UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

MODERNIZACIÓN DE UN SISTEMA SCADA INSTALADO EN ESTACIONES DE MANEJO DE COMBUSTIBLES DE AVIACIÓN

INFORME DE TRABAJO PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO EN ELÉCTRICA ELECTRÓNICA

P R E S E N T A

NEGRETE MÁRQUEZ JOSÉ ANTONIO

ASESOR:

Ing. Rafael Flores García

CIUDAD UNIVERSITARIA

Marzo 2016

DEDICATORIA

A la memoria de mi tía Ana Margarita quien confió en mí en todo momento.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres José Antonio y Graciela:

Por ser un ejemplo de constancia y por su apoyo incondicional.

A la Universidad Nacional Autónoma de México:

Por la formación académica que me ha proporcionado durante el transcurso de mi carrera profesional.

A mis hermanos Eduardo, Enrique, Margarita y Diana:

Por sus consejos y su apoyo incondicional.

A mi abuelo Anastasio:

Por depositar su confianza en mí y compartir sus anécdotas de vida.

A mi tío Salvador:

Por sus consejos a lo largo de mi desarrollo profesional.

A mis familiares:

Por compartir sus experiencias y proporcionarme consejos durante el transcurso de mi carrera.

A mis compañeros de trabajo Juan Carlos, Jesús y Rubén:

Por compartir sus conocimientos y su esfuerzo durante el desarrollo del proyecto.

Al Ing. Rafael Flores:

Por compartir su conocimiento el cual me ayudó a desarrollar el informe de trabajo profesional.

A mis amigos:

Por su comprensión, apoyo y solidaridad a lo largo de mi vida.

Índice desglosado

1 Resumen 3
2 Objetivo: 6
3 Marco teórico 7
3.1 Introducción a la adquisición de datos 7
3.2 Hardware de adquisición de datos 8
3.2.1 Medición en la industria 8
3.2.2 Sensores y transmisores: 11
3.2.3 Equipos de adquisición de datos externos 12
3.2.4 Comunicación para sistemas de adquisición de datos industriales 13
3.3 Software de adquisición de datos 16
3.3.1 Driver para el software de adquisición de datos: 16
3.3.2 Interfaz del programa de aplicación: 17
3.3.3 Definición de OPC 18
3.3.4 Sistemas en tiempo real: 18
3.3.5 Programación por eventos: 19
3.3.6 Software de aplicación final del usuario: 19
3.3.7 Lenguajes de para sistemas de adquisición de datos 22
3.3.8 Programación orientada a Objetos 24
3.3.9 Bases de datos 25
3.3.10 Arquitectura cliente servidor 27
3.3.11 Aplicaciones Web 28
3.4 Sistemas SCADA 29
3.4.1 Arquitectura SCADA: 30
3.4.2 Módulos funcionales de un SCADA: 32
3.5 Medición de hidrocarburos: 33
3.5.1 Computador de flujo: 34
3.5.2 Validación y certificación de la medición: 36
4 Antecedentes del tema 38
4.1 Proceso de recepción de combustible en estación: 39
4.1.1 Recepción de combustible por autotanque: 40
4.1.2 Recepción de combustible por ducto: 42
4.2 Almacenamiento de combustible: 43

4.3 Salida de combustible: 43
4.3.1 Salida de combustible por recarga de autotanque: 44
4.3.2 Salida de combustible por toma en plataforma aérea: 45
5 Definición del problema 47
6 Análisis y metodología empleada. 50
6.1 Metodología de ejecución del proyecto 50
6.2 Arquitectura definida para el sistema SCADA 52
6.2.1 Hardware del sistema SCADA: 53
6.2.2 Software del sistema SCADA: 61
6.3 Proceso de Desarrollo del Sistema 73
7 Participación profesional 77
8 Resultados 93
9 Conclusiones 95
9.1 Aportaciones del proyecto: 95
9.2 Aportaciones y aprendizaje profesional: 95
10 Glosario de Términos 98
11 Bibliografía 100

1 Resumen

El 2 de enero de 2014 ingresé a la empresa en donde actualmente laboro, tengo el puesto de Ingeniero de Proyecto en el Área de SCADA.

La empresa es una entidad privada y se especializa en el diseño, fabricación, instalación, prueba y puesta en marcha de sistema de medición de flujo y volumen de hidrocarburos.

El área de desarrollo SCADA tiene como función principal la planeación, análisis, diseño, e integración de los sistemas de medición a través de interfaces hombre máquina (HMI) para el monitoreo y supervisión de variables de flujo y volúmenes acumulados en periodos de tiempo o por lotes de un proceso de medición de hidrocarburos. Por consiguiente se requiere de la utilización de protocolos estandarizados de comunicación, programación de controladores de lógica programable (PLC), programación y configuración de computadores de flujo, aplicación de normas de medición para estandarizar la cuantificación variables de proceso como temperatura, presión, densidad, flujo, nivel, entre otras.

Un SCADA integral y escalable requiere del uso y aplicación de los siguientes componentes que a continuación se enumeran:

- Equipos adquisidores de datos.
- Base de Datos Relacionales.
- Módulo de consultas de reportes.
- Lenguaje de programación orientada a objetos y eventos.
- Servidores de Cómputo.
- Redes de Datos.

Para lograr la escalabilidad de un sistema se requiere de la integración de los componentes anteriores pues de esta manera es posible explotar la información generada de dicho sistema logrando los objetivos de la empresa que lo contrata.

Durante el año 2014 y 2015 participé en la elaboración del proyecto “ADQUISICIÓN, INSTALACIÓN, CONFIGURACIÓN Y PUESTA A PUNTO DE COMPUTADORES DE FLUJO Y TRANSMISORES DE PRESIÓN Y TEMPERATURA, ASÍ COMO OPTIMIZACIÓN DE CONSOLAS DE OPERACIÓN DEL SISTEMA SCADA EN LAS ESTACIONES DE COMBUSTIBLES PARA AEROPUERTOS”.

Los Aeropuertos incluidos en el proyecto fueron los siguientes:

- Puerto Vallarta, Jalisco.
- Monterrey, Nuevo León.
- México, Distrito Federal.
- Cancún, Quintana Roo.
- Guadalajara, Jalisco.
- Tijuana, Baja California.
- Toluca, Estado de México.

Las actividades y funciones que desempeñé durante la ejecución del proyecto fueron:

- Conexión y configuración de computadores de flujo con instrumentos.
- Conexión y configuración de servidores con los computadores de flujo.
- Conexión de instrumentos con computador de flujo.
- Conexión de servidor con PLC.
- Conexión de servidor con radares de nivel en tanques de almacenamiento.

- Generación de módulo de reportes.
- Conexión de instrumentos con PLC.

En la empresa me proporcionaron la siguiente capacitación:

- Programación de módulos de corrección de medición para computadores de flujo marca Elster-Instromet.
- Configuración de computadores de flujo marca Elster-Instromet.
- Configuración de computadores de flujo mara Krohne.
- Programación y configuración de sistemas SCADA en Proficy® iFIX HMI/SCADA.
- Diseño y programación de generadores de reportes utilizando el Crystal Reports y C#.
- Administración de proyectos basado en PMBOK®.

2 Objetivo:

Describir el proceso de modernización de un sistema SCADA mediante la adquisición, instalación, configuración y puesta a punto de instrumentos de medición, equipos de adquisición de datos y actualización de plataformas de software de adquisición de datos de tal manera que permita lograr una mejora en la disponibilidad y confiabilidad de la información otorgada, una mayor integración con los procesos operativos y una mejor eficiencia y robustez en el funcionamiento del sistema.

3 Marco teórico

3.1 Introducción a la adquisición de datos

La supervisión de plantas industriales puede llegar a ser un eslabón muy importante en las industrias, pues permite regular y supervisar el funcionamiento de los equipos dentro de la planta y también provee los medios necesarios para hacer que la misma sea económicamente viable.

Además de contar con la facilidad de obtener información a través de la adquisición de datos, también se cuenta con los elementos para hacer control de sistemas. De esta manera se puede hablar de adquisición y control basados en computadora.

Los sistemas de adquisición de datos se componen de las siguientes partes:

- **Sensores:** Dispositivos capaces de convertir parámetros físicos, o químicos, como temperatura, presión, fuerza, luz, etc., en una señal capaz de ser medida.
- **Acondicionador de señal:** Adaptan la señal que se recibe del sensor, amplificándola, linealizándola, filtrándola, etc. Puede alimentar al sensor si éste requiriera de alimentación.
- **Adquisidor de datos:** Este elemento es el que toma los datos del acondicionador y hace la conversión analógica digital de la información. Puede ser un elemento interno o externo de la computadora.
- **Bus de comunicación**: Tiene como función comunicar el adquisidor de datos con la computadora.
- **Computadora:** En ésta se lleva a cabo todo el procesamiento de la información, la cual una vez recopilada puede mostrarse en tiempo real, almacenarse o transmitirse a través de una red.
- **Software de adquisición de datos:** Corresponde al programa encargado de llevar a cabo la funcionalidad deseada por el sistema de adquisición de datos.

En muchos casos estos elementos no son diferenciados a simple vista, pues pueden encontrarse unificados en un solo equipo.

3.2 Hardware de adquisición de datos

3.2.1 Medición en la industria

Las mediciones analógicas se pueden clasificar en dos tipos:

- Medición de variables físicas: Presión, temperatura, nivel, vibración, masa, densidad, etc.
- Medición de variables químicas o de composición: conductividad, pH, análisis químicos, etc.

Un buen acondicionamiento de la señal preserva la calidad de las mediciones y permite optimizar el uso de los sistemas de adquisición o toma de datos y de los sistemas de control instalados.

3.2.1.1 Aplicaciones de la medición en la industria:

Medición solo para indicación: Son utilizadas para visualizar condiciones tales como temperatura, humedad, presión, etc., de los diferentes elementos dentro de un proceso. Estas mediciones son útiles para mostrar los estados intermedios de los procesos industriales. Los indicadores dan una idea general de cómo se encuentra el estado del proceso y permiten al operador intervenir manualmente si observa alguna desviación de alguno de los parámetros.

Mediciones de control: Actúan controlando las variables físicas o de composición durante un proceso. Son esenciales para la vialidad económica, la seguridad y la funcionalidad de un proceso de fabricación.

Mediciones oficiales: Hay ciertos tipos de procesos en los que se requiere adquirir datos que luego van a ser enviados o remitidos a algún ente de control oficial. Este tipo de mediciones requiere una gran exactitud, características de estabilidad e inviolabilidad del dato obtenido.

Mediciones medioambientales: Su misión es proveer registros de los residuos industriales que se arrojan al medio ambiente, en relación con las disposiciones legales.

Mediciones de seguridad: Sirven para monitorear y evitar condiciones de peligro. Incluyen parámetros críticos del proceso que implican una operación insegura o un daño potencial.

3.2.1.2 Entorno de medición industrial:

A continuación se describen los principales elementos de un sistema de medición y control:

- **Campo:** "*Se define como el área donde los equipos de producción trabajan o donde se llevan a cabo procesos industriales."* (Chicala, 2015, p.139)

  Generalmente es conocido como piso de planta y zonas aledañas. Como principal característica, se puede agregar que el campo es un lugar de condiciones muy duras desde el punto de vista eléctrico y físico. Los equipos de campo son expuestos a un gran ruido eléctrico, temperaturas, humedad, elementos corrosivos o ambientales que pueden dañar cualquier dispositivo por efecto de vibraciones, golpes accidentales, etc.

  El campo es donde las variables de proceso van a ser adquiridas a través de los sensores, y también donde algún tipo de equipo acondicionador de señal puede ser localizado. Los equipos de medición son cableados hacia la sala de control usando cables de varios de metros. Estos cables tienen muchas posibilidades de pasar cerca de grandes motores eléctricos, contactores, equipos de iluminación, etc., que probablemente pueden llegar a incluir ruido eléctrico en los valores de las mediciones adquiridas en el campo, por lo que se fabrican con especificaciones particulares para evitar la inducción de ruido en la mayor parte.

- **Cableado de campo:** En general el cableado, desde los sensores de campo hasta la sala de control, se lleva a cabo con cables multipares para uso industrial o ambientes agresivos.

  Estos cables están formados por una enorme cantidad de pares de conductores que en algunos casos suelen fabricarse trenzados para evitar el ruido de origen

electromagnético que podría inducirse sobre la señal proveniente de los sensores, perjudicando la adquisición de datos.

Los cables multipares antes mencionados son conducidos o colocados dentro de ductos o bandejas porta cables que son específicas para cables que transportan señal de instrumentación. Estas bandejas de cableado de instrumentación corren alejadas de ductos que puedan contener cables de distribución eléctrica de potencia para evitar los ruidos que se podrían inducir electromagnéticamente.

Las señales provenientes de una gran cantidad de sensores pueden ser recogidas en tableros o gabinetes concentradores que suelen ubicarse en la sala de control o en algún sitio entre los sensores de campo y la sala de control. La misión de estos gabinetes es facilitar la instalación y conexión de los acondicionadores de señal, de las pantallas de supervisión, de los elementos de control, etcétera.

En muchos casos el costo del cableado representa un porcentaje muy alto del costo total del sistema de adquisición de datos y control. Esto es particularmente cierto cuando se trata de una enorme cantidad de señales de campo que hay que adquirir o cuando, aunque no sean muchas las señales a adquirir, las mismas atraviesan zonas de gases o líquidos inflamables. En este caso el costo de instalación se incrementa, ya que hay que usar cables especiales y cajas a prueba de explosión para evitar que cualquier pequeño arco eléctrico que salte entre los conductores pueda provocar una explosión en la planta industrial.

Para reducir el cableado se recurre, en muchos casos, a equipos concentradores de datos que recogen una gran cantidad de señales de los sensores más próximos a ellos, las acondicionan, digitalizan, multiplexean y las transmite a través de una conexión RS485, RS422 o de una red LAN a los equipos de la sala de control. Una señal viaja desde los equipos concentradores de datos a la sala de control es altamente inmune al ruido porque la información que se transmite es totalmente digital.

3.2.2 Sensores y transmisores:

El sensor es un dispositivo que convierte la cantidad física de un parámetro en otro tipo de parámetro que más tarde será utilizado para indicar o controlar la variable medida. Este último parámetro en el que es convertida la variable física medida puede ser de tipo mecánico, fluido (hidráulico o neumático) o eléctrico, que es lo más comúnmente usado en las plantas industriales.

El transmisor parte de esta idea básica, pero la amplía un poco más. En el propio sensor, el transmisor se encarga de actuar sobre la señal a través de la amplificación, filtrado, aislación o algún otro tipo de manipulación electrónica.

De acuerdo con lo tratado en este capítulo, la principal diferencia entre sensor y transmisor es que el transmisor manipula la señal en el punto de medición.

Normalmente los sistemas de adquisición o toma de datos y los sistemas de control manejan ambos dispositivos: sensores y transmisores.

Idealmente, cada sensor debería contar con un acondicionamiento de señal en el punto de medición. Esta señal de alto nivel, acondicionada, se trasmitirá desde el acondicionador a la sala de control donde estará el sistema de adquisición de datos o el sistema de control. Según esta propuesta, el único ruido que podría inducirse sería durante la corta trayectoria entre el sensor y el acondicionador de señal, ya que a partir del acondicionador y hasta al sistema de adquisición de datos la señal ya es de alto nivel de voltaje o corriente y, por lo tanto, altamente inmune a los ruidos electromagnéticos inducidos. La configuración mencionada, con un acondicionador de señal en el punto donde está el sensor, resulta mucho más costosa que la de tener el acondicionador de señal próximo al sistema de adquisición de datos. En esta última ubicación el mismo acondicionador de señal puede ser compartido por varios sensores así como placas de circuito, fuentes, gabinetes, etc., resultando más económica la instalación, pero con la desventaja de una mayor influencia del ruido electromagnético.

3.2.2.1 Clasificación de sensores

Los sensores pueden ser clasificados en:

- **Sensores autoexcitados:** Estos sensores no necesitan una fuente de excitación externa para producir salida de voltaje o de corriente.
- **Sensores excitados externamente:** Tipo de sensores que necesitan de una fuente externa de voltaje o de corriente para poder ser leídos por el sistema de adquisición de datos.

3.2.3 Equipos de adquisición de datos externos

Los equipos de adquisición de datos externos proveen de gran cantidad de canales de adquisición y un ambiente menos ruidoso que una tarjeta de adquisición insertada en una computadora.

Estos sistemas pueden ser divididos en cuatro grupos:

- **Adquisidores externos:** Son módulos que únicamente tienen entradas analógicas, salidas analógicas, entradas digitales, salidas digitales y contadores. No realizan ninguna función lógica entre entradas y salidas, ya que no son capaces de realizar control por sí mismas. Estos adquisidores están conectados a una computadora mediante un tipo de interfaz estándar o propietaria.
- **Adquisidores externos con control embebido:** Este tipo de adquisidores permite adquirir los datos analógicos o digitales y actuar como control analógico digital sobre el sistema, sin que el control radique en la computadora. Ya que todo el algoritmo de control reside en el adquisidor, si se pierde la comunicación con la computadora el adquisidor puede continuar con el control. Para este caso, la misión de la computadora es únicamente adquirir los datos en función del tiempo, almacenarlos y brindar al usuario una interfaz para tener una visión de lo que pasa con el sistema que está siendo monitoreado.
- **Sistemas de adquisición externos con control embebido y memoria de almacenamiento:** Éste tipo de adquisidores son similares a los anteriores, con el añadido de un área de memoria ampliable que permite, además de adquirir y hacer el control, almacenar los valores históricos adquiridos dentro del dispositivo. Cuando se desee, estos datos almacenados se pueden descargar en

la computadora. Estos sistemas son usados cuando el equipo no está permanentemente conectado al sistema.

- **Sistemas de adquisición de datos y control en tiempo real:** Para aplicaciones críticas, estos sistemas de adquisición de datos son generalmente externos y propietarios. Tienen un sistema operativo embebido en tiempo real e incluso tienen un lenguaje de programación propio. Estos sistemas mantienen una conexión con la computadora con el objetivo de transmitirle al operador las novedades que se van suscitando, pero el control en tiempo real reside exclusivamente en el sistema de adquisición de datos externo.

Cualquiera de los cuatro grupos de adquisidores antes mencionados se conecta a la computadora a través de una interfaz estándar, lo que permite conectar sobre la misma red productos de diferentes proveedores.

3.2.4 Comunicación para sistemas de adquisición de datos industriales

Inicialmente cada fabricante desarrollaba su propia estructura de comunicación, limitando al sistema de automatización a utilizar exclusivamente su marca para llevar a cabo su fin. Posteriormente surgieron estándares para que los fabricantes implementaran estos en sus equipos y de esta manera se hacía posible volverlos compatibles con equipos de cualquier fabricante; así fue como los sistemas de automatización se hicieron más dinámicos, eficientes y económicos.

Es necesario que la forma de transmisión de datos entre los sistemas de adquisición de datos externos y las computadoras tengan ciertas características en común y puedan entenderse, para tal fin se desarrollaron los protocolos de comunicación industrial.

Un protocolo de comunicación está definido como un conjunto de reglas y normas que permiten la transferencia e intercambio de datos entre los distintos dispositivos que conforman una red por medio de cualquier tipo de variación de una magnitud física.

Un protocolo de comunicación establece la sintaxis, semántica y sincronización de la comunicación, así como los métodos de recuperación de errores. A los medios que permiten la integración de equipos para la medición y el control de variables de proceso se les conoce como buses de campo.

Los protocolos de comunicación con mayor presencia en la industria, especialmente de manejo de hidrocarburos, son:

- HART
- Modbus
- Profibus
- Fieldbus Foundation
- DeviceNet
- CAN
- entre otros.

A continuación se describen a grande rasgos el funcionamiento de los protocolos que fueron utilizados en el desarrollo de este proyecto:

3.2.4.1 Lazo de corriente

Es la forma más básica y común para transmitir información analógica a través de un par de conductores.

Un lazo de corriente se utiliza cuando un dispositivo o sistema debe monitorear o controlar de forma remota y consiste en variar la corriente en el conductor de acuerdo al valor deseado a transmitir.

La convención más común para los lazos de corriente es de 4 a 20 mA, tomando 4 mA como el valor mínimo posible a enviar, y 20 mA como el valor máximo posible a enviar, de tal forma que sea posible escalar cualquier rango de valores.

Como tal este método no es un protocolo de comunicación pues solo es posible manejar un nivel de corriente a la vez, es decir solo es posible enviar un dato analógico a la vez.

Para aumentar la capacidad de envío de información, es posible agregar información digital mediante el Protocolo HART.

3.2.4.2 HART (High way-Addressable-Remote-Transducer):

Agrupa información digital sobre la señal analógica típica de 4 a 20 mA DC. La señal digital usa dos frecuencias, que representan los dígitos 0 y 1 y que forman una onda senoidal que se superpone al lazo de corriente de 4-20 mA. Como la señal promedio de una onda senoidal es cero, no se añade ninguna componente de directa a la señal analógica de 4-20 mA, este protocolo proporciona las siguientes ventajas:

- Permite soportar hasta 256 variables
- Los transmisores pueden conectarse entre sí a través de un bus y comunicarse hasta con quince dispositivos.
- Entrega una alternativa económica de comunicación digital.
- Implica un ahorro considerable en materiales eléctricos en las instalaciones multipunto.

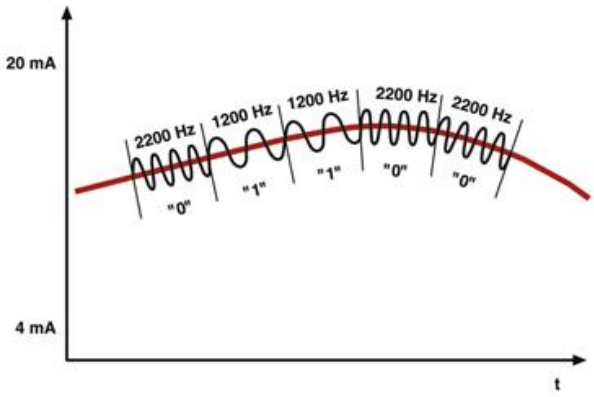


Figura 1 Lazo de corriente con señal digital sobrepuesta

3.2.4.3 MODBUS

Modbus es un protocolo de transmisión desarrollado por Modicon para sistemas de control y supervisión de procesos SCADA con control centralizado. Utilizando este protocolo, un maestro o cliente puede comunicarse con una o varios esclavos o servidores con la finalidad de obtener datos de campo para la supervisión y control de un proceso. En Modbus los datos pueden intercambiarse en dos modos de transmisión:

- Modo RTU
- Modo ASCII

Características:

- Control por conteo de caracteres
- Transmisión asincrónica
- Un maestro puede controlar hasta 247 esclavos
- Operación en modo de respuesta normal
- Topología en estrella
- Interfaces de capa física: RS-232D, RS-422A, RS-485, o lazo de 4-20 mA
- Velocidades de transmisión: 1.2 a 19.2 Kbps
- Medios de transmisión: par trenzado, cable coaxial, Ethernet.

3.3 Software de adquisición de datos

3.3.1 Driver para el software de adquisición de datos:

Para que un sistema de adquisición de datos funcione correctamente, la interacción entre el hardware y el software debe ser completamente cubierta. La programación y diseño del software del sistema debe realizarse de tal forma que optimice y explote al máximo los recursos que ofrece el hardware instalado para adquisición de datos.

Los drivers de dispositivos son un elemento importante para el desarrollo y la implementación de un software de adquisición de datos.

Un driver de dispositivo funge como la interfaz entre el sistema operativo de la computadora y cualquier equipo o instrumento de adquisición de datos, es la capa de software que separa al desarrollador de software de adquisición de datos de la complejidad que el hardware del sistema de adquisición de datos puede contener.

Un driver consiste en un código ejecutable que se carga en la memoria RAM de la computadora y funciona como una extensión del grupo de comandos principales del sistema operativo.

Cada driver debería estar diseñado idealmente para:

- Coexistir con los demás drivers sin conflicto.
- Ser robusto, es decir, resistente a los choques funcionales con los drivers de otros dispositivos.
- Consumir la menor cantidad de recursos del sistema, como memoria, tiempo de procesamiento, etc.

Una aplicación de adquisición de datos puede simultáneamente adquirir datos de múltiples dispositivos, controlar un proceso, graficar datos, guardarlos en una base de datos y hacer que estén disponibles en Internet.

Cuando mayores sean las demandas de los requerimientos de monitoreo de un sistema de adquisición de datos, mayor será la complejidad del sistema de monitoreo basado en la computadora. En la mayoría de los casos no es necesario que se desarrollen los drivers de dispositivos, pues estos son desarrollados por los fabricantes de hardware y pueden ser fácilmente conectados al programa final de la aplicación.

3.3.2 Interfaz del programa de aplicación:

El API (Application Programming Interface) muestra, a través de métodos de programados, la forma en la cual el usuario programará o configurará el dispositivo de hardware mediante el driver proporcionado. De esta manera el API funciona como una interfaz que sirve de unión entre un driver de dispositivo y el programa de aplicación final.

El API simplifica en gran parte las tareas para con el hardware que desarrolla el programador de la aplicación final.

El API, en conjunto con el driver del dispositivo, forma parte de lo que normalmente se conoce como paquete de driver.

Como el API actúa de intermediario entre el driver de dispositivo y el sistema de aplicación final de usuario, tanto los desarrolladores como los usuarios finales deberán prestar atención a las funcionalidades y limitaciones del API.

3.3.3 Definición de OPC

Inicialmente, para los sistemas de adquisición de datos, se elegía algún software de acuerdo a los drivers con los que disponía, pero actualmente y a partir del concepto OPC (OLE for Process Control) esta restricción disminuye significativamente.

OPC es un driver estándar para conectar fácilmente un software de adquisición y supervisión de datos con los dispositivos de campo, como PLC.

Propone que cada fabricante del hardware suministre junto con los equipos, un driver estructurado de forma estándar, este driver es lo que se conoce como OPC Server, este driver OPC, conocido como OPC server, se comunica con su respectivo dispositivo hardware y pone a disposición de cualquier cliente los datos en el formato que define el estándar OPC, basado en OLE y en la tecnología DCOM (Distributed Component Object Model).

Con la aparición de OPC se logró estandarizar los diferentes drivers que debe soportar un software de adquisición de datos.

Es suficiente que el SCADA cuente con un cliente OPC para que le sea posible comunicarse con una multitud de proveedores de hardware que proveen también su servidor OPC.

De esta manera, con que un software de adquisición de datos cuente con los drivers OPC cliente, podrá comunicarse perfectamente con el OPC server y recibir los datos provenientes de los sensores conectados al hardware que cuente con driver OPC.

3.3.4 Sistemas en tiempo real:

Contrario a lo que la palabra parece indicar, tiempo real es un término relativo, ya que su significado varía según los requerimientos de la aplicación y del usuario.

Los sistemas para aplicaciones de tiempo real funcionan mejor con sistemas operativos específicos corriendo en procesadores embebidos. Esto implica que los instrumentos o el hardware de adquisición deben estar equipados con un procesador que realice el procesamiento digital de la señal.

El desarrollo de un sistema de adquisición de datos deberá tomar en cuenta el diseño de cada sistema operativo para elegir el más adecuado para cada aplicación.

3.3.5 Programación por eventos:

Se pueden tomar ventajas de las herramientas de los lenguajes de programación para crear un sistema de tipo determinístico que responda rápidamente y de esta manera obtener un control más robusto y preciso sobre los tiempos de adquisición de datos.

Programar sistema mediante eventos hace más eficiente su rendimiento, pues esto consume poco tiempo de procesamiento y, por lo tanto, deja tiempo disponible para realizar otro tipo de funciones, como la comunicación con bases de datos o interacción con otros sistemas a través de redes de datos.

3.3.6 Software de aplicación final del usuario:

La elección del software apropiado para una determinada aplicación depende de varios factores:

- Configuración de la computadora: La eficiencia y rendimiento de una computadora es muy importante, pues existen herramientas que demandan muchos recursos, y otras que no, pero sacrifican la calidad con la que se muestra la información.
- Sistema operativo: El sistema operativo más utilizado como entorno de la mayoría de las aplicaciones es Windows de Microsoft aunque existen también algunas aplicaciones que utilizan como entorno Linux, el cual cuenta con plataformas abiertas.
- Habilidades del usuario: Es muy importante analizar con detenimiento las aplicaciones que el usuario final le dará al sistema, enfatizando la atención en las características de los usuarios, pues no siempre son ingenieros relacionados con herramientas de computo, en muchos casos son operarios o técnicos que requieren de alguna interfaz para registrar procesos o incidentes. Un mismo sistema puede presentar diferentes formatos de consulta, de acuerdo al rol que desempeña cada usuario que lo ocupe.

- Tipo de aplicación en cuestión: Cada implementación tiene características diferentes, hay proceso que se realizan de forma continua a lo largo de las veinticuatro horas del día, algunas otras son seccionadas por eventos, unas exigen mucha exactitud en la medición y otras exigen mucha agilidad en la muestra de información.

Algunos de estos factores pueden ser determinados por el usuario, pero existen otros que no dependen del control del usuario, por ejemplo la política de la empresa, limitaciones financieras o la necesidad de compatibilidad con otros sistemas ya instalados.

Desde que se empezaron a implementar los sistemas de adquisición de datos empezaron a surgir distintas propuestas para su implementación, y estas pueden clasificarse en dos vertientes: “entornos abiertos” y “entornos cerrados”.

3.3.6.1 Entorno de desarrollo cerrado:

Esta vertiente comprende todo el software que es propiedad de determinada empresa o desarrollador, generalmente es distribuido por los fabricantes de hardware. Este tipo de software es desarrollado exclusivamente para el control de hardware, manipulación de datos, generación de gráficos, análisis de información y otras funciones y a pesar de la simplificación de trabajos de desarrollo, este tipo de software tiene los siguientes inconvenientes:

- Pocas posibilidades para desarrollar un software de interacción “a la medida”.
- Poco control sobre el funcionamiento del software.
- Las restricciones de derechos de autor implican que un programa desarrollado para una computadora no podía ser compartido legalmente por otros usuarios en otras computadoras, a menos que se compraran las licencias de “Run-time” (tiempo de ejecución) correspondientes.
- Por un lado las librerías y los drivers ofrecidos por los fabricantes del hardware son habitualmente sin costo, pero por otro lado los paquetes de software propietario pueden llegar a ser sumamente caros.

Este tipo de software propietario, se distribuye con el concepto de software SCADA no programable ya que dispone herramientas tales como menús desplegables, pantallas para completar con datos, gráficos preconfigurados entre otras cosas. A pesar de eso y aunque los usuarios pueden evitar la programación tradicional, estos tipo de programas requieren de una habilidad equivalente a la necesaria para manejar los softwares "abiertos".

A su vez, este tipo de software se puede clasificar de la siguiente manera:

- Software listo para usar: Se refiere a los paquetes listos para funcionar una vez instalado el hardware de adquisición de datos. Generalmente son proporcionados por los mismos fabricantes del hardware.
- Software de postanálisis: Se refiere a paquetes donde se realizan análisis avanzados sobre los datos adquiridos por un sistema de adquisición de datos. Estos paquetes de análisis generalmente se venden por separado y pueden ser incluso de otros proveedores que no hayan fabricado el hardware.

  Este tipo de software está totalmente orientado a análisis avanzados que se desarrollan luego de adquirir los datos. En su mayoría permiten las siguientes funcionalidades:
  - Posterior análisis de datos.
  - Cualquier tipo de funciones matemáticas
  - Manejo de Gráficos
  - Conectividad con otro software estándar y almacenamiento en disco.
  - Generación de reportes impresos

Algunos ejemplos de paquetes propietarios son LabVIEW®, Proficy® iFIX HMI/SCADA, RSView Designer®, Matlab®, entre otros.

3.3.6.2 Entorno de desarrollo abierto:

Se conoce un entorno de tipo abierto debido a que el desarrollo del programa de interacción con operadores es desarrollado por parte del usuario final, esto le provee de las siguientes ventajas:

- Le permite tener acceso a todos los códigos.
- Es libre de distribuir o modificar el programa de acuerdo a sus necesidades, tanto para proveerle nuevas funciones, como para usarlo con otro hardware.
- El software programado por el usuario final tiene la capacidad de convivir con otras herramientas de software generadas por empresas de cómputo comerciales.

3.3.7 Lenguajes de para sistemas de adquisición de datos

Los programas de arquitectura abierta han ido evolucionando favorablemente, pues con el tiempo suelen ser más fáciles para los usuarios, además de que resultan más versátiles y robustos. Por otro lado, la utilización de un paquete propietario puede ser aconsejable para aplicaciones menos complejas, donde la necesidad de un desarrollo de programación no sea tan grande.

Los lenguajes de programación para adquisición de datos más utilizados en la actualidad son: Visual Basic, Visual C (en sus distintas versiones), C++, C#, java, entre otros.

En muchos casos y para aplicaciones simples, no es necesario un entorno de programación muy desarrollado, es suficiente con el software provisto junto con el hardware por algunos fabricantes de tarjetas de adquisición de datos o instrumentos de medición.

Para elegir software más conveniente es muy importante tomar en consideración los siguientes factores:

- Tiempo de desarrollo: Con la evolución de los sistemas operativos, las interfaces de programación para el usuario se han vuelto más gráficas, el uso de librerías ha simplificado el control del hardware y otras tareas de programación. Debido a eso, la programación basada en un lenguaje se ha vuelto menos compleja y se aproxima más en su simplicidad a los paquetes propietarios. Así mismo permite optimizar un programa y lograr una “aplicación a la medida” más fácilmente de lo que sería a partir de un paquete cerrado. Con algunos paradigmas de

programación, las partes o componentes de un programa desarrollado por el usuario pueden ser frecuentemente reutilizadas para otras tareas, reduciendo así el tiempo de desarrollo.

- Software basado en texto o sintaxis gráfica: La elección entre un software gráfico o un software basado en texto puede ser una cuestión intuitiva o de preferencia personal, según la facilidad de aprendizaje que tenga cada usuario.
- Eficiencia en la ejecución de rutinas: La velocidad de ejecución y la respuesta de un programa son críticas para el buen funcionamiento de una aplicación de prueba y medición. Generalmente un programa propietario agrega un software adicional que embebe al núcleo desarrollado en un lenguaje básico para facilitar la operación del usuario final. Esto genera que la eficiencia se vea afectada a la hora de ejecutar sus funciones, ya que la capa intermedia de software agregada, aunque facilita la operación del usuario, añade demoras y tiempos adicionales de procesamiento. Estas demoras pueden resultar negativas en aplicaciones muy exigidas en cuanto a velocidad de procesamiento, por lo que en aquellos casos en los que el tiempo sea crítico, un programa propietario de las características mencionadas no será lo más apropiado. Además, la mayoría de los paquetes propietarios no hacen un uso eficiente de los mensajes y eventos de Windows. Otro aspecto a considerar en los programas propietarios, es que estos están desarrollados para satisfacer los requerimientos de una gran cantidad de usuarios, por lo tanto cuentan con un gran número de funciones y al mismo tiempo su costo no debe incrementar demasiado, como consecuencia el software podría tener limitaciones significativas o ser de corto alcance para aplicaciones muy específicas. Por el contrario una aplicación desarrollada en un entorno abierto únicamente está limitada por las herramientas de adquisición de datos o por los servicios requeridos por Windows para la aplicación y luego además puede ser expandida a medida que las necesidades crezcan.
- Depuración de código: Una depuración de errores eficiente es indispensable para el buen funcionamiento de un proyecto desarrollado de un software. Las herramientas de depuración limitadas pueden incrementar el tiempo del desarrollo. Los sistemas de programación actuales simplifican la depuración del

software y su desarrollo, ya que en su mayoría cuentan con poderosas herramientas de depuración.

3.3.8 Programación orientada a Objetos

Es un estilo de programación el cual pretende hacer analogía con el verdadero comportamiento de los individuos que se deseen manejar.

Estos individuos son llamados objetos, los cuales son abstraídos como entidades que tienen un determinado “estado”, “comportamiento” e “identidad”.

- **Estado:** Se refiere a los datos o información, atributos que obtienen valores concretos.
- **Comportamiento:** Está definido por los métodos o mensajes a los que responde dicho objeto, es decir, las acciones que dicho objeto puede realizar.
- **Identidad:** Es la propiedad que hace que un objeto sea diferente del resto.

La programación orientada a objetos difiere de la programación estructurada tradicional, pues en la programación estructurada los datos están aislados.

El paradigma de programación orientada a objetos se compone, principalmente de los siguientes elementos:

- **Clase:** Aquí se definen las propiedades y el comportamiento de un tipo de objeto en específico. Un objeto siempre es creado a partir de una clase.
- **Herencia:** Es la facilidad mediante la cual una clase puede tomar las definiciones ya creadas en otra clase ya existente.
- **Objeto:** Entidad compuesta de un conjunto de características o atributos y de funcionalidades o métodos, los mismos que consecuentemente reaccionan a eventos. Un objeto es la instancia de una clase.
- **Método:** Algoritmo asociado a un objeto, cuya ejecución se desencadena tras la recepción de un “llamado”. Un método puede producir un cambio en las propiedades del objeto, o puede llamar a otro método.
- **Atributo:** Características que tienen los objetos, y son definidas en la clase.

Algunos otros elementos que también se utilizan en este paradigma son eventos y mensajes.

3.3.9 Bases de datos

Antes de que existieran las bases de datos se utilizaban archivos independientes para almacenar información, ya sea de los sistemas de adquisición de datos o de alguna otra aplicación, esto traía como consecuencia problemáticas como inconsistencia de datos, dificultad para compartir información o la falta de seguridad con los archivos almacenados, fue así como surgieron las bases de datos las cuales se definen como una agrupación de datos organizados en un archivo lógico de forma que sean accesibles rápidamente.

Una base de datos se compone de los siguientes elementos:

- **Datos:** Son los valores registrados físicamente en la base de datos.
- **Hardware:** Es el soporte físico que permite almacenar la información de la base de datos. Cuando la base de datos está formada por varios sistemas se llama base de datos distribuida. El manejo de las bases de datos compartidas se complica ya que se va a necesitar comunicación entre los sistemas.
- **Software:** Es el que permite trabajar y manejar la base de datos de la forma más eficiente. El manejador de base de datos es el encargado de gestionar la base de datos, por lo tanto, todas las operaciones que se realicen sobre las mismas han de pasar por este sistema.
- **Usuarios:** Podemos definir los siguientes tipos de usuarios:
    - **Usuarios finales:** Se dedican a trabajar (manipular e interpretar) la información de la base de datos.
    - **Analista:** Es la persona encargada de esquematizar los datos y sus relaciones. Hace el Diagrama Entidad Relación (DER).
    - **Programadores de aplicaciones:** Se encargan de programar las aplicaciones, como “triggers” o procedimientos, necesarias para la utilización de la base de datos, realizando las peticiones pertinentes al DBMS. Aquellos que conocen el lenguaje SQL.

- **Administrador de la base de datos (DBA):** Es el usuario más importante de todos, ya que se encarga de diseñar, construir y modificar la estructura de la base de datos, así como de su administración.

3.3.9.1 Modelo de datos Relacional:

Un modelo de datos es una colección de herramientas conceptuales para describir los datos, las relaciones que existen entre ellos, semántica asociada a los datos y restricciones de consistencia.

En el modelo relacional se representan los datos y las relaciones entre ellos, a través de una colección de tablas, en las cuales cada renglón equivale a cada uno de los registros que contendrá la base de datos y las columnas corresponden a las características de cada registro.

3.3.9.2 Manejador de Base de Datos:

Un manejador de base de datos en un conjunto de programas y aplicaciones responsables de proporcionar un ambiente conveniente y eficiente al tener acceso a la base de datos, algunas de sus funciones son:

- Almacenar, recuperar, eliminar y modificar datos.
- Guardar la consistencia de los datos.
- Solucionar problemas de concurrencia.
- Mantener la seguridad.
- Crear y modificar la base de datos.

Para poder comunicarse con un manejador de bases de datos se utilizan un lenguaje especializado en el área llamado SQL (Lenguaje Estándar de Consulta), este lenguaje clasifica sus funciones de la siguiente forma:

- Lenguaje de Definición de Datos: El cual permite crear y esquematizar una base de datos.

- Lenguaje de Manipulación de Datos: Permite almacenar, eliminar o modificar información sobre una base de datos ya estructurada, de igual manera permite recuperar la información mediante consultas.
- Lenguaje de control de datos: Controla el acceso y la seguridad en la base de datos.
- Lenguaje de control de transacciones: Controla las secuencias que se ejecutan al realizar transacciones.

Existen muchas empresas que ofrecen su manejador de base de datos, entre las más importantes se encuentran “Oracle”, “SQL Server” de Microsoft, “DB2” de IBM o manejadores de distribución libre como “MySQL” o “PostgreSQL”.

Dependiendo de las características que tenga el sistema de adquisición de datos puede elegirse la mejor alternativa.

3.3.10 Arquitectura cliente servidor

El modelo cliente servidor es una arquitectura distribuida que permite a los usuarios obtener acceso a una aplicación desde diferentes centrales de consulta.

En el modelo cliente servidor, el cliente envía un mensaje solicitando un determinado servicio a un servidor, y este envía mensajes con la respuesta. En un sistema distribuido cada máquina puede cumplir con el rol de servidor para algunas tareas y el rol de cliente para otras.

También se le conoce como “Cliente” al que realiza las peticiones y sus principales características son las siguientes:

- Es quien inicia solicitudes o peticiones, tienen por tanto un papel activo en la comunicación por lo que también es conocido como maestro.
- Espera y recibe las respuestas del servidor.
- En la mayoría de los casos puede conectarse a varios servidores a la vez.
- Normalmente interactúa directamente con los usuarios finales mediante una interfaz gráfica de usuario.

- Al elemento que recibe de la solicitud enviada por el cliente se le conoce como “servidor” y sus características principales son:
- Al iniciarse esperan a que lleguen las solicitudes de los clientes por lo que también son conocidos como dispositivos esclavos.
- Tras la recepción de una solicitud, la procesan y luego envían la respuesta al cliente.
- Acepta las conexiones de un gran número de clientes aunque en ciertos casos el número máximo de peticiones puede estar limitado.

3.3.11 Aplicaciones Web

Cuando se empezó a implementar la arquitectura cliente servidor, empezaron a surgir aplicaciones con su propio programa cliente, el cual servía como interfaz de usuario. Este cliente tenía que ser instalado en la computadora de cada usuario, de esta manera el cliente realizaba peticiones a un programa instalado en una maquina central, el servidor. Cada vez que surgían modificaciones en la aplicación, estas debían ser replicadas en cada computadora personal.

Con las aplicaciones web se eliminan estos inconvenientes, pues estas generan de forma dinámica sus desplegados en formato estándar, como HTML, los cuales son soportados por los navegadores de internet comunes.

Se denomina aplicación web a las aplicaciones que son capaces de ejecutarse mediante la red, generalmente a través de internet, por lo que las funciones son ejecutadas y almacenadas a través de la red y por lo general estas aplicaciones no requieren de instalación. Toda la información se almacena de forma permanente en servidores y únicamente envían a los clientes los datos que se requieren en ese momento.

El utilizar este tipo de aplicaciones proporciona ventajas como la eliminación los tiempos de instalación y configuración en cada cliente, se eliminan los problemas de compatibilidad de software entre equipos de cómputo, no requieren de espacio en los clientes, las actualizaciones se realizan de forma transparente para los clientes, son aplicaciones de alta disponibilidad pues pueden ser accedidas desde cualquier lugar y a cualquier hora.

3.4 Sistemas SCADA

Un sistema SCADA es un conjunto de aplicaciones especialmente diseñado para el monitoreo de áreas de control de producción.

Comprende desde la obtención de la información mediante la comunicación digital y analógica con los instrumentos y actuadores hasta la interfaz gráfica de alto nivel con el usuario.

Con un software SCADA se puede llevar a cabo fácilmente la visualización de un proceso industrial, pues son especialmente diseñados para este tipo de funciones.

Un software SCADA consiste en un entorno de software en el cual el operador interactúa con el proceso industrial, son paquetes específicos orientados a funciones como la visualización, almacenamiento de información, seguridad, etc. y generalmente las tareas de control de proceso en el nivel de planta o de proceso se realizan por medio de PLC o sistemas de adquisición y control con lógica de control embebida, reservándose la computadora para visualización del proceso, almacenamiento de datos históricos entre otras cosas.

Principalmente los sistemas SCADA se utilizan en el los sectores de:

- Oleoductos
- Sistemas de transmisión de energía eléctrica
- Yacimientos de gas y petróleo
- Redes de distribución de gas natural
- Generación energética
- Entre otros

3.4.1 Arquitectura SCADA:

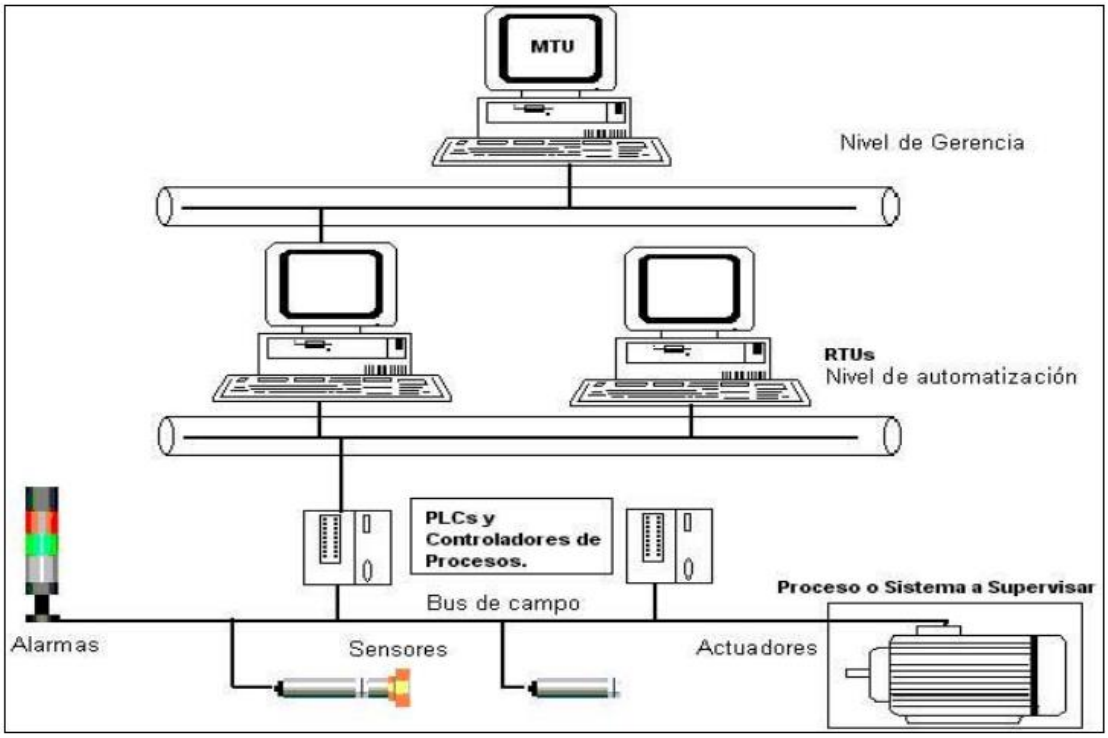


Figura 2 Esquema general de un sistema SCADA

A nivel de campo se encuentran dispositivos como sistemas de adquisición de datos, dispositivos con conexión serial, como balanzas electrónicas o lectoras de códigos de barras, dispositivos PLC, dispositivos con protocolos de comunicación industriales, dispositivos para adquirir y realizar análisis de imágenes o dispositivos para adquisición distribuida, como Fieldpoint.

El control está distribuido en el proceso y no se realiza control en la computadora, sino simplemente supervisión o visualización de los parámetros de planta.

Todos estos dispositivos son concentrados en un servidor o estación de trabajo, en el cual reside uno o varios tipos de software SCADA.

Esta computadora puede estar conectada a una red empresarial desde donde se puede consultar la información a través de otro software SCADA, software gráfico o aplicación empresarial.

Generalmente los dispositivos de planta se comunican con la base de datos a través de una configuración de drivers servidores de información, en la estación central, generalmente compuesta por servidores o computadoras de escritorio, a información adquirida es almacenada en una base de datos.

Dicha información se muestra mediante los parámetros definidos al momento de diseñar el SCADA. Las opciones de configuración son variadas y se puede determinar la escala de los valores eléctricos leídos por los sensores para que estos sean expresados como magnitudes físicas. En el sistema, cada valor leído tiene definidos sus valores máximos y mínimos, por ejemplo, es posible configurar alarmas mediante la configuración de parámetros (HiHi, Hi, Lo, LoLo).

Los datos leídos del proceso y almacenados en la base de datos de tiempo real son enviados a la interfaz gráfica del usuario, haciendo uso del “Tag” o del nombre de la variable, para posteriormente mostrar interfaces animadas, gráficos de tendencias, reportes, etc.

De igual manera, se produce la transferencia entre la interfaz gráfica del usuario y la base de datos cuando un usuario accede a ésta. La base de datos habilita al nuevo usuario conectado y define los permisos que éste tiene.

Entre la interfaz de usuario y la base de datos se realizará el reconocimiento de las alarmas que se produzcan, quedando registradas en la base de datos la hora a la que se produjo la alarma y la hora a la que dicha alarma fue reconocida por el operador, lo cual permite verificar incluso el tiempo de respuesta del personal.

Generalmente un sistema SCADA es programado mediante el procesamiento conducido por eventos en donde los dispositivos periféricos están conectados entre sí, y estos están recibiendo la información suministrada por los sensores, si el parámetro del sensor sale de la banda muerta que fue definida para cada variable de medición, entonces este elemento generará un evento que notificara a los elementos restantes del sistema SCADA. Esto permite reducir el tiempo de procesamiento en la computadora lo

cual lo hace mucho más eficiente. Por lo general esta filosofía se lleva a cabo en entornos orientados a objetos.

3.4.2 Módulos funcionales de un SCADA:

Un sistema de supervisión industrial está compuesto principalmente por los siguientes módulos:

- **Mímico de planta:** Éstos permiten al usuario disponer de una rápida visualización del proceso bajo supervisión. Éstos mímicos se logran importando imágenes del proceso de planta que pueden ser realizados con cualquier paquetería de software. Sobre éstas figuras se añaden indicadores numéricos o gráficos los cuales son conectados al proceso y permiten una interpretación fácil de la planta supervisada.
- **Tendencias o históricos de planta:** Consiste en visualizar el valor real y la evolución histórica de los parámetros de planta, mediante la representación en gráficas de valores históricos almacenados. Este visualizador es la interfaz que facilita revisar datos históricos de los parámetros que se visualizan, pudiendo realizar observaciones de horas, días, meses o años anteriores.
- **Conexión con bases de datos corporativas**: En las plantas industriales o empresas de producción existen ya sistemas informáticos que manejan bases de datos corporativas. Es indispensable que la base de datos del SCADA pueda conectarse e intercambiar información con dichos manejadores de bases de datos.
- **Módulos postanálisis y control estadístico de procesos:** Es importante que el software SCADA posea algunas funciones postanálisis para estudiar los datos adquiridos por el propio SCADA. Las funciones más importantes son aquellas que tienen relación con los procesos industriales como el control estadístico de procesos.
- **Conectividad con otras computadoras:** Es recomendable que el equipo que reside el software SCADA tenga la potencialidad de conectarse con otras computadoras de la planta, o incluso fuera de ellas. Esta conectividad puede implementarse utilizando distintas tecnologías, como TCP/IP, que otorgan la

posibilidad de que el equipo que contiene el software SCADA esté conectado con otras computadoras. Esto resulta fundamental para empresas con sucursales distribuidas, las cuales requieran conocer la información de toda la red.

- **Conectividad con RTUs, PLCs o sistemas de adquisición de datos remotos:** Los dispositivos tales como RTUs, PLC y sistemas de adquisición de datos remotos, necesitan ser conectados al software SCADA. Estos dispositivos remotos pueden conectarse a través de un simple cableado, una línea telefónica dedicada o discada, conexión mediante radiofrecuencia e incluso satelital. Estos dispositivos, además de hacer uso de un enlace físico, se comunican usando un protocolo de comunicación. Por ejemplo: Modbus para hidrocarburos.

3.5 Medición de hidrocarburos:

La medición de flujo y volumen es de gran importancia para las plantas que manejan hidrocarburos y sobre todo en los puntos en donde se realiza transferencia de custodia, es decir cuando el producto deja de pertenecer a una entidad y se asigna a otra, ya sea en una venta o traspaso.

Las empresas que manejan gran cantidad de hidrocarburos buscan obtener una medición muy confiable ya que la información obtenida por la medición se traduce en cobro y pago, si hay una medición errónea esto significa grandes pérdidas económicas.

Los hidrocarburos, al igual que toda la materia, sufren el fenómeno de dilatación y contracción, provocados por la temperatura y presión ejercidas.

A mayor temperatura los hidrocarburos tienden a aumentar su volumen y a menor temperatura tienden a disminuir su volumen, de igual manera los hidrocarburos tienden a disminuir su volumen a mayor presión ejercida y a aumentar su volumen cuando se les deja de ejercer presión.

Existen entidades de estandarización y metrológicas que crearon métodos para estandarizar las mediciones y poder realizar comparaciones de mediciones a distintas condiciones de temperatura y presión, algunos ejemplos de asociaciones de estandarización de medición de hidrocarburos son:

- ISO: Organización Internacional de Estandarización.
- API: Instituto Americano del Petróleo.
- OIML: Organización Internacional de Metrología Legal.
- ASTM: Sociedad Americana para la Prueba de Materiales.
- AGA: Asociación Americana de Gas.

Una eficiente medición de hidrocarburos se realiza siguiendo algún estándar emitido por estas asociaciones.

Dichos estándares establecen una serie de operaciones que se deben realizar a la información para poder ser comparada con otra, además de la medición de flujo o volumen, estos estándares exigen la medición de magnitudes que afectan el estado volumétrico de los hidrocarburos líquidos, estas magnitudes son:

- Presión
- Temperatura
- Densidad

3.5.1 Computador de flujo:

Un computador de flujo es un equipo electrónico diseñado para realizar la correcta medición de flujo y volumen.

Cumple con las características de un adquisidor de datos externo además cuenta con un sistema operativo embebido que le permite llevar el control en tiempo real de actuadores para regulación de flujo.

Así mismo cuenta con un espacio de memoria para almacenar registros de mediciones, los cuales son configurados de acuerdo a los requerimientos de la aplicación final y del usuario. Como todo adquisidor de datos, mantiene una comunicación permanente con la computadora para transmitir en línea las mediciones y eventos que surjan en el

proceso. Vienen equipados con protocolo estándar modbus y utilizan puertos seriales o el protocolo TCP/IP como medio de transferencia de datos.

Su funcionalidad principal consiste en generar registros de medición reportando información proveniente de todas las magnitudes físicas que afectan la medición de hidrocarburos.

Este equipo cuenta debe tener elementos esenciales para poder cumplir con su funcionalidad:

- **Tarjetas de entrada/salida de señales analógicas y digitales**: Las cuales lo hacen capaz de concentrar la información medida de todas las magnitudes necesarias para la correcta medición de flujo.

- **Tarjetas de entrada/salida de comunicación:** Las cuales hacen posible que la información generada pueda compartirse a través de una red de datos, utilizando protocolos de comunicación estándar.

  De igual manera permiten que el equipo puedan recibir información en forma proveniente de otros equipos como PLC's entre otros.

- **Tarjeta de procesamiento de información:** Permite realizar los cálculos necesarios para generar una medición de flujo y acumulados de volumen en periodos de tiempo. Deben ser lo suficientemente eficiente para implementar la normatividad establecida por las instituciones metrológicas.

- **Tarjeta de almacenamiento de información:** La cual permite generar respaldos de información de mediciones.

Figura 3 Tarjetas de adquisición de datos en el computador de flujo

3.5.2 Validación y certificación de la medición:

Existen instituciones encargadas de validar las mediciones emitidas sistemas de instrumentos, sensores, equipos adquisidores y aplicaciones que son instaladas en las plantas.

Un elemento importante y común para estas validaciones es la calibración de equipos, la cual consiste en comparar los valores obtenidos por un instrumento de medición con la medida correspondiente de un patrón de referencia.

En México la máxima institución regulatoria de medición es el CENAM (Centro Nacional de Metrología) el cual se encarga de:

- Establecer y mantener los patrones nacionales
- Ofrecer servicios metrológicos como calibración de instrumentos y patrones
- Certificación y desarrollo de materiales de referencia
- Impartir cursos especializados en metrología y asesorías
- Venta de publicaciones.
- Mantener un estrecho contacto con otros laboratorios nacionales y con organismos internacionales relacionados con la metrología, con el fin de

asegurar el reconocimiento internacional de los patrones nacionales de México y, consecuentemente, promover la aceptación de los productos y servicios de nuestro país.

4 Antecedentes del tema

Aeropuertos y Servicios Auxiliares (ASA), es un organismo del gobierno, el cual colabora con la Secretaría de Comunicaciones y Transportes en materia de administración, regulación, verificación y supervisión de aeropuertos.

ASA opera 18 aeropuertos del sistema aeroportuario nacional, además abastece el combustible de aviación en el país a través de 60 estaciones y un punto de suministro. Como resultado, ASA controla la cadena de abastecimiento del combustible desde su entrega por el proveedor, Petróleos Mexicanos (PEMEX), hasta el suministro a los clientes.

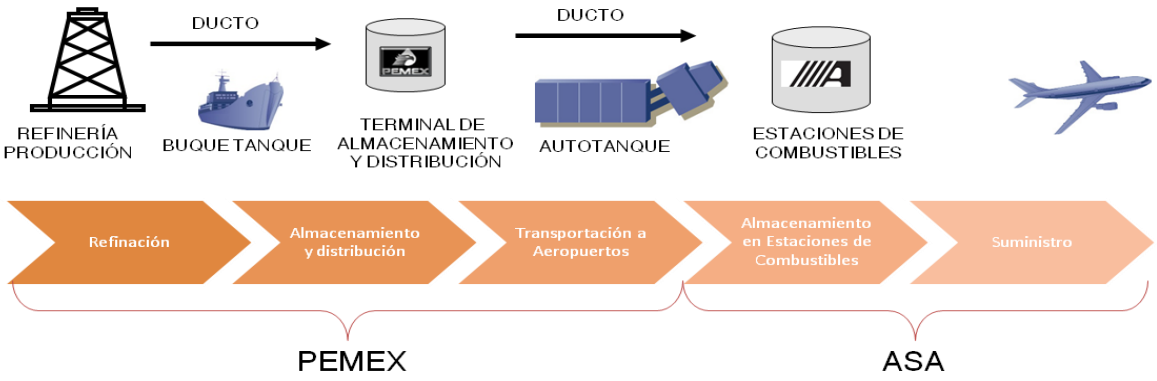


Figura 4 Cadena de suministro de combustible de aviación

Para realizar los servicios de suministro de combustibles, ASA se encuentra inmersos en los subprocesos y actividades relacionadas con la medición del combustible, pues gracias a esta medición, es posible llevar a cabo el Control de los Inventarios.

Como parte del proceso de modernización y eficiencia en el manejo de los combustibles, ASA ha integrado diversas tecnologías con el fin de controlar y supervisar de manera eficiente el inventario de combustible en las diversas etapas del proceso.

Una de esas tecnologías es el sistema SCADA, el cual que permite monitorear el control y realizar la medición del flujo y nivel del combustible de aviación dentro de las estaciones en dónde se encuentra instalado, el cual soporta diferentes etapas de los

procesos de almacenamiento de combustible, recepciones por turbosinoducto y por autotanque proveniente de PEMEX, así como las salidas derivadas de ventas, traspasos y movimientos internos como recargas y circulaciones de combustible dentro de la estación.

El sistema SCADA actualmente se encuentra instalado en 7 estaciones de combustibles que son: México, Cancún, Guadalajara, Monterrey, Puerto Vallarta, Tijuana y Toluca, las cuales manejan el 70% del combustible de aviación total del país.
En cada estación de combustibles se tienen establecidas determinadas áreas de manejo de combustible de acuerdo a la funcionalidad requerida, estas áreas se muestran en el siguiente diagrama.

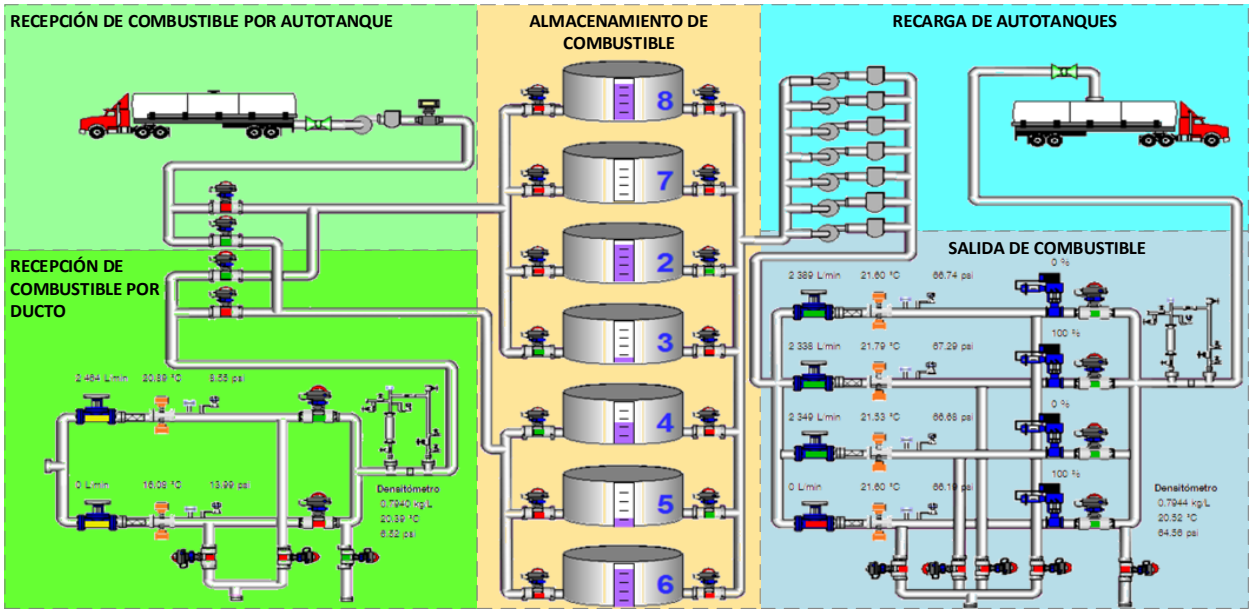


Figura 5 Diagrama de áreas de manejo de combustible

A continuación serán descritas estas áreas las cuales son monitoreadas por el sistema SCADA.

4.1 Proceso de recepción de combustible en estación:

La recepción de combustible consiste en el proceso que se lleva a cabo para introducir el combustible en la Estación, PEMEX es el principal proveedor de turbosina para ASA y este combustible lo proporciona por dos medios, autotanque y ducto.

A continuación se describirá a detalle en que consiste cada uno de los medios de recepción de combustible.

4.1.1 Recepción de combustible por autotanque:

Recepción por autotanque es el medio por el cual reciben el producto todas las estaciones de combustible, un autotanque es un vehículo móvil equipado con uno o dos tanques con capacidad desde 20 000 litros hasta 40 000 litros cada tanque.

Estos autotanques cuentan con un sistema de acoplamiento en la parte inferior, este sistema permite conectar brazos mecánicos de carga, los cuales están interconectados a la estación de combustibles.

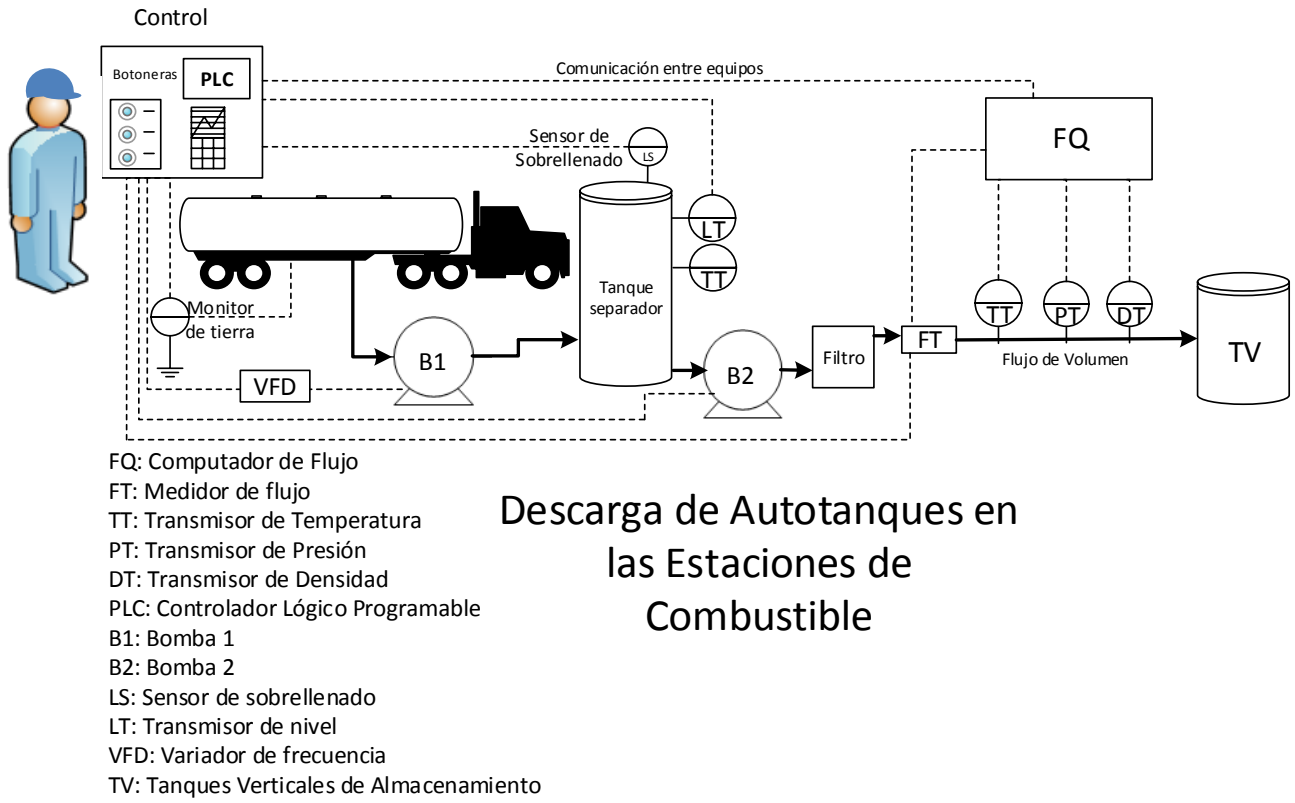


Figura 6 Diagrama de recepción de combustible

En el diagrama es posible observar la ruta que toma el producto, hasta llegar a los tanques de almacenamiento.

Una particularidad del sistema de descarga de ASA es la existencia de un tanque separador, el cual tiene como objetivo los siguientes aspectos:

- Eliminar el aire en la línea, el cual es introducido por la bomba 1.
- Disminuir la turbulencia emitida por la bomba 1, lo cual hace más precisas las mediciones de la turbina que monitorea el flujo.

Se observa la existencia de un variador de frecuencia (VFD), los cuales tienen como objetivo regular la potencia con la cual la bomba 1 envía el producto al tanque separador, este elemento es controlado por el PLC.

Existe un procedimiento establecido para llevar a cabo una descarga, el cual se describe a continuación:

1. Se acopla el brazo de descarga al autotanque
2. Se conecta el cable de aterrizaje al autotanque, para evitar chispazos generados por la estática.
3. El PLC verifica que se cumplan las condiciones óptimas para iniciar el proceso de descarga, estas condiciones son:
    a. El monitor de tierra debe indicar que el autotanque se encuentra aterrizado.
    b. El tanque separador debe contener combustible entre el 35 y 45 % de su capacidad, esto para evitar que se sobrellene o se vacíe.
    c. Las señales de actuadores deben estar energizadas y habilitadas para control remoto.
    d. La HMI indica al PLC cuando el operador captura información de facturación referente al autotanque.

    Cuando todos estos requerimientos son cumplidos el PLC indica, mediante una bombilla verde que el proceso de descarga puede iniciar.
4. El operador inicia el proceso mediante un botón.
5. El PLC indica a computador de flujo que se está iniciando un nuevo lote
6. La bomba 1 arranca y empieza a llenar el tanque separador.
7. El variador de frecuencia regula la potencia con la que el motor envía producto, manteniendo el tanque separador en un 75% a 85% de su capacidad.

8. Cuando el tanque separador llega a 80% el PLC arranca la bomba 2, la cual se encarga de enviar el producto alojado en el tanque separador a los tanques de almacenamiento.
9. Cuando el tanque separador comienza a bajar de nivel, la bomba 2 se detiene aproximadamente 10 minutos, dejando que todo el producto sobrante en el autotanque escurra.
10. Cuando el periodo de tiempo finaliza se inicia la bomba 2 nuevamente para dejar al tanque separador entre un 35% y 45%
11. El operador verifica cuando el autotanque esté completamente vacío y detiene la descarga mediante un botón.
12. El PLC indica al computador de flujo que la descarga ha finalizado.
13. La HMI y el PLC reestablecen todo a las condiciones iniciales.
14. El computador emite un registro de medición

4.1.2 Recepción de combustible por ducto:

Esta modalidad únicamente es ocupada en un aeropuerto del país, se implementó debido a la gran demanda de combustible para la estación.

Consiste en que la Terminal de Almacenamiento y Reparto de PEMEX y la terminal de combustibles de ASA están interconectadas mediante un ducto, por el cual circula el combustible.

Es una solución realizada para estar recibiendo combustible las 24 horas del día de forma continua.

Ventajas de recepción por ducto:

- Reducción del tránsito vial que realizan los autotanques al transportar combustible
- Reducción de inconsistencias de mediciones entre emisor (PEMEX) y receptor (ASA)

- Reducción importante en la intervención de operadores para la recepción del producto
- Para el emisor, se reduce el gasto para la transportación del producto.

Desventajas:

- Se requiere de una gran inversión para instalar el ducto

4.2 Almacenamiento de combustible:

Todo el combustible recibido se almacena en tanques verticales, los cuales están elaborados con materiales resistentes a la corrosión por hidrocarburos.

Los tanques verticales cuentan con dos válvulas, las cuales permiten la recepción y emisión de combustible.

Estos tanques verticales cuentan con equipo ultrasónico para la medición de nivel, el cual envía su medición por medio de radares, utilizando arquitectura anillo y el estándar de comunicación ControlNet establecido por Allen Bradley.

Para el control de inventarios de ASA es necesario hacer cortes de medición una vez al día.

La normatividad establece que un tanque vertical no puede enviar y recibir combustible a la vez, de igual forma establece parámetros que solicitan reposar el tanque después de finalizar su llenado, para el asentamiento de partículas sólidas y posibles fluidos con diferente densidad.

4.3 Salida de combustible:

En las estaciones de combustibles este combustible es tomado con el objetivo de realizar ventas a aerolíneas recargando aeronaves estacionadas en plataforma aérea.

Existen dos maneras para obtener combustible almacenado en los tanques verticales:

- Rellenando autotanques
- Enviando a tomas en plataforma dentro de la pista del aeropuerto

Debido a la variedad de sistemas existentes para recuperación del combustible almacenado, se tiene un patín de medición conectado a la salida del grupo de tanques verticales, este patín tiene como objetivo cuantificar todo lo que sale de la granja de tanques, independientemente del sistema que demande el combustible.

4.3.1 Salida de combustible por recarga de autotanque:

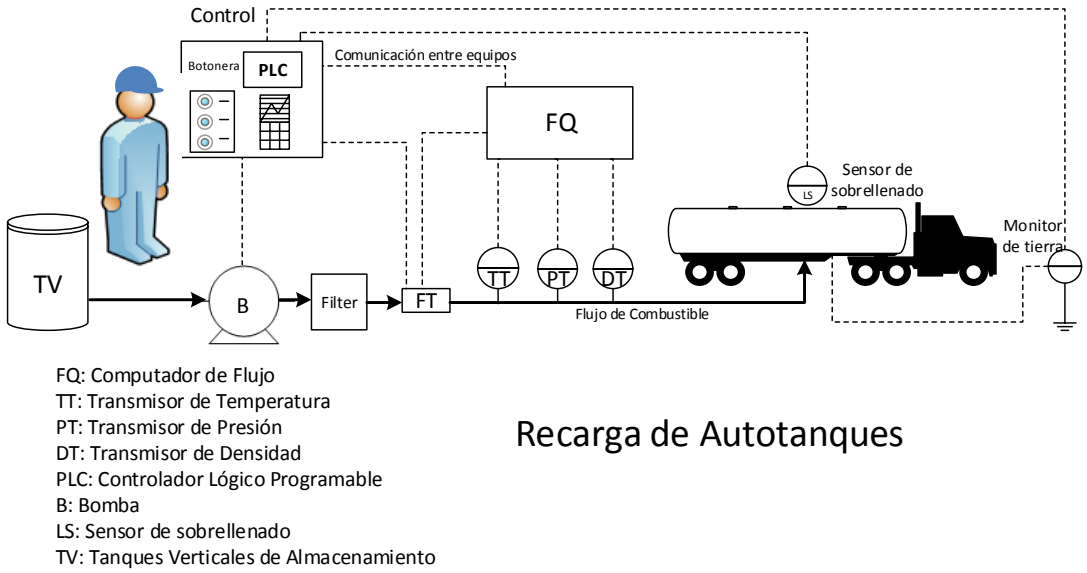


Figura 7 Esquema de proceso de Recarga de Autotanques

El proceso es muy parecido al de los sistemas de descarga de autotanques, pero aquí no existe un tanque separador.

El proceso de llenado se realiza de la siguiente manera:

1. Se acopla el brazo de descarga al autotanque
2. Se conecta el cable de aterrizaje al autotanque, para evitar chispazos generados por la estática, este cable también proporciona la señal proveniente del sensor de sobrellenado, el cual indica cuando el autotanque se encuentra totalmente lleno.

3. El PLC verifica que se cumplan las condiciones óptimas para iniciar el proceso de descarga, estas condiciones son:
    a. El monitor de tierra debe indicar que el autotanque se encuentra aterrizado.
    b. El sensor de sobrellenado no debe estar activo.
    c. Las señales de actuadores deben estar energizadas y habilitadas para control remoto.
    d. La HMI indica al PLC cuando el operador captura información referente al autotanque.
    e. La presión en la línea debe ser suficiente para iniciar recarga

    Cuando todos estos requerimientos son cumplidos el PLC indica, mediante una bombilla verde que el proceso de descarga puede iniciar.
4. El operador inicia el proceso mediante un botón.
5. El PLC indica a computador de flujo que se está iniciando un nuevo lote
6. La bomba arranca
7. El bombeo continúa hasta que el sensor de sobrellenado envíe la señal de paro, o hasta que alcance un volumen preestablecido.
8. Una vez finalizado el bombeo, el operador verifica si el relleno fue exitoso.
9. El operador presiona el botón de fin para concluir el proceso.
10. El PLC indica al computador de flujo que la descarga ha finalizado.
11. La HMI y el PLC reestablecen todo a las condiciones iniciales.
12. El computador emite un registro de medición

4.3.2 Salida de combustible por toma en plataforma aérea:

Esta modalidad se implementó debido a la alta demanda de combustible por parte de las aerolíneas en plataforma aérea.

Consiste en interconectar la los tanques de almacenamiento de la terminal de combustibles con las plataformas aéreas mediante ductos, los cuales con ayuda de dispensadores permiten la recarga de las aeronaves, por el cual circula el combustible bajo la demanda de las aerolíneas.

Para realizar esto se requiere de una gran inversión, pues los ductos subterráneos deben cumplir con la normatividad aeroportuaria, por lo que en estaciones pequeñas no se implementa.

Ventajas de tomas en plataforma:

- Se reduce el tiempo requerido para proporcionar combustible a aerolíneas.
- Se reduce el gasto para la transportación del producto.
- Se reduce el riesgo de accidentes al no transportar el combustible por vehículos.

Desventajas:

- La medición de la salida de combustibles se realiza en el los dispensadores, por lo que cada dispensador requiere de instrumentación para una medición correcta.

5 Definición del problema

Los estándares normativos así como las entidades que reciben y proporcionan combustible a ASA imponen exigencias en la consistencia, precisión y exactitud de las mediciones emitidas en sus reportes. Para las siete estaciones del país esas mediciones son registradas por el sistema SCADA instalado en las áreas de operación del combustible.

Debido a esto se requirió un sistema robusto y eficiente el cual permitiera monitorear y medir de forma confiable la entrada, almacenamiento y salida del combustible de aviación y de esta manera llevar un eficiente control de inventarios para la organización.

Antes de la ejecución del proyecto, se contaba con un sistema SCADA prácticamente obsoleto debido a la falta de mantenimiento a transmisores y sensores, la antigüedad de los equipos de medición y a la anticuada versión de la consola SCADA para que los usuarios pudieran realizar consultas.

Es importante mencionar que existían transmisores y computadores que contaban con más de diez años de antigüedad, esto traía como consecuencia que las fallas se presentaran con más frecuencia y que el proceso de relacionamiento se volviera más difícil, tardado y costoso.

La falta de mantenimiento a los sensores y transmisores de temperatura y presión, así como a los medidores de flujo y densidad ocasionaban que estos midieran de forma errónea o en muchos casos dejaran de enviar señales, provocando finalmente fallas en la medición del combustible.

Otra falla que se presentaba consistía en la inestabilidad para la recuperación de los reportes de medición generados en el computador de flujo, pues estos equipos eran muy antiguos y en consecuencia se presentaban fallas constantes con los siguientes síntomas:

- Los equipos no encendían, pues su módulo de alimentación se dañaba, ya que estos equipos permanecían encendidos las veinticuatro horas del día. Durante todo su periodo de funcionamiento.

- Fueron diseñados con una arquitectura obsoleta para los requerimientos que recientemente se presentaban, y su limitada capacidad de memoria y procesamiento provocaba fallas.

- La versión de la norma con la que hacían las correcciones en la medición de volumen perdió vigencia y no fue posible actualizar su “firmware” para que cumpliera con los requerimientos de la actualización de la norma.

- Sus tarjetas de comunicación serial, en conjunto con su convertidor de protocolo Modbus RTU a Modbus Ethernet dejaban de funcionar y el equipo se quedaba asilado por parte del software.

- Sus tarjetas de entradas analógicas fallaban y dejaban de recibir los datos enviados por los transmisores instalados en campo.

Por último, la HMI del sistema SCADA para monitoreo de los procesos de manejo de combustible no cumplía con las necesidades y requerimientos que las nuevas directrices establecían, entre sus insuficiencias se encontraban las siguientes:

- La infraestructura de la estación había aumentado sin que estas consolas se actualizarán con la nueva información.

- Se presentaba demasiada información en las pantallas principales, información que resultaba muy compleja para los usuarios y que provocaba que la información realmente relevante no tomara la relevancia necesaria.

- Se presentaban retrasos y fallas en la emisión de reportes, esto generaba desconfianza del sistema.

- Los altos costos de licenciamiento, provocaban que únicamente existiera disponibilidad de consulta de las consolas para cuatro usuarios en cada Estación.

Finalmente y por las causas antes mencionadas el sistema se había empezado dejado de utilizar, o se utilizaba de manera parcial y con muchos esfuerzos, pero debido a las recientes directrices establecidas, ASA se vio en la necesidad contratar su actualización y a proporcionarle mantenimiento correctivo a los instrumentos, equipos y programas que componían el sistema.

6 Análisis y metodología empleada.

6.1 Metodología de ejecución del proyecto

Para la ejecución de este proyecto tomé, junto con el grupo de desarrollo, la siguiente metodología para el desarrollo del proyecto.

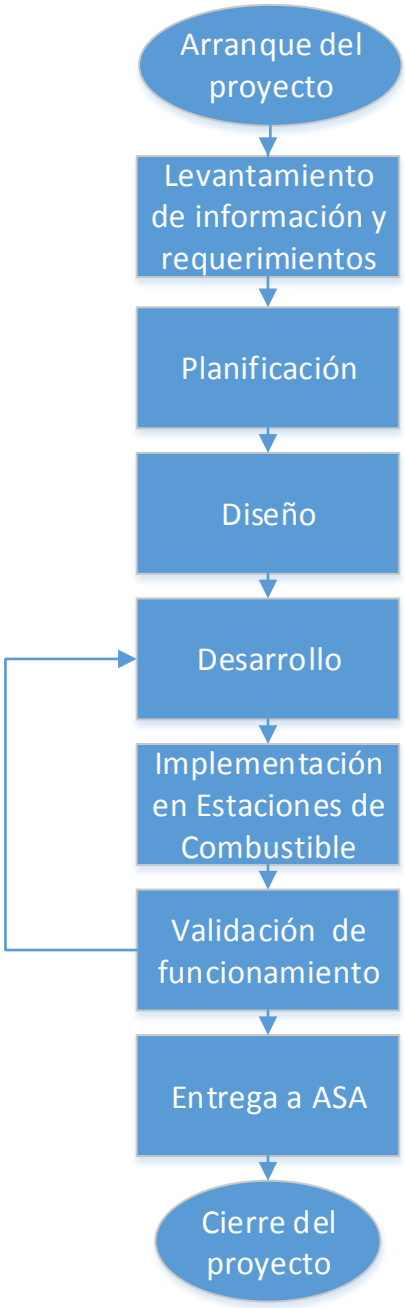


Figura 8 Metodología empleada

A continuación se explica a detalle los procesos realizados en cada una de las etapas:

- **Arranque del Proyecto:** Se llevó a cabo una reunión de arranque en donde se explicó a las áreas involucradas, tanto de ASA como de la empresa, acerca del proyecto a desarrollar, se establecen fechas de entrega y se nombraron representantes de cada entidad, llamados “Líder de Proyecto” los cuales llevaron reuniones periódicas para darle seguimiento a las actividades que se fueron realizando a lo largo del proyecto.

- **Levantamiento de Información y requerimientos:** Es importante mencionar que el proyecto se llevó a cabo en respuesta a una licitación pública emitida por ASA, las bases de dicha licitación se tomaron como referencia para llevar a cabo esta etapa del proyecto. En dicha etapa se definieron con precisión los requerimientos establecidos por el ASA, así como los objetivos que se buscaban con la realización del proyecto.

- **Planificación:** Ya que se lograron acotar los requerimientos que ASA solicitaba se emitió un plan de trabajo, en el cual se definieron los grupos de desarrollo, así como las actividades que se realizaron, los tiempos en los que se llevaran a cabo cada una de estas y los periodos de instalación en cada estación de combustibles, con este documento fue posible que los Líderes de cada entidad pudieran dar seguimiento a todo el proyecto.

- **Diseño:** Fue la primera etapa como tal del desarrollo del proyecto, se tomaron los requerimientos y se elaboraron documentos de diseño de la solución, tales como Planos de Trayectoria de cableado, Hojas de datos de equipos requeridos, Diagramas de casos de uso, Arquitectura de la Solución de Software, entre otros. Estos documentos permitieron definir la línea que se siguió durante el desarrollo.

- **Desarrollo:** Con base en el diseño propuesto y en los grupos de trabajo definidos en el Plan de Trabajo, se llevaron a cabo las actividades de desarrollo, previas a la instalación en las estaciones de combustible. En este periodo se ejecutaron

actividades principalmente relacionadas al desarrollo del software requerido así como a la configuración de los equipos solicitados.

- **Implementación en sitio:** En este periodo se acudió a las instalaciones de cada una de las estaciones de combustible, la realización de las actividades se fue dando de forma escalonada entre grupos de trabajo, es decir el grupo de actividades de obra civil ingresó primero y elaboró las actividades establecidas en el programa, posteriormente el grupo de cableado eléctrico ingresó e interconecto los transmisores instalados en las líneas de proceso hasta el cuarto de control, posteriormente, el grupo de electrónicos interconectó los nuevos computadores de flujo con los instrumentos de medición necesarios, y finalmente el grupo de desarrollo SCADA instaló las herramientas de software en los servidores asignados, comunicó la solución con los equipos del cuarto de control.

- **Validación de funcionamiento:** Estas actividades correspondieron a la realización de pruebas de aceptación en sitio y en algunos casos se llevaron a cabo las correcciones. Esta etapa estuvo a cargo principalmente de los grupos de electrónicos y de desarrollo SCADA.

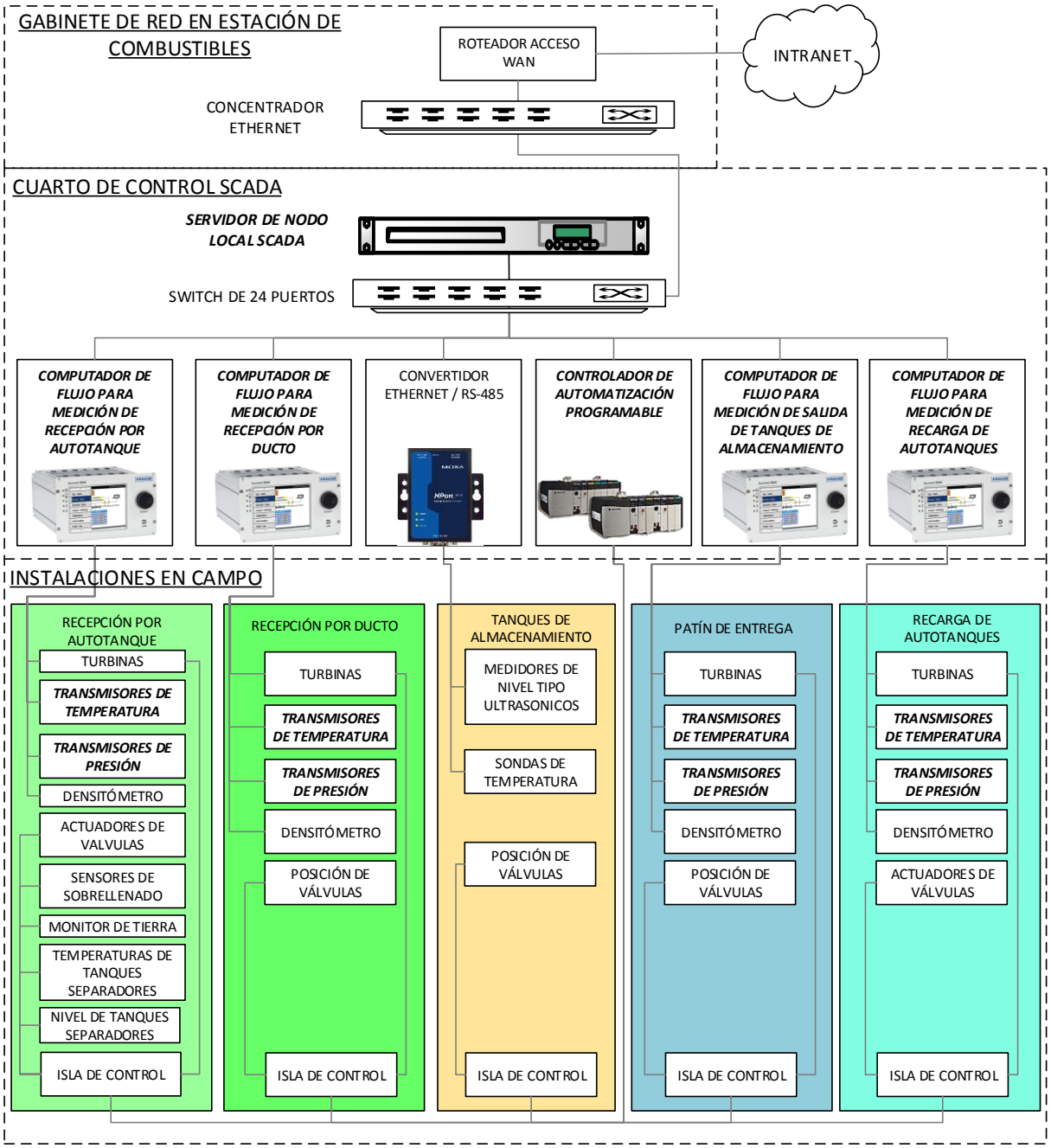
- **Entrega a ASA:** Finalmente se impartieron cursos de capacitación a personal operativo de las estaciones de combustible, así como al personal de las Oficinas Centrales, en cuyas instalaciones se puede consultar el sistema mediante la interfaz web desarrollada.

6.2 Arquitectura definida para el sistema SCADA

Para obtener un mayor control de la ejecución y pruebas de desarrollo de los trabajos, el diseño de la solución implementada se dividió en dos vertientes: hardware y software, las cuales serán explicadas a continuación:

6.2.1 Hardware del sistema SCADA:

A continuación se muestra un diagrama de interconexión de equipos e instrumentos que permiten el funcionamiento del sistema SCADA.



NOTA: LOS ELEMENTOS DENTRO DEL ALCANCE DE DESARROLLO DEL PROYECTO ESTÁN IDENTIFICADOS CON TEXTO EN ***NEGRITAS Y CURSIVAS***

Figura 9 Diagrama de interconexión de equipos e instrumentos

De acuerdo al diagrama mostrado el servidor del sistema SCADA toma información a través de tres tipos diferentes de equipos electrónicos PAC, convertidor de Ethernet y computador de flujo, los cuales están ubicados en el cuarto de control y a su vez se conectan con instrumentos de medición y actuadores.

A continuación se describirán los elementos de hardware más importantes que permiten el correcto funcionamiento del sistema SCADA.

6.2.1.1 Controlador de automatización programable

Se encuentra dentro del cuarto de control y concentra la información respectiva al control de la planta proveniente de los PLC alojados en campo, los cuales recopilan información de válvulas de control, válvulas de doble bloqueo, sistemas de bombeo, señales de botoneras, así como estatus definidos en su programación.

El PAC es de la marca Allen Bradley y modelo 1756 el cual cuenta con los siguientes módulos de comunicación:

- 1756-L61, ControlLogix L61.
- 1756-ENBT, Módulo Ethernet 10/100.
- 1756-CNBR, Módulo ControlNet redundante.
- 1756-IB32, Módulo de Entradas Digitales, 32pts, VCD.
- 1756-OB32, Modulo de Salidas Digitales, 32pts, VCD.
- 1756-OF8, Modulo de Salidas Analógicas, 8pts.
- 1756-PA72, Fuente de poder para Control Logix.
- 1756-A7, Chasis para Control Logix, 7 ranuras.

Este PAC se comunica con procesadores marca Allen Bradley y modelo Flexlogix los cuales se encuentran instalados en las cajas de paso de cada sistema de medición, los cuales controlan el funcionamiento de válvulas y bombas para el paso de flujo por las tuberías.

6.2.1.2 Convertidor de Protocolos

Encapsula la información en protocolo modbus y le asigna una IP para que sea localizable a través de una red TCP/IP para que el sistema SCADA recupere la información. Esta información proviene de los medidores de nivel tipo ultrasónicos instalados en los tanques verticales de almacenamiento de turbosina los cuales envían la información mediante protocolo Modbus RTU a través de cables tipo par trenzado de dos hilos.

6.2.1.3 Computador de flujo:

- Que concentra la información respectiva a la medición y cuantificación en las líneas de proceso proveniente de los transmisores de presión, transmisores de temperatura, densitómetros, medidores de flujo tipo turbina, así como los registros de medición generados, tales como acumulados diarios, promedios ponderados, acumulados horarios, entre otros.
- Debido a factores como el tipo de producto manejado, en este caso turbosina, tipo de procesos a monitorear, medición por lotes, y requerimientos de comunicación con el sistema SCADA se optó por utilizar computadores de flujo de la marca Krohne, proveniente de Alemania, los cuales tienen las siguientes características:

Figura 10 Computador de Flujo Krohne

- Computador de flujo de nueva generación.
- Bajo costo de operación y bajo costo de mantenimiento por su diseño y comunicación.
- Alimentación eléctrica 22 a 28 VCD. Fusible de protección de 3.15A. Conector de descarga a tierra que se encuentra en la parte trasera del chasis.
- Pantalla de panel táctil de cristal líquido de 5.7” a color con selector giratorio óptico para la navegación local
- Tipo de medición: Turbina de líquido u otro tipo de medidor con señal de salida de pulsos.

- El computador de flujo SUMMIT 8800 consiste en una unidad de procesamiento central (CPU) principal y hasta 6 tarjetas auxiliares de entradas/salidas o de comunicación.
- Cada tarjeta analógica cuenta con:
  - 3 Entradas de pulso para medición de frecuencia, para usar con medidores tipo turbina, medidores rotatorios, densitómetros, transductores de densidad relativa.
  - 2 Entradas digitales para usar con switch o contactos.
  - 1 salida tipo HART, la cual puede enviar información de hasta 3 transmisores, con variables de presión, temperatura o presión diferencial
  - 1 entrada para medir variación de resistividad para la medición de temperatura con RTD.
  - 4 entradas analógicas de corriente de 4 a 20 mA para transmisores analógicos para presión, temperatura o presión diferencial
  - 3 salidas digitales para envío de alarmas
  - 3 salidas analógicas de corriente de 4 a 20 mA
  - 1 puerto de comunicación serial RS232 o RS485 halfduplex, para obtener información vía serial.
- Por cada tarjeta analógica se cuenta con 3 puertos RS232 / RS485 con aislamiento galvánico y con protocolo modbus para comunicación con SCADA, impresoras o equipos con protocolo modbus RTU.
- Conexión USB en panel frontal de alta velocidad para carga de configuración, actualización de firmware y recuperación de información almacenada
- Tarjeta de comunicaciones con 2 puertos Ethernet de 10/100 MHz de velocidad con conector de puerto tipo RJ45 con indicadores IEEE 802.3 y protocolo TCP/IP. Slot para tarjeta de almacenamiento de hasta 4 GB, para almacenamiento de registros.
- Procesador de 32 bits, con ciclo de cálculo de ¼ de segundo máximo y procesador dedicado por cada tarjeta.
- El computador de flujo tiene la capacidad de sincronizarse con un servidor de tiempo ubicado en la red.
- Memoria interna con capacidad de 64 MB, expandible hasta 4 GB utilizando una tarjeta SD.

- El computador de flujo contiene una tarjeta de memoria reemplazable y puede ser sustituida en cualquier momento retirándola de su ranura ubicada en la tarjeta madre.
- El computador de flujo está aprobado para medición fiscal (transferencia de custodia) y medición de despacho, ambas mediciones en un mismo computador flujo.
- Batería de respaldo de RAM debe ser reemplazada cuando su tiempo de vida de servicio excede diez años.
- El computador permite incorporar mímicos de las líneas de proceso, los cuales son totalmente gráficos y pueden mostrar equipos de proceso, estatus de desempeño, botones de control y cualquier gráfico que se desee.
- El computador de flujo lleva a cabo la corrección de la medición de líquidos a condiciones estándar, la cual puede llevarse a cabo a cualquiera de las siguientes condiciones de temperatura (15ºC, 20ºC, 60ºF) y de presión (1.01325 bar, 101.325 kPa, 14.73 psi)
- Aprobado para aplicaciones de Transferencia de Custodia

6.2.1.4 Transmisores de Presión

Los transmisores de presión suministrados fueron de la marca FOXBORO y modelo IGP25-T22E1F-M1Z1L1. Con las siguientes características técnicas:

- Alimentación 11.5 a 42 Vcd.
- Rango de medición 0 a 200 psi.
- Electrónica Modular. Contenido en un gabinete nema 4x con sellos tipo o-ring para protección contra polvo u otros contaminantes.
- Display de cristal líquido con botones de configuración integrados.
- La carcasa tiene dos compartimentos para separar los componentes electrónicos de las conexiones de campo.
- Salida de señal Hart 4-20 mA.
- Exactitud de ±0.05% dentro del rango, incluye efectos de linealidad, histéresis y repetibilidad.

- El transmisor tiene la capacidad de protección contra escritura, mediante la activación de un selector.
- Resiste temperaturas ambiente de -54°C a 85°C
- Humedad Relativa de 0 hasta 100%.
- El transmisor cumple con inmunidad a interferencias electromagnéticas.
- Intrínsecamente seguro con certificado FM para la clase I, división 1, grupos A, B, C, y D; Clase II, División 1, Grupos E, F y G; T4 Y Clase III, División 1; Clase I, División 2, Grupos A, B, C, y D; T4; Clase II, Grupos F y G; Y Clase III, División 2 de explosiones para la clase I, división 1, grupos B, C y D; T4; Polvo-ignición de la categoría II, División 1, Grupos E, F, G; Y Clase III, Div Zona 1.
- Conexión a proceso ½" NPT tipo threadelot (rosca interna).

Figura 11 Transmisores de presión

6.2.1.5 Transmisores de Temperatura

Los transmisores de temperatura suministrados fueron de la marca Foxboro y modelo RTT20-T1SNQFD-L3, los cuales tienen las siguientes características:

- El transmisor puede tener el sensor acoplado de manera integral para ser montado directamente al proceso o puede estar configurado para que el transmisor se monte de forma remota al proceso.

- Cuenta con indicador configurador de cristal líquido de tres líneas.
- El módulo se puede girar en incrementos de 90 grados para alinear el indicador para una fácil visualización.
- Alimentación 12 a 42 Vcd.
- Salida digital 4-20 mA con protocolo HART.
- Permite conectar RTD de platino de 2,3 o 4 hilos.
- Exactitud ±0.1°C la exactitud para salida de 4-20 mA se obtiene adicionando 0.05% a la exactitud de la salida digital que es de 0.05%.
- Estabilidad de transmisión <0,05% de lectura de entrada (mV o Ω) por año.
- Exactitud de la salida digital de 0.05%.
- Todos los parámetros son configurables a través de un configurador instalable.
- Alcance de medición -200 a 850 °C.
- Conexión a conduit ½" NPT. En nuestro caso se suministrará el transmisor con un adaptador a ¾ de aluminio libre de cobre.
- Resiste temperaturas ambiente de -54°C a 85°C.
- Humedad relativa de 0 hasta 100%.
- Intrínsecamente seguro con certificado FM para la clase I, división 1, grupos A, B, C, y D; Clase II, División 1, Grupos E, F y G; T4 Y Clase III, División 1; Clase I, División 2, Grupos A, B, C, y D; T4; Clase II, Grupos F y G; Y Clase III, División 2 de explosiones para la clase I, división 1, grupos B, C y D; T4; Polvo-ignición de la categoría II, División 1, Grupos E, F, G; Y Clase III, Div Zona 1.

Figura 12 Transmisores de Temperatura

6.2.1.6 Cableado eléctrico

Se utilizó cable par trenzado, blindado para omitir la inducción de ruido en las líneas de comunicación.

Debido a recomendaciones metrológicas, se solicitó que los transmisores de presión y temperatura fueran conectados punto a punto con el computador de flujo, a través de salida 4 a 20 mA con protocolo Hart, así mismo se tomaron las conexiones existentes para los trenes de pulsos correspondientes a la medición de flujo con las turbinas y al densitómetro.

Con esta configuración se determinaron las rutas de cableado para interconectar dichos transmisores:

- El cuarto de control quedó interconectado hasta las cajas de paso correspondientes a cada uno de los sistemas de medición.
- De las cajas de paso se cablean las señales hacia cada instrumento de cada línea de medición.

De ésta manera la señal y alimentación de cada instrumento puede ser manipulada o verificada desde tres puntos:

- Cuarto de control
- Cajas de paso
- Instrumento en línea

6.2.2 Software del sistema SCADA:

Una vez que se tiene disponible la información proveniente de los instrumentos en campo, esta debe ser presentada en distintas interfaces hombre máquina, las cuales en conjunto deben proporcionar la siguiente información:

- Pantallas con información instantánea de las variables de proceso, presentadas en forma gráfica y amigable.
- Pantallas de consulta de información histórica a manera de:
  - Gráficos de tendencia
  - Reportes de operación
  - Reportes de configuración
  - Reportes auditables de medición
  - Históricos de alarmas
  - Bitácora de acceso de usuarios a información
- Información de configuración existente en los equipos de medición
- Información de estatus de los equipos de medición y control
- Interfaz de registro de recepción de combustible por descarga de autotanques provenientes de PEMEX.
- Interfaz de registro de entrega de combustible a autotanques propios de ASA, para la realización de ventas en el aeropuerto.

Esta información debe ser accesible por cualquier equipo conectado a la red interna de ASA y los equipos de registro de operaciones deben tener una interfaz diseñada específicamente para registrar esos procesos, así mismo la información generada debe integrarse de forma automática a los sistemas de administración de combustibles.

6.2.2.1 *Configuración del software que soporta el HMI*

Debido a las fuertes necesidades de ASA por tener acceso múltiple al sistema se optó por el desarrollo sobre una plataforma web, pues el software iFIX, provisto por General Electric y con el cual ya se tenía licenciamiento, presentaba fuertes limitantes de acceso concurrente.

Finalmente la arquitectura de software resultante quedó como se muestra a continuación:

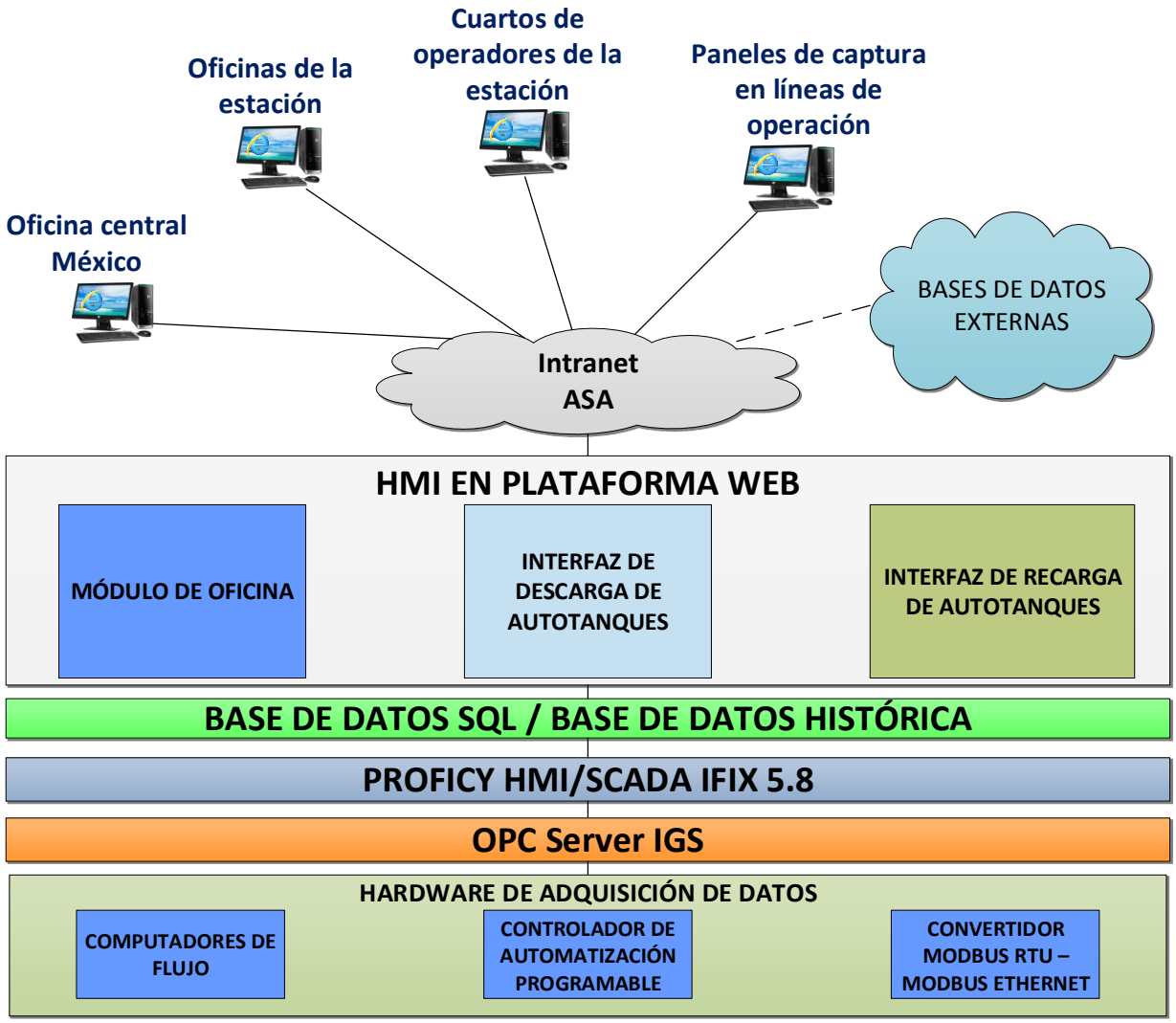


Figura 13 Arquitectura de software de sistema SCADA

Cada uno de los paquetes de software se describe a continuación.

6.2.2.2 OPC Server IGS (Intellution Gateway Server)

El cual recupera la información de los equipos de hardware, los protocolos que se utiliza son modbus Ethernet para la comunicación con los computadores de flujo y las interfaces de los medidores de los tanques, y un protocolo propio de la marca Allen Bradley el cual ayuda a comunicar con el PAC.

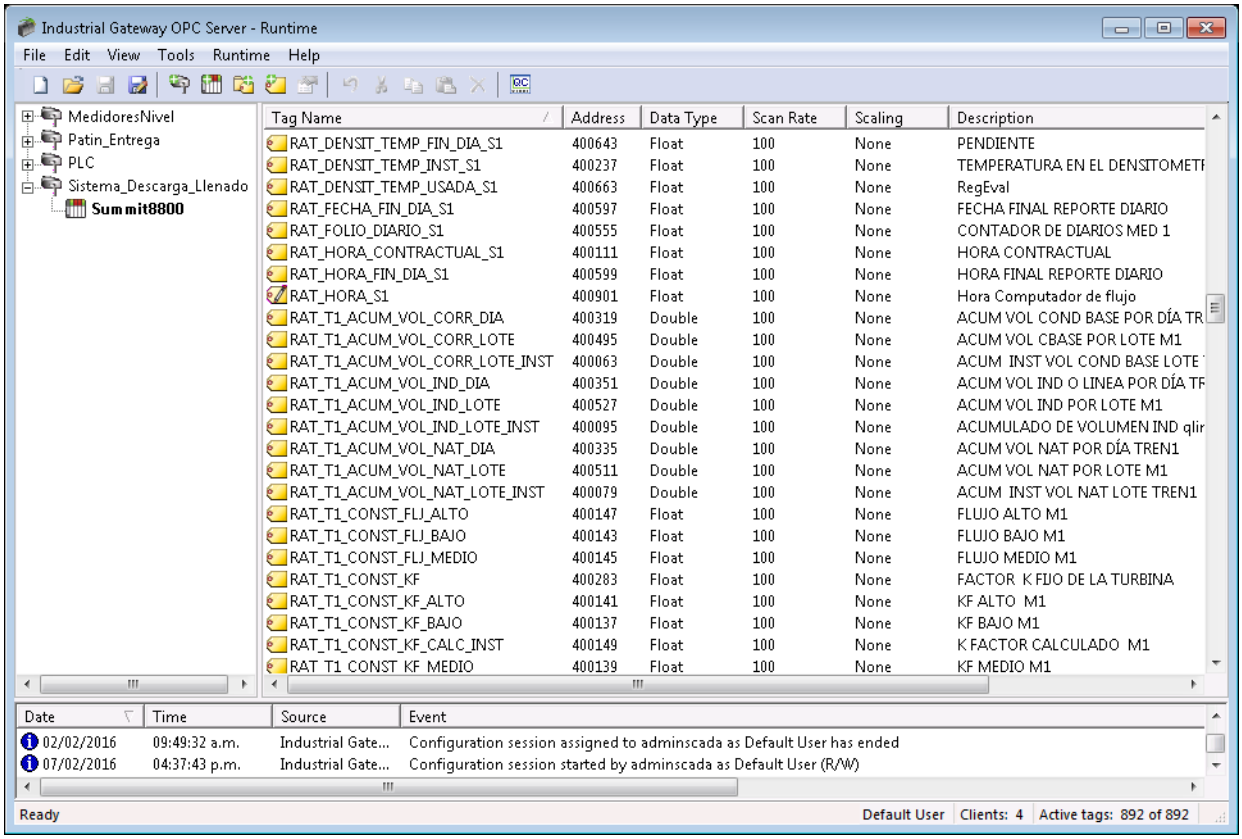


Figura 14 Mapa modbus en IGS

6.2.2.3 Proficy HMI/SCADA iFIX 5.8

Software propietario y de código cerrado. Es desarrollado por General Electric, proporciona múltiples herramientas para generar interfaces hombre máquina. Para esta implementación en específico el software se utilizó para la recuperación de información que el IGS pone a disposición, pues el iFIX cuenta con un cliente OPC. De igual manera se configuraron las secuencias para la corrección de volumen por efectos de

temperatura y presión que se realiza a los tanques de almacenamiento. Esta información la inserta en bases de datos para su posterior explotación con otras herramientas.

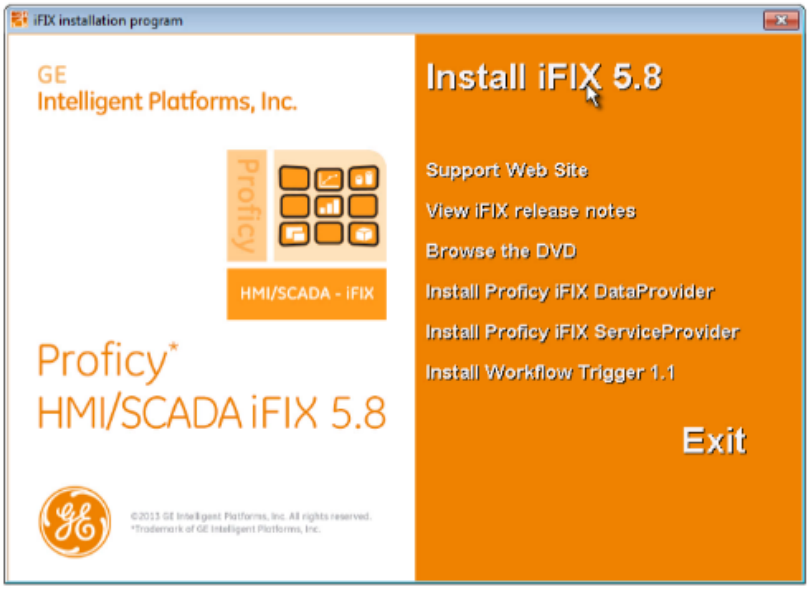


Figura 15 Proficy HMI/SCADA iFIX 5.8

6.2.2.4 Proficy iHistorian

Al igual que iFIX, iHistorian es un software propiedad de General Electric y es un manejador de bases de datos históricas. Para esta implementación éste software recibe la información que el iFIX recupera, principalmente son valores de las magnitudes monitoreadas, y las almacena de tal forma que no ocupe gran cantidad de espacio en el disco duro, y que la información sea accesible de una manera rápida y confiable.

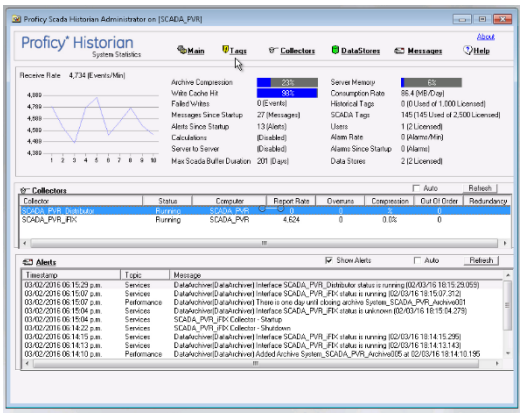


Figura 16 Proficy Historian

6.2.2.5 SQL Server 2012 R2

Es un software de uso empresarial y es desarrollado por Microsoft, se trata de un manejador de bases de datos relacionales el cual es compatible con gran cantidad de lenguajes y paquetes de software, pues maneja el estándar SQL. En esta implementación se utiliza para gestionar la base de datos principal del sistema, la cual almacena la información recuperada por el iFIX y la pone a disposición para su consulta desde la interfaz web.

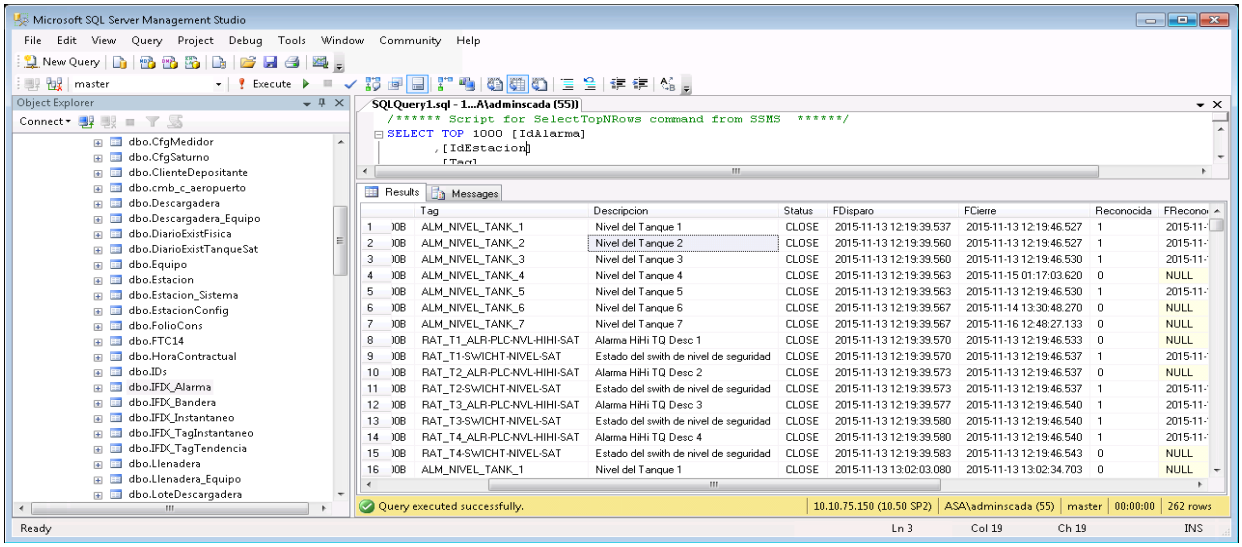


Figura 17 SQL Server con Base de Datos SCADA

6.2.2.6 IIS (Internet Information Services)

Son servicios de Windows que se habilitan en el servidor para el funcionamiento de la solución web.

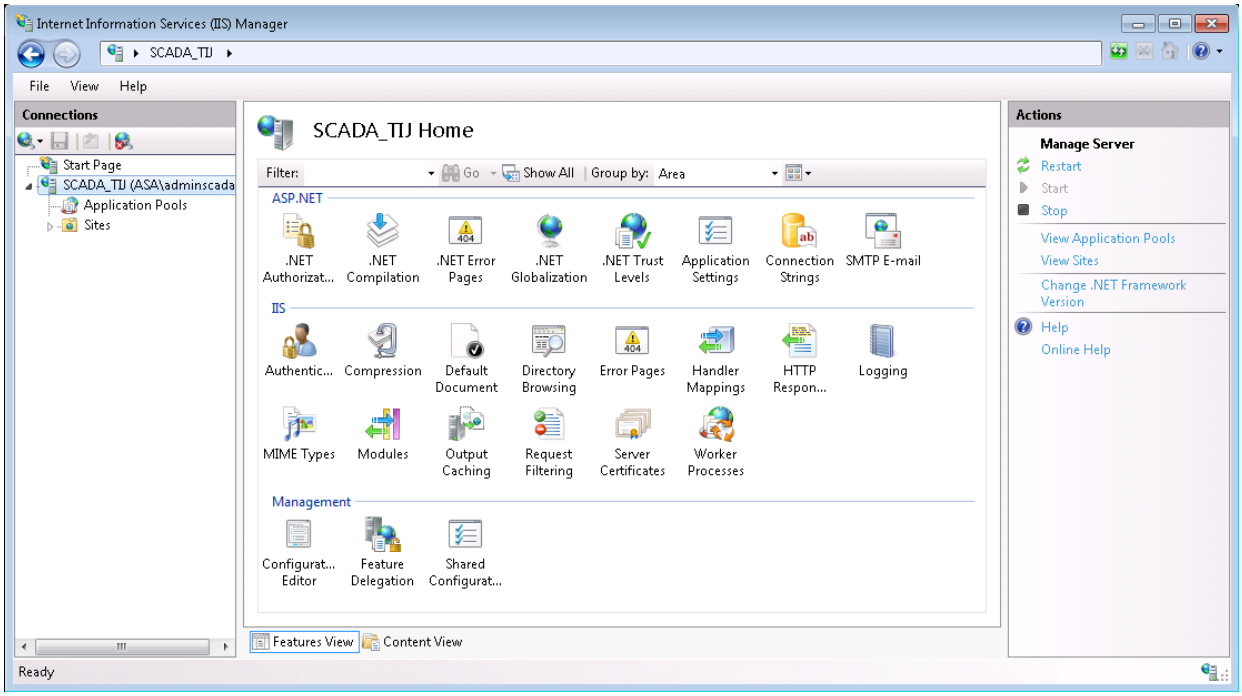


Figura 18 Internet Information Services Manager

6.2.2.7 Diseño de la Interfaz Hombre Máquina

El HMI se divide en tres partes:

- Módulo de oficina
- Interfaz de usuario para descarga de autotanques
- Interfaz de usuario para recarga de autotanques

Módulo de oficina:

Este módulo es el más utilizado ya que presenta toda la información de las líneas de recepción y entrega de combustible así como la de los tanques de almacenamiento, es accesible desde cualquier computadora conectada a la intranet de ASA. Este módulo cuenta con las siguientes funciones, las cuales van acorde a los procesos actuales de control de existencias y operaciones de planta de las estaciones de combustibles:

- Monitoreo de las variables de proceso en tiempo real:
    - Sistema de medición de entrada
    - Sistema de medición de suministro
    - Sistema de medición en la descarga de autotanques
    - Sistema de medición en la carga de autotanques

  Las variables de proceso que monitorea son flujo, temperatura, presión, densidad, acumulado del día anterior y del actual, acumulado de lotes. Todas las mediciones de volumen son ser monitoreadas tanto en condiciones de flujo, como en condiciones estándar conforme normas API 12.2.1 y API 2540.

- Monitoreo de las variables de proceso en tiempo real provenientes de los sistemas de medición de existencias en tanques de almacenamiento. Las variables de proceso que se monitorean son nivel, temperatura, densidad, existencias físicas y existencias bombeables. Todas las mediciones de volumen son monitoreadas tanto en condiciones naturales como en condiciones estándar conforme normas API 12.2.1 y API 2540.
- Monitoreo en tiempo real de las señales de estado operativo de válvulas, interruptores de posición o monitores de aterrizaje existentes en las áreas de operación del SCADA.
- Monitoreo en tiempo real de los estados operativos de las señales de control, permisivos y alarmas que manejan los controladores existentes en el sistema SCADA.
- Almacena y recupera de los históricos de tendencias de todas las variables de proceso. Se almacena la cantidad suficiente de registros para mostrar tendencias de hasta cinco años de antigüedad, a partir de la fecha de inicio de operación de la solución. El diseño de esta rutina para el manejo de históricos de tendencias proporciona consultas de información de manera ágil, robusta y confiable.
- Manejo y actualización alarmas de eventos en el área de proceso.
- Bitácora de uso y acceso al sistema.
- Cuenta con un módulo de consulta de reportes de operación y medición.

- Cuenta con mecanismos de seguridad para el control de acceso a la información, así como para evitar la manipulación de la información adquirida.
- Monitoreo y de cálculo de existencias de volumen que se tienen en el actual programa de aplicación del SCADA. Para el caso de funcionalidades de cálculo debe incluir aspectos tales como cálculo de existencias de volumen a condiciones naturales y condiciones de referencia.

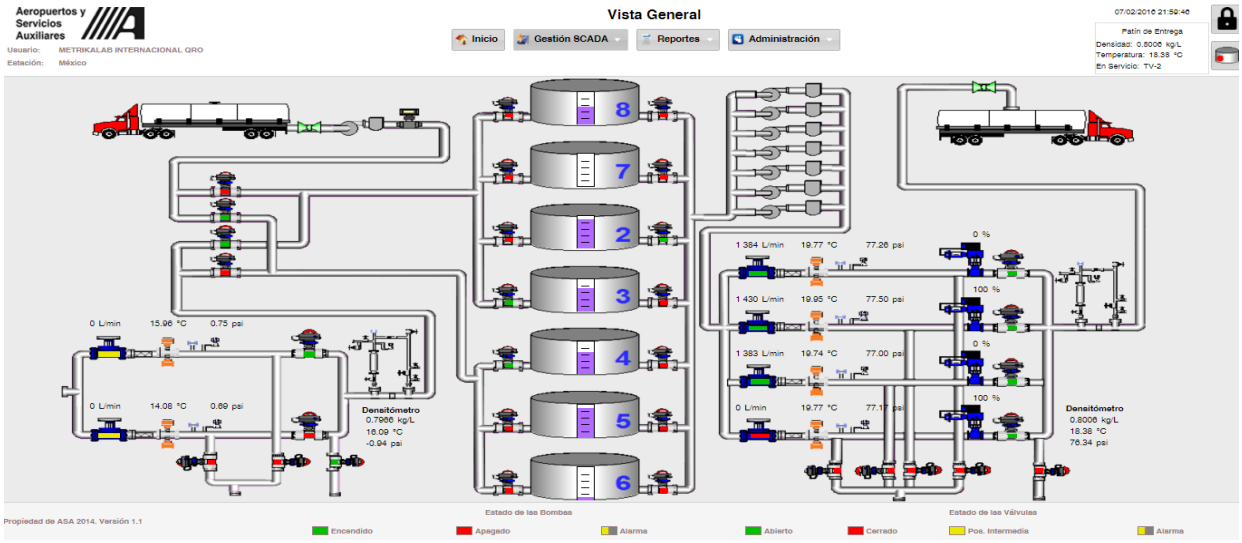


Figura 19 Módulo de Oficina

Interfaz de usuario para descarga de autotanques:

Esta interfaz permite que el técnico operativo de combustibles de aviación (TOCA) registre las operaciones de recepción de combustible de PEMEX por autotanque.

La pantalla inicial permite al operador ingresar su usuario y contraseña para acceder al sistema, posteriormente se muestra una pantalla con las siguientes características:

- Muestra una barra de menú con los datos del usuario, fecha y hora, estados de alarma de los tanques de almacenamiento y tanques separadores así como los datos de Temperatura y Densidad del patín de entrega de combustible.
- Cada computadora instalada sirve para registrar las operaciones de dos líneas de descarga, por lo que la pantalla debajo de la barra de menú se divide en dos secciones, cada una destinada para una línea de descarga.

- En cada sección se muestra un gráfico de la línea de proceso con los siguientes elementos:
    - Válvulas
    - Bombas
    - Instrumentos de medición
    - Tubería
    - Tanque separador
- En cada sección se muestran las variables y unidades de medida basándose en el Sistema Internacional de Medidas así como el modo y estado de operación de cada línea de descarga.
- En la parte inferior de la pantalla se muestran las descripciones de los estados de los elementos de las líneas de descarga.

Cuando el técnico selecciona la opción de descargar, se despliega un formulario con los siguientes campos requeridos:

- Información de PEMEX: Terminal de procedencia, número de vehículo PEMEX, densidad estándar del combustible y número de remisión asignado.
- Tanque de almacenamiento receptor del combustible
- Resultados de las pruebas de calidad del combustible:
    - Número de prueba
    - Satisfacción de combustible claro y brillante
    - Satisfacción de olor
    - Combustible libre de agua
    - Detección de surfactantes
    - Temperatura
    - Densidad
- Observaciones: Si por alguna razón los datos ingresados no son válidos, la solución muestra un mensaje de advertencia y solicita la autorización por parte de un usuario con la facultad de autorizar descargas incongruentes con la operación.

Cuando la información requerida sea aprobada y el algoritmo del controlador ya validó que se cumplan las condiciones físicas para iniciar el proceso de recepción se permite continuar con el proceso de descarga mediante una la lámpara indicadora de permisivos instalada en la botonera.

Una vez iniciada la descarga, se muestra el gráfico de la línea mostrando la siguiente información:

- Estados de la operación.
- Nivel y volumen del tanque separador.
- Modo de operación.
- Fecha y hora inicial de la operación.
- Fecha y hora de fin de la operación.
- Lectura inicial y lectura final.
- Flujo y presión en la línea.
- Temperatura y densidad del combustible.
- Volumen acumulado.

Al terminar el proceso de descarga en el módulo se deberá activar el botón de Fin.

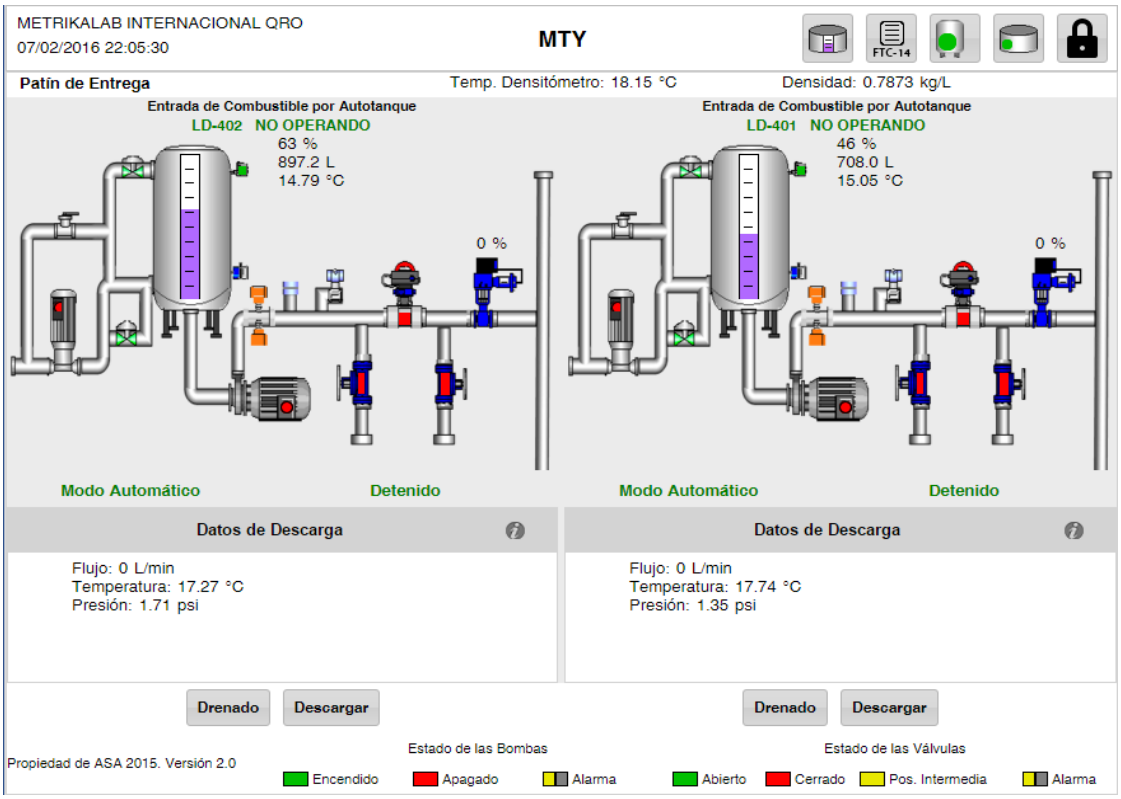


Figura 20 Módulo de Descarga de Autotanques

Interfaz de usuario para recarga de autotanques:

Esta interfaz es utilizada para el caso de la recarga de combustible de autotanques de ASA y su funcionamiento es de la siguiente forma:

El técnico ingresa su número de usuario y contraseña para poder acceder a la pantalla de registro. Una vez autenticado, en la pantalla se muestra una barra de menú del empleado, fecha y hora, datos de temperatura y densidad del patín de entrega, así como un icono con el estado de alarma de los tanques de almacenamiento de la estación.

Adicionalmente aparece un formulario para ingresar los datos de la recarga de autotanque ASA los cuales son:

- Línea de carga.
- Tanque de servicio.
- Vehículo ASA.

- Observaciones.

De igual manera, se muestran las variables de temperatura, presión y flujo del sistema de recarga.

Cuando la información es capturada, el sistema registra los datos de la operación, los cuales son:

- Hora inicial y final de la recarga.
- Lectura inicial y final del registro.
- Cantidad de litros suministrados.
- Número de remisión único.

El técnico verifica en la botonera que la lámpara indicadora de color verde se encuentre encendida para iniciar el proceso de carga.

Al finalizar la recarga, en la pantalla se habilitará el botón de Fin para que el operador de concluya la operación, en ese momento el sistema deberá generar el registro correspondiente con los datos obtenidos de la carga de combustible, almacenarlos y dejarlos disponibles para su procesamiento o consulta a través del módulo de oficina.

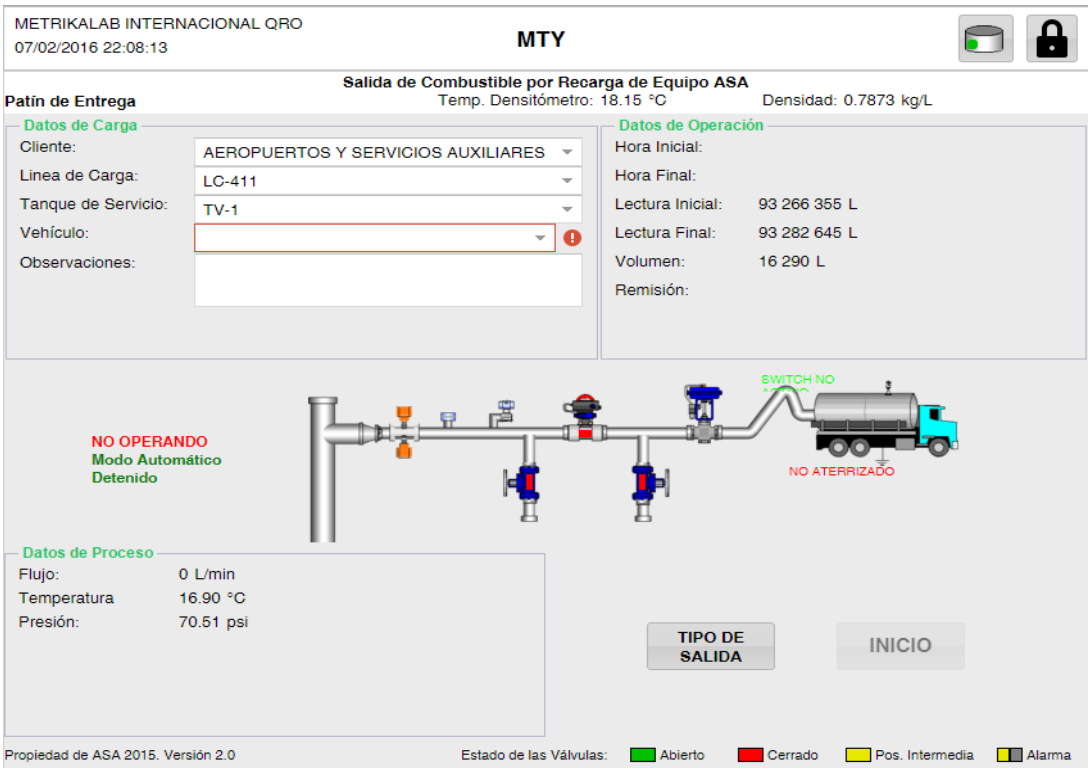


Figura 21 Módulo de recarga de autotanques

6.3 Proceso de Desarrollo del Sistema

Para poder definir los requerimientos se delimitaron las áreas de proceso en las cuales tendrá alcance el proyecto, resultando las siguientes:

- Sistemas de recepción del combustible provisto por PEMEX el cual se compone del sistema de descarga de autotanques y del ducto de recepción de combustible.
- Sistemas de medición de existencias de combustible el cual está constituido por los tanques de almacenamiento.
- Salida de combustible de los tanques de almacenamiento el cual comprende el sistema de medición de salida de tanques y el sistema de relleno de autotanques. Se aclara que las tomas implementadas en las pistas de los aeropuertos no son consideradas en el alcance de supervisión del SCADA.

Cada uno de estos sistemas se compone de instrumentos de medición para el monitoreo de inventarios de combustible.

Una vez que se definió para cada estación de combustibles la cantidad de puntos de medición que deberían ser monitoreados, se definieron los equipos e instrumentos de medición que requerían ser sustituidos, resultando ser:

- Transmisores de temperatura correspondientes a los sistemas de recepción y entrega de combustible.
- Transmisores de presión correspondientes a los sistemas de recepción y entrega de combustible.
- Computadores de flujo.

Se definieron los requerimientos para llevar a cabo la optimización del sistema tomando en cuenta:

- Infraestructura actual de la estación de combustibles.
- Buses de transmisión de información requeridos por los equipos e instrumentos de medición y control que componen el sistema SCADA.
- Protocolos de comunicación óptimos entre instrumentos y equipos.
- Protocolos de comunicación óptimos entre equipos y servidor SCADA.
- Ubicación de cuarto de control y gabinete.
- Ubicación de equipos de medición y control.
- Ubicación de sensores y transmisores de temperatura y presión.
- Ubicación de medidores de flujo tipo turbina.
- Ubicación de medidores de densidad.

Se definieron las necesidades de información que el usuario requería, tales como:

- Reportes de medición.
- Criterios de alarma.
- Históricos de alarma.
- Animaciones de mímicos deseados.
- Control de válvulas y actuadores.
- Magnitudes para verificar en gráficos de tendencia.

- Consolas de registro de información para la operación de la estación de combustibles.

Cuando se tuvieron definidos los requerimientos y el estado en el que se encontraba cada estación se realizó una propuesta técnica de ejecución de los trabajos:
Se definieron cuadrillas de trabajo de acuerdo a los tipos de actividades a realizar, las cuadrillas propuestas fueron las siguientes:

- Cuadrilla para coordinación y control de proyecto: Quien fue responsable ante ASA para la coordinación de la ejecución de las actividades, así como las adquisiciones de bienes y servicios utilizados dentro del proyecto, de igual manera verificó que en todo momento se cumpliera con los reglamentos de seguridad de ASA, también fue responsable de que los trabajos se hayan ejecutado con total apego al plan de calidad de la Empresa.
- Cuadrilla para obra civil: Fue la encargada de la ejecución de trabajos relacionados con aspectos de obra civil, tales como demoliciones, ranurados de vialidades, construcción de registros y enfocados eléctricos. La realización de los trabajos se ejecutó conforme a planos desarrollados por el personal de ingeniería tanto de ASA como de la Empresa.
- Cuadrilla para trabajos eléctricos: Fue la encargada de la ejecución de trabajos relacionados a aspectos eléctricos, tales como canalizaciones y cableados eléctricos, conexionado y energizado de equipos e instrumentos, de igual manera la realización de los trabajos se ejecutó conforme a planos desarrollados por el personal de ingeniería tanto de ASA como de la empresa.
- Cuadrilla para trabajos electrónicos: Fue la encargada de los trabajos electrónicos, tales como configuración, instalación y pruebas correspondientes para los computadores de flujo, transmisores de temperatura y transmisores de presión.
- Cuadrilla para implementación de aplicativo: Fue la responsable del desarrollo, configuración, instalación, pruebas, puesta en marcha y entrenamiento de la HMI así como la consola de supervisión SCADA así como la capacitación a usuarios.

Durante la ejecución del proyecto se mantuvo comunicación directa con el personal operativo de ASA, para ajustar funcionalidades requeridas.

De igual manera se determinó el periodo de tiempo en el que se desarrollarían las actividades del proyecto de acuerdo a tiempos solicitados en el contrato, tiempos de entrega de equipos requeridos, cantidad de instrumentos a instalar, cantidad y complejidad de información que se requería que el sistema manejara y finalmente la disponibilidad de cada estación para permitir ventanas de tiempo ya sea con paro de planta o toma de registros de forma manual, en las cuales se lleve a cabo la instalación de los servicios.

7 Participación profesional

Durante el desarrollo de este proyecto participe dentro del grupo de implementación del aplicativo SCADA, debido a mis conocimientos de programación de software y mi formación como ingeniero eléctrico electrónico en gran parte fungí como la interconexión entre este grupo y el grupo de electrónicos y las actividades que realicé fueron las siguientes:

- **Realicé la configuración del Computador de Flujo:** En total generé quince configuraciones para los computadores instalados en las estaciones de combustibles, los cuales se distribuyeron de la siguiente manera:

    - Tres en Puerto Vallarta, Jalisco
    - Dos en Monterrey, Nuevo León
    - Dos en Guadalajara, Jalisco
    - Cinco en la Ciudad de México
    - Tres en Cancún, Quintana Roo

  Dicha configuración se realiza sobre un software propio de la marca de computadores de flujo suministrados, llamado “Summit Configuration” y se compone de distintos módulos en donde definí los parámetros requeridos para la implementación del sistema.

  En el módulo de hardware definí las tarjetas de adquisición de datos utilizadas en los equipos, las cuales fueron “Analog I/O”, dentro de cada tarjeta definí las magnitudes a las que correspondía cada entrada.

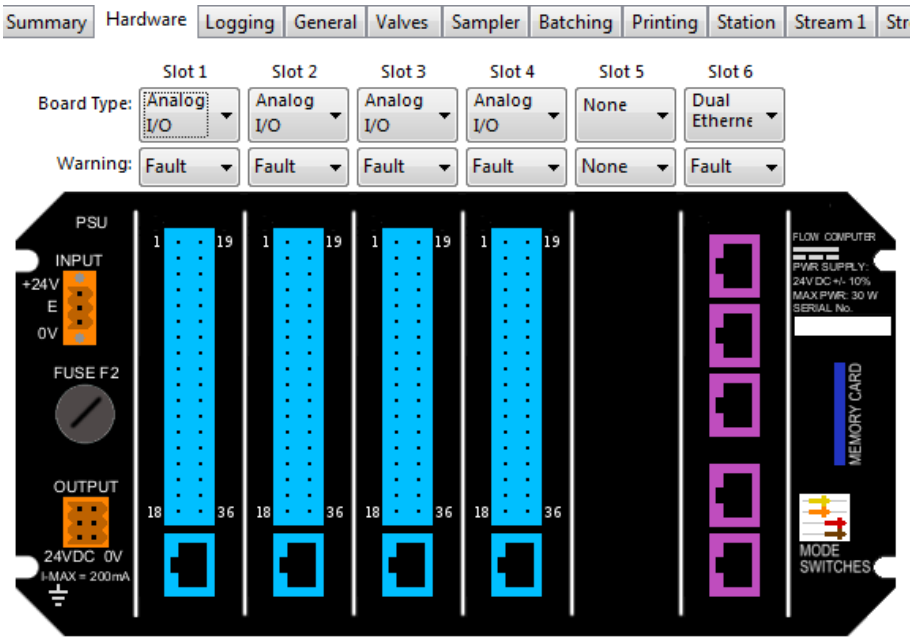


Figura 22 Configuración de comunicación y adquisición de datos

También en este módulo definí los parámetros de la comunicación a través de la tarjeta de red, en donde asigné la IP del equipo para que este pudiera ser accesible a través de la red TCP/IP, así mismo establecí el mapa modbus en el cual se define toda la información que el de desea que computador de flujo comparta en tiempo real con el sistema SCADA.

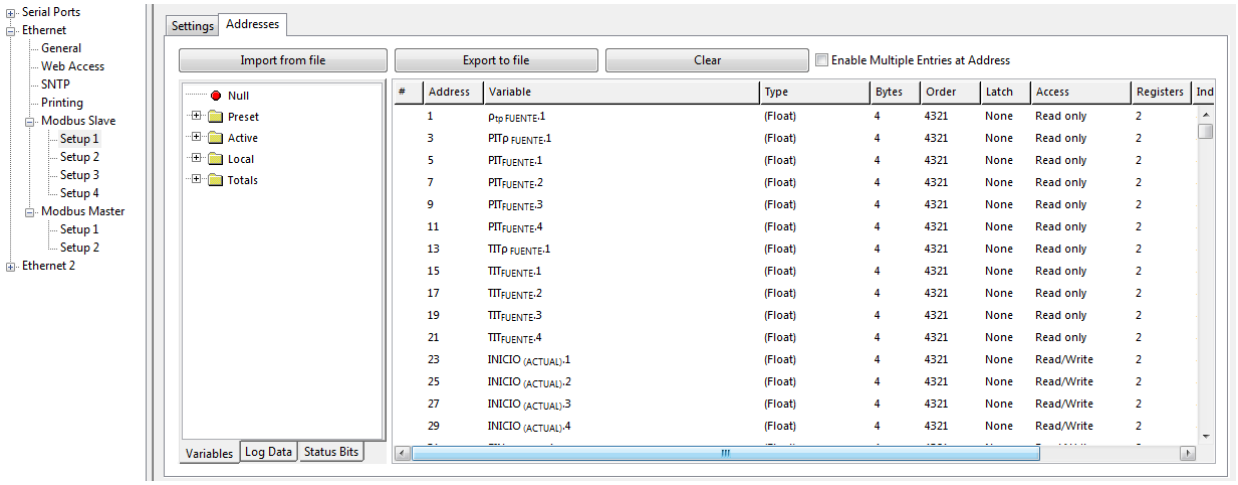


Figura 23 Configuración de mapa Modbus

En el módulo de reportes establecí los parámetros para que el equipo genere los reportes de medición, los cuales resultaron ser reportes diarios, reportes horarios y reportes por lotes. La información contenida en dichos reportes fue determinada de

tal manera que pudiera verificarse la correcta corrección de volumen mediante la norma API 11.1.

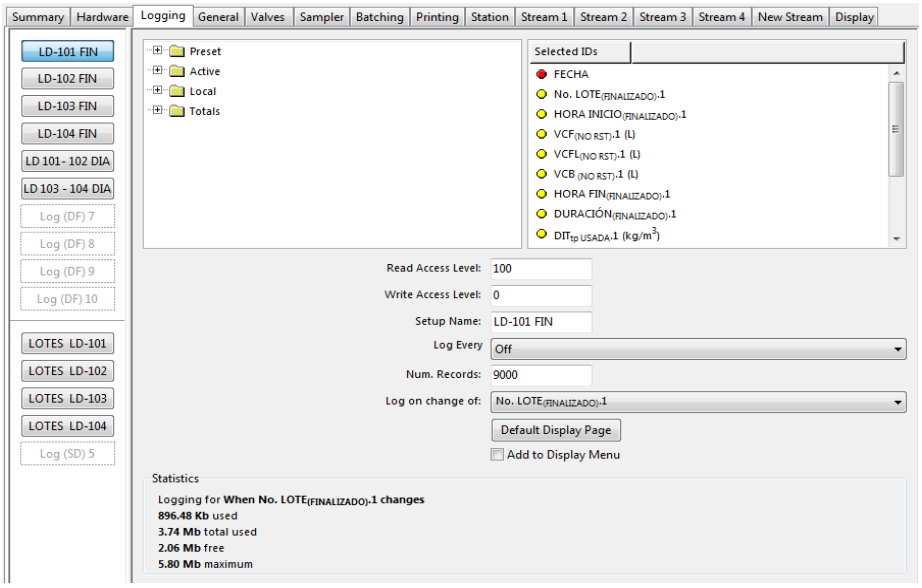


Figura 24 Configuración de registros de medición

En el módulo de parámetros generales establecí los parámetros de identidad del computador de flujo, tales como tag, nombre, zona horaria, hora de corte de la estación, idioma de la interfaz, tiempo de ciclo de cálculo, tipo de producto que medirá, parámetros de configuración accesibles a operadores en la planta, redundancia de medición con otro equipo, entre otros parámetros.

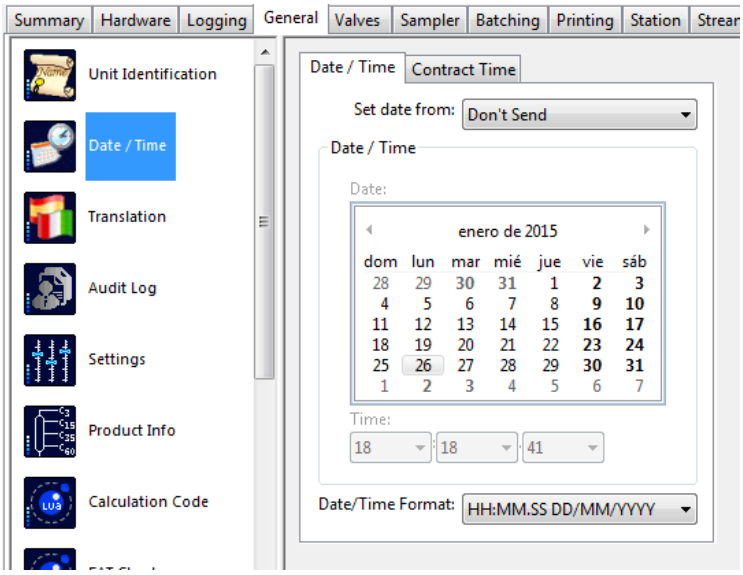


Figura 25 Configuración de fecha y hora

En el módulo de lotes definí la modalidad en la que el equipo seccionaría los lotes, así como la variable que determinaría el inicio y la que determinaría el fin de la medición.

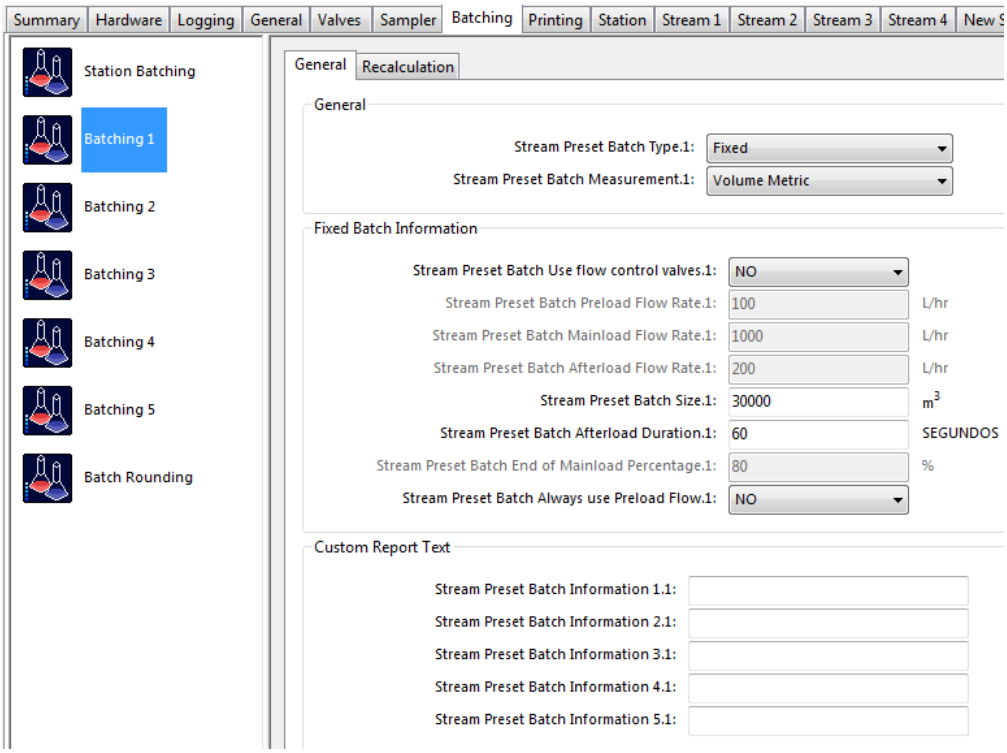


Figura 26 Configuración de medición por lotes

Existe un módulo dedicado a configuración de cada línea de medición en el que establecí parámetros como manejo de unidades de medida, factores K de las turbinas, norma de conversión de pulsos de la turbina, curva de calibración de las turbinas, norma a ocupar para la corrección de volumen, factores de medición para el densitómetro, nombre de la línea, configuración de los contadores no reseteables, entre otros parámetros.

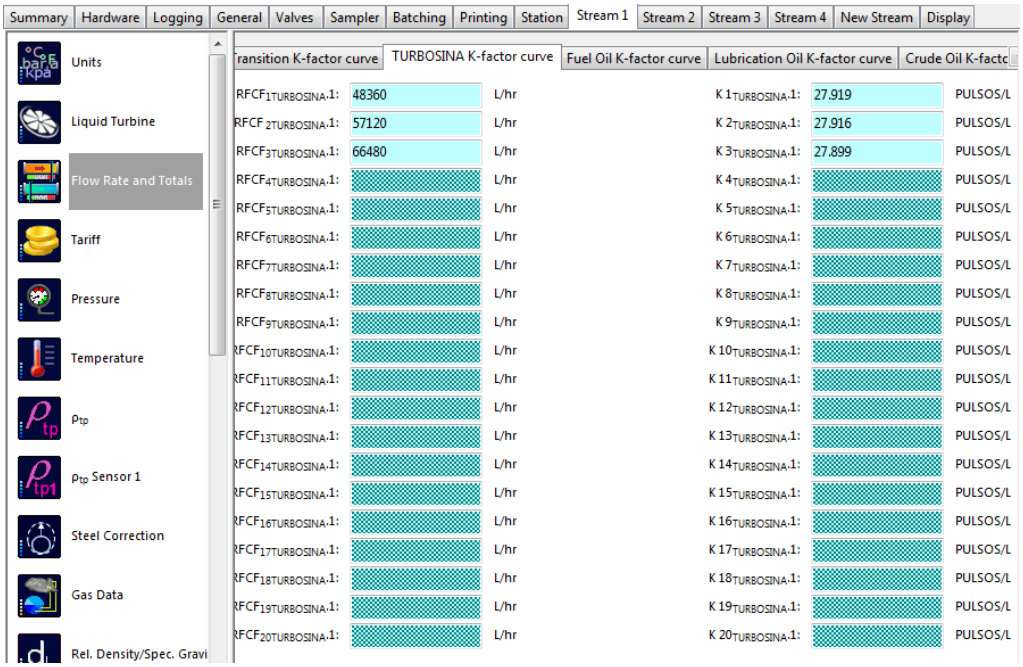


Figura 27 Configuración de curva de calibración

- **Mapas de comunicación con equipos adquisidores:** Dichos mapas los elaboré en el servidor OPC IGS dentro del servidor asignado en cada una de las estaciones. Estos mapas se comunican con los equipos que recuperan la información de campo. Definí el tipo de protocolo que utilizan, la dirección IP que tienen asignada y el puerto por el cual se comunicarían dichos equipos.

  Para obtener la información de medición de los tanques de almacenamiento utilicé el protocolo Modbus TCP/IP con encapsulado Ethernet, el cual es manejado por los convertidores de protocolo instalados en el cuarto de control.

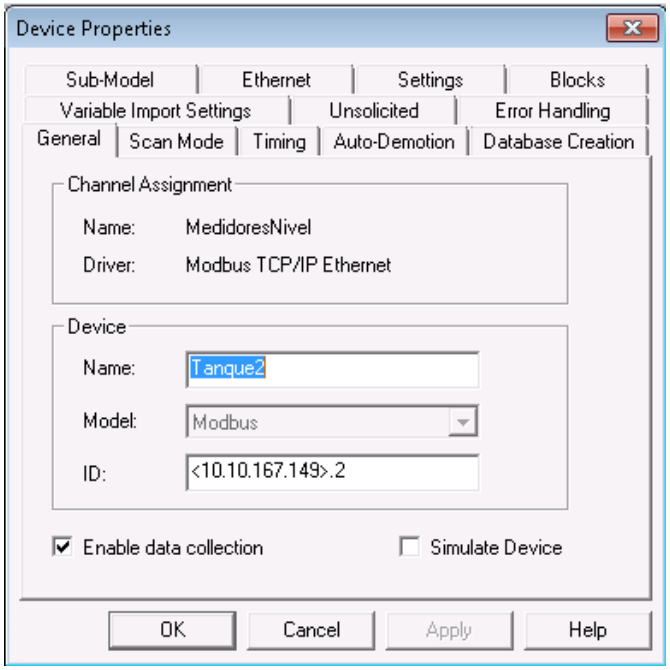


Figura 28 Configuración de canal de comunicación para tanques

Para obtener la información proveniente de las válvulas, bombas e interruptores de nivel ocupé el protocolo propio de la marca Allen Bradley llamado “Control Logix Ethernet” el cual se comunica con el PAC instalado en el cuarto de control y este a su vez se comunica con los procesadores instalados en campo para cada uno de los sistemas de medición.

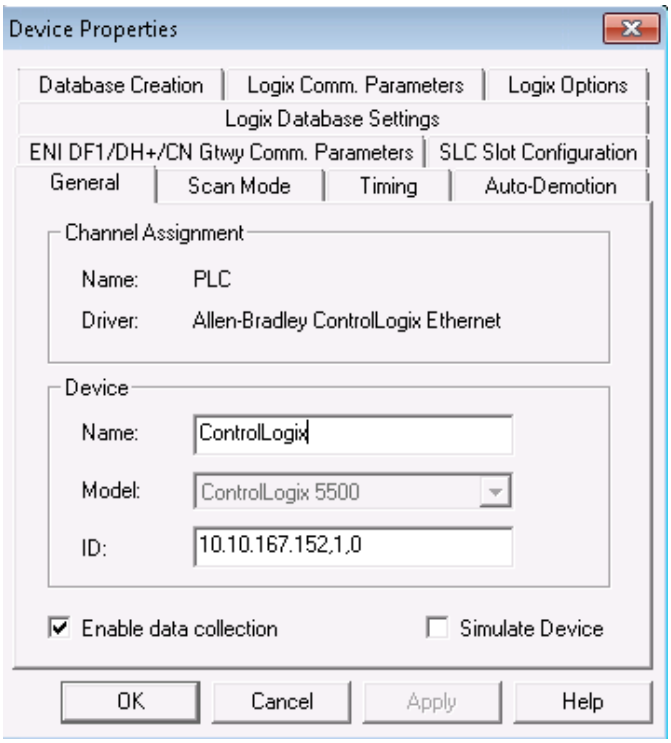


Figura 29 Configuración de canal de comunicación para PAC

Finalmente para obtener la información de los computadores de flujo también utilicé el protocolo de comunicación Modbus TCP/IP con encapsulado Ethernet.

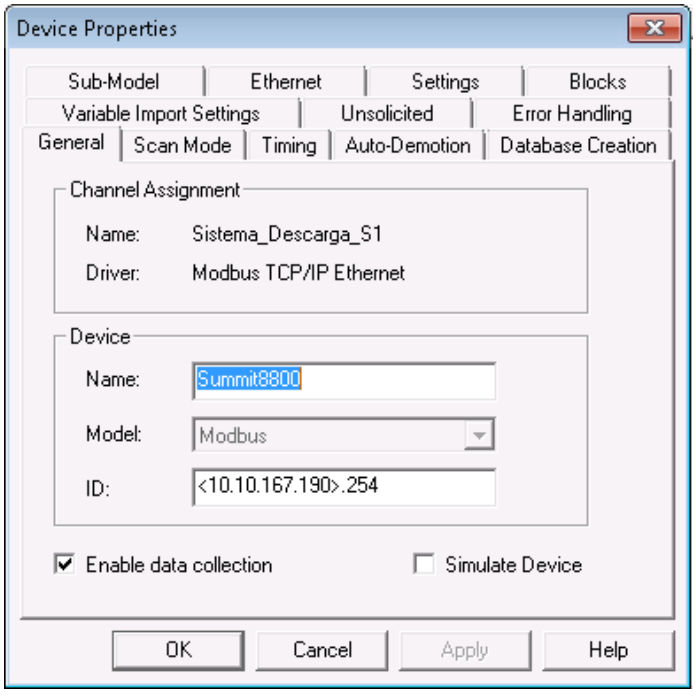


Figura 30 Configuración de canal de comunicación para computador de flujo

Para cada uno de los canales configurados, definí un listado con las variables requeridas para el funcionamiento de las interfaces.

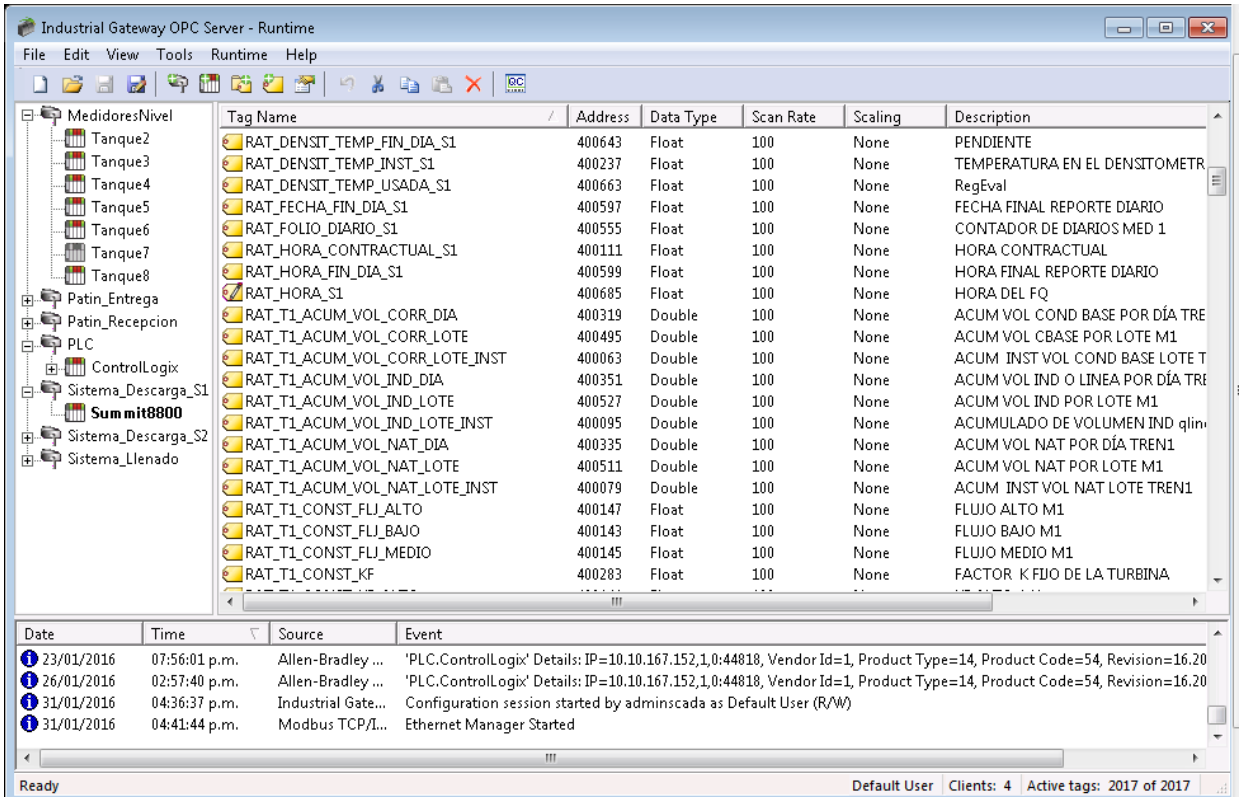


Figura 31 IGS con mapas de comunicación con equipos

Finalmente realicé pruebas de correcta comunicación con cada uno de los equipos, validando que los valores recibidos fueran congruentes con lo solicitado.

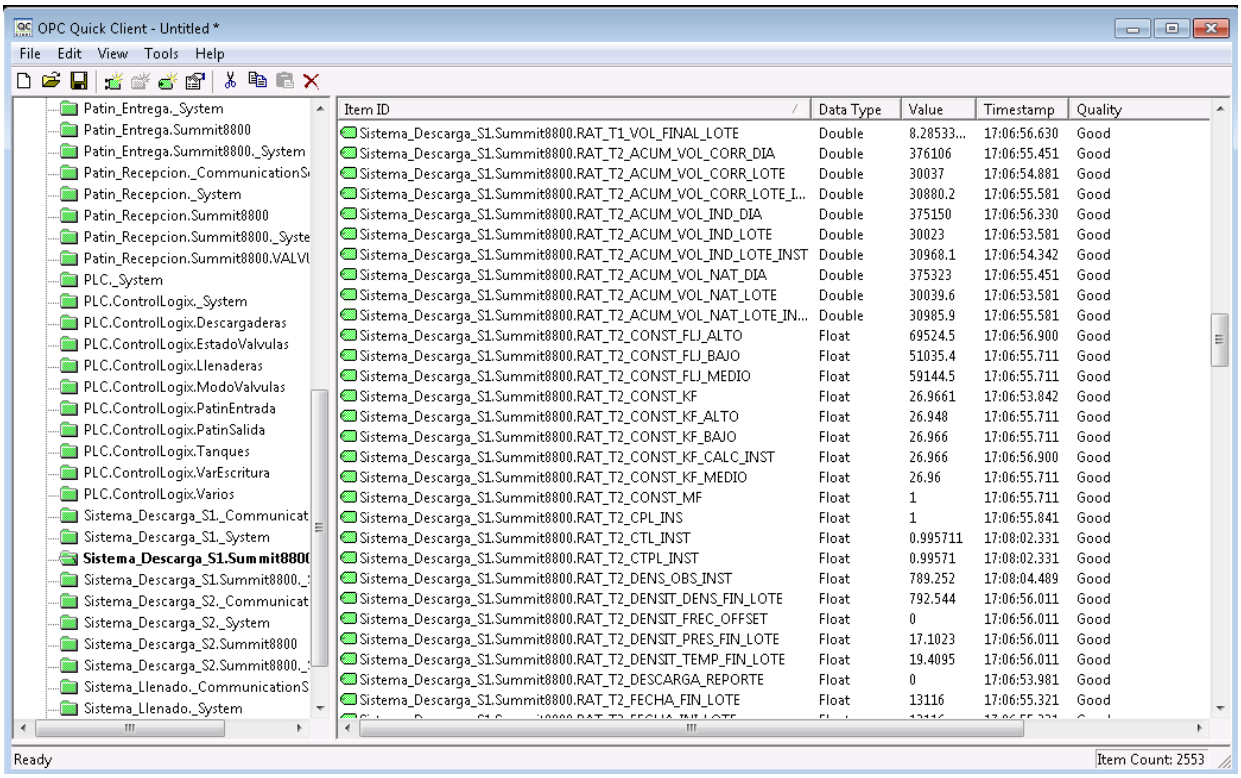


Figura 32 Cliente para pruebas en IGS

- **Diseño y elaboración de la Base de Datos:** La cual fue implementada sobre el manejador SQL Server. Esta base de datos soporta el funcionamiento de las interfaces, además de almacenar registros de medición y alarmas, funciona como el vínculo entre los software de adquisición de datos y la herramienta web de consulta.

  Junto con el grupo de desarrollo, llevé a cabo el diseño de la base de datos mediante un diagrama entidad relación.

  Posteriormente creé las tablas y las relacioné de acuerdo a lo establecido en el diagrama.

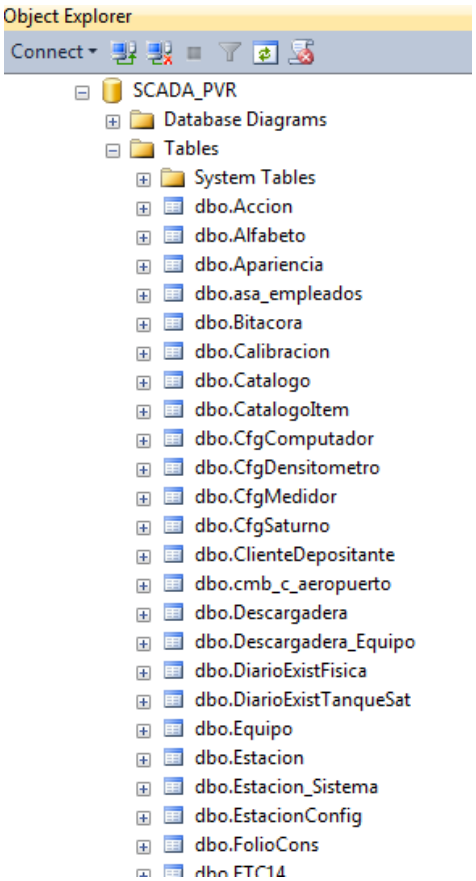


Figura 33 Tablas de la base de datos

Finalmente programé los procedimientos almacenados que sirven como interfaz entre la base de datos y las aplicaciones externas.

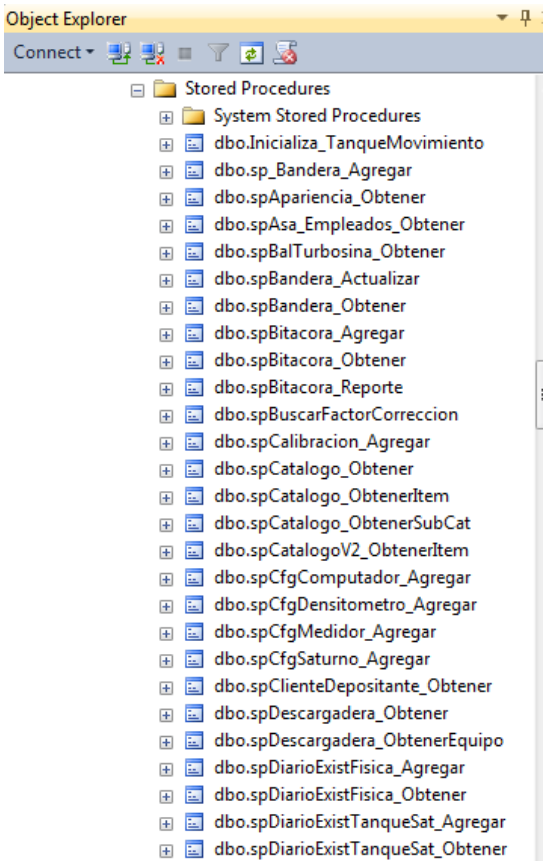


Figura 34 Procedimientos almacenados en la base de datos

- **Implementación de las interfaces de descarga y recarga de combustible:** Contribuí a esa actividad en distintas formas, entendiendo el proceso realizado por los operadores con sus procedimientos establecidos, así como el proceso que ejecutan los PLC analizando el programa con el que funcionan.

  Contribuí a la programación de las rutinas establecidas para la sincronización de eventos ejecutados durante el proceso.

- **Programación del módulo de consulta de reportes:** Este módulo junto con la solución web fue desarrollada en C# con algunos elementos de Java Script. Adicionalmente, para la elaboración de éste módulo, se utilicé la herramienta Crystal Reports, la cual proporciona herramientas que facilitan la elaboración de reportes.

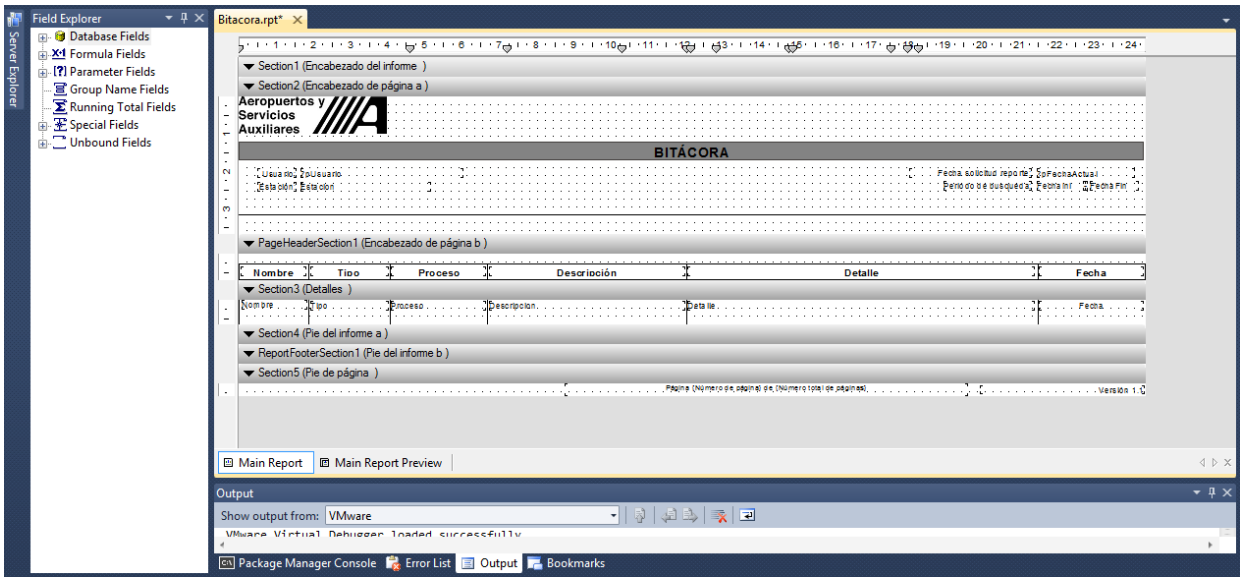


Figura 35 Elaboración de reportes en Crystal Reports

Para su funcionamiento, además de elaborar el diseño, realicé la interconexión entre esta plantilla y la base de datos, de esta manera los reportes son cargados con la información de interés de los usuarios.

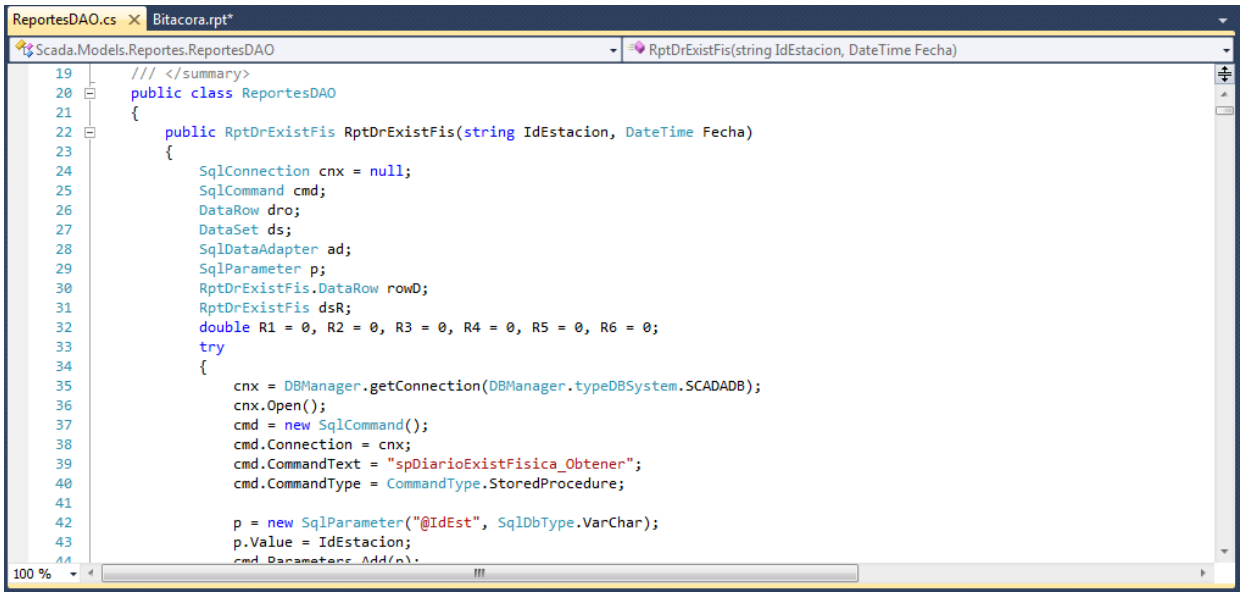


Figura 36 Programación de interfaz de datos para reportes

- **Validación ante CENAM:** Debido a que el sistema SCADA implementado emite reportes de medición para sistemas de transferencia de custodia, fue solicitada una validación de la entidad metrológica oficial del país, el CENAM. Para lograr

esto, acudí a reuniones de revisión de cálculos realizados dentro de la herramienta, así como revisión de cálculos realizados por el computador de flujo.

KROHNE

Reference: FQI-510-01 Serial No: 01-17-04-AB-16-00-00-SA Date/Time: 15/Jan/2016 19:11.14

Preset		
Products		
TURBOSINA		
PRODUCTO.TURBOSINA	TURBOSINA	
Stream.1		
TREN.1	T-510-01	
Meter Information.1		
TAG MEDIDOR.1	FT-510-01	
Liquid Correction.1		
MF TURBOSINA.1	1,00000	
TURBOSINA		
Volume Correction Curve.1		
RFCF₁TURBOSINA.1	64700,00000	L/hr
RFCF ₂TURBOSINA.1	94700,00000	L/hr
RFCF₃TURBOSINA.1	122000,00000	L/hr
K 1TURBOSINA.1	13,57000	PULSOS/L
K 2TURBOSINA.1	13,57100	PULSOS/L
K 3TURBOSINA.1	13,56400	PULSOS/L
Pressure.1		
PIT FIJA.1	50,00000	PSI.g
Temperature.1		
TIT FIJA.1	27,00000	°C
Liquid ρtp.1		
Solartron 7835 Sensor 1.1		
T₀.1	20,00000	°C
P₀.1	14,50377	PSI
K₀.1	-1152,86000	
K₁.1	-0,24742	
K₂.1	0,00122	
K₁₈.1	-0,00001	
K₁₉.1	0,01237	
K₂₀A.1	0,00004	
K₂₀B.1	-0,00000	
K₂₀C.1	0,00000	
K2₁A.1	0,04664	
K2₁B.1	-0,00172	
K2₂.1	0,00000	
Solartron 7835 Sensor 1 Temperature.1		
TITρ FIJA.1	27,00000	°C
Solartron 7835 Sensor 1 Pressure.1		
PITρ FIJA.1	8,00000	PSI.g
Liquid ρs.1		
ρs Keypad.1	0,00000	
General.1		
PRESION BASE.1	0,00000	PSI
TEMPERATURA BASE.1	20,00000	°C
Units.1		
PRESION ATM.1	0,00000	PSI
Active		
Stream.1		
KF.1	13,57000	PULSOS/L
Turbine Meter.1		
API 5.5 Level B - E.1		
Meter.1		
FRECUENCIA TURBINA.1	0,00000	Hz

Figura 37 Reporte de validación de medición de Computador de Flujo

Para algunas reuniones, elaboré un entorno de simulación con generadores de señal para que de esta manera las mediciones pudieran ser verificadas en tiempo real.

No solamente fueron revisadas las mediciones, sino también fueron revisados los nombres asignados a las variables, las unidades manejadas y los separadores de miles y decimales utilizados en las interfaces hombre máquina.

- **Validaciones ante ASA:** Durante el transcurso del desarrollo de la herramienta, acudí a reuniones con el personal de ASA con el fin de verificar la correcta implementación de los requerimientos. En estas reuniones validaba que la información mostrada en las pantallas fuera la adecuada para el personal operativo, que la información provista por los reportes fuera la requerida, evitando saturar el sistema con información innecesaria y sobre todo evitando omitir información de relevancia para la estación.

  Como elaboré la configuración de los computadores y los mapas modbus, me fue posible orientar a los usuarios acerca de la información que necesitaban, así como adecuar las configuraciones cuando se requiriera información no considerada en el diseño.

- **Instalación en sitio:** Junto con mi grupo de trabajo, acudí a cada una de las estaciones para realizar la instalación de la herramienta desarrollada y configurada, las actividades que realicé para la instalación en sitio fueron las siguientes:

  - Respaldamos la información de sistema existente en ese momento, pues ASA la requería para las presentarla en las auditorias que periódicamente recibe.

  - Instalamos la actualización del sistema operativo, así como la paquetería de software requerida para el funcionamiento de la aplicación.

  - Configuramos los servidores para que pudieran ser accesibles de forma remota.

  - Habilitamos la solución desarrolla, así como la base de datos y mapas de memoria.

  - Realicé pruebas de validación de comunicación desde lo reportado por los instrumentos hasta lo visualizado en la interfaz web.

  - Realicé pruebas de recuperación de reportes de medición.

- Junto con el personal operativo, realicé pruebas de funcionamiento de las interfaces de carga y descarga de combustible.
- Realicé pruebas de funcionamiento de la interfaz de oficina.
- Impartí cursos de capacitación al personal operativo de cada estación de combustibles.

Figura 38 Capacitación a operadores en sitio

Figura 39 Capacitación a personal de oficinas centrales

8 Resultados

Al finalizar la ejecución de las actividades del proyecto, ASA obtuvo un sistema SCADA que le permitió realizar un monitoreo de las operaciones de forma sencilla, con un soporte robusto y con mediciones confiables.

Se redujo uno de los principales problemas de ASA, pues al ser una empresa distribuida en el país, con una administración central, era imprescindible la accesibilidad a las consolas de monitoreo de la operación, debido a esta característica del nuevo sistema se encontraron dos vertientes de uso para el sistema SCADA, a nivel operativo dentro de las estaciones de combustible, y a nivel gerencial en las oficinas centrales.

En las estaciones de combustible se ha utilizado principalmente para la visualización de valores en tiempo real de flujo, temperatura, presión y densidad, así como para la consulta del reporte de corte de medición de existencias en tanques de almacenamiento, el cual es generado automáticamente por el sistema.

En algunas estaciones, también se encontró con una fuerte dificultad de los técnicos para registrar sus operaciones desde las nuevas interfaces, pues no estaban habituados a incluirla en su procedimiento, esto se fue reduciendo conforme se fueron adaptando al funcionamiento del sistema.

Igualmente, para algunas estaciones las alarmas programadas les permiten conocer el límite de volumen que cada tanque puede almacenar simplificando así sus procesos de operación.

En las oficinas centrales principalmente se consultan reportes de medición de todos los sistemas, pues estos les permiten hacer el cierre de balance para el control de inventarios que deben llevar.

También se da atención a las alarmas pero con el enfoque de programar mantenimiento a equipos, como válvulas o bombas.

La sincronización automática de información ha simplificado el proceso que realizan para actualizar su sistema de administración de combustible.

Otra ventaja obtenida es que el hecho de que un sistema informático sea el que emita los reportes de medición, evita que los registros de las operaciones sean manipulados por el personal, esto brinda confianza al personal de administración de combustibles.

Aún existen factores que pueden mejorarse con respecto a la integración del sistema SCADA con el funcionamiento de ASA como empresa.

Se encuentra necesario un plan permanente de mantenimiento tanto a la parte de hardware como a la parte de software.

Con respecto a la parte de hardware se observa que las condiciones a las que se exponen los instrumentos de medición y elementos de control son muy extremas, pues están expuestos a vibraciones, altas temperaturas, bajas temperaturas, alto grado de humedad y a productos corrosivos, estos factores hacen que los instrumentos se vayan deteriorando y en general el sistema pierda exactitud en las mediciones emitidas.

Con respecto al software principalmente se requiere personal que administre y mantenga en correcto funcionamiento las bases de datos, pues en los sistemas informáticos estos elementos que van aumentando el tamaño que ocupan en disco duro, lo que a largo plazo repercute en el deterioro del rendimiento del sistema en general.

El módulo de visualización de registros históricos puede mejorar su diseño para aportar información con más valor en la toma de decisiones gerenciales, pues ya se cuenta con la medición de parámetros que permiten visualizar la productividad de cada estación de combustibles, productividad tanto del personal operativo, como de la infraestructura instalada.

Así mismo, con la ampliación del módulo de visualización de registros históricos, pueden incluso predecirse eventos, tales como la falla de equipos, picos en la demanda de combustible o en la recepción de combustible, dicha información emitida de manera automática apoyara y propondrá opciones para la toma de medidas de mejora de eficiencia de la estación.

9 Conclusiones

9.1 Aportaciones del proyecto:

Con el desarrollo de éste proyecto se logró cumplir con las necesidades de ASA, se corrigieron los problemas de obsolescencia de equipos y plataformas de software con la adquisición de nuevos equipos e instrumentos que manejen tecnologías actuales, así como la modernización de consolas de consulta de información.

Con esta renovación también se obtuvo un nuevo sistema robusto, más rápido, eficiente y disponible en todo momento lo cual permite una interacción constante con los eventos de proceso.

Así mismo, los registros de medición obtenidos a través del sistema proporcionan una mayor confiabilidad al presentar una mejora en la precisión y exactitud de los instrumentos adquiridos, al tener mediciones más confiables, es posible ocupar estas mediciones para tomar acuerdos con proveedores y clientes de combustible.

Al implementar la solución sobre una plataforma web, se aumentó la disponibilidad del sistema, haciendo posible su consulta con múltiples sesiones de usuarios y adecuando la información al interés de cada perfil de consulta.

9.2 Aportaciones y aprendizaje profesional:

La participación en este proyecto me permitió desarrollar diversas habilidades de competencia profesional.

La principal habilidad que desarrollé fue la de aprender a aplicar los conocimientos adquiridos en la Facultad a problemáticas y necesidades reales.

Apliqué conocimientos de Física y Matemáticas adquiridos en la primera etapa de mi formación académica en la facultad, pues debí aprender a utilizar normas referentes a dilatación de cuerpos para validar los cálculos realizados por el sistema.

También apliqué conocimientos de sistemas de comunicaciones electrónicas y diseño digital al configurar y apoyar en la interconexión de los instrumentos con el computador de flujo.

De igual manera apliqué y en gran medida conocimientos de programación orientada a objetos y manejo de bases de datos al desarrollar el módulo de generación y consulta de reportes de medición.

Otros conocimientos que en gran parte apliqué fueron los referentes a Medición, Instrumentación e Instrumentación Virtual al determinar los parámetros de configuración de computador de flujo, que es un adquisidor de datos, y también al validar las mediciones realizadas por los instrumentos de medición de temperatura, presión, densidad, flujo y nivel.

Utilicé conocimientos de programación de controladores industriales de lógica programable y control automático industrial al reconocer y entender las rutinas que los PLC instalados realizaban, para implementarlas en las interfaces de descarga y recarga de combustible. Y apliqué en su totalidad los conocimientos de control distribuido y SCADA para llevar a cabo todas las actividades de implementación del sistema modernizado.

Gracias a la formación en temas humanidades me fue posible adaptarme al entorno laboral y adquirir nuevas habilidades.

Aprendí a interactuar con autoridades, al asistir a reuniones de revisión de avances con el cliente, al acudir a reuniones de revisión de cálculos con autoridades metrológicas y al momento de capacitar al personal de las jefaturas de análisis operacional y control de combustible.

De igual manera aprendí a interactuar con personal ajeno a desarrollos tecnológicos, tales como técnicos de combustible, a los cuales impartí capacitación del sistema.

Experimenté y entendí los eventos importantes en el desarrollo de un proyecto, así como las funciones que un líder de proyecto debe tomar.

Aprendí la importancia de llevar el seguimiento de un plan de trabajo para poder entregar en tiempo y forma los resultados del proyecto.

Entendí la relevancia y necesidad de documentar cada elemento integrado en el funcionamiento del sistema.

Comprendí que existen normas para gran parte actividades, las cuales, al estandarizar, permiten un fácil entendimiento entre instituciones distintas.

Comprendí las razones por las que el entorno de trabajo industrial presenta un avance tecnológico más lento que el entorno empresarial y educativo, pues en el entorno industrial se manejan procesos que resultan muy riesgosos y cualquier falla representaría un alto costo para la planta.

Irónicamente encontré que, aún en un entorno industrial y tomando las consideraciones de seguridad convenientes, es posible e importante sistematizar la mayor cantidad de procesos realizados, pues esto representaría un gran impulso para el crecimiento de la industria en el país.

10 Glosario de Términos

AGA: American Gas Association.

API: American Petroleum Institute.

API: Application Programming Interface.

ASA: Aeropuertos y Servicios Auxiliares.

ASCII: American Standard Code for Information Interchange.

ASTM: American Society for Testing Materials.

CAN: Controller Area Network.

CENAM: Centro Nacional de Metrología.

CPU: Central Processing Unit.

DAQ: Data Acquisition.

DBA: Database Administrator.

DBMS: Database Management System.

DCOM: Distributed Component Object Model.

DER: Diagrama Entidad Relación.

FM: Factory Mutual Insurance Company.

HART: Highway Addressable Remote Transducer.

HMI: Human Machine Interface.

HTML: HyperText Markup Language.

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers.

IGS: Intellution Gateway Server.

IIS: Internet Information Services.

IP: Internet Protocol.

ISO: International Organization for Standardization.

LAN: Local Area Network.

MTU: Master Terminal Unit.

NPT: National Pipe Thread.

OIML: Organización Internacional de Metrología Legal.

OPC: OLE for Process Control.

PAC: Programmable Automation Controller.

PATÍN: Conjunto de tubos de medición.

PEMEX: Petróleos Mexicanos.

PLC: Programmable Logic Controller.

RAM: Random Access Memory.

RTD: Resistance Temperature Detector.

RTU: Remote Terminal Unit.

SCADA: Supervisory Control And Data Acquisition.

SQL: Structured Query Language.

TAR: Terminal de Almacenamiento y Reparto.

TCP: Transmission Control Protocol.

TOCA: Técnico Operativo de Combustibles de Aviación.

USB: Universal Serial Bus.

VFD: Variable Frequency Drive.

WAN: Wide Area Network.

11 Bibliografía

BAILEY, David. (2003) Practical SCADA for industry (1° Edición). Amsterdam: Elsevier

CHAVARRÍA, Mitzi. (2008) Especificación Técnica de un Sistema SCADA aplicada a Instalaciones Petrolera. Universidad Nacional Autónoma de México: Tesis

CHICALA, Carlos. (2015) *Adquisición de Datos: Medir para conocer y Controlar* (1° Edición). México: Cengage Learning

MENDELZON, Ale. (2000) *Introducción a las Bases de Datos Relacionales* (1° Edición). Buenos Aires: Prentice Hall

PACHECO, Jesús Neri. (2010) *Medición y control de procesos industriales* (1° Edición). México: Trillas

ROCA, Alfredo. (2014) *Control automático de procesos Industriales: con prácticas de simulación y análisis por ordenador PC* (1° Edición). Madrid: Díaz de Santos

Páginas Web:

http://www.asa.gob.mx/

http://www.metrikalab.com.mx/

http://krohne.com/fileadmin/content/files-oilgas/uploads-oilgas/pdf/BR_Summit8800_201401_EN_web.pdf