustración 10. Ejemplo de Sistema SCADA	22
Ilustración 11. Espacio de trabajo de Indusoft.....	23
Ilustración 12. Red Modbus RTU y Modbus TCP/IP	27
Ilustración 13. Cronograma	31
Ilustración 14. Diagrama de Gant.....	31
Ilustración 15. Pantalla de inicio ELCATEX	33
Ilustración 16. Consulta a base de datos de Consumo Energético.....	34
Ilustración 17. Pantalla principal Sala 1.....	34
Ilustración 18. Datos del medidor de energía	35
Ilustración 19. Configuración y mantenimiento	36

Ilustración 20. Reporte Sala 1	36
Ilustración 21. Gráficos de barra indicando el consumo diario de KWh para la Sala 1.....	37
Ilustración 22. Alarmas Sala 1	38
Ilustración 23. Lecturas de tablas Modbus	39
Ilustración 24. Lógica de encendido y fallas.	39
Ilustración 25. Pantalla de inicio Beneficio Santa Rosa.....	40
Ilustración 26. Pantalla principal	41
Ilustración 27. Pantalla principal continuación	42
Ilustración 28. Configuración de mantenimiento.	43
Ilustración 29. Menú de reportes.	43
Ilustración 30. Reporte en formato de tabla.....	44
Ilustración 31. Monitoreo gráfico de temperaturas	44
Ilustración 32. Indicador de alarmas.	45

I. INTRODUCCIÓN

La Mecatrónica es una rama de la ingeniería que une aptitudes de otras carreras tales como la Electrónica y la Mecánica y las fusiona. Esta carrera rechaza la división de la ingeniería en disciplinas separadas por lo que es tan aplicable a la industria del siglo XXI. El mundo, como nunca, está en busca de innovación y eficiencia en sus procesos y la Mecatrónica viene a realizar exactamente eso.

Para esta práctica profesional se ha tenido la dicha de realizarse en la empresa integradora R y D Industrial lo cual ha resultado en un gran beneficio ya que se ha podido aprender y trabajar en muchas disciplinas diferentes. Todo proyecto trae consigo nuevos retos y desafíos y en cada uno de ellos se ha podido aprender algo nuevo y diferente. La experiencia obtenida de esta práctica ha sido de mucho valor.

Como se verá más adelante y a lo largo del documento, R y D Industrial tiene proyectos con empresas de notorio prestigio en Honduras, como ser, por ejemplo; GILDAN, Elcatex, RLA Manufacturing, ICCE, Incal, BECAMO, entre otras. Dicho esto, se puede proseguir a decir que se trabajó en varias áreas de trabajo. Se ha trabajado en las áreas textiles, de café, construcción, maquila y otras. En muchas de ellas se ha tenido la oportunidad de trabajar con sistemas SCADA, variadores, medidores. La programación para PLC y SCADA han sido competencias ampliamente utilizadas. Los trabajos se realizaron todos con la supervisión y ayuda de los ingenieros de R y D Industrial, siguiendo la forma y orden de trabajo que la empresa suele trabajar.

Este informe cuenta con una estructura de desarrollo cronológico en el cual se ven descritos datos generales de la empresa, conceptos teóricos de los diferentes equipos, sistemas y software utilizados y una descripción de los diferentes proyectos que han enriquecido el conocimiento sobre la mecatrónica adquirido durante la carrera.

II. GENERALIDADES DE LA EMPRESA

A continuación, se presentarán generalidades de la empresa R y D Industrial, como ser una descripción general de la empresa, misión, visión, entre otros.

2.1.1 MISIÓN

Es poder brindar al cliente soluciones definitivas y el mejor servicio, poniendo en sus manos la más alta calidad y el avance tecnológico que se encuentran en los productos de prestigio que nosotros manejamos con mucho orgullo y el conocimiento de nuestro personal que es constantemente capacitado en el exterior para mantenernos como una empresa actualizada y siempre a la vanguardia.

2.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

R y D Industrial es una empresa fundada en el 2003 que ofrece soluciones en automatización, instrumentación y control. Esta empresa contratista ha logrado posicionarse entre los mejores en el mercado hondureño ofreciendo no solo productos de marcas de prestigio mundial en el área eléctrica y mecánica sino también servicio de la más alta calidad que cumple las expectativas y demandas del mercado.



Ilustración 1. Logo de R y D Industrial

Fuente: Página oficial R y D Industrial

Para realizar los proyectos de la mejor manera, R y D Industrial trabaja con productos de alta calidad. Esta empresa cuenta con la representación oficial de productos Phoenix Contact en el país, la cual es una marca alemana muy reconocida mundialmente. Otras

marcas que R y D maneja son: WEG, válvulas Bray, Krohne, ifm, Metaltex, Unitronics, ABB, Schubert & Salzer, entre otras.

2.1.1 VISIÓN

Es ser los mejores el campo de la Automatización, Instrumentación y Control, y con esto poder ser parte en el desarrollo de nuestro querido país Honduras, que necesita hondureños comprometidos, que den su empeño al máximo y todo esto basado en Dios y los valores morales que deben ser el pilar de toda empresa que desea ser exitosa.

2.2 DESCRIPCIÓN DEL DEPARTAMENTO

La práctica profesional se realiza en el Departamento de Proyectos Especiales de la empresa R y D Industrial. El departamento está compuesto por tres Ingenieros en Mecatrónica y dos Ingenieros Electrónica. Dicho departamento lleva a cabo toda la parte de integración de todo proyecto que la empresa realiza, por lo que trabajo es muy variado. Se realizan actividades tales como: levantamiento de proyectos, programación en diferentes plataformas, diseño de piezas, diseño y programación de SCADAs y diseño de HMIs. Este departamento también se supervisa la instalación de todas las partes de un proyecto (como por ejemplo PLCs, sensores, medidores y pantallas).

2.3 OBJETIVOS

En toda investigación, los objetivos son de mucha importancia ya que mantienen en enfoque de la investigación en la dirección correcta. "Una vez que se entiende por completo el antecedente del problema como originalmente se planteó, se estará listo para replantearlo en forma de enunciado de objetivos más coherentes" (Norton, 2009). Por esta razón es importante conocer bien el problema para plantear los objetivos correctos. A continuación, se definen los objetivos del presente proyecto.

2.3.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una cronología de actividades y proyectos realizados implementando los conocimientos y técnicas obtenidas a través de los estudios universitarios.

2.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

Realizar SCADA, programación en PLC e instalación de equipo para monitoreo de sistema de compresores para la empresa Elcatex.

Realizar SCADA de monitoreo y control para el Beneficio de Café Santa Rosa.

III. MARCO TEÓRICO

Para entender a totalidad el proyecto presente es necesario primero asentar las bases teóricas que faciliten la comprensión de este. Sin una comprensión básica de los conceptos utilizados en el proyecto será difícil entender su alcance. Es por esta razón que a continuación se exponen los temas y conceptos clave que llevaran al lector a una comprensión más amplia del proyecto.

3.1 AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

En los últimos años ha crecido la necesidad de un mayor control, supervisión y procesamiento de datos sobre los procesos industriales con el fin de reducir costos, aumentar la eficiencia y calidad. A la misma vez, los trabajos que poseen un nivel elevado de riesgo o dificultad son manejados de una manera mejor y más segura, así resguardando la vida de los trabajadores.

Medina & Guadayol (2010) define la automatización industrial como “la transferencia parcial o total de las funciones de coordinación ejecutadas por un operario en un proceso productivo a un equipo cableado o equipo electrónico programable” (p. 9). Para esta tendencia de la industria interesa no solamente un sistema de control, sino que también implica la instrumentación industrial. Esta rama de la ingeniería abarca temas como sensores, actuadores, supervisión, transmisión y recolección de datos y software de supervisión en tiempo real para un mejor control sobre algún proceso industrial.

Esta tendencia ha sido común en el último siglo debido a las muchas ventajas que ofrece. La eficiencia y control que se obtienen al automatizar tienen un alto impacto económico en la industria. La industria textil no es la excepción.

3.2 INDUSTRIA TEXTIL

La industria textil comprende todo producto relacionado con tela, ya sea hilos, fibras, telas en si o la confección de ropa. Esta industria ha estado presente desde hace miles de años debido a que la vestimenta es una necesidad primordial, también llamada de primer orden.

Existen muchas empresas en países altamente industrializados que tienen sus plantas de producción en países menos desarrollados debido a las ventajas que esto ofrece. Entre algunas ventajas se puede mencionar un menor impuesto sobre su producción y salarios menores a los que tendrían que pagar en un país altamente desarrollado. El área de Choloma, Cortes, se ha visto beneficiado por el establecimiento de parques industriales que en gran parte son relacionados con la industria textil. "Obviamente, el mercado laboral local ha sido transformado de manera radical en un doble sentido: por el desplazamiento de ocupaciones agrícolas por parte de las industriales y por la atracción de mano de obra migrante proveniente de otras zonas del país" (Pérez Sáinz, 1998).

3.2.1 IMPORTANCIA ECONÓMICA DE LA INDUSTRIA TEXTIL

Por esta razón muchas empresas extranjeras han visto oportunidad en asentar sus plantas de producción en Honduras debido a los beneficios que se ofrecen para tales empresas. Esto a su vez ayuda en gran manera al país generando empleos e ingresos al país en forma de impuestos.

Según el Banco Central de Honduras (2018) la industria textil y las maquilas representan un gran ingreso de capital al país. Solamente en el 2017 las maquilas generaron un total de L150, 583.00 millones. Además, para el 2017 la industria textil ha abierto 132,198 puestos de trabajo para los hondureños.

Es notorio también resaltar que, en Centro América, Honduras lidera la industria textil y las exportaciones relacionadas con la industria con el 38.8% de exportaciones textiles de la producción Centroamericana. (Vea la Ilustración 1).

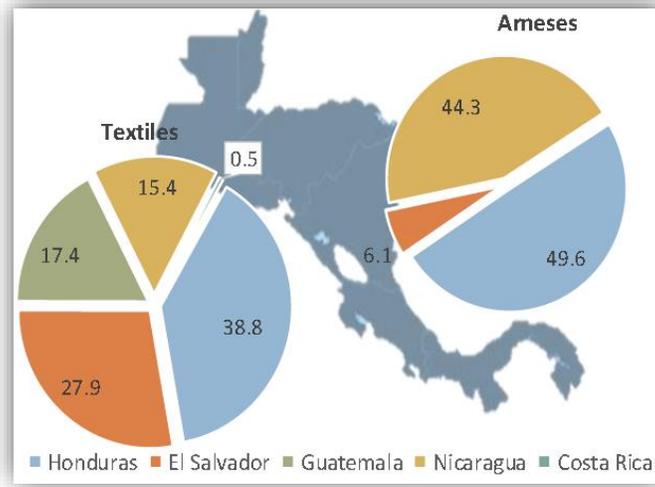


Ilustración 2. Participación de las Exportaciones de Textiles y Arteses de Centroamérica, 2017.

Fuente: Informe de Bienes para Transformación y Actividades Conexas Anual 2017.

3.2.2 AUTOMATIZACIÓN EN EL AMBITO TEXTIL

Gracias a los avances de la tecnología, la industria textil, como muchas otras, ha visto grandes avances en sus procesos. Es decir, en muchos casos los procesos son los mismos sin embargo muchos de ellos han sido automatizados, por lo menos en parte. Esta industria empezó a ver avances en la automatización de sus procesos desde la primera revolución industrial.

Dicho momento histórico es fundamental en el desarrollo de la automatización industrial pues en ella hacen aparición diferentes mecanismos de control, se desarrolla el motor de vapor y la industria textil automatizó muchos de sus procesos con el uso de equipos como el telar de Jacquard, que basado en tarjetas perforadas permitía a una persona inexperta tejer complejos diseños. (Rey S, 2009, p. 2)

Poco a poco se ha ido avanzando en la automatización de los procesos a tal punto que la intervención humana es mínima. Los procesos ahora pueden ser controlados mediante sistemas SCADA desde ubicaciones remotas. Los errores en los tejidos se han reducido a un mínimo y los desperdicios se han reducido gracias a la automatización. Siempre se necesita de personal preparado para la supervisión y control. También hay áreas en las que el operador es más apropiado para el trabajo que la máquina. Sin embargo, la automatización ha sido un factor importante en el mejoramiento de la industria textil.

3.2.3 PROCESO DE TEÑIDO

Uno de los procesos más comunes en el proceso de hacer telas es el teñido. Este proceso se realiza ya sea con agua fría o agua caliente dependiendo de la tela, aunque el más común es el último. Sin embargo, existen formas recientes que permiten hacer este proceso sin agua. Salas Colotta (2003) afirma: "Los teñidos utilizados son de dos tipos: teñido con colorantes directos con fijador que se impregna en la tela y con colorantes reactivos" (p. 2). El primero es un teñido simple mientras que el teñido con colorantes reactivos, como su nombre lo implica, hacen una reacción con la tela bajo condiciones especiales.

Se requiere de gran cantidad de agua para llevar a cabo este proceso de teñido. Por lo mismo, el desperdicio de agua es bastante grande. "La generación de agua residuales una instalación de teñido para la coloración reactiva y directa se encuentra en el orden de 15 a 20 galones por libra" (Garcés Giraldo, Hernández Ángel, Peñuela Mesa, Rodríguez Restrepo, & Salazar Palacio, 2005)

3.3 MECÁNICA DE FLUIDOS

La mecánica de fluidos es el estudio de los fluidos en movimiento y las fuerzas relacionadas con los fluidos. Esta rama de la ciencia estudia los fluidos en sus dos condiciones, dinámica y estática.

Es preciso definir entonces, definir un fluido. Según González Santander Martínez & Castellano Estornell (2014) “un fluido es una sustancia (considerada como un medio continuo) que carece de forma propia, por lo que adopta la forma del recipiente que lo contiene” (p. 2). Los fluidos incluyen dos estados de la materia, los líquidos como los gases. Un líquido es un fluido altamente incompresible con un volumen definido, sin embargo, no posee una forma fija. Por el contrario, en el estado gaseoso el fluido adopta la forma y volumen del contenedor en donde se encuentra constreñido. Para fines de este proyecto únicamente nos centraremos en los líquidos.

3.3.1 PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

Todos los fluidos tienen propiedades o características que los describen. Al saber las propiedades de un fluido es posible determinar en gran manera el comportamiento de este. Existen dos tipos de propiedades de los fluidos: primarias y secundarias. Las propiedades primarias, también llamadas propiedades termodinámicas, incluyen la presión, densidad, temperatura, volumen, calor específico, entre otros. Las propiedades secundarias incluyen la compresibilidad, la difusividad, la conductividad térmica entre otras.

3.3.1.1 Presión

“La presión es la fuerza por unidad de área que se ejerce sobre una superficie, y se mide en unidades de newtons por metro cuadrado (N/m^2), una unidad conocida como pascal (Pa)” (Kirkpatrick & Francis, 2012, p. 141). Esta propiedad física de los fluidos está relacionada con la profundidad. Mientras más grande sea la profundidad, mayor será la presión. En este proyecto la presión es de la más alta importancia debido a que es la magnitud física que se debe monitorear para un mejor desempeño del proceso de teñido.

La presión es un elemento que en muchos casos interesa monitorear. En ciertos casos es mala tanto una alta presión como una presión baja por lo que se necesita que el control

sobre ella sea riguroso. Un mal manejo de la presión puede llevar a los sistemas que depende de ella a fallar debido a sobre presiones que causen deformaciones, quebraduras y hasta explosiones. Una presión demasiado baja también puede ser perjudicial porque las maquinas requieren una presión mínima para trabajar y si esta no tiene el nivel adecuado la vida útil de la maquinaria se ve afectada.

3.3.1.2 Densidad

La densidad de un material o un fluido es la misma independientemente del volumen del fluido. Esta propiedad física se define como la cantidad de masa por unidad de volumen. Se expresa en kilogramos por metro cubico (kg/m^3). En la Ilustración 2 se pueden apreciar las diferentes densidades para materiales y fluidos distintos.

3.3.2 PROPIEDADES DEL AGUA

El fluido importante en la realización de este proyecto es el agua debido al proceso que se realizan con ella. A continuación, se detallan algunas propiedades del agua que se deben abordar.



Material	Densidad (g/cm^3)
Aire*	0.0013
Hielo	0.92
Agua	1.00
Magnesio	1.75
Aluminio	2.70
Hierro	7.86
Cobre	8.93
Plata	10.5
Plomo	11.3
Mercurio	13.6
Uranio	18.7
Oro	19.3
Osmio	22.5

*A 0°C y 1 atm.

Ilustración 3. Densidad de algunos materiales comunes.

Fuente: Física Una Mirada al Mundo Edición Abreviada (1a ed.)

3.3.2.1 Dureza

La dureza del agua es una propiedad del agua que indica la concentración de sales disueltas en el agua. Se le llama agua dura a aquella que tiene una alta concentración de sales especialmente de magnesio y calcio. Por otra parte, se le llama agua suave a las aguas que tienen una concentración menor a 0.5 partes por mil de sal disuelta. (Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental A.C., 2017) Esta agua también se le llama agua tratada ya que ha pasado por un proceso en el cual se baja la concentración de sales para que no se hagan incrustaciones en las tuberías. En la planta textil de Elcatex toda el agua que se usa para los procesos de teñido es procesada previamente para reducir la concentración de las sales en el agua para que el proceso se realice sin efectos negativos.

3.3.2.2 pH

El pH también es una propiedad importante del agua. Esta es la medida de acidez o alcalinidad del agua. La escala de medición de pH va de 0 a 14. Se dice que una solución es ácida cuando su pH es menor a 7 y es alcalina cuando su pH es mayor a 7. El agua debería de ser neutra, es decir, con un pH de 7. (Kirkpatrick & Francis, 2012)

3.3.3 HIDRODINÁMICA

La hidrodinámica es el estudio de los fluidos en movimiento. Es de mucha importancia conocer el comportamiento del fluido cuando este está en movimiento. Para el estudio de fluidos en la hidrodinámica se considera que la densidad del fluido no varía con el cambio de presión, no se considera una pérdida de energía por viscosidad y se supone que el flujo de los fluidos es estable. Tanto la hidrodinámica como la hidrostática son de vital importancia ya que de ellas se derivan avances tecnológicos en las áreas como la hidráulica que es de tanta importancia en la distribución y el suministro de agua. Cuando la viscosidad de un fluido se considera despreciable se dice que el fluido es ideal.

3.3.3.1 Ecuación de Bernoulli

La relación entre la presión de un flujo y su energía es de mucha importancia en la mecánica de fluidos. Esta necesidad se suple con la elaboración de la ecuación de Bernoulli por Daniel Bernoulli y Leonhard Euler en los años 1700s. "El estudio del flujo sin fricción a través de un tubo de corriente infinitesimal [...] proporciona una relación muy utilizada entre la presión, la velocidad y la altura, que se denomina ecuación de Bernoulli" (Mott, 2015, p. 177). Es preciso notar que esta ecuación es válida para los flujos en los cuales la fricción no es un factor determinante. La ecuación de Bernoulli se muestra a continuación:

$$\frac{p_1}{\rho} + \frac{1}{2}V_1^2 + gz_1 = \frac{p_2}{\rho} + \frac{1}{2}V_2^2 + gz_2 = cte$$

Ecuación 1. Ecuación de Bernoulli para un flujo estacionario incompresible y sin fricción a lo largo de una línea de corriente.

Fuente: (Mott, 2015)

Esta ecuación toma en cuenta la energía de presión, la energía cinética y la energía potencial y esto es lo que la hace tan importante. Con esta ecuación es muy importante notar la relación que la presión y la velocidad del fluido tienen en la tubería.

3.4 SENSORES Y ACTUADORES

Un elemento indispensable en el control de un sistema es el sensor. "Un sensor es un transductor que se utiliza para medir una variable física de interés. Algunos de los sensores y transductores utilizados con más frecuencia son calibradores de tensión (utilizados para medir la termopares (temperaturas), los velocímetros (velocidad)" (Escalona, 2007, p. 7). Como se verá más adelante, en un sistema de lazo cerrado la retroalimentación es de mucha importancia. Es allí donde se ve la vital importancia de los sensores. Estos son los encargados de leer la variable física y traducirla a una señal eléctrica entendible por el PLC.

Para este proyecto los sensores de presión son de mayor importancia debido a que la presión es la variable que interesa monitorear. El sensor utilizado para este proyecto mide presión en un rango de 0 a 100 psi.

3.4.1 TECNOLOGIA IO-LINK

La tecnología IO-Link es una nueva e innovadora tecnología de comunicación que permite comunicar los datos recogidos por los sensores de manera sencilla y eficiente, transfiriéndolos digitalmente y consiguiendo que los valores de medición no se vean distorsionados por interferencias en el cable. Se basa y trabaja en el conocido estándar de funcionamiento tres hilos sin verse afectado por exigencias del material del cable. Esta no debe ser confundida con un bus de campo ya que no lo es. Está limitado a trabajar a un máximo de 20 metros por lo que normalmente necesita trabajar de manera combinada junto con un sistema de bus que cubra la distancia entre la máquina y el PLC. En la Ilustración 4 se muestra el logo de la tecnología.

IO-Link permite conocer en todo momento el estado de un sensor, siendo así posible anticiparse a los fallos, cuantificar la duración de un equipo o incluso cambiar los parámetros y la programación. Esto ahorra de manera directa horas de programación, ajuste y sobre todo de búsqueda de fallos a nivel de campo. La capacidad de prever fallos también representa un ahorro ya que es posible planificar paradas o mantener un stock realista de recambios.

IO-Link permite también la reducción del cableado haciendo más sencilla la instalación. Además, los parámetros de programación y ajuste del equipo se almacenan y se recuperan fuera del sensor de manera descentralizada siendo posible incluso la comunicación en funcionamiento.

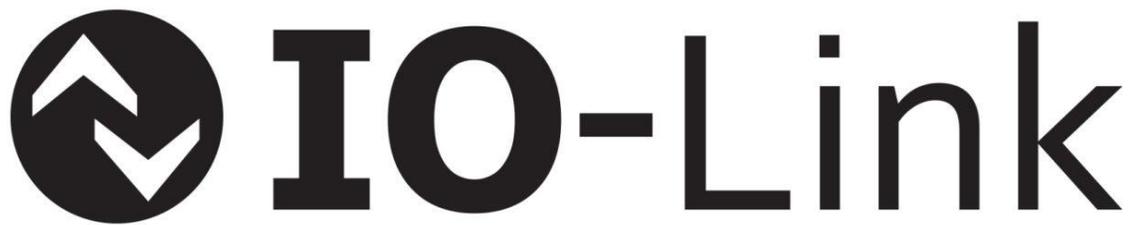


Ilustración 4. Logo de tecnología IO-Link.

Fuente: Página oficial de FDT Group

3.4.2 ACTUADORES

En todo proceso los actuadores también son parte importante ya que son los responsables de generar un cambio y una acción en el sistema en base a las señales generadas por los sensores y las decisiones tomadas por el controlador principal. El actuador principal utilizado para este proyecto es el motor de inducción con una capacidad de 50 hp y una velocidad máxima de 1770 rpm. A estas máquinas eléctricas también se les conoce por el nombre de motor asíncrono.

Fraille Mora (2008) afirma:

“En esta situación el campo giratorio del estator induce f.e.m.s. en el devanado del rotor y al estar este en cortocircuito (jaula de ardilla) o cerrado por medio de un reóstato de arranque (rotor devanado o con anillos) aparecen corrientes en el rotor que, al reaccionar con el campo giratorio del estator, mueven la máquina a una velocidad n muy cercana y por debajo de la de sincronismo n_1 .” (p. 169)

3.5 COMPRESORES

Los compresores son considerados máquinas térmicas generadoras. Muñoz Domínguez & Rovira De Antonio (2014) definen el modo de operación de dichas máquinas de la siguiente manera: “El incremento de energía térmica (aumento de temperatura) y/o de exergía (aumento de presión) se produce por disminución del volumen, compresión que se realiza absorbiendo trabajo del exterior” (p. 16). Para el desarrollo de uno de los proyectos se trabajó con compresores marca Quincy, Kaeser e Ingersoll. En la Ilustración

4 se puede apreciar un compresor Quincy variable. Este compresor es capaz de regular al flujo de aire automáticamente por medio de un variador reduciendo costos. Para uno de los proyectos de esta práctica profesional también se trabajó con compresores fijos.



Ilustración 5. Compresor Quincy QGV-200

Fuente: Página oficial de Quincy Compressor

3.6 INSTRUMENTACIÓN

La instrumentación industrial consiste en el uso de dispositivos que sirven a los ingenieros o técnicos para medir, convertir y registrar variables de un proceso y luego, transmitir, evaluarlas y controlarlas. La medición y el control de procesos son fundamentales para generar, en definitiva, los mejores resultados posibles en lo que toca a la utilización de recursos, máquinas, rendimiento, rentabilidad, protección medioambiental y seguridad, entre otros, en una unidad productiva.

La mayoría de los aparatos de medición y control de procesos industriales suelen medir características físicas como tensión, presión, fuerza, temperatura, flujo, nivel, velocidad, peso y humedad, sin embargo, también son utilizadas para medir características químicas como el pH y la conductividad eléctrica.

Para el desarrollo del proyecto de compresores en Elcatex se utilizaron medidores de energía de la marca Phoenix Contact como se muestra en la Ilustración 5. Por medio de ellos se puede monitorear señales de voltajes, corrientes y potencia. Los datos importantes de la energía consumida también son fácilmente monitoreados con este medidor. Otras variables como el factor de potencia, las horas de trabajo y la temperatura también se pueden monitorear con este medidor.

Todos estos datos son transmitidos a través de RS485 a un Gateway (por medio de un conector DB9) el cual se encarga de enviar las señales a la red para ser visualizadas en el sistema SCADA.



Ilustración 6. Medidor de energía Phoenix Contact.

Fuente: Página oficial de Phoenix Contact

3.7 PLC (CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE)

Un controlador lógico programable (PLC) es un dispositivo programable utilizado más comúnmente en la industria que son los encargados de regular secuencias de acciones y controlar tiempos de ejecución. Se podría decir que el PLC es el cerebro que controla todas las tareas que se deben realizar. En este dispositivo se interpretan las señales leídas por los sensores. Estas señales se conectan a las entradas del PLC. En base a esas señales

se toma una decisión y se realiza (o se deja de realizar) una acción sobre uno o más actuadores. Para poder enviar la señal de accionamiento a los actuadores, estos se deben conectar a las salidas del PLC. Por lo general los PLC se deben acompañar de módulos de entradas y salidas, tanto digitales como análogas.

Algunas de las marcas de PLC más reconocidas en el mercado son: Siemens, Allan Bradley, Phoenix Contact, Omron y Mitsubishi. Algunos modelos de PLC se muestran en la Ilustración 6.



Ilustración 7. Diferentes marcas de PLC.

Fuente: página oficial de eWON

Daneri (2008) afirma:

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. En este capítulo se describirán las partes que componen un PLC y sus principales características. Por otra parte, se analizará la forma cómo un PLC ejecuta la lógica escrita por el usuario y las rutinas de verificación internas. (p. 89)

Para este proyecto se trabajó solamente con los PLCs de Phoenix Contact, específicamente con el AXC 1050 (Ver Ilustración 7). Este PLC no cuenta con módulos de entradas y salidas, ni una interfaz gráfica. Sin embargo, es un PLC de manejo sencillo y flexible. También es un autómata compacto, rápido y robusto. Es posible conectarle un máximo de 63 módulos

de entrada/salida capaces de ser alineados directamente. Puede controlar hasta 16 equipos mediante PROFINET. Incluye 2 interfaces Ethernet y tiene un margen de temperatura de operación de -25°C a 60°C.



Ilustración 8. PLC AXC1050 de Phoenix Contact acoplado a módulos de I/O digital y un módulo de entrada análoga.

Fuente: página oficial de Phoenix Contact

3.7.1 ENTAJAS AL UTILIZAR UN PLC

Los PLC han sido clave en reducir el riesgo para operarios en las tareas que tienen un nivel de riesgo elevado. Estos también han contribuido en reducir de manera significativa los costos de mantenimiento y recursos desperdiciados a la misma vez que se incrementa la velocidad de producción y se reduce la cantidad de errores en los procesos. El PLC también es clave en incrementar la eficiencia del proceso que controla. Gracias a dicha eficiencia, la vida útil de la maquinaria que controla se incrementa, se reduce el desperdicio de materia prima y eleva la calidad de la manufactura terminada.

3.7.2 COMPONENTES Y ACCESORIOS DE UN PLC

Un PLC sirve como el cerebro de un proceso, pero para que un cerebro pueda ser funcional, se requieren de muchas otras partes relacionadas que permiten realizar un control adecuado. Dependiendo del tipo y marca, estos componentes o accesorios están incluidos o no dentro del mismo PLC.

Primero, todo PLC necesita una fuente de alimentación. Algunos traen una fuente de alimentación interna, mientras que otros deben ser alimentados por una fuente externa, por lo general de 24VDC. Obviamente el PLC debe de incluir un CPU para realizar todo el procesamiento de datos.

Otros componentes que son indispensables son los módulos de entradas y salidas ya sea análogos y digitales. Estos son los responsables de recibir y enviar toda señal. Estos módulos pueden variar mucho en tamaño y diseño dependiendo de la aplicación y el proceso. No en todos los casos se requiere de una salida análoga, por ejemplo, por lo que en esos casos no se incluiría el módulo de salida análoga. Para este proyecto se usaron módulos de entradas y salidas tanto digitales como análogas.

Todo PLC también debe tener algún tipo de puerto de comunicación para poder conectarse con otros controladores, pantallas HMI o simplemente con una computadora para cargar el programa. Para cargar el programa, algunos PLC también traen la opción de insertar una tarjeta SD. Algunos PLC también traen incluida una pantalla HMI para la visualización de datos.

3.7.3 PROGRAMACIÓN DE UN PLC

“En la actualidad existen diferentes lenguajes de programación que permiten a los programadores de PLC (Programmable Logic Controller) expresar y ejecutar la lógica que resuelve una problemática o desarrolle un cálculo matemático correspondiente a una planta o proceso industrial” (Páez-Logreira, Zamora-Musa, & Bohórquez-Pérez, 2015).

Entre algunos de los lenguajes más comunes para la programación de los PLC se puede mencionar lenguajes como KOP (escalera o ladder), AWL (lista de instrucciones), CFC (cuadro continuo de funciones), FUP (bloques de función) y SCL (texto estructurado). Los lenguajes más comunes son LADDER, FUP y SCL. En muchos softwares de programación se pueden combinar estos lenguajes para crear un mismo programa ya que algunos presentan ventajas sobre otros en ciertas circunstancias. Para este proyecto la mayoría de la programación se realizó en FUP por la facilidad de uso y por la disponibilidad de librerías útiles para el desarrollo del programa. En la Ilustración 9 puede apreciarse un ejemplo claro de un programa realizado en bloques de función desarrollado en el programa PC WORX. Este programa fue utilizado para realizar la programación de este proyecto.

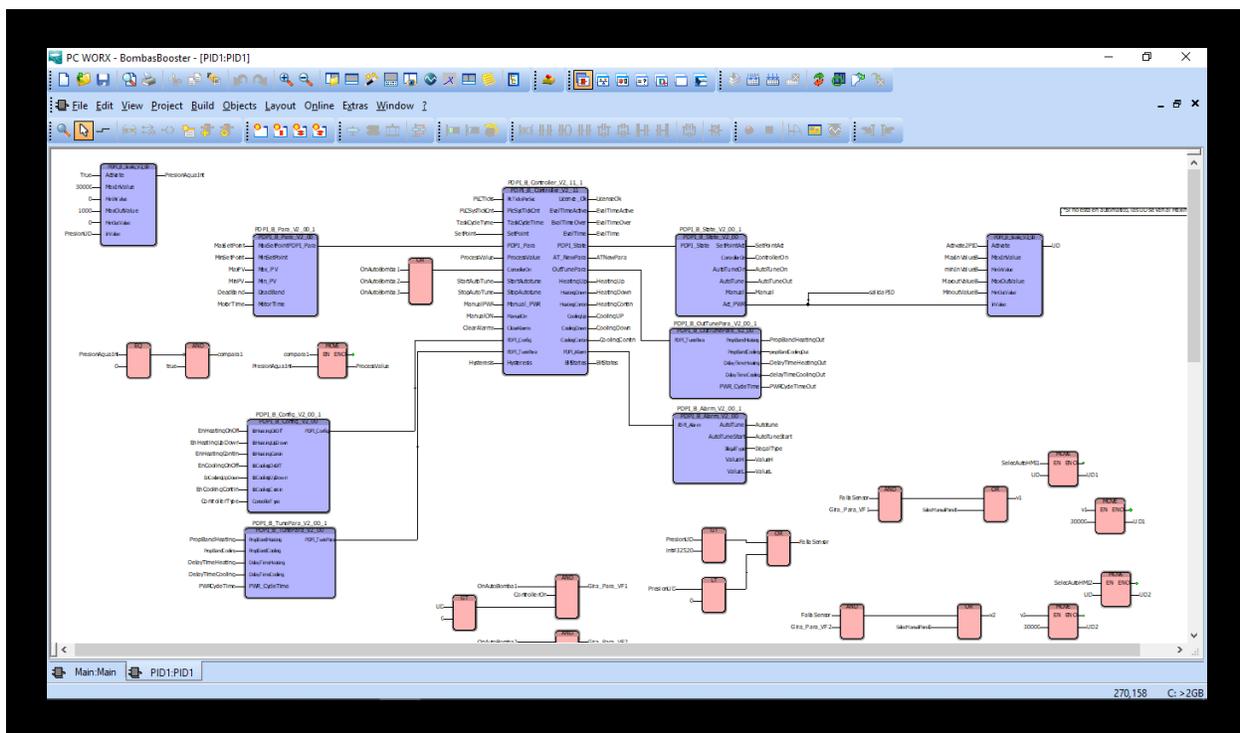


Ilustración 9. Ejemplo de programa realizado en FUP (bloques de función).

Fuente: Propia

3.8 SISTEMA SCADA

Todo sistema necesita algún medio de comunicación entre la máquina y el operario. Es por esta razón, la interfaz entre el hombre y la máquina que se desea monitorear o controlar ha venido a ser muy importante en los sistemas de control. Es aquí donde los Sistemas SCADA son de mucha utilidad.

Un Sistema SCADA es un Sistema de Supervisión, Control y Adquisición de Datos por sus siglas en inglés. "Los programas SCADA permiten ejecutar automáticamente acciones de mando preprogramadas (por ejemplo, abrir/cerrar una válvula, arrancar/parar una bomba, etc.) dependiendo de valores actuales de las variables de la planta o de combinaciones de éstas" (Oliva, Castro Gil, & Díaz Orueta, 2013, p. 432).

En muchas ocasiones la HMI es confundida con el SCADA, sin embargo, el SCADA simplemente es una combinación de muchos HMI. El SCADA es mucho más complejo y por lo general se opera fuera del sitio donde está el equipo. La HMI muchas veces es únicamente para monitoreo local, especialmente para que los operarios tomen decisiones en sitio y que allí mismo puedan ver el estado del equipo. Sin embargo, se puede resumir que el software HMI se utiliza para monitorizar sistemas SCADA.

Álvarez, Baquero, & Gómez (2015) afirman:

Los sistemas de interfaz entre el usuario y el equipo basados en paneles de control llenos de indicadores de control, interruptores e instrumentos de medición están siendo reemplazados por sistemas digitales que implementan el panel en la pantalla de una computadora o pantalla táctil. (p. 87)

Las interfaces cada vez son más amigables y fáciles de comprender, quitándole complejidad a la operación de la maquinaria y proveyendo un mayor nivel de monitoreo al mismo tiempo. En la Ilustración 10 se puede apreciar un ejemplo de un sistema SCADA de monitoreo de niveles de agua en tanques y presión.

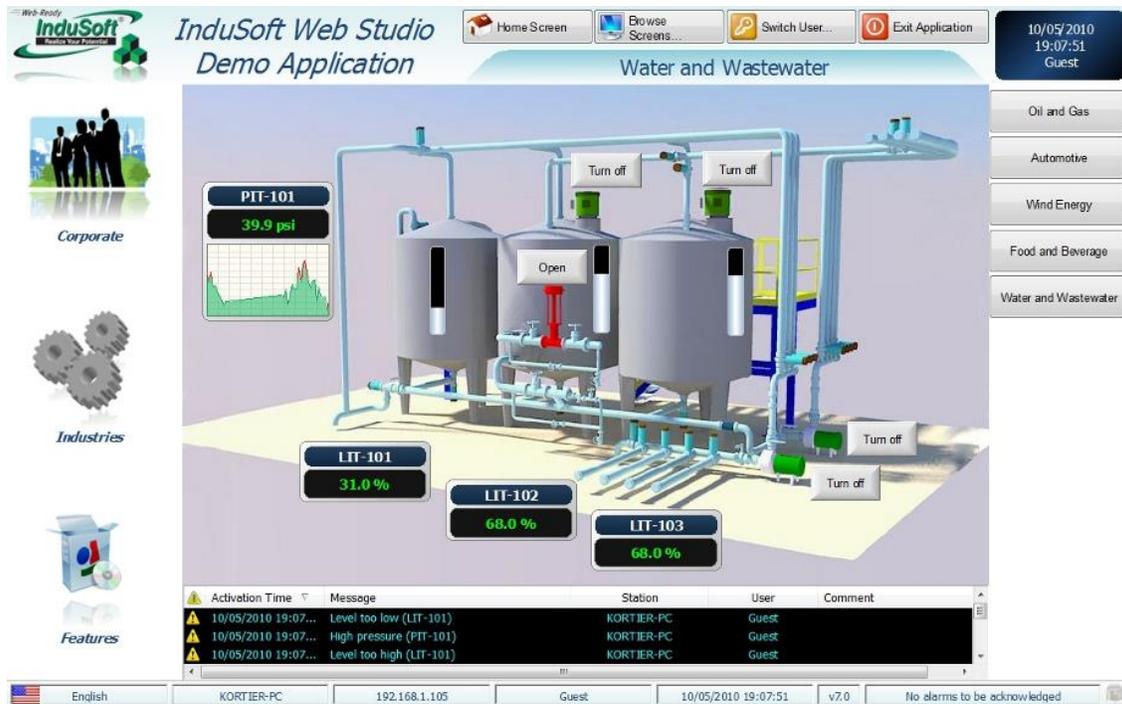


Ilustración 10. Ejemplo de Sistema SCADA

Fuente: Página oficial de Indusoft

Existen muchos softwares de programación para el diseño y la creación de estas interfaces. Todos ofrecen las mismas opciones básicas y la mayoría permite tomar y arrastrar componentes en el área de trabajo para diseñar de una forma más libre. En estas pantallas se puede colocar textos, campos de texto, luces, switches, imágenes, botones, gráficas y tablas. Es muy fácil trabajar con imágenes (por ejemplo, de maquinaria) lo cual le da un sentido más real al SCADA. También se puede variar las propiedades de estos componentes (como color, fuente, tamaño, etc.) como en cualquier software de diseño. Entre algunos softwares para diseño de SCADA se puede mencionar iFix, Wonderware, WinCC e Indusoft. Este último fue el software utilizado en el desarrollo de todos los proyectos. (Ver Ilustración 11)

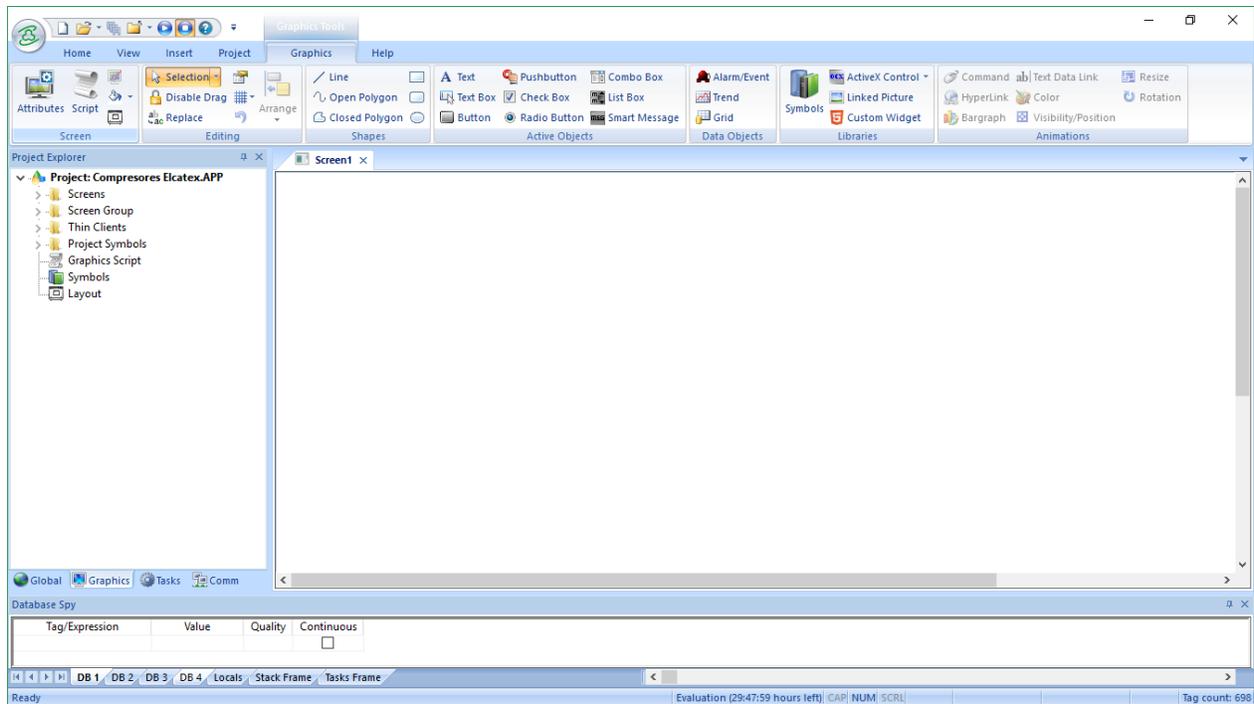


Ilustración 11. Espacio de trabajo de Indusoft.

Fuente: Propia

3.9 REDES DE COMUNICACIÓN

Las redes industriales son un factor importante para la industria automatizada de hoy ya que permiten la comunicación entre dispositivos para la transmisión y recepción de datos. Las redes industriales nos permiten obtener datos o información en tiempo real desde distancias considerables, aunque tienen sus límites.

3.9.1 MEDIO FÍSICO DE TRANSMISIÓN

Para que exista transmisión de datos es necesario contar con un medio físico por el cual se transmitan los mismos. "A la hora de conseguir un intercambio de información entre dos equipos, se necesita un medio de transporte para la energía que contendrá esta información" (Rodríguez Penin, 2007, p. 4). Existen muchos tipos diferentes de medios de transporte, pero se pueden clasificar en dos categorías: medios guiados y medios no guiados.

Los medios guiados son los que constan de un medio físicamente visible y tangible como lo es el cable eléctrico (cobre) y la fibra óptica. Cada uno presenta diferentes ventajas, pero a grandes rasgos puede decirse que el cable eléctrico es mas barato, sin embargo, puede sufrir de interferencias y tiene limitaciones de distancia. El medio no guiado, por otro lado, no utiliza ningún medio físico o tangible para la transmisión y recepción de datos. Solamente se utiliza el aire como medio de transmisión. Algunos ejemplos de esto son microondas, satélite y radioenlace.

3.9.2 NIVELES DE TENSIÓN

En la industria, las conexiones se realizan en serie utilizando la topología de bus estandarizada por la Asociación de Industrias Electrónicas de los Estados Unidos (EIA). Estos estándares son ampliamente utilizados en aplicaciones de control y adquisición de datos. Dichos estándares representan la interfaz de nivel 1 según el modelo de interconexión de sistema abierto OSI.

Tabla 1. Comparación de estándares de comunicación

	RS232	RS423	RS422	RS485
Differential	no	no	yes	yes
Max number of drivers	1	1	1	32
Max number of receivers	1	10	10	32
Modes of operation	half duplex full duplex	half duplex	half duplex	half duplex
Network topology	point-to-point	multidrop	multidrop	multi-point
Max distance (acc. standard)	15 m	1200 m	1200 m	1200 m
Max speed at 12 m	20 kbs	100 kbs	10 Mbs	35 Mbs
Max speed at 1200 m	(1 kbs)	1 kbs	100 kbs	100 kbs
Max slew rate	30 V/ μ s	adjustable	n/a	n/a
Receiver input resistance	3..7 k Ω	\geq 4 k Ω	\geq 4 k Ω	\geq 12 k Ω
Driver load impedance	3..7 k Ω	\geq 450 Ω	100 Ω	54 Ω
Receiver input sensitivity	\pm 3 V	\pm 200 mV	\pm 200 mV	\pm 200 mV
Receiver input range	\pm 15 V	\pm 12 V	\pm 10 V	-7..12 V
Max driver output voltage	\pm 25 V	\pm 6 V	\pm 6 V	-7..12 V
Min driver output voltage (with load)	\pm 5 V	\pm 3.6 V	\pm 2.0 V	\pm 1.5 V

Fuente: Lammert Bies

Los estándares más comunes son: RS232, RS422, RS423 y RS485. En la Tabla 1 se puede visualizar una comparación entre ellos. Estos estándares proveen grandes ventajas como la facilidad de conexión y la velocidad de transmisión. Sin embargo, empiezan a presentar

algunos problemas con distancias largas debido a la impedancia del cobre lo cual genera una caída de voltaje. A largas distancias de comunicación también ocurren pérdidas por el efecto Joule lo cual afecta los datos transmitidos.

Para uno de los proyectos realizados en esta práctica profesional se utilizó el estándar RS485. Este también es conocido como EIA / TIA-485. Una de sus principales ventajas es que permite poner varios dispositivos RS485 en el mismo bus, lo que permite que múltiples nodos se conecten unos con otros. La red de comunicaciones construida en la interfaz RS-485 consta de transceptores conectados por un cable de par trenzado (dos hilos trenzados). El principio básico de la interfaz RS-485 es la transmisión de datos equilibrada. Eso significa que la señal es transportada por dos cables. Con esto, un cable del par transmite la señal original y el otro transporta su copia inversa. Con RS485 se puede alcanzar una distancia máxima de 1.2 kilómetros manteniendo una velocidad de 100Kbs.

3.9.3 PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN

Un protocolo de comunicación permite que dos o más dispositivos de un sistema de comunicación se comuniquen entre ellos para transmitir información siguiendo un estándar. "Un protocolo es un conjunto de reglas formales mediante las que se establece el formato de los datos, la temporización, la secuenciación, el control del acceso y el control de errores, entre otras muchas cosas" (Oliva et al., 2013). Estas reglas mantienen un orden en la transmisión y recepción de datos. Los protocolos se distinguen por tres características: su sintaxis, la semántica y la temporización.

Los protocolos están basados en un método estándar para proporcionar una base común para relacionar todas las redes informáticas, a este se le llama modelo OSI (Open System Interconnection) creado por la organización ISO (International Standards Organization). Los protocolos de cada capa tienen una interfaz bien definida. Generalmente, una capa se

comunica con la capa inmediata inferior, la inmediata superior, y la capa del mismo nivel en otros computadores de la red.

3.9.3.1 MODBUS

Uno de los protocolos más utilizados en la industria por su fácil uso, poco desarrollo y de uso público es el protocolo Modbus. Este fue desarrollado en 1979 por Modicon para su gama de PLCs. Ahora se ha convertido en el estándar para la comunicación en la industria. Los dispositivos Modbus se comunican usando una técnica de maestro-esclavo en la que solamente un dispositivo, el maestro, puede inicializar una transacción. Los esclavos solamente responden y ya sea proveen los datos requeridos por el maestro o toman una acción en base a lo que el maestro indique. Un esclavo se define como un dispositivo como un transductor o una válvula el cual procesa la información y la envía al maestro utilizando Modbus. La comunicación en ambas vías para operación remota es una de las ventajas del protocolo.

Existen dos tipos de Modbus: RTU y TCP/IP. Modbus define como se estructuran los datos para transmisión, pero RTU y TCP/IP encapsulan los datos estructurados para métodos específicos de transmisión.

Modbus RTU es una red de dispositivos de campo que utilizan comunicación serial como RS485 que se utilizó ampliamente durante el desarrollo de la práctica. RTU es muy popular en redes de control industrial ya que ha sido utilizada por mucho tiempo. Existe mucho hardware y software que soporta este protocolo. (Alonso et al., 2017)

Modbus TCP/IP es muy similar a Modbus RTU. Es más, muchas veces se dice que es precisamente lo mismo solo que se utiliza la interfaz TCP en una red Ethernet. Fue introducido por Schneider Automation como una variante de la familia de protocolos Modbus, ampliamente usada para la supervisión y el control de equipo de automatización.

Específicamente el protocolo define el uso de mensajes Modbus en un entorno intranet o internet usando los protocolos TCP/IP.

La especificación Modbus TCP/IP define un estándar interoperable en el campo de la automatización industrial, el cual es simple de implementar para cualquier dispositivo que soporte sockets TCP/IP. Todas las solicitudes son enviadas vía TCP sobre el puerto registrado 502 y normalmente usando comunicación half-duplex sobre una conexión dada. Es decir, no hay beneficio en enviar solicitudes adicionales sobre una conexión única mientras una respuesta está pendiente. La Ilustración 12 muestra una red con la combinación de Modbus RTU y TCP/IP.

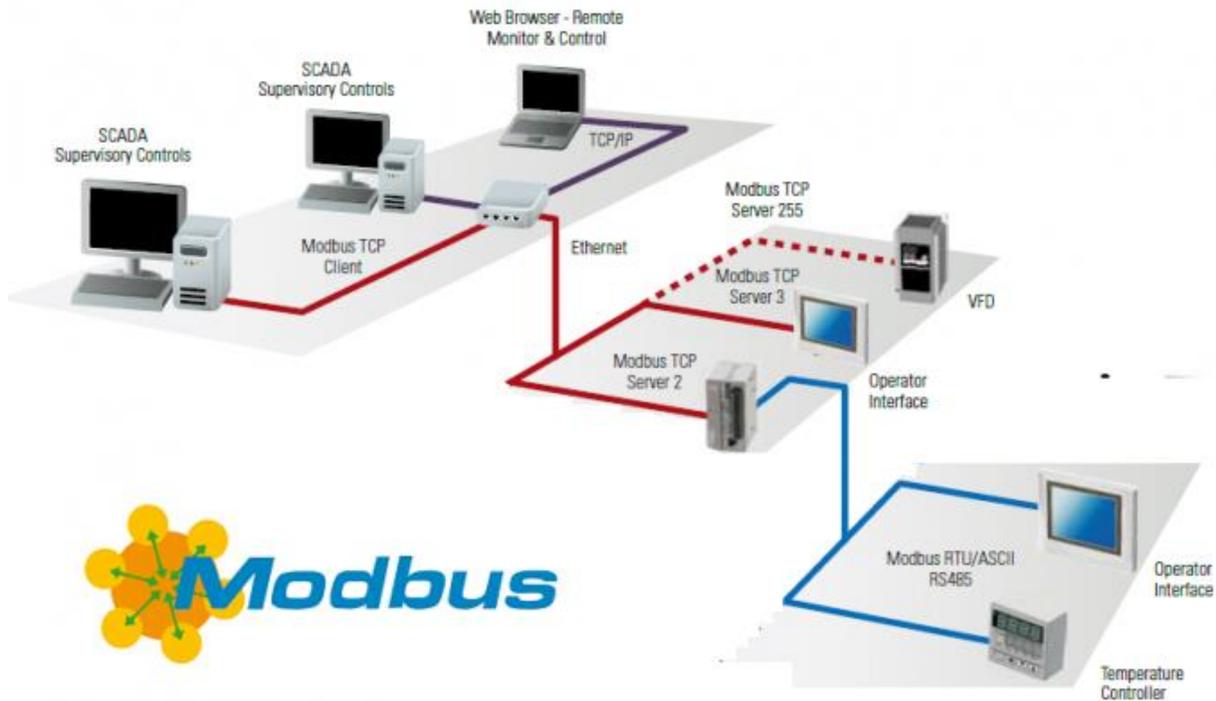


Ilustración 12. Red Modbus RTU y Modbus TCP/IP

Fuente: TheAutomization.com

IV. METODOLOGÍA

La investigación es crucial al momento de realizar un proyecto. Es aquí donde la metodología juega un papel importante ya que precisa la forma y diseño que se le dio a la investigación. "Podemos definir la metodología como la descripción, el análisis y la valoración crítica de los métodos de investigación"(Asti Vera, 2015, p. 12). Esta nos ayuda a enfocarnos en las cosas que son importantes en la investigación y resolución del problema. La metodología incluye elementos como la hipótesis, variables dependientes e independientes, método, enfoque, las maneras de recolección de datos y el cronograma. A continuación, se exponen estos puntos.

4.1 VARIABLES

En toda investigación las variables de estudio son de mucho interés ya que estas son las que afectan el resultado de nuestro proyecto. No solamente influyen estas sobre el proyecto, sino que en muchos casos también se quiere controlar una o varias de estas variables. Entender cuáles son las variables importantes para el proyecto es vital para poder realizar una investigación enfocada. Las variables se clasifican en dos grupos: dependientes e independientes. "La variable que el investigador desea explicar se considera como la variable dependiente. La variable que explique el cambio de la variable dependiente es referida como la variable independiente"(Namakforoosh, 2005).

4.1.1 VARIABLES DEPENDIENTES

Para este proyecto surgen algunas variables dependientes específicas las cuales interesa monitorear o controlar.

En el proyecto de SCADA para compresores en Elcatex las variables dependientes son:

Flujo

Presión

Temperatura

Consumo energético

En el proyecto de SCADA para el Beneficio Santa Rosa las variables dependientes son:

Horas de secado

Temperatura

4.1.2 VARIABLES INDEPENDIENTES

Las variables independientes de este proyecto son mucho más amplias que las dependientes, sin embargo, son vitales para el desarrollo del proyecto.

En el proyecto de SCADA para compresores en Elcatex la variable independiente es:

La demanda en las áreas de uso de compresores

En el proyecto de SCADA para el Beneficio Santa Rosa la variable independiente es:

La carga de producto

4.2 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS

Para realizar correctamente un proyecto se necesitan de varias técnicas y/o instrumentos para poder llevar a cabo el mismo. Las técnicas utilizadas para el desarrollo de estos dos proyectos se detallan a continuación.

Primero se recurrió a la técnica de las entrevistas. A través de estas se logró conocer que era lo que se necesitaba en plasmar y controlar por medio de los SCADA. Las entrevistas con los operarios y personal de proyectos de Elcatex proveyó claridad en los procesos que se deseaban monitorear. Lo mismo que el Beneficio Santa Rosa. Las entrevistas con otros ingenieros que anteriormente han realizado sistemas SCADA similares también fueron provechosas. Cabe mencionar que estas entrevistas no solo se realizaron una vez sino que se mantenía comunicación con los clientes para que todos entendieran que era lo que se requería y esperaba de los proyectos.

Acompañado de las entrevistas también se recurrió a la técnica de la observación ya que la mayoría de las entrevistas se realizaron en campo, aunque no todas. Al observar los sistemas y maquinaria en campo se pudo tener una idea más clara de los procesos que se deseaban monitorear. Esto también reducía la posibilidad de errores y malos entendidos.

4.3 FUENTES DE INFORMACIÓN

La búsqueda de información en toda investigación en muchas ocasiones define la calidad de la investigación. Esta búsqueda de información debe realizarse de las fuentes correctas para poder realizar una investigación precisa y de la mejor calidad. Para realizar esto fue necesario recopilar información de múltiples fuentes. Estas fuentes se clasifican en primarias y secundarias. Las primarias son el resultado de un trabajo intelectual, nuevo y original, mientras que las secundarias se utilizan para organizar de una mejor manera las ideas e información por medio de un análisis más profundo. A continuación, se detallan las fuentes de información utilizadas, tanto primarias como secundarias.

Fuentes primarias:

Libros electrónicos recopilados del CRAI

Manuales técnicos

Revistas científicas electrónicas recopiladas de ProQuest

Fuentes secundarias:

Asesoría de ingenieros expertos en los temas de interés

Informes de proyectos similares

4.4 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Para mantener un orden en el desarrollo de los proyectos, se propuso un cronograma que se puede apreciar en la Ilustración 13. Este cronograma sufrió cambios leves debido a los

imprevistos que surgieron durante el proyecto. En la Ilustración 14 también puede apreciarse el diagrama de Gant de las actividades clave.

	Nombre de tarea	Durac
1	Levantamiento del proyecto	1 día
2	Organización del proyecto	3 días
3	Programacion PLC	2 sem.
4	Diseño HMI	1 sem
5	Montaje de PLC, modulos I/O, pantalla HMI	1 día
6	Cableado	5 días
7	Montaje de sensores	3 días
8	Marcaje	3 días
9	Configuracion PLC y HMI	2 días
10	Pruebas y ajustes	4 días

Ilustración 13. Cronograma

Fuente: Propia

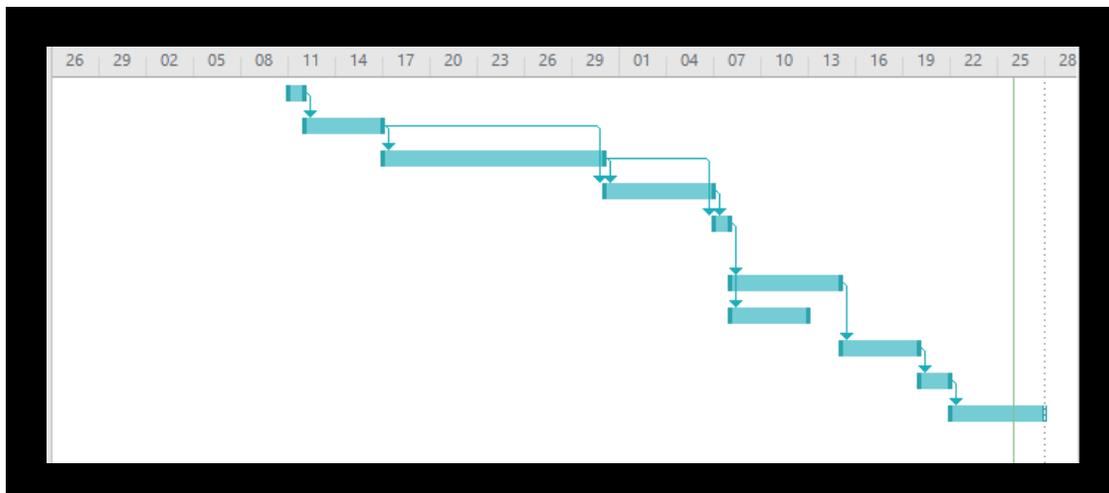


Ilustración 14. Diagrama de Gant

Fuente: Propia

V. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DESARROLLADO

5.1 SISTEMA DE MONITOREO DE COMPRESORES ELCATEX

La empresa Elcatex forma parte de la industria textil de Honduras. En dicha industria se utilizan muchos procesos con aire comprimido y por esa razón se utilizan compresores. Para el funcionamiento de sus procesos, Elcatex cuenta con once compresores de los cuales solamente diez están en uso. Estos se dividen en cuatro cuartos separados, los cuales eran llamados salas de compresores, para suplir las necesidades en diferentes puntos en la planta. El PLC se encontraba en otro cuarto separado. Todos estos cuartos y salas se debían de comunicar de alguna manera. Es allí donde el equipo de IT de Elcatex nos brindó su apoyo y proveyó los puntos de red necesarios para cada sala y el cuarto de PLC. En este punto se tuvo un poco de atraso en una sala en específico ya que ellos tenían problemas y conflictos con las direcciones IP.

Este sistema de compresores era el que deseaba monitorear, especialmente su consumo energético. El consumo energético de los compresores se estaría midiendo con unos medidores de energía EMpro MA250 de Phoenix Contact y unos medidores de corriente tipo dona. Aparte de estos equipos de medición también se instalaron sensores de presión y flujo en cada sala. Estos sensores utilizan la tecnología IOLink para su comunicación mientras que los medidores de energía utilizaban RS485 para comunicarse con el sistema. En cada sala se instaló un gateway y un switch para administrar la red. En total se instalaron once medidores de energía y las donas de medición, un PLC, cuatro sensores de flujo y temperatura, cuatro sensores de presión, cuatro switch, cuatro gateway y cuatro maestros IOLink para la comunicación de los sensores. También se instaló un esclavo IOLink de entradas digitales y uno de salidas digitales en cada sala. Estos no se utilizaron en este proyecto, sin embargo, se dejaron listos para la siguiente fase del proyecto.

Se eligió la opción de correr el SCADA desde un servidor para fácil acceso a todos los usuarios de este en toda la planta. Se mantuvo comunicación constante con el

departamento de IT para los permisos, licencias e instalaciones que se debían realizar para poder colocar el SCADA en el servidor. Aparte del programa Indusoft para el SCADA, en el servidor fue necesario instalar Microsoft SQL Server Managment Studio 17 para administrar la base de datos.

5.1.1 DESARROLLO DE SCADA

La pantalla de inicio del SCADA es sencilla, sin embargo, de mucha utilidad. Desde esta pantalla se puede acceder a los datos de cualquier sala o tambien se pueden realizar las consultas a la base de datos.

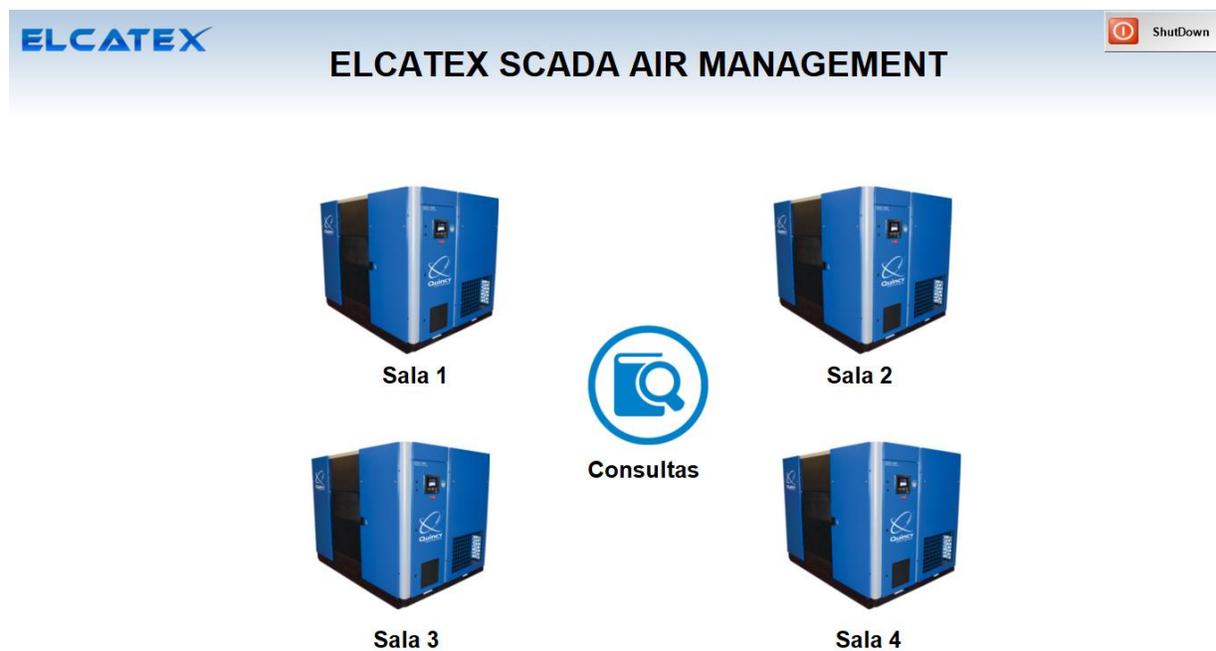


Ilustración 15. Pantalla de inicio ELCATEX

Fuente: Propia

En el área de consultas se podían realizar tres consultas diferentes: Flujo Diario, Rendimiento y Consumo Energético. Estas búsquedas a la base de datos se podían filtrar fácilmente con las herramientas provistas en la pantalla. En la Ilustración 16 se puede observar la pantalla de las consultas, en este caso la de Consumo Energético. Esta pantalla aparecía como popup y podía ser cerrada en cualquier momento.

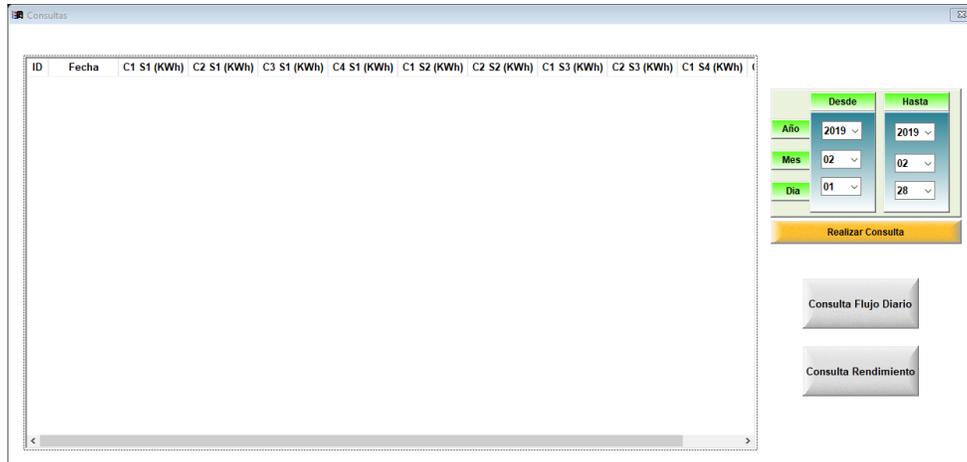


Ilustración 16. Consulta a base de datos de Consumo Energético.

Fuente: Propia

Regresando a la pantalla de inicio, al elegir una sala se desplegaba la pantalla principal de la sala. Aquí se podían ver datos importantes como los KW de los compresores, si estaban encendidos o no y datos relacionados con su mantenimiento. También interesaba visualizar algunos datos de las salas de compresores como ser el flujo, la presión, la temperatura y otros datos similares. En la Ilustración 17 se puede apreciar la pantalla principal de la Sala 1.

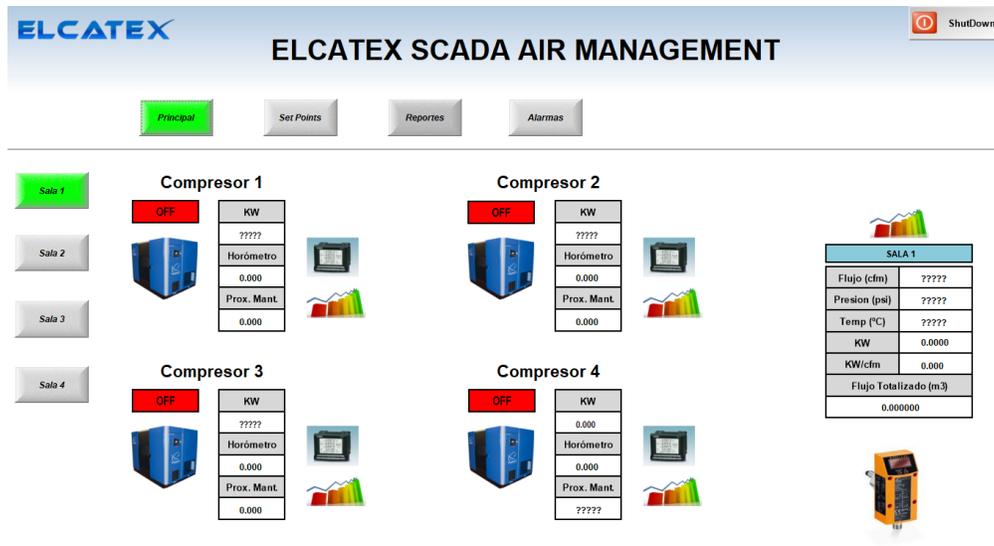


Ilustración 17. Pantalla principal Sala 1.

Fuente: Propia

En esta pantalla principal tambien se podía ver los datos energéticos de cada compresor en mayor detalla al darle click en el medidor junto a cada compresor. La pantalla resultante puede verse en la Ilustración 18.

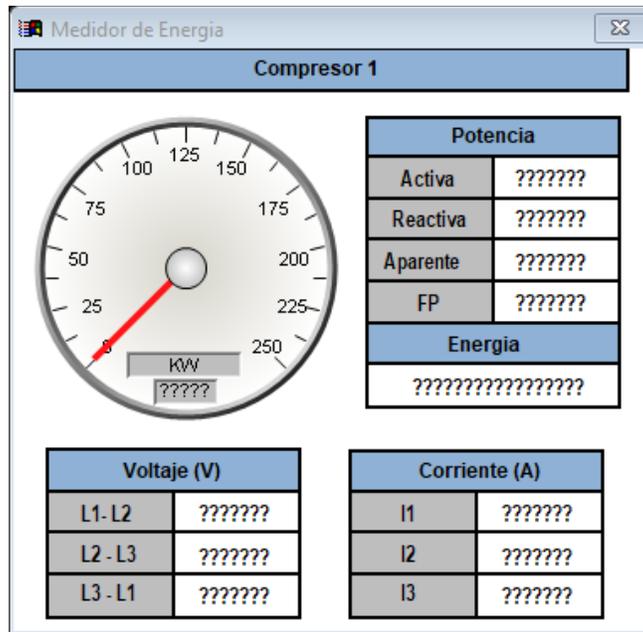


Ilustración 18. Datos del medidor de energía.

Fuente: Propia

Desde la pantalla principal tambien se podía visualizar la grafica del consumo de los compresores. A través del SCADA se podían visualizar diferentes graficas. Todas estas tenían la opción de guardarse en el computador por si en algun caso se deseaban imprimir.

En la pantalla indicada con Set Points en el menú superior se manejan las configuraciones de la sala. En esta sección se definen los valores mínimos y máximos permisibles de flujo, presión y temperatura. Aquí tambien se maneja todo lo relacionado con las horas de trabajo de los compresores y sus mantenimientos respectivos. El área de Compresor Full Carga y Compresor Variables no se utilizan por el momento, pero si se tiene planificado también implementar el control en el sistema.

ELCATEX SCADA AIR MANAGEMENT

Principal Set Points Reportes Alarmas

Sala 1 Sala 2 Sala 3 Sala 4

Configuración Sala 1

Compresor Full Carga



PSI DE ARRANQUE	0.0
PSI DE PARO	0.0

Compresor Variable



SET POINT PSI	0.000
---------------	-------

Configuración Alarmas

Flujo Mínimo	0.00
Presión Mínima	0.00
Temperatura Máxima	0.00

Mantenimiento C1

Set Manto	0.000 h
Horometro	0.000 h
Proximo Manto	0.000 h

Reset Horometro

Mantenimiento C2

Set Manto	0.000 h
Horometro	0.000 h
Proximo Manto	0.000 h

Reset Horometro

Mantenimiento C3

Set Manto	0.000 h
Horometro	0.000 h
Proximo Manto	0.000 h

Reset Horometro

Mantenimiento C4

Set Manto	0.000 h
Horometro	0.000 h
Proximo Manto	0.000 h

Reset Horometro

Ilustración 19. Configuración y mantenimiento

Fuente: Propia

Los reportes eran una parte importante del SCADA ya que daban un diagnostico del sistema durante un dia. Estos reportes diarios tambien desplegaban los datos acumulados en el mes (Ver Ilustración 20). Esta sección tambien daba la opción de crear un informe en formato html y enviarlo por correo electrónico. Esto se podía hacer manual o automatico.

ELCATEX SCADA AIR MANAGEMENT

Principal Set Points Reportes Alarmas

Sala 1 Sala 2 Sala 3 Sala 4

Reporte Sala 1

REPORTE DIARIO				
Área	Consumo (KWh)	Horas Trabajadas	Producción CF (m3)	KW/CF
Compresor 1	0.000	0.000	0.000	0.000
Compresor 2	0.000	0.000		
Compresor 3	0.000	0.000		
Compresor 4	0.000	0.000		
Total	0.000			
Acumulado del Mes	0.000000		0.000000	0.000000

Configuración Reporte Automático

PASO 1 - Destinatarios
Ingrese los correos de los destinatarios del reporte separados por punto y coma (";") unicamente.

PASO 2 - Configuración de Hora de Envío
Nota: la hora debe configurarse de la siguiente forma: hh:mm:ss
Ejemplo : 07:00:00 que son las 7 de la mañana
19:00:00 que son las 7 de la noche

Hora Crear Nombre: _____
 Hora Crear Reporte: _____
 Hora Enviar reporte: _____

Reporte Manual

Crear Reporte Manual Enviar Reporte Manualmente

Ilustración 20. Reporte Sala 1

Fuente: Propia

El área de reportes también incluía gráficos de barra mostrando el consumo de energético en KWh y en porcentajes por compresor en la sala. Aquí también se podía comparar el rendimiento y consumo de las cuatro salas en el botón "Comparativa Salas".

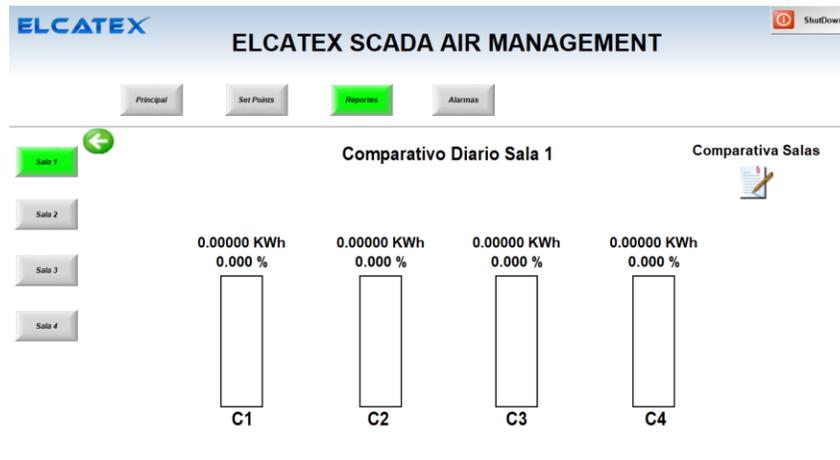


Ilustración 21. Gráficos de barra indicando el consumo diario de KWh para la Sala 1

Fuente: Propia

Por último, está la pantalla de alarmas, la cual indica todas las fallas tanto de compresores como de la sala en general. Los botones indicaban si había algún error. Por ejemplo, si hay una falla en la Sala 1 el botón de Sala 1 parpadea en rojo al igual que el botón de "Alarmas". El botón de "Reset Alarmas" reiniciaba todas las alarmas de la sala.

Luego de instalado el SCADA y todos los sensores y componentes se hicieron pruebas. En esta fase se trabajaron algunos detalles con los medidores y sensores que necesitaban configuración y afinación. Casi al final del proyecto un medidor de la Sala 1 empezó a dar problemas. En esta sala están conectados tres medidores. Al parecer era un problema de compatibilidad entre el medidor y el gateway por lo que se procedió a cambiar el medidor y no hubo más problema.

Principal

Set Points

Reportes

Alarmas

Sala 1

Sala 2

Sala 3

Sala 4

Alarmas Compresores Sala 1				
	Compresor 1	Compresor 2	Compresor 3	Compresor 4
Voltaje Muy Bajo	OK	OK	OK	OK
Voltaje Muy Alto	OK	OK	OK	OK
Sobre Corriente	OK	OK	OK	OK
Mantenimiento	FALLA	FALLA	FALLA	FALLA
Comunicación	OK	OK	OK	OK

Alarmas Generales Sala 1			
Presión Muy Baja	OK	Falla en Sensor de Presión	OK
Flujo Muy Bajo	OK	Falla en Sensor de Flujo	OK
Temperatura Muy Alta	OK	Reset Alarmas	

Ilustración 22. Alarmas Sala 1

Fuente: Propia

5.1.2 PROGRAMACIÓN DE PLC

La programación se realizó en el programa PC WORKS de Phoenix Contact. La programación básicamente consistió en leer los datos de los maestros IOLink y las tablas Modbus de los medidores de energía y verificar si había fallas o alarmas. En la Ilustración 23 se puede apreciar una parte del archivo encargado de las lecturas de los esclavos Modbus. En la Ilustración 24 se puede ver una parte del código encargada de determinar si el compresor está encendido y si el sistema está en falla. En la programación también se llevo a cabo la lógica de mantenimiento a los compresores.

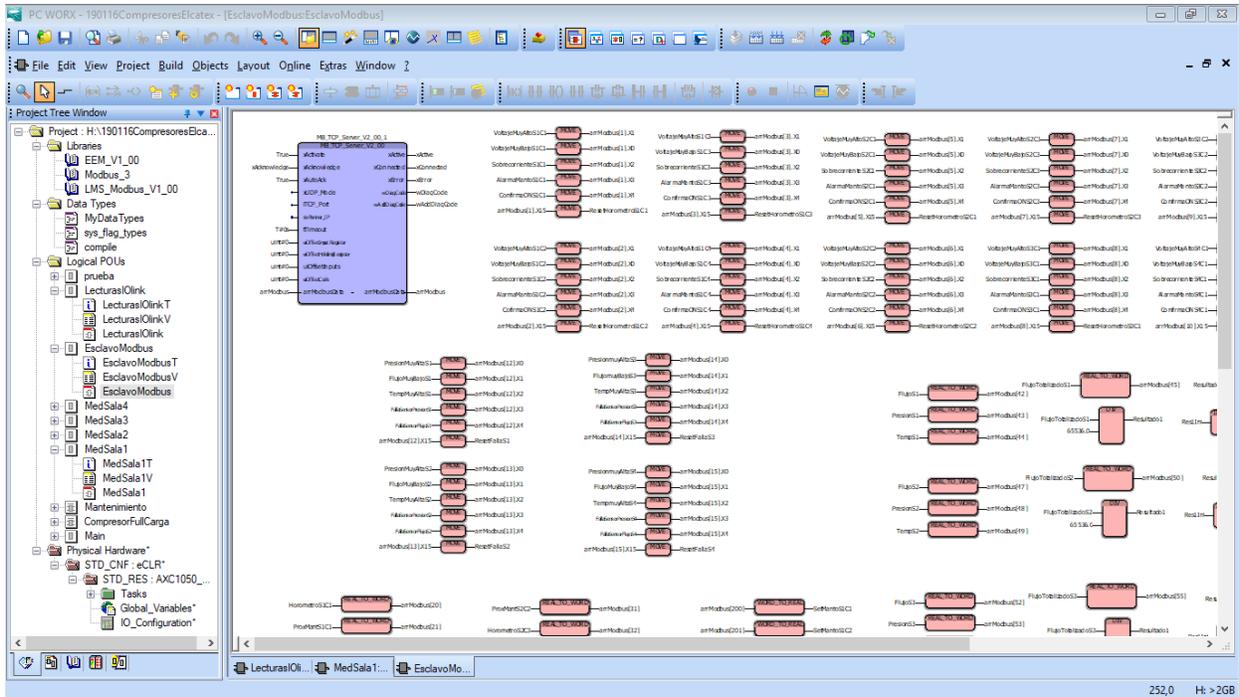


Ilustración 23. Lecturas de tablas Modbus

Fuente: Propia

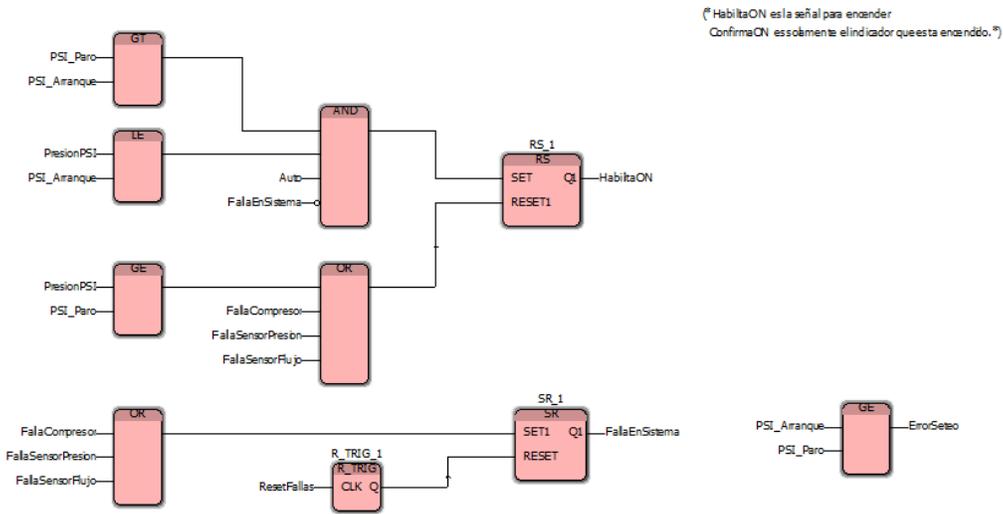


Ilustración 24. Lógica de encendido y fallas.

Fuente: Propia

Para concluir, se presentó el proyecto, y en especial el sistema SCADA, delante de los directivos de Elcatex y supervisores encargados los cuales se mostraron muy agradados con el trabajo realizado.

5.2 SCADA DE MONITOREO Y CONTROL PARA BENEFICIO SANTA ROSA

Para este proyecto se trabajó únicamente en el desarrollo del SCADA. El Beneficio de Café en Santa Rosa deseaba monitorear las temperaturas de sus secadoras con mas precisión. En base a las entrevistas con el cliente se procedió a crear el siguiente SCADA.



Ilustración 25. Pantalla de inicio Beneficio Santa Rosa

Fuente: Propia

Empezando con la pantalla de inicio en la Ilustración 25, se podía elegir entre cualquiera de las cinco áreas que eran de interés: Principal, Mantenimiento, Reportes, Alarmas y Consultas, siendo Consultas y la Principal las que serian mayormente utilizadas. Las consultas se hacían a una base de datos guardada en la misma computadora.

La pantalla principal se dividía en dos partes debido a la cantidad de secadoras. Fue necesario extender la pantalla principal para abarcar todos los hornos y secadoras. En la Ilustración 26 se puede apreciar 12 secadoras horizontales y 2 hornos. Sobre cada uno se desplegaba la temperatura. A su lado derecho todas las secadoras tenían un control para arranque y paro. Ningún horno tenía control desde el SCADA. A su izquierda se pueda apreciar los blowers que se activaban los cuales cambian a color verde cuando estan encendidos.

Cada componente tenia su grafica en la que se podía visualizar las horas de secado y la temperatura en tiempo real. Las horas que la secadora había estado secando desde su ultimo mantenimiento también se podía ver desde la pantalla principal.

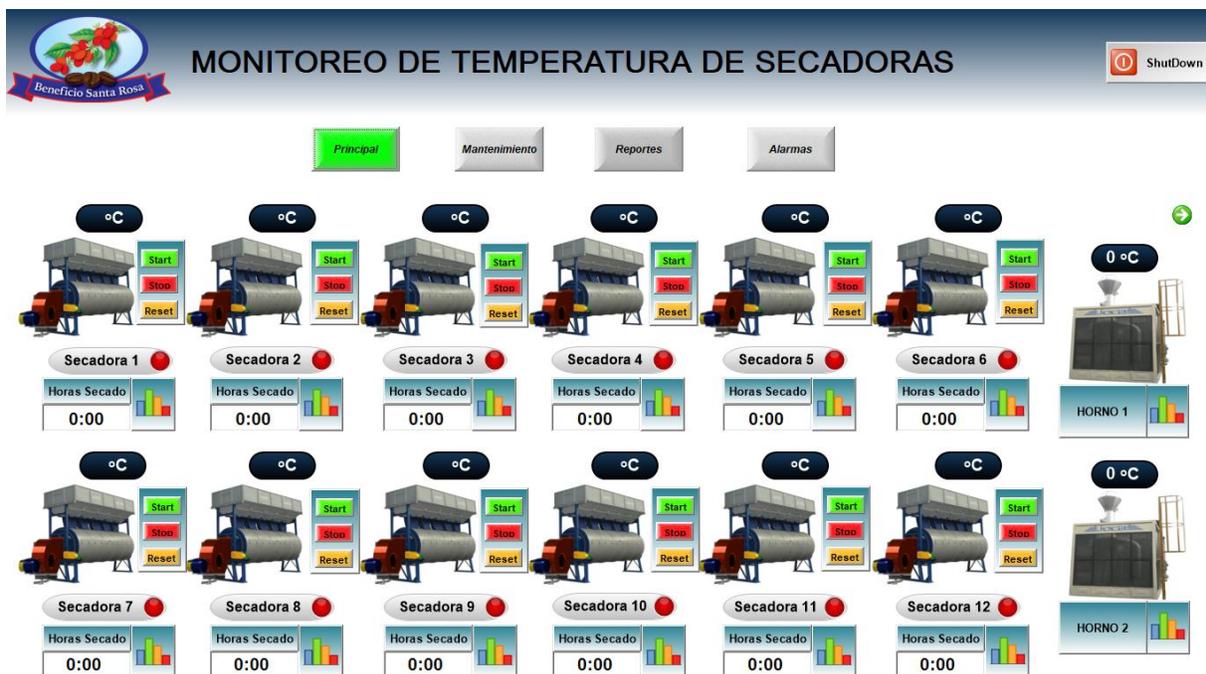


Ilustración 26. Pantalla principal

Fuente: Propia

En la Ilustración 27 se puede ver la segunda parte de la pantalla principal que incluye otro horno y dos secadoras verticales. Estas secadoras verticales eran un tanto diferentes y se les colocaba una temperatura mínima, media y máxima para tener mayor control.

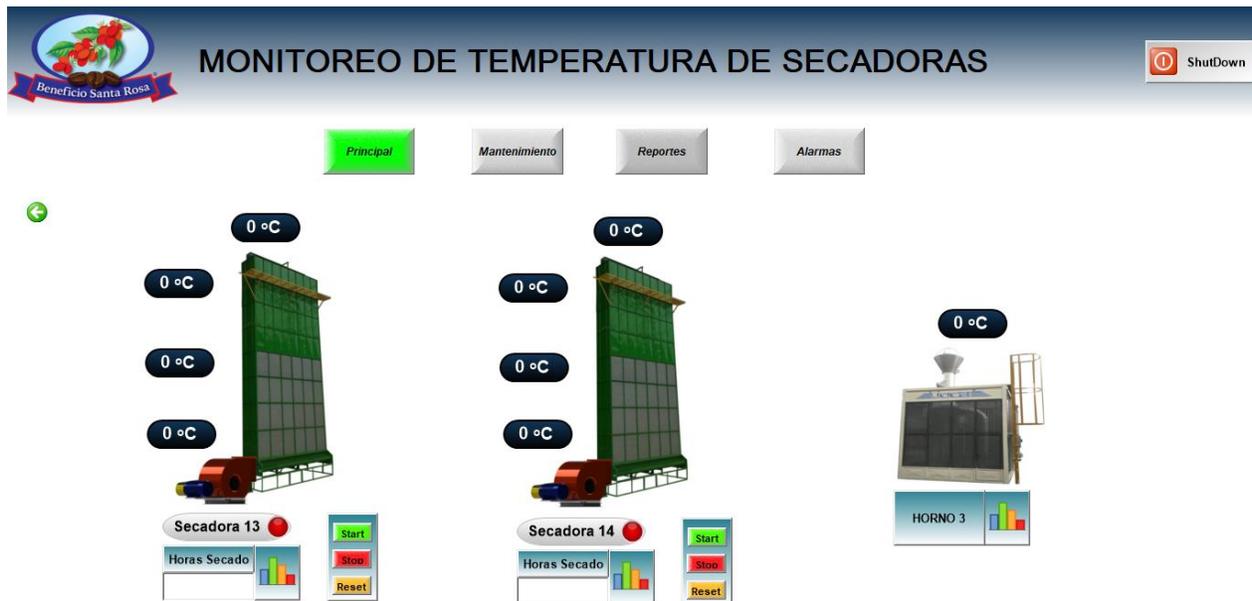


Ilustración 27. Pantalla principal continuación

Fuente: Propia

Luego venia la pantalla de "Mantenimiento" donde se configuraba las horas de trabajo para el siguiente mantenimiento en cada secadora. De esta manera se tenia un mejor control en el mantenimiento y uso de las secadoras. Aquí se podía ver muy fácilmente que secadora se estaba utilizando mas que las demas o si el sistema era parejo. En la Ilustración 28 se puede apreciar la pantalla de configuración del mantenimiento. Cada vez que se hacia el mantenimiento y se quería resetear las horas de mantenimiento tambien se realizaba desde esta sección.

Principal Mantenimiento Reportes Alarmas

	Set Manto	Horómetro	Próximo Manto			Set Manto	Horómetro	Próximo Manto	
Secadora 1	1000.0	0.0000	1000.0	Reset Horómetro	Secadora 8	0.0000	0.0000	0.0000	Reset Horómetro
Secadora 2	0.0000	0.0000	0.0000	Reset Horómetro	Secadora 9	0.0000	0.0000	0.0000	Reset Horómetro
Secadora 3	1000.0	0.0000	1000.0	Reset Horómetro	Secadora 10	644.00	0.0000	644.00	Reset Horómetro
Secadora 4	0.0000	0.0000	0.0000	Reset Horómetro	Secadora 11	0.0000	0.0000	0.0000	Reset Horómetro
Secadora 5	0.0000	0.0000	0.0000	Reset Horómetro	Secadora 12	0.0000	0.0000	0.0000	Reset Horómetro
Secadora 6	0.0000	0.0000	0.0000	Reset Horómetro	Secadora 13	0.0000	0.0000	0.0000	Reset Horómetro
Secadora 7	0.0000	0.0000	0.0000	Reset Horómetro	Secadora 14	0.0000	0.0000	0.0000	Reset Horómetro

Ilustración 28. Configuración de mantenimiento.

Fuente: Propia

En el área de reportes se tenía un menú para los tres diferentes reportes: en formato de tabla, grafico o historial de alarmas como lo muestra la Ilustración 29.

Principal Mantenimiento Reportes Alarmas



Ilustración 29. Menú de reportes.

Fuente: Propia

En el reporte en formato de tabla se desplegaba la información de horas de secado, porcentaje de humedad, quintales procesados, productor y número de secadas para cada una de las catorce secadoras. (Ver Ilustración 30)

The screenshot shows a web interface for monitoring dryer temperatures. At the top, there is a logo for 'Beneficio Santa Rosa' and a 'ShutDown' button. Below the header are navigation buttons: 'Principal', 'Mantenimiento', 'Reportes' (highlighted in green), and 'Alarmas'. A green arrow button is on the left, and 'Crear Reporte Manual' and 'Enviar Reporte Manualmente' buttons are on the right. The main content is a table titled 'RESUMEN' with the following data:

Secadora	Horas De Secado	% De Humedad	Quintales	Numero de Secada	Productor
Secadora 1	0:00	40.00	0.000	0	Juan
Secadora 2	0:00	0.000	0.000	0	pedro
Secadora 3	0:00	0.000	0.000	0	fbfg
Secadora 4	0:00	0.000	0.000	0	vb
Secadora 5	0:00	0.000	0.000	0	vb
Secadora 6	0:00	0.000	0.000	0	vbv
Secadora 7	0:00	767.0	0.000	0	bcv
Secadora 8	0:00	0.000	0.000	0	vbv
Secadora 9	0:00	0.000	0.000	0	bv
Secadora 10	0:00	0.000	0.000	0	
Secadora 11	0:00	0.000	0.000	0	
Secadora 12	0:00	0.000	0.000	0	
Secadora 13		0.000	0.000	0	
Secadora 14		0.000	0.000	0	

Ilustración 30. Reporte en formato de tabla.

Fuente: Propia

El reporte gráfico mostraba las temperaturas de todas las secadoras en un gráfico de barra para mejor comparación. La temperatura de cada una también se desplegaba sobre cada secadora como lo muestra la Ilustración 31.

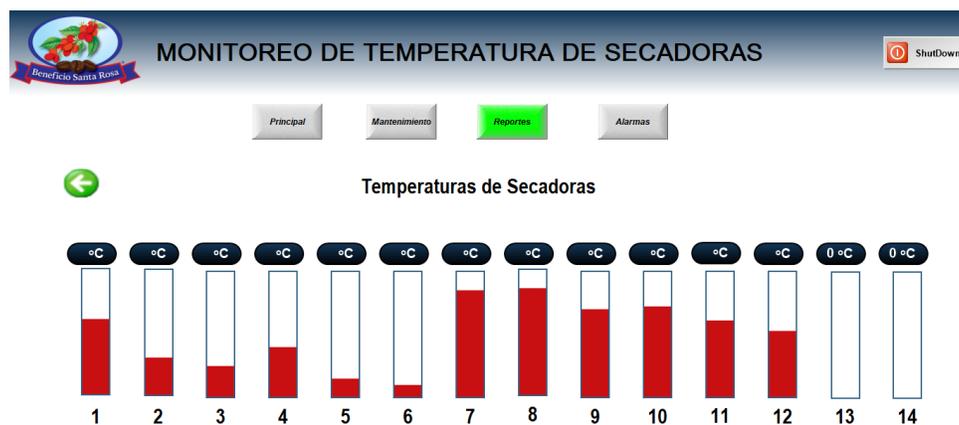


Ilustración 31. Monitoreo gráfico de temperaturas

Fuente: Propia

Por último, se tenía la pantalla indicadora de alarmas o fallas. Las únicas cuatro fallas eran:

Temperatura muy alta

Temperatura muy baja

Falla en sensor (PT100)

Alarma de próximo mantenimiento

	Temp Muy Alta	Temp Muy Baja	Falla PT100	Alarma Manto
Secadora 1	OK	OK	OK	OK
Secadora 2	OK	OK	OK	OK
Secadora 3	OK	OK	OK	OK
Secadora 4	OK	OK	OK	OK
Secadora 5	OK	OK	OK	OK
Secadora 6	OK	OK	OK	OK
Secadora 7	OK	OK	OK	OK

	Temp Muy Alta	Temp Muy Baja	Falla PT100	Alarma Manto
Secadora 8	OK	OK	OK	OK
Secadora 9	OK	OK	OK	OK
Secadora 10	OK	OK	OK	OK
Secadora 11	OK	OK	OK	OK
Secadora 12	OK	OK	OK	OK
Secadora 13	OK	OK	OK	OK
Secadora 14	OK	OK	OK	OK

Reset Alarmas

Ilustración 32. Indicador de alarmas.

Fuente: Propia

Como se mencionó anteriormente, para este proyecto solamente se realizó el SCADA. Otro ingeniero estuvo a cargo de ir al campo a montar sensores y hacer las pruebas finales.

VI. CONCLUSIONES

Tanto en Beneficio Santa Rosa como en Elcatex se tuvo una gran aceptación del diseño del SCADA. En ambos casos los operadores y administradores expresaron lo intuitivo del sistema y las pantallas lo cual sería de gran beneficio.

A pesar de algunos contratiempos, se logro establecer comunicación con todos los equipos de medición utilizando diferentes protocolos y medios de comunicación. Entre los más importantes que se instalaron y se probaron fueron Modbus RTU, Modbus TCP y tecnología IOLink.

El proyecto del SCADA para el monitoreo de los compresores se presentó exitosamente ante los gerentes y supervisores de Elcatex. Todos quedaron muy impresionados por lo completo del trabajo.

Se trabajo exitosamente con la comunicación con bases de datos utilizando SQL Database Manager como plataforma para guardar datos para su futuro uso, especialmente cuando se hacen las consultas de datos pasados de energías, flujos y rendimientos de los compresores en Elcatex.

La sección de reportes resumió perfectamente los datos requeridos por ambas empresas. Esta sección fue muy bien recibida ya que era una de las características que más se utilizarían en el sistema. En ellas se podría ver el resumen diario y mensual de lo que ocurría en el sistema. La opción de poder recibir reportes diarios automáticamente atrajo mucho interés.

VII. RECOMENDACIONES

Para la empresa

Capacitar con mas frecuencia al personal para que las herramientas y equipos se puedan aprovechar al máximo. También se recomiendan las capacitaciones del personal para que el departamento de proyectos este al dia con la tecnología que avanza rápidamente.

Mejorar el flujo continuo de cadena de mando para que no se pierda información, no existan retrasos ni malos entendidos.

Para la universidad

Introducir el tema de sistemas SCADA ya que es un tema ampliamente utilizado en la industria y del cual no se habla casi nada en las clases.

Implementar muchos más cursos técnicos no solamente a nivel básico (Arduino y electrónica), sino tambien cursos involucrando PLC, variadores y SCADA por dar algunos ejemplos.

Capacitar más al alumno con las medidas de seguridad industrial.

La clase de Redes Industriales es una clase de mucha importancia para el trabajo que como Mecatrónicos estaremos realizando. Lastimosamente, esta clase deja mucho que desear en la universidad ya que apenas se ven los temas importantes, si es que los dan.

VIII. BIBLIOGRAFIA

Alonso, C. G. M., Rafael, S. F., Francisco, M. P., Gabriel, D. O., Elio, S. R., Miguel, S. P. V., ...

Ricardo, M. B. (2017). *COMUNICACIONES INDUSTRIALES: PRINCIPIOS BÁSICOS*.

Editorial UNED.

Álvarez, C. M. B., Baquero, J. E. M., & Gómez, C. T. (2015). Sistema Scada de Variables

FísicoQuímicas en un Separador de Mezclas. *INGE CUC*, 11(1), 85–98.

Asti Vera, A. (2015). *Metodología de la investigación*. Sevilla, SPAIN: Athenaica Ediciones

Universitarias.

Recuperado

de

<http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=4870>

170

BCH, B. C. de H. (2018). Informe de Bienes para Transformación y Actividades Conexas

Anual

2017.

BCH.

Recuperado

de

http://www.bch.hn/download/maquila/informe_bienest2017.pdf

Daneri, P. A. (2008). *PLC: automatización y control industrial*. Buenos Aires, ARGENTINA:

Editorial

Hispano

Americana

HASA.

Recuperado

de

<http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3183>

744

Escalona, I. (2007). *Transductores y sensores en la automatización industrial*. Buenos Aires,

ARGENTINA:

El

Cid

Editor.

Recuperado

de

<http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3173>

569

Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental A.C. (2017). Propiedades del agua.

Recuperado el 17 de noviembre de 2018, de <https://agua.org.mx/propiedades-derl-agua/>

Fraile Mora, J. (2008). *Máquinas eléctricas* (6a ed.). Madrid, SPAIN: McGraw-Hill España.

Recuperado de

<http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3195>

345

Garcés Giraldo, L. F., Hernández Ángel, M. L., Peñuela Mesa, G. A., Rodríguez Restrepo, A.,

& Salazar Palacio, J. A. (2005). Degradación de aguas residuales de la industria textil

por medio de... *Revista Lasallista de Investigación*, 2(1). Recuperado de

<http://www.redalyc.org/html/695/69520103/>

González Santander Martínez, J. L., & Castellano Estornell, G. (2014). *Fundamentos de*

mecánica de fluidos. Alicante, SPAIN: ECU. Recuperado de

<http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3224>

903

Kirkpatrick, L. D., & Francis, G. E. (2012). *Física Una Mirada al Mundo Edición Abreviada* (1a ed.). México: Cengage Learning Editores. Recuperado de https://bibliotecavirtual.cengage.com/books/377-fisica?library_id=277

Medina, J. L., & Guadayol, J. M. (2010). *La automatización en la industria química*. Barcelona, SPAIN: Universitat Politècnica de Catalunya. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3429967>

Mott, R. L. (2015). *Mecánica de Fluidos* (7a ed.). México: Pearson Educación. Recuperado de <https://www.biblionline.pearson.com/Pages/BookDetail.aspx?b=1720>

Muñoz Domínguez, M., & Rovira De Antonio, A. J. (2014). *Máquinas térmicas*. Madrid, SPAIN: UNED - Universidad Nacional de Educación a Distancia. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtual-ebooks/detail.action?docID=3220075>

Namakforoosh, M. N. (2005). *Metodología de la Investigación* (2a ed.). México: Editorial Limusa.

Norton, R. L. (2009). *Diseño de Maquinaria: Síntesis y análisis de máquinas y mecanismos*. México: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.

Oliva, N., Castro Gil, M. A., & Díaz Orueta, G. (2013). *Redes de comunicaciones industriales*. Madrid, SPAIN: UNED - Universidad Nacional de Educación a Distancia. Recuperado

de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtual-ebooks/detail.action?docID=3216642>

Páez-Logreira, H. D., Zamora-Musa, R., & Bohórquez-Pérez, J. (2015). Programación de Controladores Lógicos (PLC) mediante Ladder y Lenguaje de Control Estructurado (SCL) en MATLAB/Programming logic controllers (PLC) using ladder and structured control language (SCL) in MATLAB/Programação de Controladores Lógicos (PLC) mediante Ladder e Linguagem de Controle Estruturado (SCL) em MATLAB. *Revista Facultad de Ingeniería; Tunja, 24(39)*, 109–119.

Pérez Sáinz, J. P. (1998). La nueva industrialización y el trabajo: Reflexiones desde Centroamérica. *Nueva Sociedad; Caracas, 158*, 160–172.

Rey S, W. O. (2009). Automatización industrial, evolución y retos en una economía globalizada. *Revista Inventum; Bogota, 4(6)*, 6–9.
<http://dx.doi.org/10.26620/uniminuto.inventum.4.6.2009.6-9>

Rodríguez Penin, A. (2007). *Sistemas SCADA* (2a ed.). Barcelona, SPAIN: Marcombo.
Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3175459>

Salas Colotta, G. (2003). TRATAMIENTO FÍSICO-QUÍMICO DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA TEXTIL. *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química, 5(2)*, 64–71.