



***Trabajo final presentado
en opción al Título de
Máster en Automática***

Autor: Robert Pérez Pérez

Tutor: Dr. Ing. Israel F. Benítez Pina

Consultante: MSc. Yordan Guerrero Rojas

Santiago de Cuba

2021



**UNIVERSIDAD
DE ORIENTE**

Facultad de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Ingeniería Automática

***Trabajo final presentado
en opción al Título de
Máster en Automática***

Título: Sistema de Supervisión y Control en la Base de Combustible de la Empresa Puerto Moa.

Autor: Robert Pérez Pérez

Tutor: Dr. Ing. Israel F. Benítez Pina

Consultante: MSc. Yordan Guerrero Rojas

Pensamiento

“ En tiempos de cambio, quienes estén abiertos al aprendizaje, se adueñarán del futuro, mientras que aquellos que creen saberlo todo estarán bien equipados para un mundo que ya no existe ”

Eric Hoffer

Dedicatoria

Dedico este trabajo primero a Dios por haberme dado la vida y permitirme haber llegado hasta este momento, a toda mi familia por demostrarme su amor en cada segundo de mi vida, a todos mis compañeros de trabajo que siempre estuvieron a mi lado apoyándome para terminar con esta etapa de mi vida profesional. A Carmen Mulet Abreu que hizo hasta lo imposible por cumplir este sueño.

Agradecimientos

En primer lugar doy infinitamente gracias a Dios por haberme dado la fuerza y valor para culminar esta etapa de mi vida.

Agradezco también el apoyo, la confianza de toda mi familia que sin duda alguna en todo el trayecto de mi vida me han demostrado su amor corrigiendo mis faltas y celebrando mis triunfos.

A Carmen Mulet Abreu sin su apoyo incondicional como una madre a un hijo guiándome siempre con su buen ejemplo en toda mi carrera profesional.

A Yordan Guerrero Rojas por todo su tiempo y dedicación brindándome hasta su propia casa para elaborar esta tesis.

En especial a todos mis compañeros de trabajo que cada uno de ellos puso su granito de arena en este trabajo, a todos muchas gracias.

Resumen

La monitorización y control de todo proceso industrial en la sociedad actual constituye un requisito indispensable para lograr una eficiente productividad. Particularmente mejorando las condiciones de operación y supervisión al disponer de la visualización remota, gráficos de tendencia, estadísticas, registros históricos de las variables de un proceso tecnológico. Este trabajo se enmarca en un sistema SCADA que integra el entorno de operación de la recepción y el suministro de la base de combustible perteneciente a la Empresa Puerto Moa “Raúl Díaz Arguelle” (EPM) situada en el Municipio Moa, Provincia de Holguín. Es una empresa destinada a garantizar la entrada de materias primas al resto de las empresas del níquel procedentes del exterior y otras partes del país.

El sistema de supervisión y control se llevó a cabo compatibilizando la instrumentación de campo de tecnología Foundation Fieldbus con el SCADA Eros. La adquisición de las variables de campo se manejó con el protocolo estándar OPC. Como parte de este sistema se diseñó la supervisión remota de las variables del proceso tecnológico de la base de combustible desde cualquier lugar de la empresa, con acceso rápido y oportuno en tiempo real, elevando la eficacia en la toma de decisiones, reduciendo malas operaciones y humanizando el trabajo. Como resultado, la solución obtenida supone un ahorro económico considerable, posee valor social y medio ambiental satisface los requerimientos funcionales y de operación preestablecidos, y brinda una elevada flexibilidad frente a posibles modificaciones futuras.

Abstract

The monitoring and control of all industrial processes in today's society is an essential requirement to achieve efficient productivity. Particularly improving the operation and supervision conditions by having remote viewing, trend graphs, statistics, historical records of the variables of a technological process. This work is part of a SCADA system that integrates the operating environment of the reception and supply of the fuel base belonging to the Puerto Moa "Raúl Díaz Arguella" Company (EPM) located in the Moa Municipality, Holguín Province. It is a company designed to guarantee the entry of raw materials to the rest of the nickel companies from abroad and other parts of the country.

The supervision and control system was carried out by making the Foundation Fieldbus technology field instrumentation compatible with the Eros SCADA. The acquisition of field variables was managed with the standard OPC protocol. As part of this system, the remote supervision of the variables of the technological process of the fuel base was designed from anywhere in the company, with fast and timely access in real time, increasing efficiency in decision-making, reducing bad operations and humanizing work. As a result, the solution obtained represents considerable economic savings, has social and environmental value, satisfies the pre-established functional and operating requirements, and offers high flexibility in the face of possible future modifications.

Índice

Introducción.....	1
Capítulo 1. La tecnología Foundation Fieldbus	6
Introducción	6
1.1 Trabajos precedentes	6
1.2 Tecnología Foundation Fieldbus	7
1.2.1 <i>Reseña histórica de la tecnología Foundation Fieldbus</i>	9
1.3 Instrumentación Foundation Fieldbus.....	10
1.3.1 <i>Transmisores de presión LD302</i>	10
1.3.2 <i>Transmisor de temperatura TT302</i>	11
1.3.3 <i>IF302 Convertidor de corriente a Fieldbus</i>	11
1.3.4 <i>Radar SITRANS PROBE LR 300</i>	12
1.4 Arquitectura del SYSTEM302.....	13
1.4.1 <i>Otras configuraciones de System302</i>	14
1.4.2 <i>Licence Code</i>	14
1.4.3 <i>FB Tools Wizard</i>	16
1.5 Protocolos de comunicación.....	19
1.6 Bus de campo.....	20
1.7 DFI302 Fieldbus	22
1.8 Servidor OPC Foundation Fieldbus	28
1.8.1 <i>Ventajas</i>	29
1.8.2 <i>Aplicaciones OPC</i>	29
1.9 Sistema de Supervisión y Control.....	30

1.9.1 Definición.....	30
1.9.2 Sistema de Supervisión y Control EROS	32
1.10 Conclusiones	33
Capítulo 2. Automatización Base de Combustible Puerto Moa	34
2.1 Descripción del proceso tecnológico de la base de combustible.....	34
2.1.1. Áreas tecnológicas de la base de combustible	34
2.2 Implementación del driver OPC EROS-Sistema supervisor.	37
2.2.1. La instrumentación de campo.....	38
2.2.2 Lazos de medición de los tanques de almacenaje de petróleo....	39
2.2.3 Mediciones de temperatura en los tanques.....	40
2.2.4. Lazos de medición en el área contra incendios	41
2.2.5. Lazos de medición en el sistema de bombeo	43
2.2.6. Lazos de medición de presión y temperatura del campo de boyas	46
2.3. Dispositivos de Control.....	47
2.4. Sistema de Supervisión	50
2.5. Configuración del sistema de supervisión	51
2.5.1. Configuración de Syscon.....	52
2.5.2. Configuración de la parte física de la arquitectura	52
2.6 Configuración y ajuste del driver OPC EROS.....	63
2.7. Configuración en el SCADA EROS	67
2.7.1. Mímico General de la base de Petróleo	68
2.8. Valoración económica e impacto medio ambiental.....	75
Conclusiones.....	77
Conclusiones.....	78

Recomendaciones	79
Bibliografía	80
Anexos	83

INTRODUCCIÓN

Con la llegada del siglo XXI la implementación de sistemas de control con tecnología basada en buses de campo ha alcanzado gran auge.

La tecnología *Foundation Fieldbus* es un sistema de comunicación serial de dos vías completamente digital que sirve como la red de nivel base en el ambiente de automatización de una planta o fábrica. [1] Posee varias ventajas en su aplicación como: cableado multipunto, instrumentos multivariables, comunicación de dos vías, entre otras. Fieldbus sustituye la instrumentación de campo 4-20mA moderna.

En [Palomares, 1998] se presenta un panorama de la tecnología del Fieldbus de la FOUNDATION™ (Fieldbus o bus de campo de la Fundación) y sus características, así como los cambios que se esperan en el área de control de procesos industriales sin plasmar las condiciones o requisitos para establecer una compatibilidad entre la tecnología Foundation Fieldbus y un SCADA.

Cada vez es más necesario disponer de dispositivos sofisticados y robustos para realizar el control o la supervisión remota, los cuales están normalmente realizados por medio de canales seriales que interconectan varios dispositivos conformándose un bus de conexión, derivado en lo que se conoce como bus de campo. Hay muchos tipos diferentes de buses en uso y muchos son altamente dependientes de las aplicaciones propias de la tecnología.

En este trabajo se muestra el estado de avance en la tecnología de la comunicación de bus de campo Fieldbus aplicado al control de procesos industriales y concluye proponiendo un SCADA para la supervisión y control de la base de combustible de la Empresa Puerto Moa (EPM), Grupo CUBANÍQUEL, MINEM.

Un sistema SCADA [2] no sigue un esquema internacional ni tampoco un criterio estándar en su concepción, debido a que varios autores y compañías de desarrollo conforman sus propias ideas al respecto. Aun así, se puede presentar en términos

generales, entre las grandes ventajas que posee, el facilitar a los operadores, ingenieros, supervisores y directivos, operar y dirigir cualquier proceso con eficiencia y productividad, ofreciendo funcionalidades predeterminadas para el análisis histórico de las variables medidas (registros, mímicos, gráficos, estadísticas, alarmas de operación y prohibitivas, recetas) y el mando a distancia, agilizando la operación del proceso.

El proyecto de automatización de la base de combustible de la EPM, surgió como necesidad de transformar la falta de mediciones sobre los parámetros fundamentales de operación de la base. Se decidió realizar una inversión y adquirir la instrumentación de campo necesaria y garantizar la fiabilidad de las operaciones. Al analizar las tecnologías existentes, se decidió adquirir precisamente la tecnología Fieldbus Foundation; sin embargo, no se pudo incluir el SCADA para la supervisión y control de los parámetros del proceso. Se decidió utilizar el SCADA EROS, un producto nacional, para disminuir los gastos de la inversión y a su vez, sustituir importaciones.

EL SCADA EROS es un sistema para la Supervisión y Control de Procesos completamente cubano, se encuentra instalado en 1456 puestos de supervisión y control en 167 entidades de diversas ramas de la economía cubana, está inscrito en el Registro de Productos de Software del MINCOM y es una obra protegida en la OCPI. Realiza variadas funciones dentro del entorno de la dirección de los procesos facilitando a los operadores, ingenieros, supervisores y directivos operar y dirigir cualquier proceso con eficiencia y productividad.[3]

Posee gran fortaleza en su conectividad y posibilidades de intercambio de información con autómatas de diferentes fabricantes, analizadores de redes, reguladores autónomos, protecciones eléctricas y otros dispositivos inteligentes, por diferentes medios como *frame relay*, *radio trunking*, *radio módem*, SMS, con varios protocolos estándar entre ellos MODBUS, OPC, MAP27, SAIABUS, DNP3 y otros protocolos propietarios.

Sin embargo, no es posible enlazar el SCADA EROS con la tecnología FieldBus debido a que el protocolo de comunicación es propietario. Se evaluaron diferentes métodos de enlace seleccionando la utilización de un driver OPC para facilitar la comunicación entre SCADA y los dispositivos de campo.

El **OPC** (*OLE for Process Control*) es un estándar de comunicación en el campo del control y supervisión de procesos. Este estándar permite que diferentes fuentes (Servidores de OPC) suministren datos a un mismo Cliente OPC, al que a su vez podrán conectarse diferentes programas compatibles con dicho estándar. [Santis, 2009]

Luego, teniendo en cuenta esta problemática, se plantea como **problema científico**: “Ausencia de información de los parámetros de operación de la base de combustible en el panel de control, una vez instalada la instrumentación de campo con tecnología Foundation Field Bus, que imposibilita la supervisión y control de los mismos.”

El **campo de acción** de esta investigación es la supervisión y control de las variables de operación de la base de combustible.

El **objeto de estudio** sistema supervisorio de la base de combustible de la EPM.

Como **hipótesis** de solución del problema tratado se plantea: Si se logra la compatibilización de la tecnología Foundation FieldBus con el SCADA EROS a través del Driver OPC EROS, es posible la supervisión y control de procesos tecnológicos basados en Fieldbus con el SCADA EROS.

El **objetivo general** es: Diseñar e implementar el sistema de supervisión y control de las principales variables de operación de la base de combustible en la empresa Puerto Moa compatibilizando el SCADA EROS con la tecnología Foundation FieldBus..

Tareas de la investigación:

1. Caracterización desde el punto de vista histórico, gnoseológico y en la actualidad, la tecnología Fieldbus para enlazar la instrumentación con un sistema de supervisión y control de tecnología diferente.
2. Utilización de un driver para la comunicación del SCADA EROS con la tecnología Fieldbus.
3. Diseño e implementación del sistema supervisorio de la base de combustible en la empresa Puerto Moa, para compatibilizar la instrumentación FieldBus con el sistema de supervisión y control SCADA EROS.

Para el desarrollo de la investigación se utilizarán los siguientes **Métodos científicos**:

- **Analítico – Sintético:** Utilizado para llegar a conclusiones en la investigación a partir de la información que se procese y precisar características necesarias para la realización del trabajo propuesto.
- **Hipotético-deductivo:** Para elaborar y demostrar la hipótesis de la investigación.
- **Histórico – Lógico:** Determinación de las tendencias actuales de desarrollo de los elementos relacionados en el desarrollo de la solución.
- **Métodos empíricos:** Observación directa en el caso de estudio.

Como **aporte práctico** se plantea:

1. Supervisión y control de las variables de operación medidas con la tecnología Fieldbus, con el SCADA EROS en la base de combustible de la Empresa Puerto Moa.
2. Mejora las condiciones de operación de la Base al disponer de la visualización remota, gráficos de tendencia, estadísticas y registros históricos de las variables del proceso tecnológico de la Base desde cualquier lugar de la empresa, con acceso rápido y oportuno, en tiempo real, elevando la eficacia en la toma de decisiones, reduciendo malas operaciones, humanizando el trabajo.

3. Reduce los riesgos de derrames líquidos o escapes de gases debido a que las variables de operación se controlan y registran continuamente por el SCADA,
4. Contribuye a que los operadores mantengan una postura más responsable y efectiva sobre el control de dichas variables.

Este documento se estructura en dos capítulos, conclusiones, recomendaciones, bibliografía y glosario de términos.

Capítulo 1. El capítulo 1 abarca el fundamento teórico que sustenta la investigación. Se evalúan las investigaciones precedentes, se caracterizan los elementos y requisitos a considerar para compatibilizar la tecnología Fieldbus Foundation con un SCADA de tecnología diferente, además se plantean las particularidades del SCADA EROS y el driver OPC-EROS.

Capítulo 2. Se plantea la solución de la comunicación Fieldbus-SCADA EROS y su implementación en el sistema de automatización de la base de combustible Puerto Moa. Se validan los resultados con una eficiente supervisión remota que mejora las condiciones de operación de la base de petróleo de la EPM, con acceso rápido y oportuno, en tiempo real, elevando la eficacia en la toma de decisiones, reduciendo malas operaciones, costos de mantenimiento, humanizando el trabajo y reduciendo los riesgos de derrames líquidos.

CAPÍTULO 1. LA TECNOLOGÍA FOUNDATION FIELDBUS

INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se abordan los principales aspectos teóricos que sustentan la investigación. Se realiza un análisis crítico de los trabajos precedentes, además se caracterizan los elementos y requisitos a considerar para compatibilizar la tecnología Foundation Fieldbus con un SCADA de tecnología diferente, además se plantean las particularidades del SCADA EROS.

1.1 TRABAJOS PRECEDENTES

El desarrollo de investigaciones relacionadas con la aplicación de la tecnología Foundation Fieldbus es apreciable en trabajos de grado y maestrías, sin embargo, exclusivamente relacionados con la compatibilidad entre esta tecnología y el SCADA EROS no existe ninguna publicación hasta el momento.

En [Santiesteban, 2009] se realiza un sistema de comunicación digital que permite la interconexión en red de múltiples instrumentos directamente en el campo, con vistas a mejorar el control de procesos tecnológicos en una empresa niquelífera y a la vez obtener mayor eficiencia y productividad en la misma. Sin embargo el trabajo se concentra en el uso del System302 para la configuración y ajuste de la instrumentación de campo y no trata la comunicación entre la tecnología Foundation Fieldbus con el SCADA EROS.

En el trabajo [Toro, 2002] se estudia la configuración y diagnóstico de automatización industrial basada en redes de campo con los tres niveles (campo, control, supervisión) y utilizan servidores OPC para enlazar las tecnologías FF del nivel de campo con el sistema de control y supervisión. Esto demuestra que las tecnologías utilizadas en esta

tesis son también utilizadas a nivel internacional en la automatización industrial moderna

En el artículo [Calderón-Gonzalez, 2018] se demuestra la actualidad de la comunicación SCADA-Fieldbus industrial como base para promover la migración de la automatización moderna a los conceptos de Industria 4.0, lo que en este caso no utilizan *Foundation Fieldbus* sino *Profibus* y por tanto la tecnología es toda compatible de Siemens y no necesitan instalar OPC. Se trabaja con la misma idea que se desarrolla este trabajo en los tres niveles (Campo, Intermedio, Supervisión) que se utiliza en esta tesis, detallando cada nivel, su arquitectura, configuración y programación, hasta el diseño del HMI.

El trabajo [Hossam, 2019] también demuestra la actualidad del tema de los buses de campo en la industria moderna, pero en este caso se trabaja con una variante inalámbrica (*wireless fieldbus*) para la automatización de un proceso industrial. Se estudia la supervisión de un proceso de inyección de plásticos buscando reducir el retraso de medición - acción mediante una propuesta de protocolo *wireless fieldbus*.

1.2 TECNOLOGÍA FOUNDATION FIELDBUS

El Fieldbus de la FOUNDATION sustituye el lazo tradicional de 4-20 mA por un bus de campo digital, común para dispositivos de diferentes proveedores y con la singularidad de conferir capacidades de control a los dispositivos inteligentes de campo. El Fieldbus es un término que se usa para describir una red de comunicaciones digitales que será usada en la medición y control de procesos industriales, para reemplazar la señal analógica existente de 4-20 mA.

Fieldbus es un sistema de comunicación digital bidireccional (Ver figura 1.1) que permite la interconexión en red de múltiples instrumentos directamente en el campo,

realizando funciones de control y monitoreo de procesos y en estaciones de control (HMI) a través de softwares supervisorios [2]. (Ver figura 1.2)

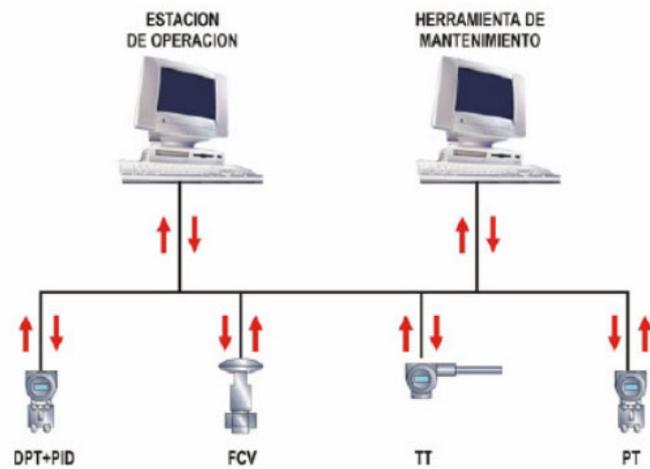


Figura 1.1 Comunicación digital bidireccional Fieldbus. Fuente: [4]

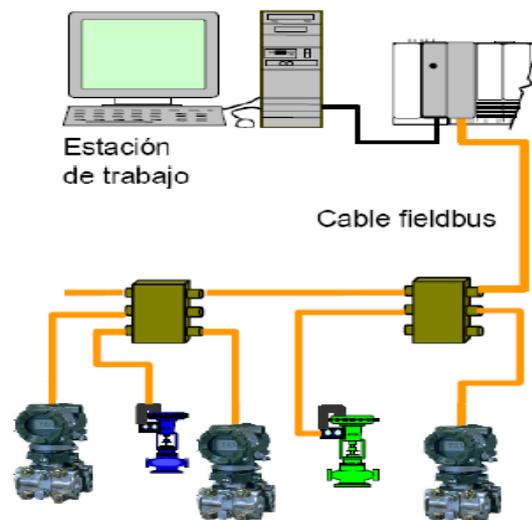


Figura 1.2 Fieldbus en operación y software supervisorios. Fuente [5]

1.2.1 RESEÑA HISTÓRICA DE LA TECNOLOGÍA FOUNDATION FIELDBUS

A mediados de los 80's, con la meta de crear un estándar internacional, se unieron la ISA (Instrument Society of América), la IEC (International Electrotechnical Commission) para formar el comité Fieldbus IEC/ISA SP50 (Standard Practices). Formaban el comité 300 personas de diferentes proveedores y usuarios. [6].

El estándar a desarrollar debería integrar un gran rango de instrumentos de control, proporcionar interfaces para operar varios dispositivos simultáneamente y establecer un protocolo de comunicaciones que soporte todo esto. En 1992, Fisher-Rosemount (entonces dos compañías separadas), Yokogawa y Siemens se separaron creando el ISP (Interoperable System Project) para formalizar su propia especificación. La otra fracción del SP50, incluyendo Honeywell, Allen-Bradley, y otras compañías formaron el WorldFIP (Factory Information Protocol), división Norte América, un estándar con metas casi idénticas al ISP (Interoperable System Project). [6]

En 1993, ISP y WorldPIF se unieron para formar la FOUNDATION Fieldbus (FUNDACION del Fieldbus) con base en Austin, Texas. La especificación unificada resultante, FOUNDATION Fieldbus, compite con el Profibus de Europa como uno de los dos protocolos LAN (Local Area Network) con el potencial para provocar un cambio radical en la arquitectura del control de procesos industriales y en el área de manufactura.

El alcance principal del estándar es la integración entre los dispositivos de campo (sensores, actuadores, transductores, controladores, etc.) y el sistema de control en los procesos industriales por medio de comunicaciones accesibles y adecuadas. En enero de 1996, FOUNDATION implemento exitosamente el Fieldbus en una planta piloto en Chocolate Bayou en las afueras de Houston. Esta prueba consistió en

conectar un DCS (Distributed Control System) a un sistema de bombeo de condensado utilizando instrumentación inteligente de campo de diferentes proveedores. [6]

Entre otras fechas claves en la historia del Fieldbus se tiene que: En marzo de 1996 se liberan las versiones de baja y alta velocidad del Fieldbus (H1) y (HSE). Actualmente la FOUNDATION sigue trabajando en la completa liberación del estándar.

1.3 INSTRUMENTACIÓN FOUNDATION FIELDBUS

Para el desarrollo de una arquitectura de adquisición de datos en un proceso tecnológico es fundamental la presencia de la instrumentación de campo. Existen una amplia diversidad de equipos y dispositivos destinados a la medición de señales. En este trabajo se abordarán solamente los correspondientes al objeto de estudio.

1.3.1 TRANSMISORES DE PRESIÓN LD302

Es un transmisor utilizado para medir presión diferencial, presión absoluta y manométrica [7]. Está basado en un sensor capacitivo digital probado en el campo que proporciona operación confiable y alto rendimiento. La tecnología digital usada en el LD302 habilita la elección de algunas funciones que permite una fácil interfase entre el campo y la sala de control, una precisión superior, estabilidad y algunas características interesantes que reducen los costos de instalación, operación y mantenimiento. En la figura 1.3 se muestra un transmisor de presión LD302 de Fieldbus. [8]



Figura 1.3 Transmisor de presión fieldbus LD302. Fuente: [8]

1.3.2 TRANSMISOR DE TEMPERATURA TT302

Este transmisor está destinado a la medición de temperatura, usando termómetros de resistencia eléctrica (RTDs) o termopares, pero también puede aceptar otros sensores con salida resistiva o en mV tales como pirómetros y termistores.[8]

La tecnología digital usada en el TT302 permite que un modelo único acepte algunos tipos de sensores, rangos amplios de medición y una fácil interfase entre el campo y la sala de control. El TT302 tiene dos canales, es decir que puede ser configurado para trabajar simultáneamente con dos sensores. De acuerdo a la configuración del transmisor se puede obtener las siguientes lecturas: [9]

- Diferencial, En este caso hay un solo bloque transductor. La salida del transductor es la diferencia entre lecturas de los sensores 1 y 2.
- Doble, Se emplean dos transductores y cada sensor proporciona una señal a su respectivo transductor.



Figura 1.4 Transmisor de temperatura fieldbus TT302. Fuente: [8]

1.3.3 IF302 CONVERTIDOR DE CORRIENTE A FIELDBUS

Este dispositivo es un convertidor de corriente 0/4-20 mA a Foundation Fieldbus. Recibe hasta tres señales de corriente y los pone a disposición del sistema Fieldbus.[10] La tecnología digital utilizada en el IF302 permite a un solo convertidor

recibir tres entradas y proveer varios tipos de funciones de transferencia. Permite una interfaz simple entre el campo y el cuarto de control, además incluye características especiales que reducen considerablemente los costos de la instalación, operación y mantenimiento. En la figura 1.5 se muestra una imagen de este dispositivo.



Figura 1.5 Convertidor de corriente a fieldbus IF302. Fuente: [8]

1.3.4 RADAR SITRANS PROBE LR 300

Este radar es de la firma Siemens con salida 4-20 mA el SITRANS Probe LR300 es un instrumento de medición continua de nivel alimentado por bucle de 2 hilos que utiliza tecnología avanzada de radar de impulsos que funciona a una frecuencia de aproximadamente 6 GHz. El instrumento consiste en un componente electrónico acoplado a la antena y a la conexión al proceso. Es muy fácil de instalar y configurar con el programador portátil por infrarrojos. También puede programarse a distancia utilizando SIMATIC PDM. En la figura 1.6 se muestra una imagen de este dispositivo [11]



Figura 1.6 Radar SITRANS PROBE LR 300. Fuente: [11]

1.4 ARQUITECTURA DEL SYSTEM302

El System302 de Smar, fue construido de acuerdo con las especificaciones de Foundation Fieldbus y representa un sistema cuya base son los dispositivos de campo con control programado a través de los bloques de funciones. Aquí se incluyen transmisores de presión, temperatura, conversores de señales (Fieldbus a neumática, Fieldbus a eléctrica y viceversa), posicionadores de válvulas, controladores programables para señales discretas y E/S distribuidas, software para la configuración y además de otros equipos auxiliares.

El System302 le permite manejar su proceso y los instrumentos de campo, desde un único sistema. Las estaciones de trabajo proveen una interfase amigable para acceder a toda la información del sistema desde cualquier punto de la planta, en cualquier momento (Figura. 1.7); por lo que usted podrá tomar mejores decisiones en el momento adecuado y con mucha más seguridad. Una sola base de datos suministra toda la información y asegura la consistencia de los datos para todos los sectores de la empresa. [8]

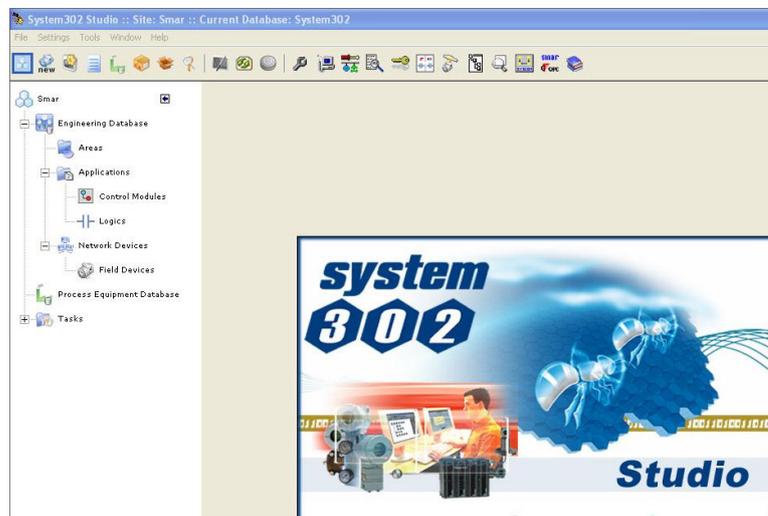


Figura 1.7 Entorno gráfico de System302. [Del Autor]

El usuario puede elegir libremente los componentes y construir el sistema por sí mismo. Las antiguas tecnologías de sistemas propietarios que aún existen tal vez no estén disponibles en el momento en que su empresa necesite realizar una expansión.

Invertir hoy en el System302 es garantía de un sistema basado en las más modernas normas internacionales disponibles. La tecnología Foundation Fieldbus y OPC/OLE/DCOM/ActiveX facilitan la integración de otros hardware al System302, mientras que los estándares TCP/IP y UDP/IP facilitan la integración en red.

Debido a que el System302 está basado en el protocolo TCP/IP, la conectividad con Internet/Intranet hace posible la operación y la configuración de unidades remotas desde un punto central de la planta. De la misma forma es posible también el control de unidades distribuidas en una región, o incluso alrededor del mundo, desde una estación ubicada en su empresa. En menor escala, el sistema puede ser accedido desde cualquier computadora conectada a la red local (LAN). De esta manera es posible reducir los recursos humanos en el ámbito de la empresa, con mayor eficiencia y economía. [8]

1.4.1 OTRAS CONFIGURACIONES DE SYSTEM302

Existen otras herramientas básicas como son:

- Licence Code: Herramienta que verifica la conexión física de la llave.
- FBTools Wizard: Herramienta que verifica la conexiones de la DFI con la PC, si hay o no conexión física y lógica.

1.4.2 LICENCE CODE

Una llave o licencia es un dispositivo de hardware o especie de memoria flash que se conecta a uno de los puertos USB de la PC y que debe mantenerse conectada

permanentemente si se quiere utilizar cualquiera de las herramientas de software mencionadas con anterioridad.

La figura 1.8 presenta una imagen del chequeo de la licencia en el sistema

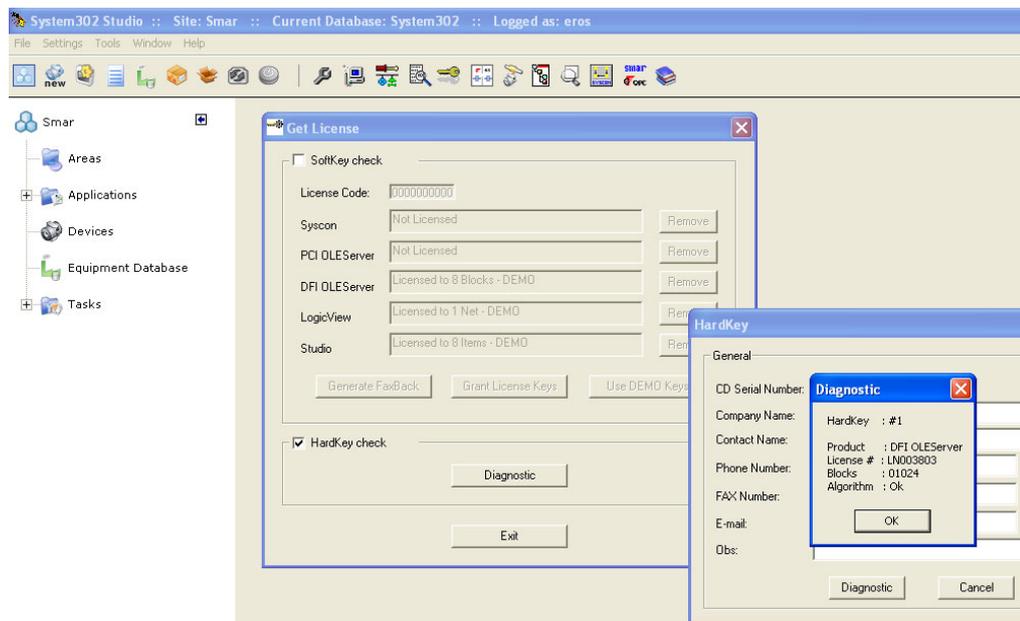


Figura 1.8. Chequeo de la licencia. [Del Autor]

Las aplicaciones que requieren de licencia, consultan constantemente la presencia de esta llave en uno de los puertos USB de la PC, si por alguna razón una de éstas se desconecta cuando la aplicación está corriendo, la aplicación inmediatamente se detiene y se bloquea. Normalmente el bloqueo obliga a resetear la PC.

Dentro de las aplicaciones que requieren licencias de hardware tenemos:

- a) Syscon.
- b) OPC Server
- c) AssetView
- d) LogicView

Comúnmente las llaves para las aplicaciones a, c y d se utilizan mucho menos que la b pues éstas se utilizan cuando se está realizando alguna labor de configuración, ya sea utilizando el Syscon, chequeando algún instrumento con el AssetView o programando uno de los coprocesadores matemáticos con LogicView. La llave b es la que permanece en uso todos los segundos y minutos de cada 24 horas del día pues es la que mantiene activa el listado de variables del driver OPC para que por ejemplo el SCADA EROS mantenga visualizando en tiempo real.

1.4.3 FB TOOLS WIZARD

Esta herramienta que forma también parte del paquete de System302 se utiliza en varios casos (Ver figura 1.9):

- Cuando se desea actualizar la versión de firmware de cualquier dispositivo foundation fieldbus.
- Cuando se desea actualizar las direcciones IP de los elementos que conforman la arquitectura, DFI, DF65, LC700, etc.

En ambos casos se realiza una comunicación directa entre el programa y el dispositivo FF, ya sea utilizando para ello un cable de cobre con puertos serie RS232 y conector DB9 o utilizando una comunicación a 10 Mb mediante un latiguillo o un *cross over* y conector RJ45.

La primera se utiliza fundamentalmente cuando se está actualizando el firmware de uno de los instrumentos de campo FF (transmisores de temperatura, de presión, de nivel, de densidad, posicionador de válvula, etc.

El segundo es el que se utiliza cuando queremos actualizar el firmware de una DFI, de un coprocesador DF65, un PLC LC700 o cambiar su dirección de red IP.

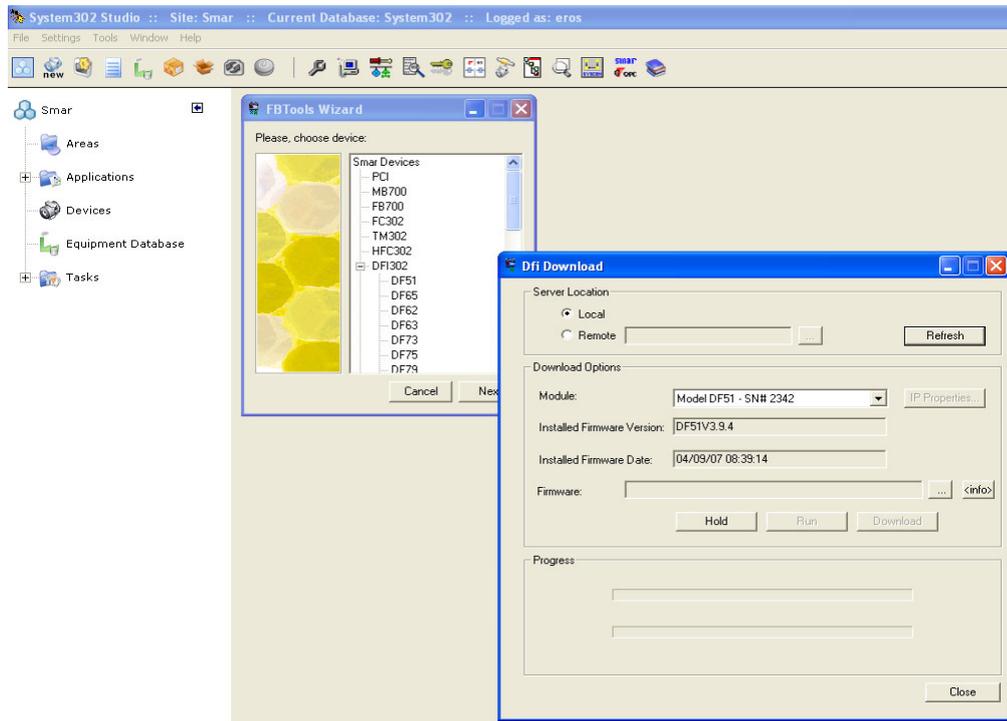


Figura 1.9. Actualización de firmware de instrumentos y dispositivos. [Del Autor]

Esta plataforma cuenta internamente con el configurador Syscon siendo una herramienta de software especialmente desarrollada para configurar y operar la línea de productos Fieldbus de Smar, esta herramienta se encarga de interactuar directamente con la instrumentación de campo y extrae todas las mediciones e informaciones del dispositivo conectado.

Configurador Syscon

El Syscon permite la configuración tradicional y monitoreo de funciones, además la calibración de dispositivos de campo, diagnósticos, identificación y materiales de construcción de los equipos. Además se puede construir gráficamente estrategias de control y manejarlas. La configuración es completamente gráfica y orientada a objetos[8].

La configuración es completamente gráfica y orientada a objetos. Los bloques de funciones son representados como círculos. El nombre del (Tag) y la descripción del bloque son mostrados junto con la entrada del bloque y los nombres de las salidas. La configuración incluye la selección de dispositivos, bloques de funciones, uniones entre bloques y parametrización como se puede observar en la figura 1.10

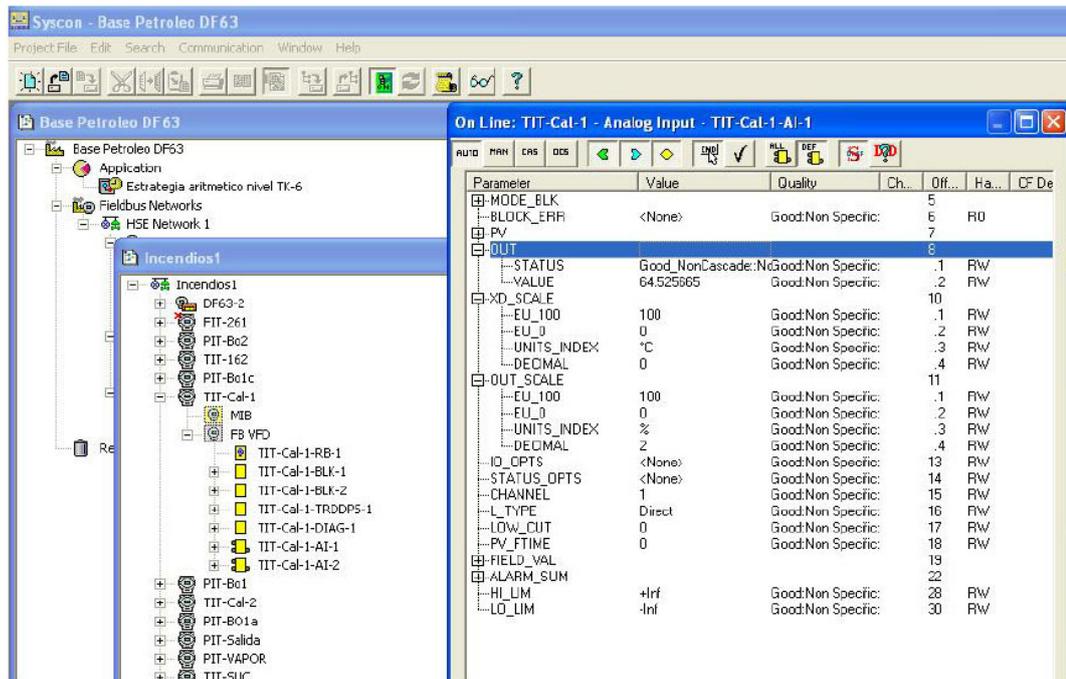


Figura 1.10 Configurador Syscon [Del Autor]

Bloques funcionales.

Los bloques fieldbus son como pequeños módulos de software sellados. Cada bloque tiene un conjunto definido de entradas y/o salidas para una función específica o tipo de información. Usted no tiene que manejar el procesamiento interno que activa las entradas y salidas de eso se encarga el fabricante que proporciona el bloque como parte de un dispositivo o sistema host fieldbus.

Foundation fieldbus utiliza tres tipos de bloques fundamentales:

- Bloques de recursos
- Bloques transductores
- Bloques de funciones

Los bloques transductores y de recursos proporcionan información valiosa acerca de los dispositivos, sensores y actuadores, y acerca de su rendimiento. Los bloques de funciones son los motores del control abierto, interoperable y dependiente del dispositivo. Juntos, estos tres tipos de bloques permiten que se mejore con más facilidad el rendimiento del equipo y el control de procesos. [12]

1.5 PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN

Muchas veces se escucha en la industria la palabra protocolos de comunicación sin tener claro de que se está hablando. Con el objeto de familiarizar a los lectores, se exponen las principales características y fundamentos de los más utilizados. En principio un protocolo de comunicación es un conjunto de reglas que permiten la transferencia e intercambio de datos entre los distintos dispositivos que conforman una red. Estos han tenido un proceso de evolución gradual a medida que la tecnología electrónica ha avanzado y muy en especial en lo que se refiere a los microprocesadores. [13]

La irrupción de los microprocesadores en la industria ha posibilitado su integración a redes de comunicación con importantes ventajas, entre las cuales figuran:

- Mayor precisión derivada de la integración de tecnología digital en las mediciones
- Mayor y mejor disponibilidad de información de los dispositivos de campo

Los protocolos de comunicación industriales [13] con mayor presencia en el área de control y automatización de procesos son:

- Hart (High way-Addressable Remote-Transducer)
- Profibus (Process Field Bus)
- Fieldbus Foundation (FF)

Los protocolos de comunicación poseen las siguientes capas:

- Capas de protocolo de Foundation Fieldbus.
- Capa de comunicación
- Capa de enlace de datos (Data Link Layer)
- Capa de aplicación (Application Layer)
- Capa del usuario
- Capa física

1.6 BUS DE CAMPO

Lo descrito anteriormente da lugar a una estructura de redes industriales [13] las cuales es posible agrupar en tres categorías:

- Buses de campo
- Redes LAN
- Redes LAN-WAN

En este trabajo se hará referencia a los protocolos de comunicación más usados en la industria, los buses de campo.

Los buses de campo permiten la integración de equipos para la medición y control de variables de proceso, reciben la denominación genérica de buses de campo [13]. Un bus de campo es un sistema de transmisión de información (datos) que simplifica enormemente la instalación y operación de máquinas y equipamientos industriales utilizados en procesos de producción. El objetivo de un bus de campo es sustituir las

conexiones punto a punto entre los elementos de campo y el equipo de control a través del tradicional lazo de corriente de 4 -20mA o 0 a 10V DC, según corresponda.

Generalmente son redes digitales, bidireccionales, multipunto, montadas sobre un bus serie, que conectan dispositivos de campo como PLC's, transductores, actuadores, sensores y equipos de supervisión. Varios grupos han intentado generar e imponer una norma que permita la integración de equipos de distintos proveedores. Sin embargo, hasta la fecha no existe un bus de campo universal. [8]

Una cuestión importante es donde se conecta el terminal del bus. Aunque la combinación de dos o más topologías son posibles, la más utilizada por la ventajas que presta es la topología tipo Bus. En las figuras 1.11, 1.12, 1.13 y 1.14 se muestran las distintas topologías que pueden presentar los buses de campo.

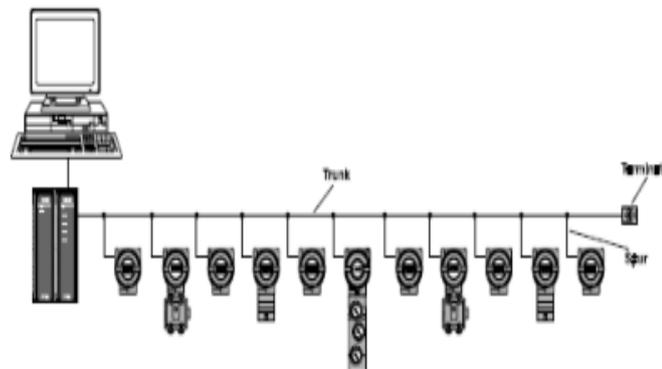


Figura 1.11 Topología tipo Bus. Fuente: [8]

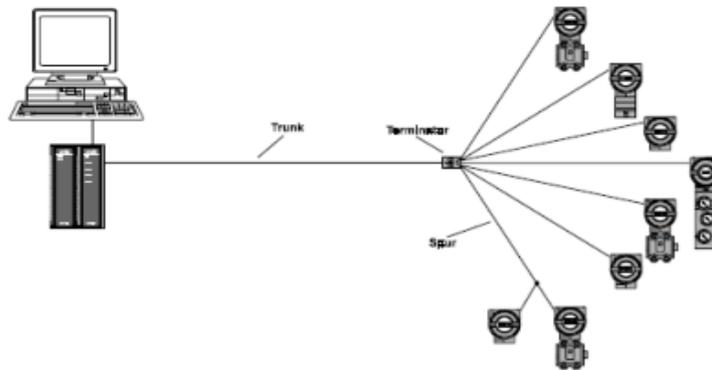


Figura 1.12 Topología Tree. Fuente: [8]

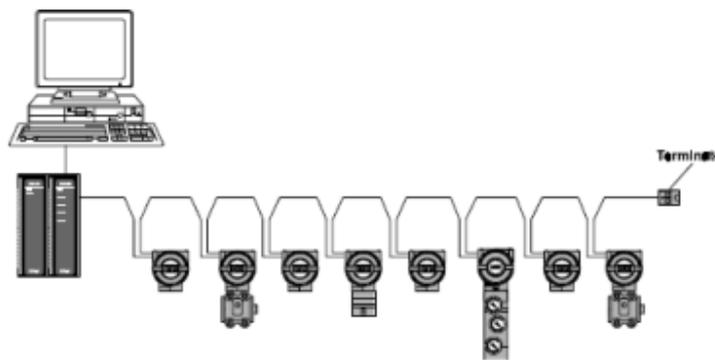


Figura 1.13 Topología Daisy-chain. Fuente: [8]

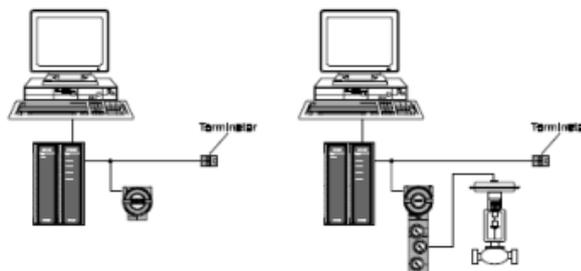


Figura 1.14 Topología point to point. Fuente: [8]

1.7 DFI302 FIELDBUS

La DFI302 es un hardware integral multifunción del System302 que incluye todo el mejor hardware y software en su clase para que usted pueda administrar, monitorear, controlar, mantener y operar su planta. La DFI302 en la planta es de tamaño contenido

y desempeña la mayor parte de las funciones requeridas para un sistema y por tanto se requieren muy pocos componentes adicionales. [8]



Figura 1.15 Arquitectura de DFI302. Fuente: [8]

Al contrario de otras interfaces Fieldbus basados en el modelo tradicional de controlador con módulos E/S que necesita muchos accesorios, la DFI302 es una unidad integrada que provee fuentes de poder, terminadores de impedancia, e inclusive barreras de seguridad, de esa forma la DFI302 es el sistema más simple de colocar, mantener y expandir. Porque un solo módulo incluye 4 canales H1 (a 31.25kbit/s), Ethernet y Modbus serial, directamente en el controlador sin necesidad de interfases por separado, la DFI302 toma una fracción de espacio, al usar como solución a los módulos individuales, siendo de esa forma más fácil de operar. [8]

Smar es el único fabricante que ofrece una solución completa con sistema Fieldbus, que no solo incluye instrumentos de campo, interfases y software, sino también todos los accesorios requeridos para la alimentación de los instrumentos de campo. De esa forma la solución es más sencilla tanto para el cliente como para el fabricante. La DFI302 es una solución completa y abierta para integrar sistemas ya que ofrece diferentes protocolos. [8]



Figura 1.16 Partes de la DFI302. Fuente: [8]

1. Rack Principal
2. DF50; Fuente de alimentación
3. DF51; CPU
4. DF52; Fuente de alimentación Fieldbus
5. DF53: Impedancia de la fuente de alimentación

Rack principal

Este elemento es sobre el que se "enchufan" o conectan el resto de los elementos. Va atornillado a la placa de montaje del armario de control. Puede alojar a un número finito de elementos dependiendo del fabricante y conectarse a otros racks similares mediante un cable, llamándose en este caso rack de expansión.

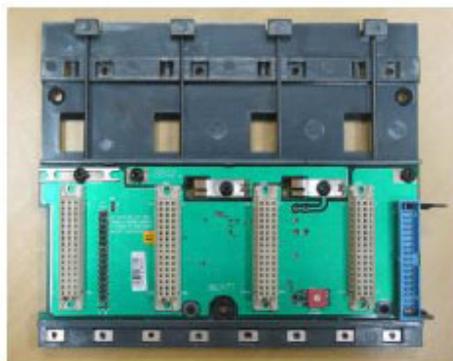


Figura 1.17 Rack principal. Fuente: [8]

DF50 Fuente de alimentación.

Es la encargada de suministrar la tensión y corriente necesarias tanto a la CPU como a las tarjetas (Figura 1.18). La tensión de entrada es normalmente de 90-264VAC de entrada y 24 VDC de salida que es con la que se alimenta a la CPU.

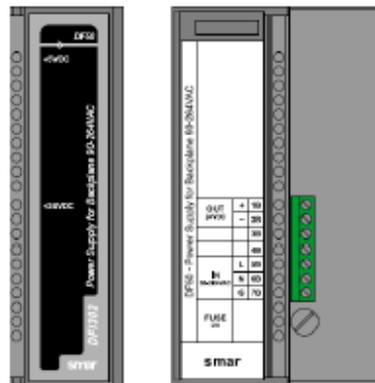


Figura 1.18 Fuente de alimentación. Fuente: [8]

DF51 CPU

Es el cerebro de la DFI302, consta de uno o varios microprocesadores que se configura mediante un software (Syscon). La DF51 está basado en un procesador de 32 –bit RISC y un programa almacenado en memoria flash, este módulo permite tareas de control y comunicación (figura 1.19)

Consta de los siguientes elementos:

- Un puerto de Ethernet a 10Mbps
- Cuatro puertos Fieldbus H1 a 31.25 Kbps
- Un puerto EIA a 232 a 115.2 Kbps
- CPU reloj a 25 MHz, 2MB NVRAM

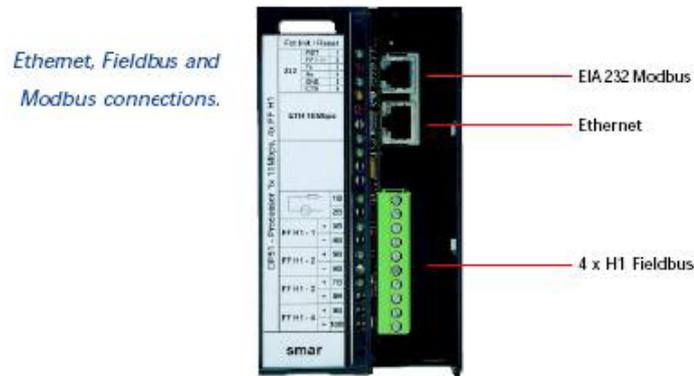


Figura 1.19 CPU DF51. Fuente: [8]

DF-52

La fuente de alimentación es un equipo sin seguridad intrínseca con una entrada AC universal de 90 a 260VAC, 47 a 440 Hz, y una salida de 24VDC aislada con protección de corto circuito y sobre corriente, apropiada para alimentar elementos Fieldbus. No hay disparo de la señal de salida cuando la fuente es encendida o apagada. (Figura 1.20)

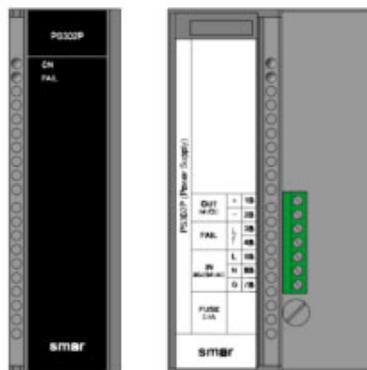


Figura 1.20 DF52. Fuente: [8]

Si alguna condición anormal ocurre en la salida como sobrecarga o cortocircuito, el interruptor interno automáticamente apaga la fuente protegiendo así su circuito. Una

vez que la salida remota en condiciones normales de operación el circuito es automáticamente encendido. [8]

DF-53

Este dispositivo tiene una impedancia de salida, que en paralelo con el Terminal del bus BT302 de $100\Omega \pm 2\%$ dan como resultado una impedancia de línea puramente resistiva para un amplio rango de frecuencia En la figura 1.21 a manera de bloques se muestra la construcción interna del PSI302P.

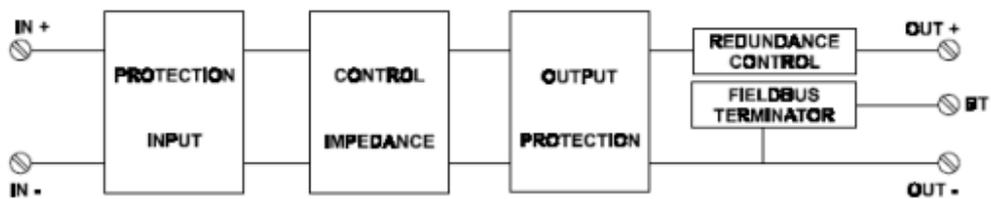


Figura 1.21 Diagrama de bloques de la DF-53. Fuente: [8]

Esta unidad presenta indicación de alimentación y sobrecorriente mediante LEDs. El LED de indicación de alimentación es de color verde y debe estar encendido mientras el equipo esta energizado. El LED de indicación de sobrecorriente es de color rojo y debe ser energizado solo en caso de sobrecorriente causada por un corto circuito o por un número excesivo de dispositivos conectados. Existen dos modelos de PSI302P, elDF49 que tiene dos salidas y el DF53 que tiene cuatro salidas como se muestra en la figura 1.22

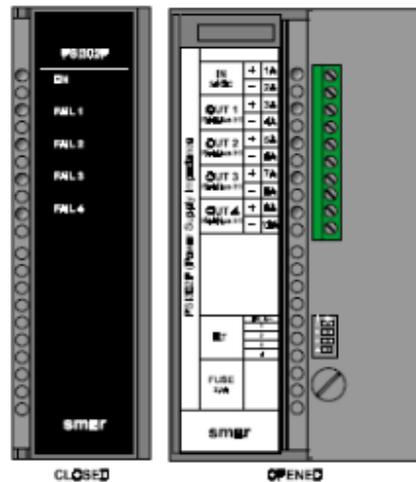


Figura 1.22 DF-53. Fuente: [8]

1.8 SERVIDOR OPC FOUNDATION FIELDBUS

La tecnología Foundation Fieldbus y OPC/OLE/ DCOM/ActiveX facilitan la integración de otros hardware al System302, mientras que los estándares TCP/ IP y UDP/IP facilitan la integración en red.

OPC es la forma abreviada de "OLE for Process Control" y significa tecnología OLE para el control de procesos. OPC es una interfaz estándar basada en los requerimientos de la tecnología OLE/COM y DCOM de Microsoft, que facilita el intercambio de datos en forma estandarizada y simple entre aplicaciones de control y automatización, entre dispositivos y sistemas de campo y entre aplicaciones administrativas y de oficina. En pocas palabras, OPC simplifica la interfaz entre los componentes de automatización de distintos fabricantes, así como programas y aplicaciones tales como sistemas administrativos y de visualización.

En la figura 1.23, se muestra la arquitectura simplificada de un sistema de control distribuido tradicional, en este se ve como cada aplicación de usuario debe tener su propio driver para comunicarse con los dispositivos físicos. Aquí se pueden encontrar

dificultades en dos niveles, en primer lugar se debe desarrollar un controlador de dispositivo, que es un programa encargado de hablar directamente con el equipo industrial a monitorear y/o controlar. Sí por ejemplo el dispositivo es un PLC, entonces se debe programar (o en su defecto adquirir) un programa que sea capaz de hablar directamente con el PLC para pedirle datos o configurar su funcionamiento.

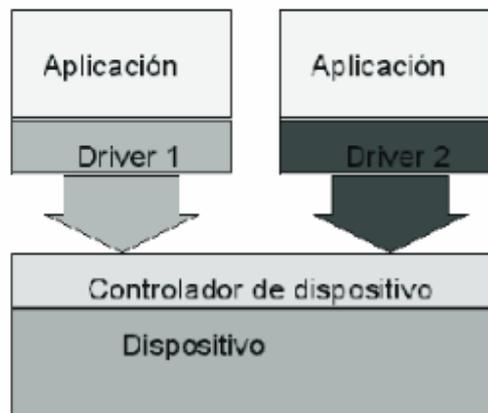


Figura 1.23 Sistema tradicional de control de procesos. Fuente: [14]

1.8.1 VENTAJAS

- Los fabricantes de hardware sólo tienen que hacer un conjunto de componentes de programa para que los clientes los utilicen en sus aplicaciones.
- Los fabricantes de software no tienen que adaptar los drivers ante cambios de hardware.

1.8.2 APLICACIONES OPC

- Diseñado principalmente para acceder a datos de un servidor en red.
- Distintas aplicaciones: nivel más bajo pueden coger datos de aparatos físicos y llevarlo a SCADA o DCS, o de un servidor SCADA o DCS a una aplicación.

Cuenta además con dos tipos de interfaces

- Interfaces Custom (obligatorio, C/C++)

- Interfaces de Automatización (opcional, VB)

OPC puede implementar las siguientes funciones de interfaces:

- Obligatorio: Funcionalidades indispensables
- Opcional: Funcionalidades añadidas

1.9 SISTEMA DE SUPERVISIÓN Y CONTROL

Los sistemas SCADA [15] originalmente se diseñaron para cubrir las necesidades de un sistema de control centralizado, sobre procesos o complejos industriales distribuidos sobre áreas geográficas muy extensas. Tal es así que en la definición clásica de un sistema SCADA se hace referencia a esta característica. Hoy en día, con el desarrollo de las redes digitales, la definición se tiene que modificar para incluir esta nueva forma de conectividad.

1.9.1 DEFINICIÓN

SCADA viene de las siglas: "Supervisory Control And Data Acquisition"; es decir: hace referencia a un sistema de adquisición de datos y control supervisor. Tradicionalmente se define a un SCADA como un sistema que permite supervisar una planta o proceso por medio de una estación central que hace de Master (llamada también estación maestra o unidad terminal maestra, MTU) y una o varias unidades remotas (generalmente RTUs) por medio de las cuales se hace el control / adquisición de datos hacia / desde el campo. Si bien las topologías que sobre las que se sustentan los sistemas SCADA se han adecuado a los servicios de los sistemas operativos y protocolos actuales, las funciones de adquisición de datos y supervisión no han variado mucho respecto a las que proponían en sus inicios.

Esquemáticamente, un sistema SCADA conectado a un proceso automatizado consta de las partes que se muestran en la figura 1.24.



Figura 1.24 Principales partes de un SCADA conectado a un proceso automatizado. Fuente: [15]

Cada una de estas partes se describe a continuación:

1. Proceso Objeto del control: Es el proceso que se desea supervisar. En consecuencia, es el origen de los datos que se requiere coleccionar y distribuir.
2. Adquisición de Datos: Son un conjunto de instrumentos de medición dotados de alguna interfase de comunicación que permita su interconexión.
3. SCADA: Combinación de hardware y software que permita la colección y visualización de los datos proporcionados por los instrumentos.
5. Clientes: Conjunto de aplicaciones que utilizan los datos obtenidos por el sistema SCADA.

Un término clave en la definición, al que muchas veces no se le da adecuada atención, es el de supervisión, que significa que un operador humano es el que al final tiene la última decisión sobre operaciones, generalmente críticas, de una planta industrial. La importancia de esta definición está en que se contrapone a la idea generalizada, que a veces si se hace, de que en la unidad master se hace control automático del proceso supervisado.

Es cierto que puede hacerse control automático, pero debe evaluarse suficientemente su implementación, tomando sobre todo en consideración la confiabilidad de los enlaces (en particular si son de larga distancia) que transportan los datos y comandos desde y hacia el campo. Una falla de comunicación, significaría dejar fuera de control el proceso. Esto explica el por qué ahora la industria favorece a los sistemas de control distribuido. Existen sistemas supervisores que se han aplicado a distintos procesos industriales a nivel internacional. En Cuba existe un SCADA nacional implementado en ramas fundamentales de la economía, el EROS [16].

Inicialmente fue implementado como sistema de supervisión y control en la industria del níquel, por sus potencialidades se expande a la industria azucarera, la industria láctea y la Unión Eléctrica [3].

1.9.2 SISTEMA DE SUPERVISIÓN Y CONTROL EROS

EROS es un Sistema de Supervisión y Control desarrollado en Cuba, que facilita a los operadores, ingenieros, supervisores y directivos, operar y dirigir cualquier proceso con eficiencia y productividad. Contiene interfaces cómodas y amigables para el usuario, es fácilmente configurable en caliente, ofreciendo funcionalidades predeterminadas para el análisis histórico de las variables medidas (registros, mímicos, gráficos, estadísticas, alarmas de operación y prohibitivas, recetas) y el mando a distancia, agilizando la operación del proceso.

Posee gran fortaleza en su conectividad y posibilidades de intercambio de información con autómatas de diferentes fabricantes, analizadores de redes, reguladores autónomos, protecciones eléctricas y otros dispositivos inteligentes, por diferentes medios como frame relay, radio trunking, radio módem, SMS, con varios protocolos estándar entre ellos MODBUS, MAP27, SAIABUS y otros protocolos propietarios. Posee interfaces estándar y propietarias para comunicarse con softwares como otros SCADAs, aplicaciones específicas y herramientas de trabajo como Word y Excel.[3]

CONCLUSIONES

1. Resalta en la búsqueda bibliográfica que no existen investigaciones relacionadas con la compatibilidad entre la tecnología Foundation Fieldbus y el SCADA EROS, siendo esta investigación novedosa y pionera en este campo.
2. Con el uso de los instrumentos, arquitectura System302, protocolos de comunicación, buses de campo, servidor OPC de Foundation Fieldbus y el driver OPC EROS utilizado en este trabajo se puede establecer la comunicación con el SCADA EROS, garantizando la supervisión de las operaciones de recepción y suministro de la base de combustible de la empresa en estudio.

CAPÍTULO 2. AUTOMATIZACIÓN BASE DE COMBUSTIBLE PUERTO MOA

INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se abordan los elementos y requisitos a considerar para compatibilizar la tecnología *Fieldbus Foundation* con el SCADA EROS para su aplicación en el sistema de automatización de la base de combustible en la empresa Puerto Moa con vistas a mejorar la eficiencia en el proceso de recepción y suministro, la toma de decisiones, reducir los derrames, así como humanizar el trabajo.

2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO TECNOLÓGICO DE LA BASE DE COMBUSTIBLE

El sistema de automatización de la base de combustible, es un sistema híbrido conformado mayormente por los componentes de hardware con tecnología de bus de campo Foundation FieldBus y de software del System302 de SMAR, algunos instrumentos particulares como los radares de la firma SIEMES y todas las muestras de corriente que se estandarizan pertenecen al estándar 4-20 mA.

Para la total integración de todos los dispositivos 4-20 mA con la arquitectura de bus de campo del System302 de SMAR se utilizó el convertidor de corriente fieldbus IF302, todas las mediciones se canalizan entre el servidor OPC de Fieldbus y el cliente OPC EROS, lo que permite la supervisión del proceso mediante el SCADA EROS.

2.1.1. ÁREAS TECNOLÓGICAS DE LA BASE DE COMBUSTIBLE

La base de combustible está conformada por diferentes áreas tecnológicas, las que se denominan:

- a) Área del ducto campo de boya
- b) Área de los tanques de almacenajes
- c) Área de los tanques de recirculación
- d) Área de casa bombas

e) Área del sistema contra incendios

A continuación, se describe el proceso tecnológico.

El **proceso tecnológico** de la base de combustible comienza con la entrada de los barcos cisterna que transportan el petróleo desde otros puertos de Cuba y el extranjero al puerto de Moa hasta el muelle #1 y la entrada de los supertanqueros por el campo de boya. Los barcos que atracan por el muelle No.1 tienen capacidad de unos 13800 t y los que lo hacen por el campo de boyas tienen capacidad de 50 000 t y están dotados de sistemas de calentamiento en sus cisternas manteniendo una temperatura durante su estacionamiento y descarga.

Se realiza el control del nivel, volumen, temperatura, características, propiedades químicas y físicas, recepción de la muestra enviada por la firma que vende el producto, control del nivel en el depósito donde se va almacenar. Concluidas estas actividades comienza la recepción mediante dos bombas instaladas en el barco con una capacidad de bombeo de alrededor de 450 t/h. Aquí el petróleo pasa a través de una manguera de goma especial y metal con diámetro de 200 mm y longitud de (4 a 6) m, la que se acopla a una línea de 400 mm de diámetro donde está instalado un manómetro que controla la presión de descarga de las bombas del barco. Para el trasiego del petróleo hacia los depósitos se abre la válvula de bola que está después del acople de la manguera con la tubería y la válvula manual que lo conduce al tanque seleccionado para la recepción.

La línea submarina de 24 pulgadas está ubicada desde la plataforma marítima hasta tierra, ésta se bifurca en dos líneas de 20 pulgadas de diámetro, se ubica al oeste de la presa de cola de empresa Che Guevara, el largo del ducto es de 2,5 Km. Debido a la alta viscosidad de petróleo, la tubería submarina se mantiene llena de agua salada para evitar que se adhieran partículas de petróleo a la misma y de esta forma se haga

más fácil la descarga del barco. Las líneas de descarga se dividen en dos, una línea va hacia el tanque de agua salada y la otra, hacia los tanques de almacenamiento.

Una vez preparada la instalación de descarga comienza el bombeo. El agua que se encuentra en las tuberías se bombea hacia el tanque de agua salada. Cuando se detecta la presencia del petróleo, se abre la válvula hacia los tanques de almacenamiento de petróleo y cierra la que se destina al tanque de agua salada. Al finalizar el bombeo, la tubería de descarga debe quedarse llena de agua salada.

Antes de la llegada del ducto a los tanques de almacenamiento se hace una bifurcación para tomar decisiones sobre que tanques se deben llenar. Existen seis tanques de acero (TK-1, 2, 3, 4,5 y 6), cinco de ellos con volumen de diseño de 20000 t y uno de ellos con capacidad de diseño de 15000 t. Para una capacidad de recepción de 115000 t. Cada tanque tiene un sistema de precalentamiento compuesto por 5 precalentadores, un medidor de nivel, un termómetro y una escotilla para realizar operaciones de mantenimiento, además de una válvula de salida, una de entrada y un bay-pass, cuatros válvulas de drenaje de agua.

Una vez que el petróleo se encuentra en el depósito se deja 24 horas en reposo para que se separe del agua, luego se drena la misma hasta que se vea el petróleo por el drenaje. Durante la recepción y posterior almacenamiento se le suministra vapor para calentado hasta una temperatura de 60 °C. Cada tanque lleva consigo sistemas contra incendio, este sistema consta de tuberías que rodean el tanque para cuando la temperatura exceda el valor de 80°C regar agua a su alrededor, además de un sistema para regar espuma en caso de incendio.

Al eliminar el agua salada del ducto, también se pasa un poco de petróleo. Para su recuperación, se realiza un drenaje del tanque mediante una válvula manual hasta que se detecte el petróleo. Cuando se ve pasar el petróleo, la válvula que posibilita esta

acción se cierra y prosigue la circulación hacia el pozo de petróleo que está por debajo del nivel del mar.

Una vez almacenado en el pozo, se bombea el fluido hacia el tanque de recirculación, aquí se separa nuevamente el agua salada del petróleo, la mezcla agua-petróleo se bombea al sistema de purificación y el petróleo, a los tanques de almacenamiento.

Finalmente una vez almacenado el petróleo, se bombea hacia la empresa Ernesto Che Guevara y Pedro Soto Alba. Es necesario enviar el producto con una determinada temperatura debido a que:

1. El cliente desea una determinada temperatura de entrega del producto.
2. Facilidad para el bombeo del petróleo debido al cambio de viscosidad que sufre el fluido con el gradiente de velocidad.

Los intercambiadores de calor tienen como fuente de calentamiento vapor de agua, el cual se bombea desde la Che Guevara. Este debe tener una temperatura entre 100 y 160 °C, necesaria para poder precalentar el petróleo y bombearlo con la temperatura requerida hacia su destino.

2.2 IMPLEMENTACIÓN DEL DRIVER OPC EROS-SISTEMA SUPERVISOR.

Para lograr la comunicación de los instrumentos de campo con el SCADA EROS es necesaria la utilización del driver OPC EROS, para lo que se deben realizar una serie de pasos que parten de un levantamiento de todos los elementos que conforman el sistema de automatización de la Base de Petróleo, a continuación se explican los componentes de su arquitectura de control detallando los elementos de sus principales niveles jerárquicos.

2.2.1. LA INSTRUMENTACIÓN DE CAMPO

Inicialmente se caracteriza la instrumentación de campo que comúnmente se refiere a los instrumentos situados directamente en instalaciones cercanas al equipo tecnológico, no obstante, como en la tecnología de bus de campo las mediciones de las variables están asociadas de forma muy comprometida con su transmisión por el bus, no solo en la comunicación que se establece entre los instrumentos conectados a un mismo bus, sino también entre éstos y el dispositivo del nivel intermedio de la arquitectura de control, es necesario analizar los lazos de medición concebidos en cada uno de los equipos tecnológicos fundamentales propios de las áreas de la Base de Petróleo. Como parte del levantamiento realizado, en la Tabla No. 1 del anexo 1, se muestra la instrumentación de campo que forman los diferentes lazos de medición concebidos en la Base de Petróleo.

La tecnología de instrumentación y control de la firma SMAR está basada en una instrumentación inteligente en los cuales los instrumentos de campo por sí mismos realizan las operaciones de medición, control, procesamiento y cálculo en el propio dispositivo de campo. El sistema opera bajo el estándar Foundation Fieldbus. Los instrumentos de Smar son robustos y confiables, a través del bus de campo intercambian una gran cantidad de información, además del valor de la variable medida se gestionan parámetros tales como; el estado del instrumento, la versión del firmware, los parámetros de calibración y la calidad de la medición, entre otros. Estos datos son adquiridos por los módulos procesadores DFI302.

Los procesadores están conectados vía Ethernet a la computadora de proceso que tiene instalados el SCADA EROS y el System302. El System302 es la plataforma de configuración propia de SMAR, consta de un servidor OPC que se utiliza para el registro de toda la información que brinda la instrumentación de campo, mediante el driver OPC EROS se logra la comunicación con el SCADA EROS.

Se concibió que toda la instrumentación de campo instalada proporcionara las indicaciones locales mediante pantallas LCD y la visualización remota de éstas mediante la transmisión de dicha señal por el bus de campo FieldBus-System302-SCADA EROS.

2.2.2 LAZOS DE MEDICIÓN DE LOS TANQUES DE ALMACENAJE DE PETRÓLEO

En los tanques de almacenaje se deben prever las mediciones siguientes:

- Medición de nivel en m.
- Medición de temperatura en °C.

En el presente trabajo la medición de nivel en los tanques de petróleo TK1 al TK6, se realiza con radares SITRANS PROBE LR 300 de la firma Siemens, estos con salida 4-20 mA se incorporan al sistema Fieldbus a través de transmisores e indicadores de corriente a fieldbus (IF302) que forman parte del paquete Foundation Fieldbus y que tienen como etiqueta IF-302 para los tanques. En la figura 2.1

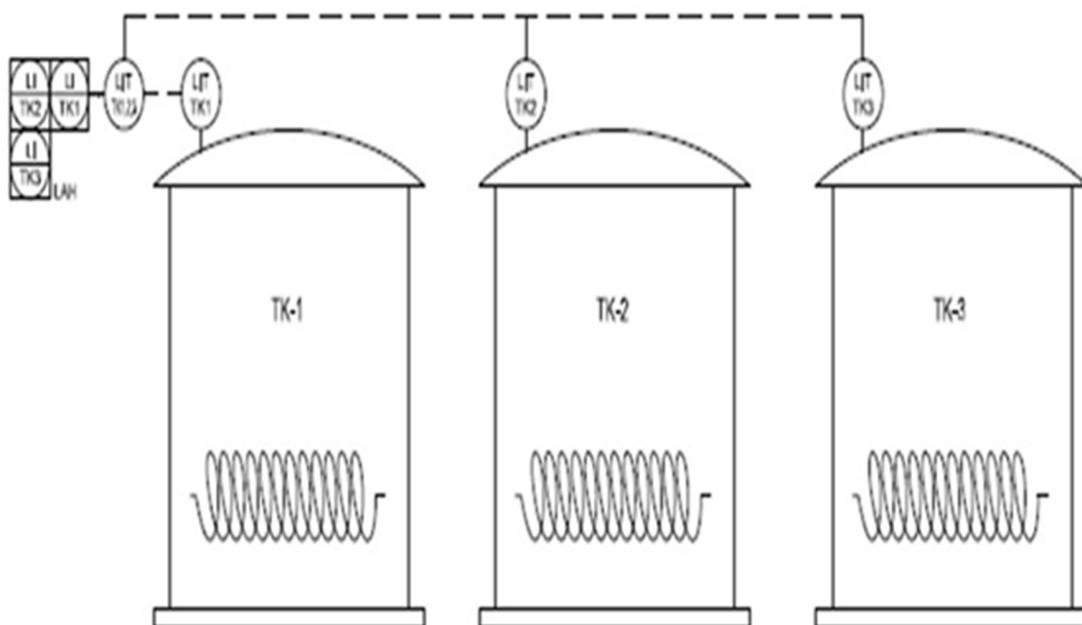
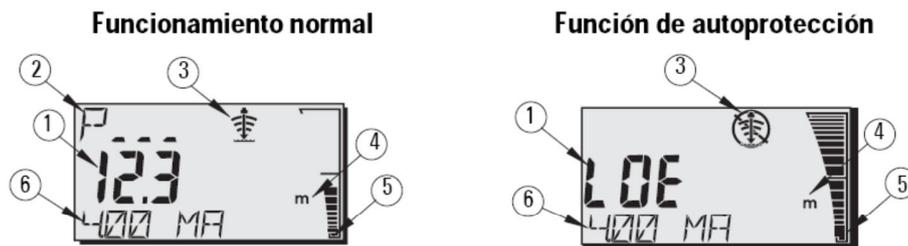


Figura 2.1 Medición de nivel por radar en los tanques TK-1, TK-2 y TK-3 [Del Autor]

Esta medición de nivel por el transmisor/indicador de radar SITRANS PROBE LR300 se muestra de forma local en un indicador que tiene el propio instrumento y en el cual se indican al unísono la medición de nivel en metros y la medición de la corriente que se está transmitiendo en miliamperes (mA). Ver figura 2.2.

Visualización en modo RUN

La visualización se controla con el programador portátil.



- 1 – Lectura principal (indicación de: nivel, distancia o volumen en unidad o porcentaje).
- 2 – Lectura secundaria (indicación del número de parámetro para la lectura auxiliar)
- 3 – Indicador de eco: Eco fiable o Eco poco fiable
- 4 – Unidad o Porcentaje
- 5 – Indicación de nivel por gráfico de barras
- 6 – Lectura auxiliar (visualización de un valor mA, de la distancia, o de la fiabilidad de eco, en unidades si es aplicable.)



Figura 2.2. Radar utilizado para la medición de nivel en los Tanques. Fuente: [11]

2.2.3 MEDICIONES DE TEMPERATURA EN LOS TANQUES

En los tanques se realizan dos mediciones de temperatura, hechas en dos transmisores, la medición de la temperatura a la salida del tanque y la medición de temperatura promedio del tanque, la primera se realiza con dos elementos independientes, (ver figura 2.3), primero el sensor (Termoelemento) de temperatura PT100 que se sitúa en la salida de petróleo donde se efectúa la muestra de temperatura, este es conectado a tres hilos por un cable de cobre con el segundo

elemento que es el transmisor de temperatura TT302 de SMAR, en este caso la tag es TIT-075 donde TIT (de las siglas en inglés según normas ANSI (Temperature Indication Transmitter)). [17]

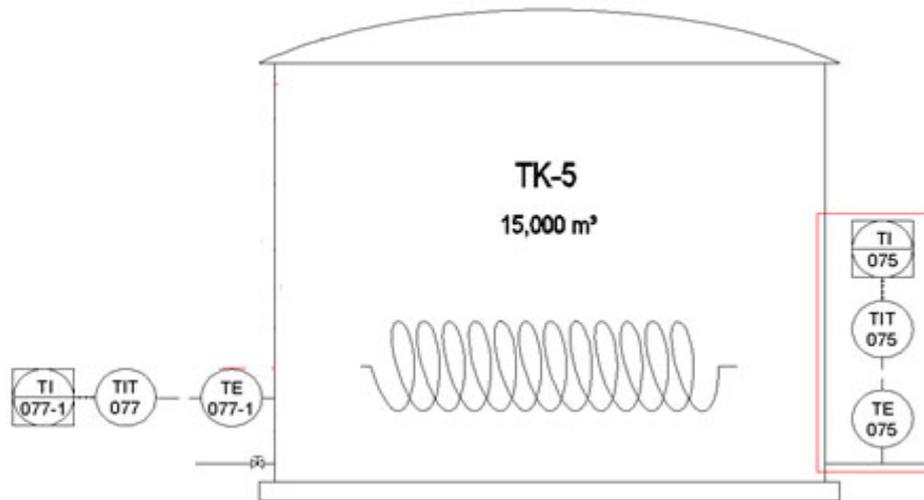


Figura 2.3. Lazos de medición de temperatura en el tanque TK-5. [Del Autor]

2.2.4. LAZOS DE MEDICIÓN EN EL ÁREA CONTRA INCENDIOS

En esta área se lleva a cabo la medición de nivel de los tanques de agua y la medición de nivel en las balsas de espumas.

2.2.4.1. MEDICIÓN DE NIVEL EN LOS TANQUES DE AGUA TK4A, TK4B Y EN LAS BALAS DE ESPUMA

La medición de nivel tanto en los tanques de agua como en las balsas de espuma (figura 2.4) se realiza con el principio de medición hidrostática, para ello se instaló en cada lazo un transmisor fieldbus de presión relativa LD302 de SMAR etiquetado de la siguiente forma:

- LIT-TK4a, Medidor de nivel del tanque de agua TK4a.
- LIT-TK4b, Medidor de nivel del tanque de agua TK4b.
- LIT-TESP, Medidor de nivel en las balas de espumas.

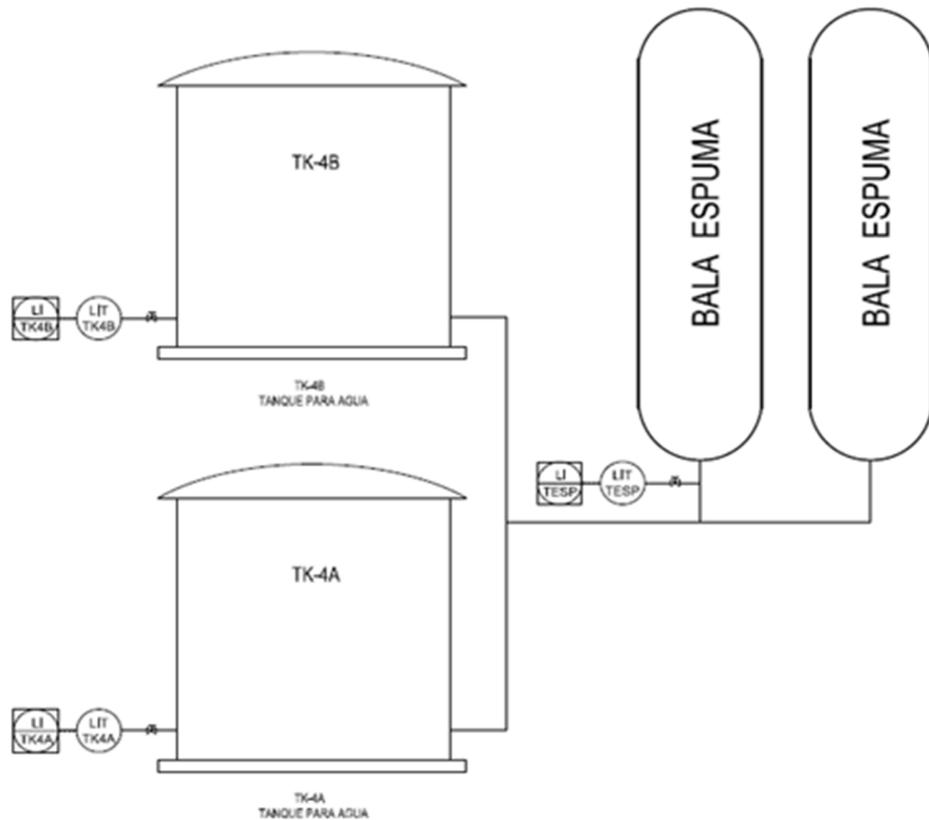


Figura 2.4. Diagrama de proceso medición de nivel TK4a, b y balas de espuma. [Del Autor]

Los instrumentos incorporan internamente una curva que define la altura en metros (m) del tanque (columna líquida) con la presión relativa medida en mBar, de esta forma se obtiene la medición de nivel en metros.

$$H(m) = \frac{(P_2 - P_1)}{\rho \cdot g} \quad 2.1$$

Donde:

P_1 : es la presión sobre la superficie

P_2 : es la presión en la profundidad h

ρ : es la densidad del fluido

g : es la constante de la gravedad

2.2.5. LAZOS DE MEDICIÓN EN EL SISTEMA DE BOMBEO

En el sistema de bombeo se concibieron las mediciones siguientes:

- Medición de presión en kgf/cm^2
- Medición de temperatura en $^{\circ}\text{C}$.
- Medición de las corrientes de Bombas.

2.2.5.1. MEDICIONES DE PRESIÓN EN EL SISTEMA DE BOMBEO

Las mediciones de presión en el sistema de bombeo de petróleo, se realiza con un dispositivo para cada una de ellas (el transmisor de presión relativa LD302 de SMAR) que toma la muestra de presión directamente de las salidas de la bombas para luego ser transmitida por el bus hacia el sistema de supervisión y control, más detalles se pueden observar en los diagramas P&DI del Anexo 2, correspondiente a los recuadros en color rojo.

- PIT-172, Presión de salida de la bomba de petróleo 1.
- PIT-049, Presión de salida de la bomba de petróleo 2
- PIT-221, Presión de salida de la bomba de petróleo 1C
- PIT-BO1A, Presión de salida de la bomba de petróleo 1A
- PIT-160, Presión de salida del ducto principal.

La indicación de estas variables de presión se realiza en el propio transmisor, y éste mismo la transmite vía fieldbus hacia el programa SCADA EROS para su supervisión remota utilizando el servidor de System302 y el driver OPC EROS desarrollado como intermediario.

2.2.5.2. MEDICIONES DE TEMPERATURA EN EL SISTEMA DE BOMBEO DE PETRÓLEO

En esta área se realizan mediciones de temperatura a la salida de los calentadores de petróleo, temperatura de entrada del ducto de petróleo y en la línea de salida a las plantas de níquel ECG y PSA. Estas mediciones igual que en los casos anteriores se logra por la interconexión de dos dispositivos independientes: el termoelemento de temperatura PT100 y el transmisor de temperatura TT302 de SMAR en una conexión a tres hilos del sensor con el transmisor (figura 2.5). Ver diagramas P&DI en el anexo 3.

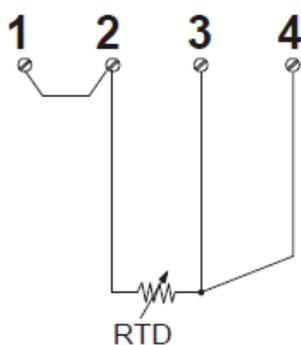


Figura 2.5 Conexión a 3 hilos PT100-TT302 Smar. Fuente: [9]

- TIT-244, Temperatura de petróleo a la salida del calentador 1.
- TIT-238, Temperatura de petróleo a la salida del calentador 2.
- TIT-245, Temperatura de petróleo a la salida del calentador 3.
- TIT-162, Temperatura salida del ducto de petróleo.
- TIT-158, Temperatura entrada del ducto de petróleo.

La indicación de estas variables de temperatura se realiza en el propio transmisor, y éste mismo la transmite vía fieldbus hacia el programa SCADA EROS para su supervisión remota utilizando el servidor OPC del System302 y el driver OPC EROS desarrollado como intermediario.

2.2.5.3. MEDICIONES DE CORRIENTES EN LAS BOMBAS DE PETRÓLEO (BO1a BO2)

La medición de la corriente de las bombas de petróleo (BO1a BO2) se logra midiendo la corriente de la fase B (fase del centro) mediante un Transformador de Corriente (TC), la salida de estos TC tienen incorporado un convertidor 4-20 mA.

Los transformadores de corriente que captan la corriente de la fase B tienen etiqueta IE-445 para la bomba BO1a, IE-446 para la BO2, los que van a los canales 1 y canal 2 del IF302, con etiqueta IIT-BO1a2. Ver figura 2.6.

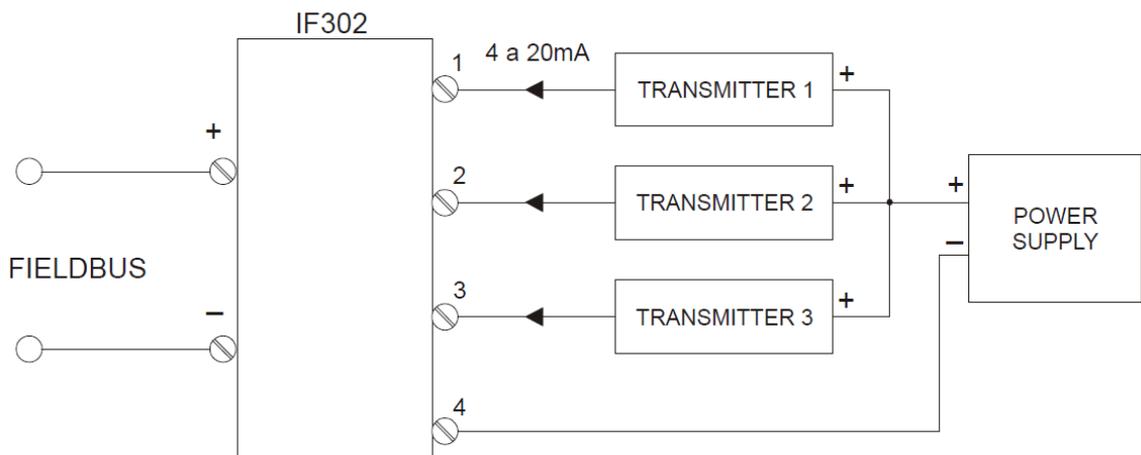


Figura 2.6 Lazo de medición 4 a 20mA a fieldbus IF302 Smar. Fuente: [10]

Los valores de corrientes de dichas bombas, poseen indicación local y se transmiten para su visualización en el SCADA EROS vía remota. Ver esquema de conexiones anexo 2, recuadros en color azul.

La indicación de estas variables de corriente se realiza en el propio transmisor, y éste mismo la transmite vía fieldbus hacia el programa SCADA EROS para su supervisión remota utilizando el servidor OPC del System302 y el driver OPC EROS desarrollado como intermediario.

2.2.6. LAZOS DE MEDICIÓN DE PRESIÓN Y TEMPERATURA DEL CAMPO DE BOYAS

En el campo de boyas se realizan las mediciones de temperatura y presión en el nudo de válvulas de dicho campo.

Medición de presión en el nudo de válvulas del campo de boyas

La medición de presión en el nudo del campo de boya, se realiza con un transmisor de presión relativa LD302 de SMAR, en este caso tiene como etiqueta PIT-CB que toma la muestra de presión directamente de la línea para luego ser transmitida vía fieldbus hacia el programa SCADA EROS para su supervisión remota utilizando el servidor OPC del System302 y el driver OPC EROS desarrollado como intermediario. Ver en anexo 4

Mediciones de temperatura en el nudo del campo de boya

En el nudo campo de boya se realizan varias mediciones de temperatura, hechas en dos Transmisores TT302, uno con etiqueta TIT-LCB y el otro TIT-LAS: la medición de la temperatura en la línea de agua salada y las mediciones de temperatura en las líneas del campo de boya. Las muestras de las temperaturas son transmitidas vía fieldbus hacia el programa SCADA EROS para su supervisión remota utilizando el servidor OPC del System302 y el driver OPC EROS desarrollado como intermediario. Ver en anexo 4.

Mediciones de temperatura y nivel del TK6a

En el TK6a se realizan dos mediciones, una de temperatura y la otra de nivel, la primera con un Transmisor de temperatura etiquetado TIT-TK6a, la medición de la temperatura se obtiene con la interconexión del elemento primario de medición PT100 y el transmisor y la medición de nivel mediante el principio de medición hidrostática, para ello se instaló un transmisor fieldbus de presión relativa LD302 de SMAR etiquetado de la siguiente forma:

- LIT-TK6a, Medidor de nivel del tanque de agua petróleo TK6a.
- TIT-TK6a, Medidor de temperatura del tanque de agua petróleo TK6a

La indicación de estas variables de nivel y temperaturas se muestran en los propios transmisores, y los mismos la transmiten vía fieldbus hacia el programa SCADA EROS para su supervisión remota utilizando el servidor de System302 y el driver OPC EROS desarrollado como intermediario. Ver en Anexo 4

Para garantizar esta comunicación es necesario configurar y programar el System302. De manera tal que exista un enlace entre la instrumentación de campo, las DFI302 y el System302.

2.3. DISPOSITIVOS DE CONTROL

El nivel intermedio de la arquitectura de un sistema de control lo constituyen mayormente los dispositivos en los cuales se realiza toda la programación de la automática, que en la arquitectura 4-20 mA esta responsabilidad se centra en los PLC (Programmable Logic Control); sin embargo, en la tecnología de bus de campo los equipos de este nivel (DFI302) a pesar que tienen las mismas posibilidades que los PLC se utilizan más como interfases de comunicaciones entre la información que circula en los buses de campo H1 (a velocidades de 31.25 kbaudios) y la información

que se comparte en la red LAN Ethernet 10/100 Mbits/s. Esto se debe a que el mayor número de operaciones de cálculo, procesamiento matemático, combinación lógica, etc., se realiza directamente desde los instrumentos inteligentes en foundation fieldbus y se reserva para las DFI 302 sólo las cuestiones generales que son comunes a todos.

La arquitectura propuesta del sistema de control de la Base de petróleo está concebida de la forma en que se muestra en la figura 2.7.

Pueden apreciarse en la figura. 2.7 los diferentes niveles que la conforman:

- La instrumentación de campo. (Nivel básico). Aquí se encuentra toda la instrumentación explicada en los epígrafes anteriores para realizar las mediciones requeridas por el sistema automatizado de la base de combustible. Se puede apreciar en el esquema los detalles de conexión a los buses FF de cada instrumento.
- Los dispositivos de control y procesamiento (Nivel Intermedio). Formado por los tres dispositivos DFI que garantizan las comunicaciones entre los niveles extremos.
- El sistema de supervisión y control (Nivel Superior). Donde se encuentra la PC de supervisión del sistema con el SCADA EROS y los switch de intercomunicación.

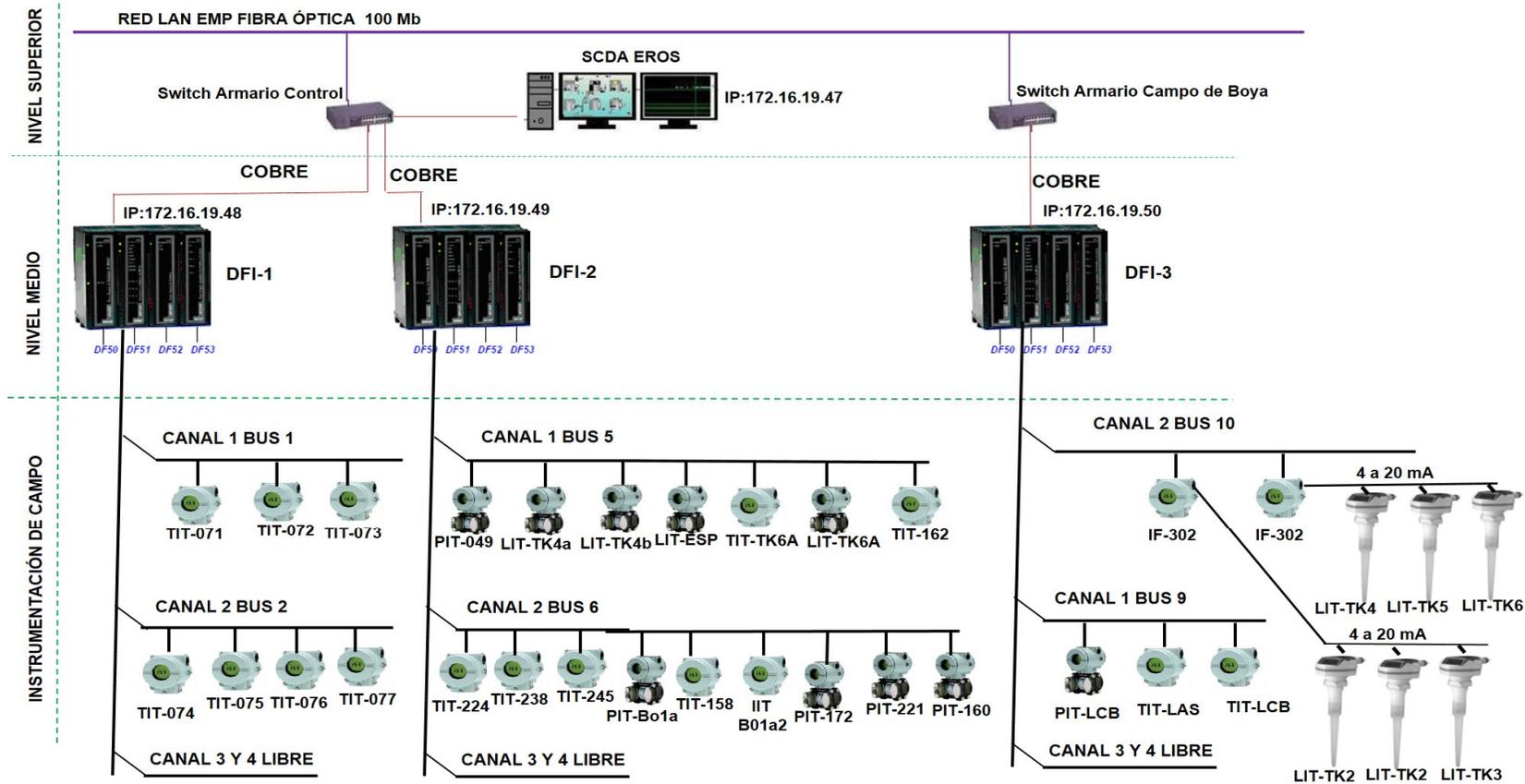


Figura 2.7. Arquitectura del sistema de control base de combustible. [Del Autor]

2.4. SISTEMA DE SUPERVISIÓN

El nivel superior de la arquitectura de este sistema de control lo constituye el programa SCADA EROS y todos los elementos de hardware (comúnmente medios informáticos y de comunicaciones) asociados a este y que garantizan la conectividad física para que el operario pueda acceder a toda la información generada y procesada por los equipos de campo desde la supervisión.

Dentro de esta conectividad se encuentran las trazas de fibra óptica, las conexiones de cobre con cable categoría 5 y conectores RJ45, los concentradores de comunicaciones o switch industriales (2 en este caso) los que unen el enlace de fibra con el de cobre y al mismo tiempo realizan la distribución de los canales Ethernet para la conexión de todas las DFI302 y los medios de computación. Ver figura. 2.7.

Como herramienta HMI se utiliza el SCADA EROS, en el cual se han configurado todas las pantallas del proceso tecnológico con la supervisión estática y animada de todas las variables medidas por la instrumentación de campo.

De la figura 2.7 puede observarse que las 2 primeras DFI y las computadoras de operaciones y jefe turno respectivamente se conectan al switch industrial 1 que es el que se encuentra instalado dentro del armario de control del panel de petróleo y que recibe la conexión de fibra óptica con el centro de servidores de la empresa EPM. La computadora de operaciones recibe y almacena toda la información transmitida por la instrumentación de campo en tiempo real. En una cascada con el switch 1 se encuentra un segundo switch industrial 2 que está ubicado en el armario de campo de boya conectado también a través de fibra óptica multimodo, desde donde se conecta la DFI3.

Se ha utilizado el protocolo OPC como medio o lenguaje de comunicación estándar entre todos los aparatos de campo, las DFI y el SCADA EROS. Este driver se

encuentra protegido tanto en la computadora dedicada como en la estación de ingeniería por una llave o licencia del driver, conocida como OLE Server que se mantiene conectada a uno de los puertos USB por la parte trasera de la computadora.

En un segundo nivel de comunicaciones se encuentran las estaciones clientes de la supervisión a los cuales se les da la posibilidad de acceder a la supervisión de la planta mediante un servidor dedicado que se instalará oficialmente en el local de los servidores de la EPM y será administrado por los técnicos de ésta área.

El servidor se mantendrá comunicando en tiempo real con la estación de trabajo de la base de petróleo vía TCP/IP, los diferentes clientes de la red no se comunican con la PC de operaciones directamente, sino que lo hacen a través del servidor en una configuración que solo depende de la red y para nada interviene la comunicación OPC-SCADA, de esta forma se realiza un mejor control sobre la información y se puede brindar un servicio de mantenimiento más rápido y eficiente sin derecho a accionar sobre el control del proceso.

El resultado de la supervisión realizada con el SCADA EROS puede apreciarse más detalladamente en el tópico de configuración que a continuación se describe. .

2.5. CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA DE SUPERVISIÓN

Para la configuración del sistema se utilizaron varias herramientas computacionales de configuración, cada una de ellas aplicadas de acuerdo con el elemento utilizado.

El paquete Studio del System302 de SMAR incluye:

- Syscon: Programa de configuración de los instrumentos fieldbus FF así como de los procesadores DFI302.
- Licence Code: Herramienta que verifica la conexión física de la llave.

- FBTools Wizard: Herramienta que verifica la conexiones de la DFI con la PC, si hay o no conexión física y lógica.
- Programa para el chequeo de las comunicaciones y actualización del firmware de cada instrumento.
- Programa TagView para verificar el servidor OPC.

2.5.1. CONFIGURACIÓN DE SYSCON

Como la tecnología utilizada es el Foundation Fieldbus de Smar, la herramienta más utilizada es el Syscon, herramienta desarrollada por este fabricante para la programación de todos los instrumentos y dispositivos de esta tecnología.

En la figura 2.8 se muestra la configuración en Syscon. Puede verse a la izquierda que el proyecto denominado “Base de Petróleo” está formado por dos “Carpetas” principales que son:

1. Aplicación: Es donde se guardan los ficheros de programación de la estrategia, es decir donde se hacen los enlaces de los bloques en función del fin que se busca. Más adelante se mostrarán algunos ejemplos.
2. Fieldbus networks: Es la carpeta donde se guarda y almacena toda la configuración de los buses, de los instrumentos, sus bloques y parámetros

2.5.2. CONFIGURACIÓN DE LA PARTE FÍSICA DE LA ARQUITECTURA

Una vez que el fichero está listo se guarda, se descarga totalmente y se hace una exportación de todas las variables generadas al driver OPC para su acceso desde otras aplicaciones, por ejemplo, desde el SCADA EROS para su visualización.

En la figura 2.8 se muestra la configuración de la instrumentación que compone los seis (6) buses que conforman la arquitectura FF.

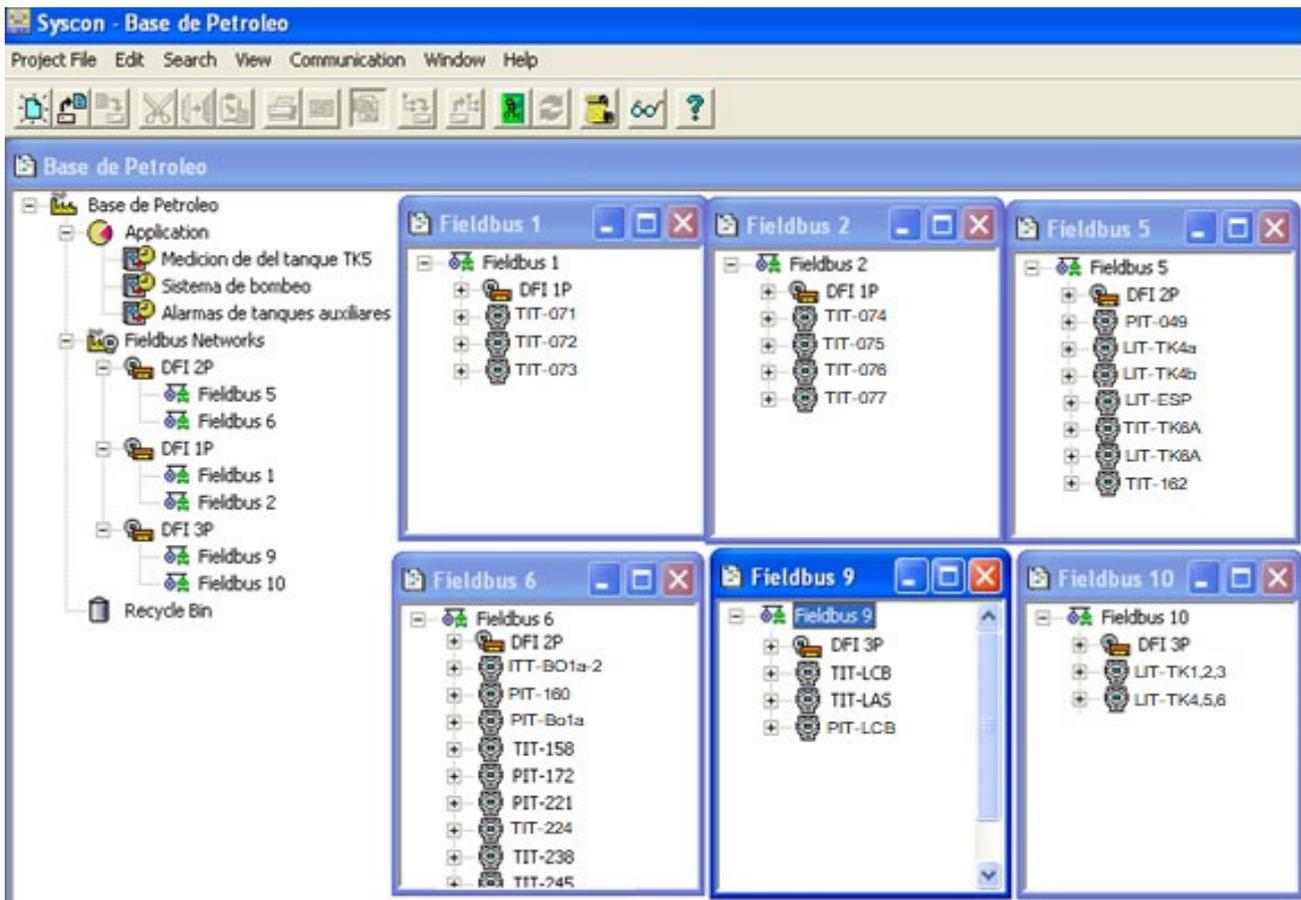


Figura 2.8. Configuración de la instrumentación de la Base de Petróleo. [Del Autor]

En la configuración se han utilizado 3 DFI302 nombradas DFI 1 a DFI 3. La DFI 1 está utilizando dos de sus cuatro buses con un total de 7 instrumentos distribuidos de la forma siguiente, tres para el canal 1 bus 1, cuatro para el canal 2 bus 2 y el bus 3 y 4 libre. En esta DFI se encuentran los instrumentos correspondientes a los tanques de petróleo.

La DFI 2 utiliza también dos buses, el tercero y cuarto están libres. En los canales 1 y 2 buses 5 y 6 tiene un total de 16 instrumentos, 7 para el bus 5 y 9 para el bus 6. Aquí

se ubica la instrumentación del área contra incendio, la casa de bombas, los niveles de los tanques de agua, espuma y el TK6A.

La DFI 3 como se puede observar en la figura 2.7 es la que está ubicada en el armario de campo de boya. Esta, al igual que las anteriores, utiliza dos buses y dos tiene libre, en el canal 1 bus 9 tiene tres instrumentos y en el canal 2 bus 10 dos instrumentos. En esta DFI se encuentran todas las variables del nudo de campo así como las relacionadas con los niveles por radar de los tanques del TK1, al TK6.

En la figura 2.9 pueden apreciarse algunos de los bloques que se han utilizado por instrumento en cada segmento de bus. Esto es muy importante pues define la capacidad mínima que debe tener la llave o licencia del software para poder mantenerse abierto y listo para la configuración. En este bus se encuentran contraídos (con una cruz encerrada en un recuadro amarillo) un total de 36 bloques, a razón de 6 bloques promedio por instrumento, esto quiere decir que este bloque tiene algunos parámetros configurados por el usuario. Para los 28 instrumentos que conforman la arquitectura, se obtiene un valor aproximado de 168 bloques, por lo que se requiere una llave con capacidad para configurar dichos bloques.

A continuación se desglosan algunos de estos buses hasta mostrar todos los bloques que se han concebido por instrumento. Ver figura 2.9.

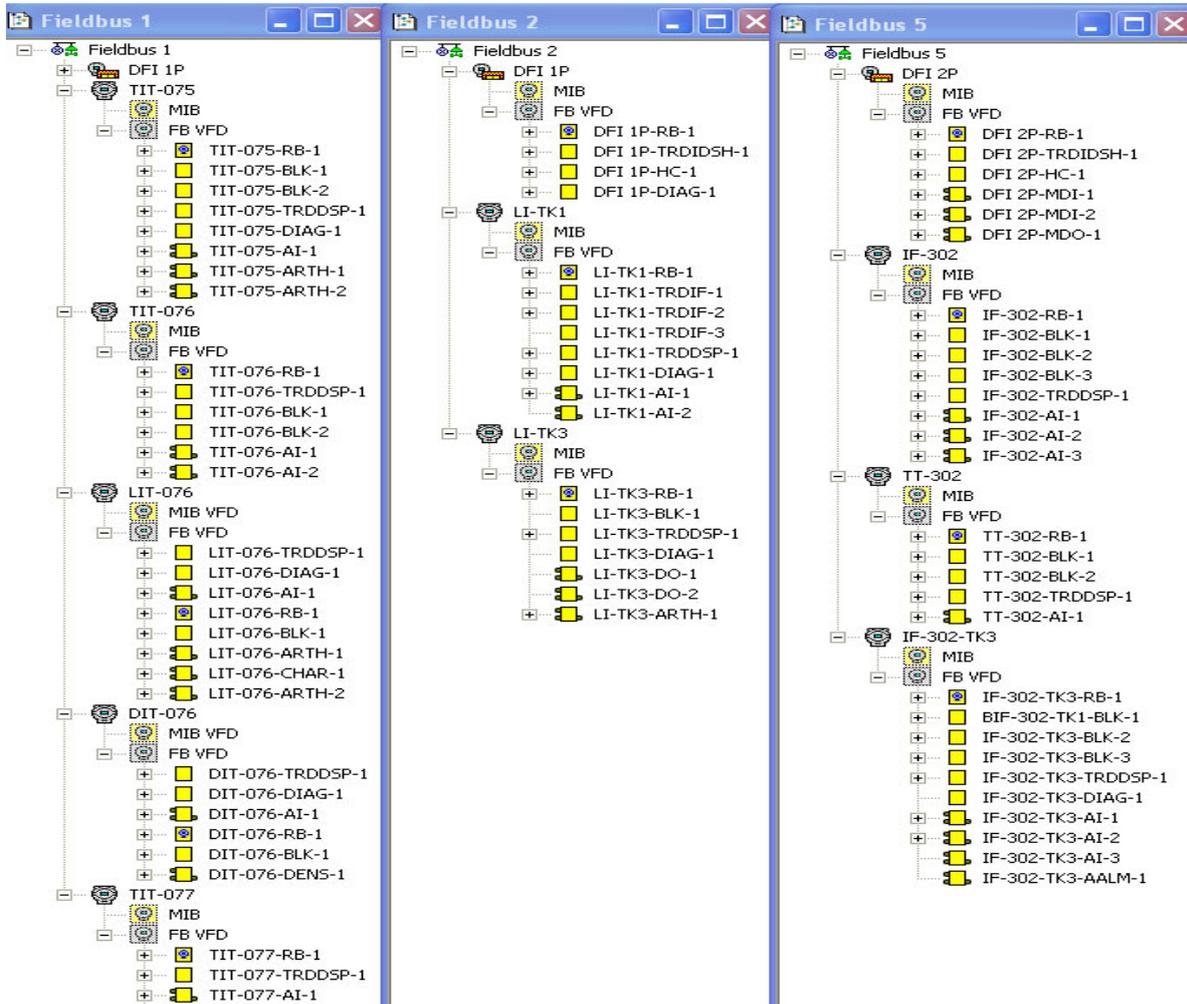


Figura 2.9. Bloques de funciones de cada instrumento del bus 1, 2 y 5. [Del Autor]

Los bloques de funciones que van a ser utilizados en cada dispositivo se seleccionan de una librería disponible en Syscon, los mismos se encuentran divididos en categorías como se muestra en la figura 2.10.

Category	Block	Description	Category	Block	Description
Input	AI	Analog Input	Calculate	ARTH	Arithmetic
	DI	Discrete Input		CHAR	Characterization
	PUL	Pulse Input		INTG	Integrator
	MAI	Multiple Analog Input		AALM	Analog Alarm
	MDI	Multiple Discrete Input		ISEL	Input Signal Selector
Control	PID	PID Control		TIME	Timer
	SPLT	Splitter		LLAG	Lead Lag
	SPG	Setpoint Generator		DENS	Density Calculation
	OSDL	Output Signal Selector and Dynamic limiter		CT	Constant Generator
	APID	Advanced PID Control		FFET	Flip-Flop And Edge Trigger
	EPID	Enhanced PID Control	Transducer and Resource	RS	Resource Block
	STEP	Step Output PID		DIAG	Diagnostic Block
Output	AO	Multiple Analog Output		HC	Hardware Configuration
	DO	Discrete Output		TEMP	Temperature Module Transducer
	MAO	Multiple Analog Output			
	MDO	Multiple Discrete Output			

Figura 2.10. Grupos de bloques de funciones. [Del Autor]

Los bloques de funciones ejecutan las tareas necesarias para la aplicación tales como: adquisición de datos, monitoreo, control PID, cálculos y actuación, etc. Todo bloque de funciones contiene un algoritmo, una base de datos (entrada y salida) y un nombre definido por el usuario (un Tag del bloque y este debe ser único) (figura 2.11)

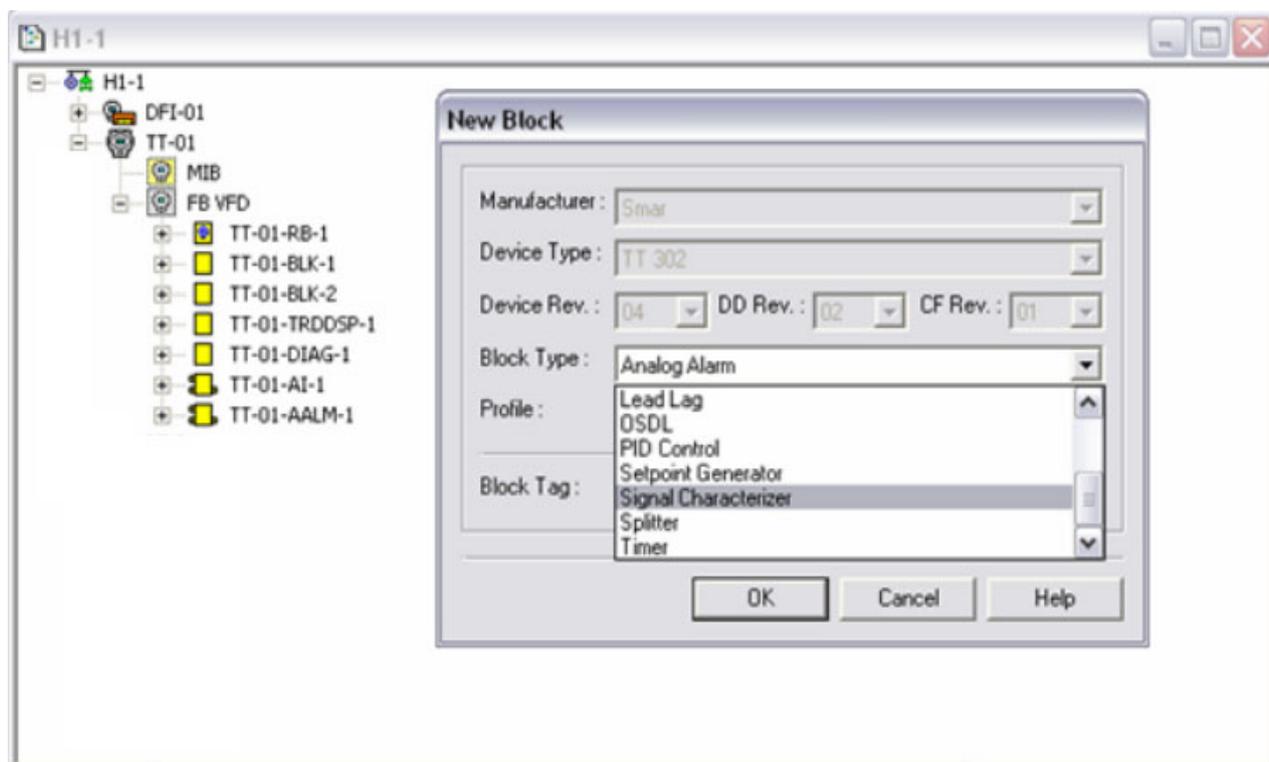


Figura 2.11 Selección de los bloques de funciones para cada dispositivo. [Del Autor]

Existe una opción en la configuración que puede ser accedida vía remota, tanto de forma on-line como off-line para la parametrización y/o configuración de los parámetros de cada bloque.

Una vez configurado el hardware se procede a configurar los lazos de monitoreo, en el caso del objeto de estudio no se implementaron lazos de control.

Los Bloques fundamentales de funciones que se utilizaron en el sistema de supervisión para este trabajo son los siguientes:

- Entrada Analógica para el tratamiento de las variables de temperatura, presión y nivel, en el caso de los tanques de almacenamiento de petróleo.

- Aritmético para el cálculo de nivel por presión hidrostática en los tanques del área de contra incendio y el TK6A

El parámetro más utilizado en todos los bloques es el TARGET BLOCK que debe ponerse siempre o casi siempre en modo Auto. Válido para casi todos los bloques, y así se van programando los parámetros en función del bloque que se esté tratando.

Una vez configurado el sistema de automatización con Syscon, es posible la visualización de los parámetros medidos. Ver figuras 2.12 y 2.13.

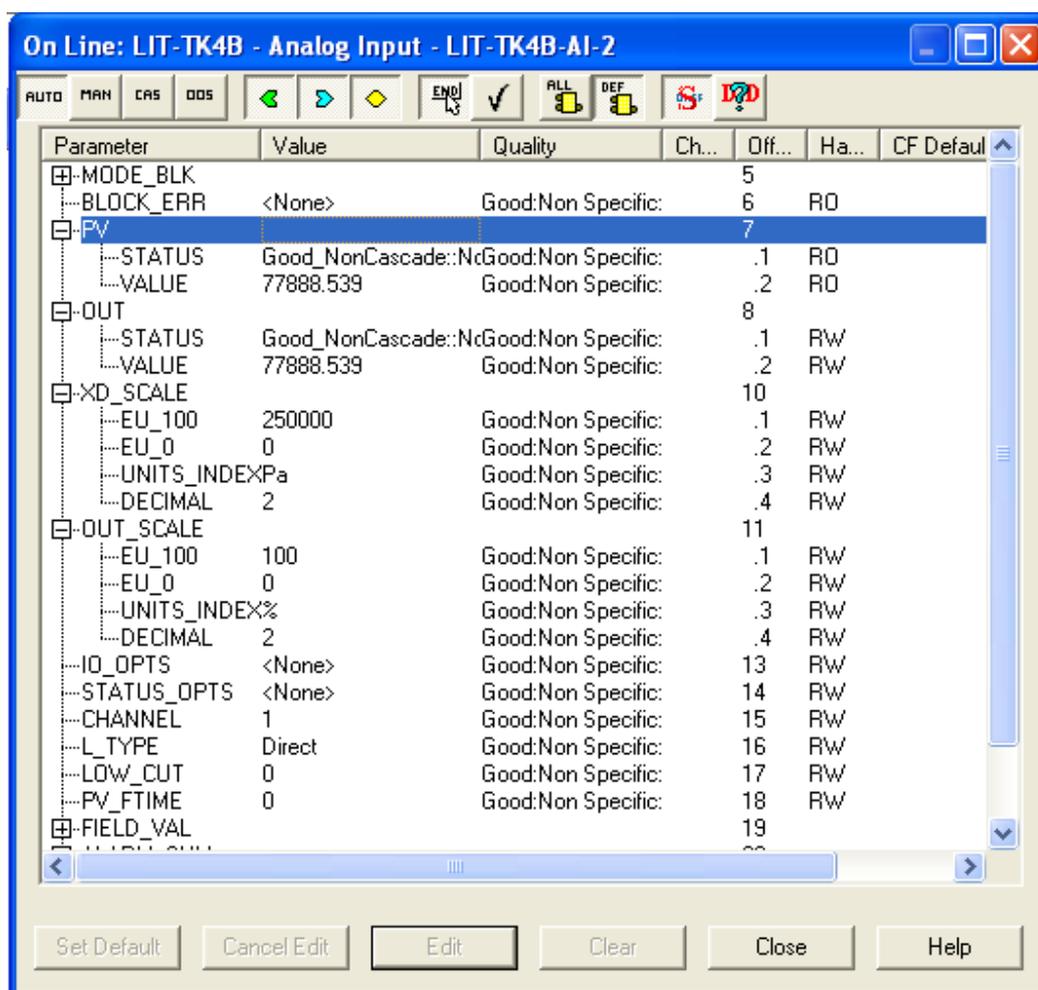


Figura 2.12 Entrada Analógica. [Del Autor]

Parameter	Value	Quality	Ch...	Off...	Ha...	CF Default
---BLOCK_ERR	<None>	Good:Non Specific:	6		RO	
[-]PV			7			
---STATUS	Good_NonCascade::NcGood:Non Specific:			.1	RO	
---VALUE	77884.617	Good:Non Specific:		.2	RO	
[-]OUT			8			
---STATUS	Uncertain::NonSpecific:Good:Non Specific:			.1	RW	
---VALUE	8.3974104	Good:Non Specific:		.2	RW	
---PV_UNITS	Pa	Good:Non Specific:		10	RW	
---OUT_UNITS	m	Good:Non Specific:		11	RW	
---INPUT_OPTS	<None>	Good:Non Specific:		13	RW	
[-]IN			14			
---STATUS	Good_NonCascade::NcGood:Non Specific:			.1	RW	
---VALUE	77887.531	Good:Non Specific:		.2	RW	
[-]IN_LO			15			
---STATUS	Bad::OutOfService:NotlGood:Non Specific:			.1	RW	
---VALUE	0	Good:Non Specific:		.2	RW	
[+]IN_1			16			
[+]IN_2			17			
[+]IN_3			18			
---RANGE_HI	+Inf	Good:Non Specific:		19	RW	
---RANGE_LO	-Inf	Good:Non Specific:		20	RW	
---BIAS_IN_1	1	Good:Non Specific:		21	RW	
---GAIN_IN_1	1	Good:Non Specific:		22	RW	
---BIAS_IN_2	0	Good:Non Specific:		23	RW	
---GAIN_IN_2	9.8000002	Good:Non Specific:		24	RW	
---BIAS_IN_3	0	Good:Non Specific:		25	RW	
---GAIN_IN_3	0	Good:Non Specific:		26	RW	
---COMP_HI_LIM	+Inf	Good:Non Specific:		27	RW	
---COMP_LO_LIM	-Inf	Good:Non Specific:		28	RW	
---ARITH_TYPE	Traditional mult. div.	Good:Non Specific:		29	RW	
---BIAS	0.44999999	Good:Non Specific:		31	RW	
---GAIN	1	Good:Non Specific:		32	RW	
---OUT_HI_LIM	+Inf	Good:Non Specific:		33	RW	
---OUT_LO_LIM	-Inf	Good:Non Specific:		34	RW	

Figura 2.13 Bloque aritmético. [Del Autor]

Para el cálculo de nivel de los tanques del área contra incendio y TK6A se utiliza una combinación de bloques que tributan al bloque aritmético, aportando las variables presión y densidad para la realización de una estrategia de control. Siguiendo lo

estipulado por la expresión 2.1. En la figura 2.14 puede apreciarse esquemáticamente lo antes mencionado.

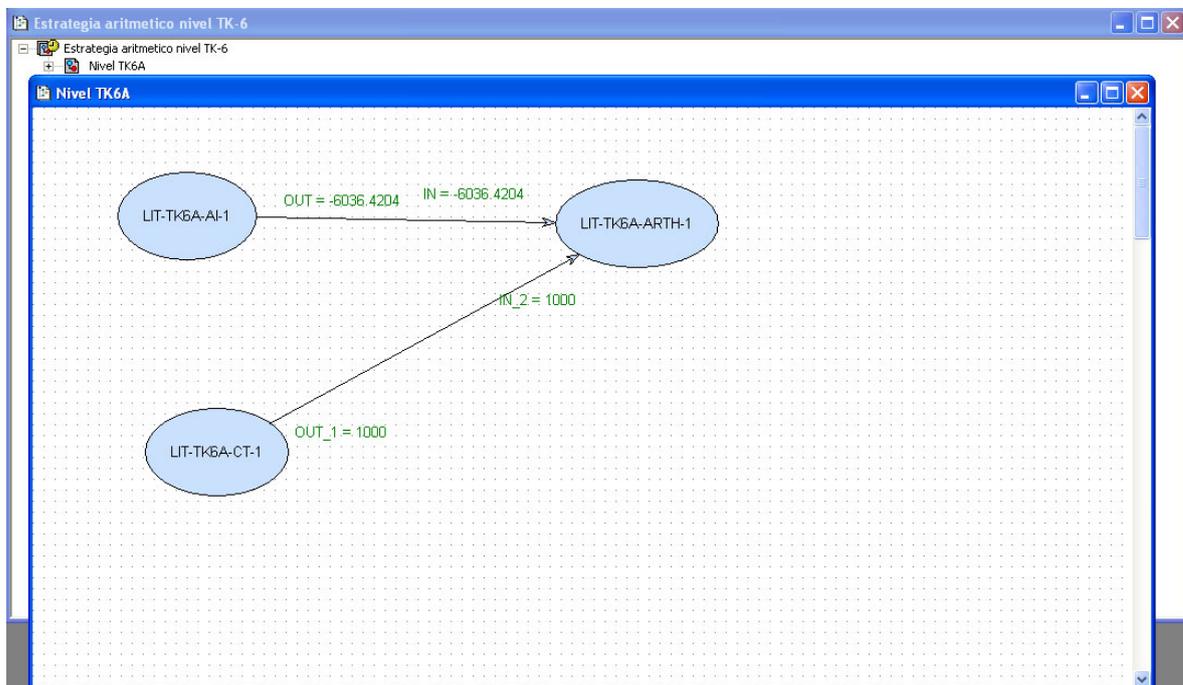


Figura 2.14 Estrategia de control utilizando bloque aritmético. [Del Autor]

En las figuras 2.15 y 2.16 se muestran dos ejemplos de los principales lazos de monitoreo realizados para todas las áreas que conforman el objeto de estudio de este trabajo.

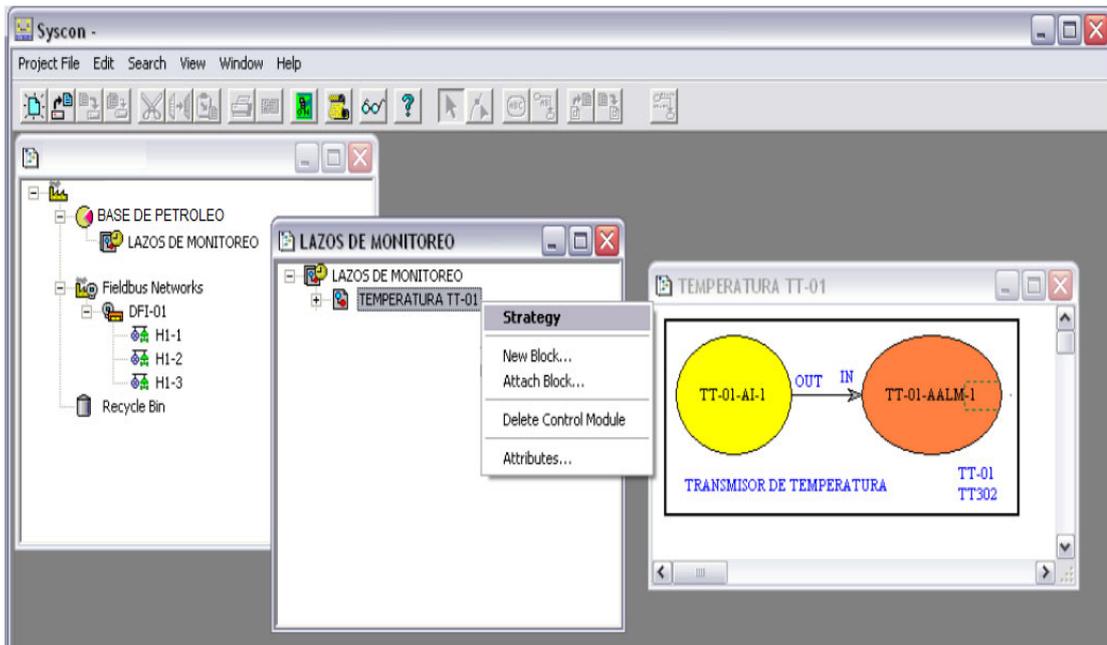


Figura 2.15. Lazos de monitoreo de temperatura. [Del Autor]

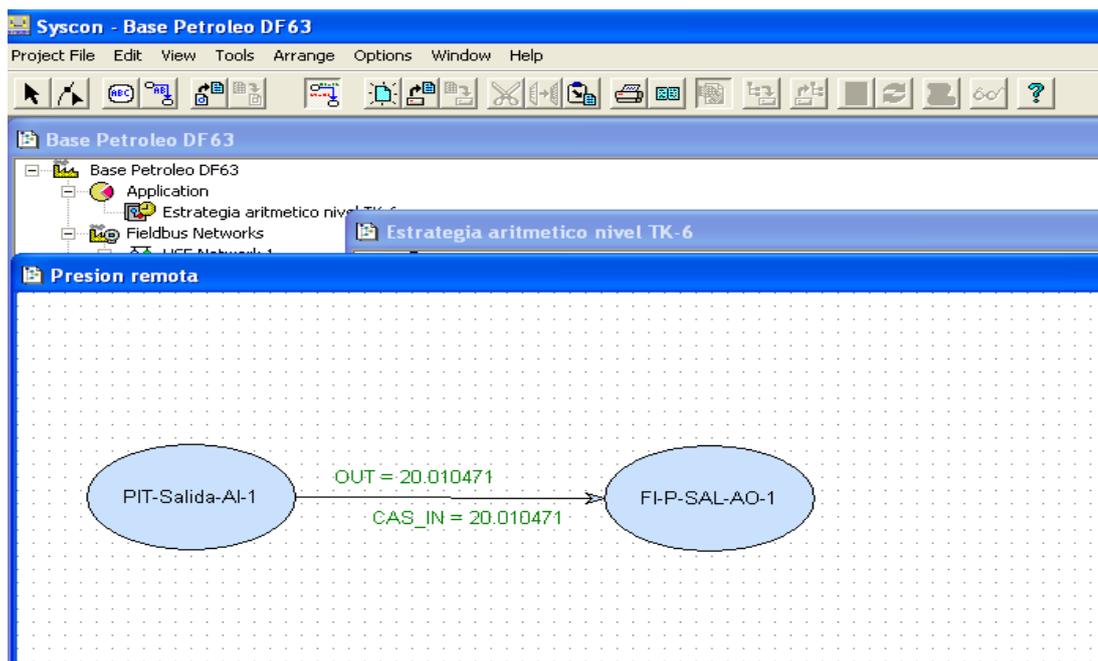


Figura 2.16. Lazos de monitoreo de presión. [Del Autor]

2.6 CONFIGURACIÓN Y AJUSTE DEL DRIVER OPC EROS

Este driver se desarrolló con la finalidad de facilitar la compatibilidad entre el servidor OPC de la tecnología propietaria de Foundation Fieldbus y el SCADA EROS, logrando la supervisión de las variables medidas de la instrumentación montada en el proceso tecnológico.

La configuración de este cliente OPC se realizó de la siguiente manera:

En la opción de configuración del EROS se accede con click derecho sobre la raíz del proyecto “Base de petróleo” y se presiona “Adicionar”, seguidamente en la ventana que se presenta se selecciona “Cliente OPC” (ver figura 2.17).

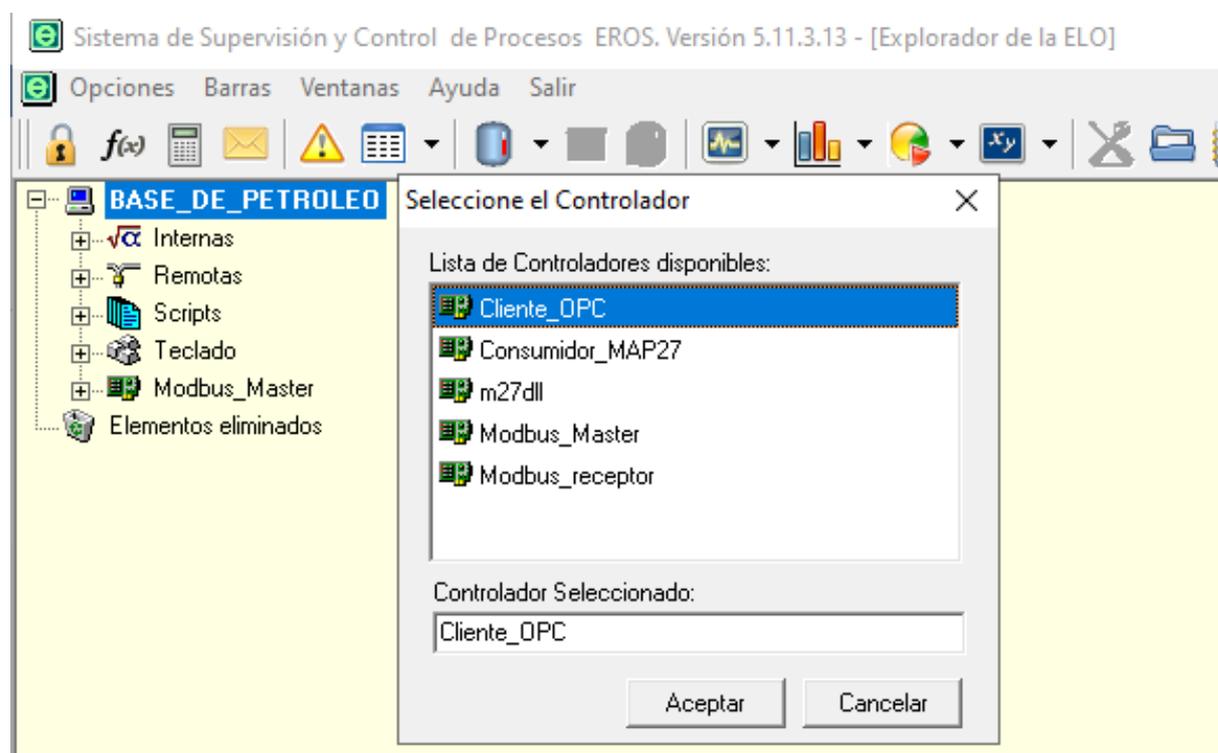


Figura 2.17 Selección de driver OPC. [Del Autor]

Se acciona con click derecho sobre este cliente OPC creado y se “Adiciona” un dispositivo. Con el dispositivo creado se presiona “Configurar cliente OPC” en el lateral derecho de la pantalla como se muestra en la figura 2.18

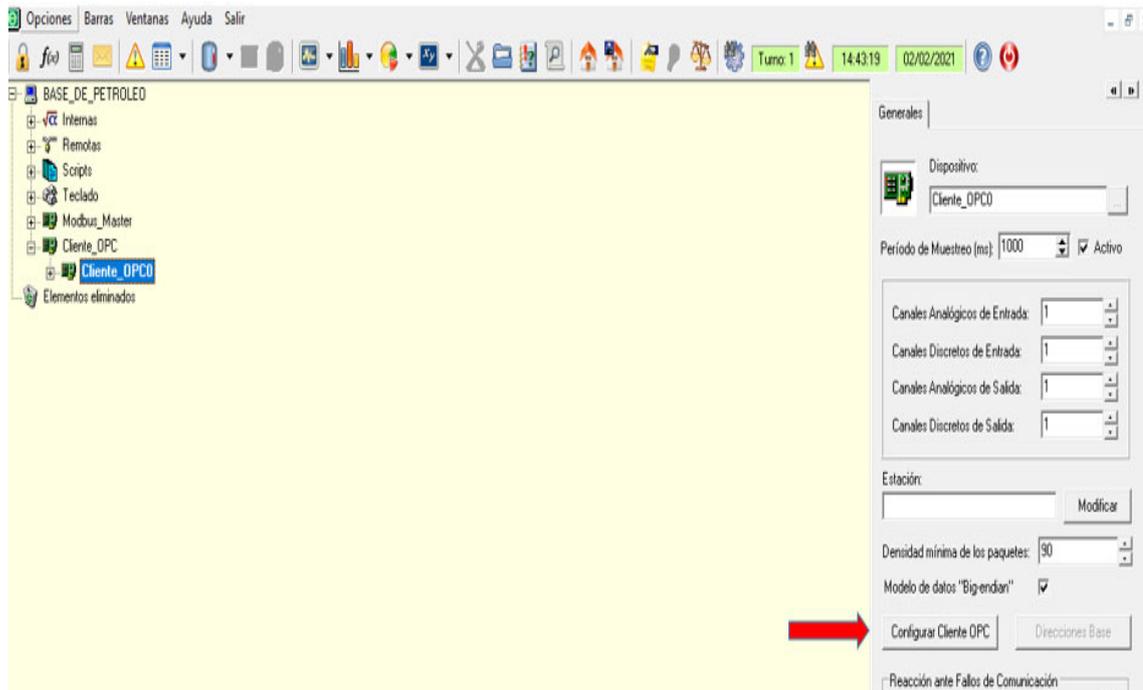


Figura 2.18 Selección de Configurar Cliente OPC. [Del Autor]

A continuación se muestra el diálogo de la configuración del cliente OPC Eros, ante todo se debe seleccionar el servidor OPC del cual se interconectará el cliente OPC EROS, de donde tomará los datos mediante un combo box como se muestra en la figura 2.19.

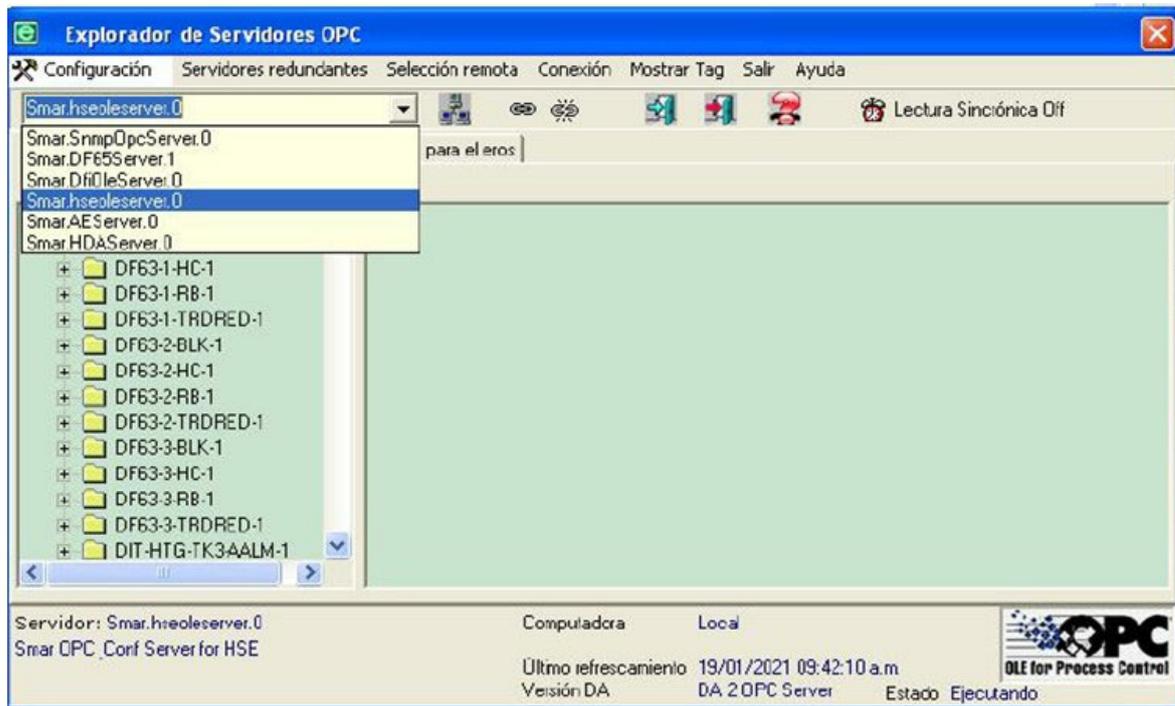


Figura 2.19. Configuración cliente OPC.

Después de la selección del servidor se debe efectuar la conexión con el mismo, esto se realiza mediante la opción del menú o mediante el icono “Conectar”, cuando el cliente se conecta muestra la estructura de grupos y tag de las variables a supervisar que posee el servidor, aunque se puede organizar de la manera que más amigable y cómodo le sea.

En el caso del objeto de estudio se organizó por áreas tecnológicas a supervisar, y el tipo de variable a enlazar, organizando así el acceso para futuros mantenimientos y averías que se pudieran presentar en la planta. Ver figura 2.20

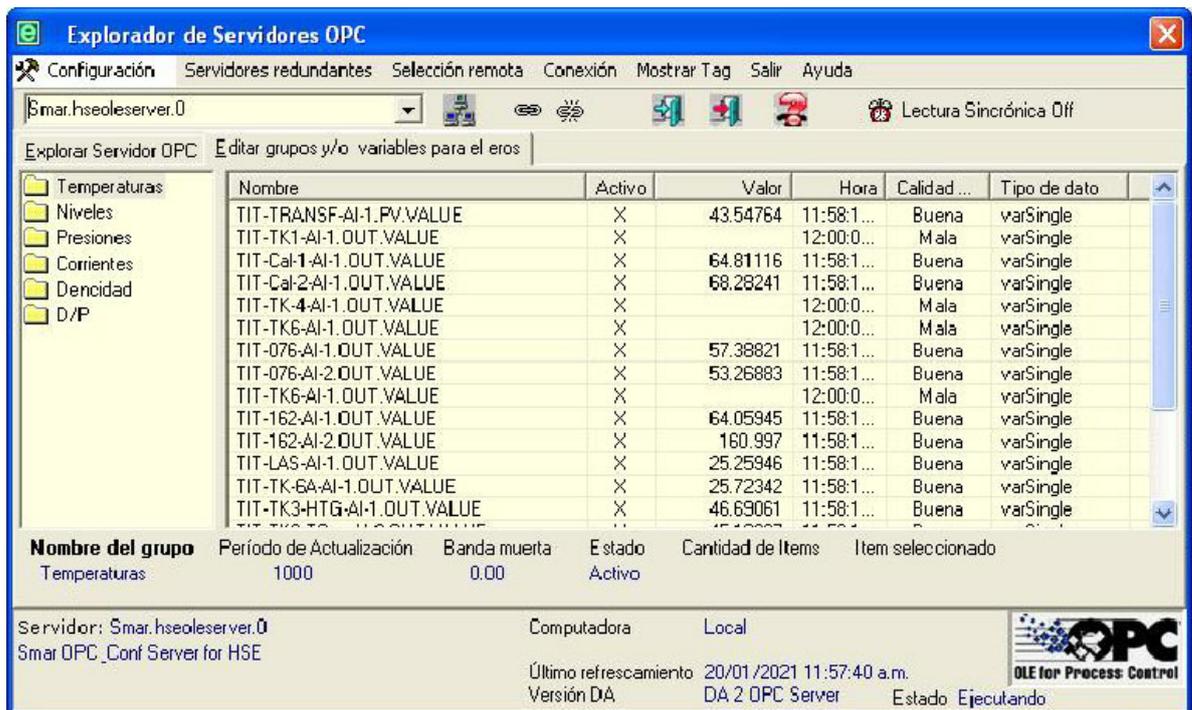


Figura 2.20. Grupos de variables y tag configurados. [Del Autor]

Una vez configurados los grupos y los tag de variables se puede copiar la configuración en el portapapeles y pegarla en el dispositivo o crear manualmente las variables y enlazarlas con cada una de las configuradas en este diálogo. Para guardar la configuración debe utilizar la opción **Salvar la configuración en el fichero Eros32.INI** que aparece en el menú de configuración como muestra la figura 2.21.

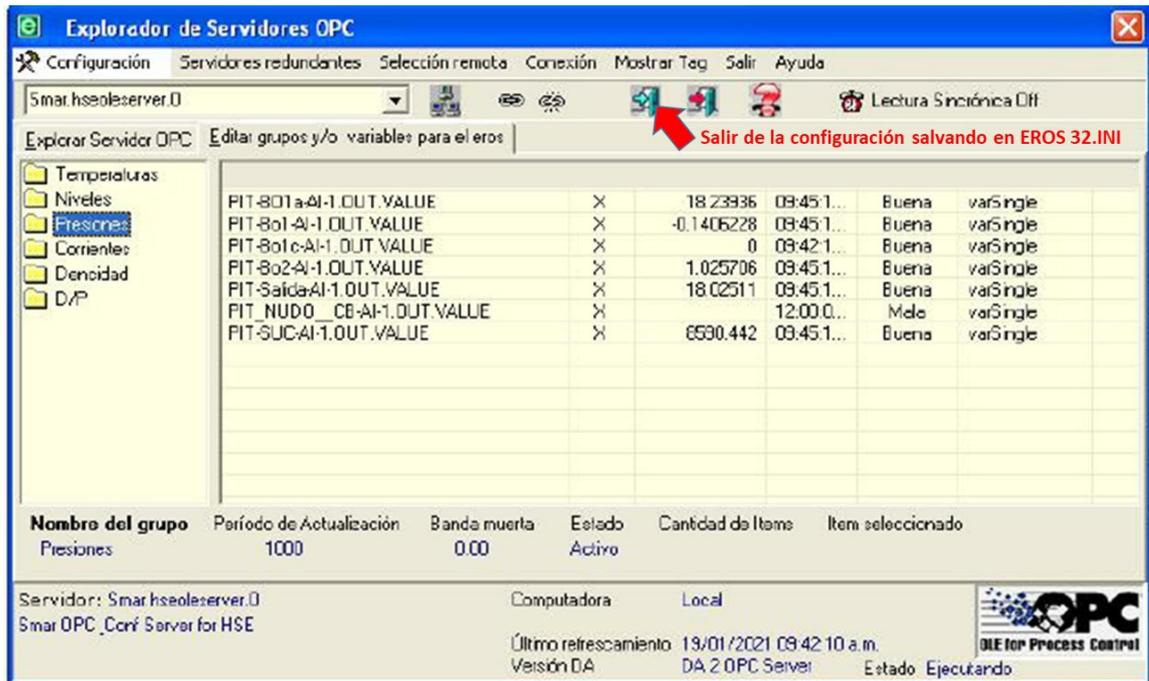


Figura 2.21. Configuración de salvar en el EROS32.INI

Este es un paso fundamental para la actualización y el refrescamiento de las variables configuradas y visualizadas en el SCADA EROS, de él depende la actualización de cambios realizados en el configurador del Syscon tales cambios de instrumentos y ajustes de mediciones.

2.7. CONFIGURACIÓN EN EL SCADA EROS

En este tópico se muestran los pasos fundamentales que se realizaron en el proceso de configuración de la interfase hombre-máquina (HMI) en la que se utilizó el SCADA EROS.

La configuración del SCADA EROS se centra en poder mostrar y acceder a través de varias pantallas a las opciones de supervisión definidas inicialmente. Con este fin fueron desarrolladas:

- Pantallas de mímicos, donde se muestran las variables tecnológicas de cada área de la Base de petróleo, para la cual se concibió el Mímico general de la Base de Petróleo
- Pantallas de Alarmas, donde se muestra el listado de todas las alarmas.
- Tabla de variable, donde se muestran algunas variables configuradas en el SCADA.
- Registradores de tendencia, donde se grafica en tiempo real todas las variables que requieren ser almacenadas para formar ficheros históricos.
- Niveles de acceso, donde se define una lista de los usuarios de la supervisión y su acceso a las diferentes opciones del sistema
- Visor de acciones, donde se pueden observar las acciones realizadas por los usuarios del sistema de supervisión.

2.7.1. MÍMICO GENERAL DE LA BASE DE PETRÓLEO

En esta pantalla se muestran detalladamente todas las variables medidas de las diferentes áreas de la base de petróleo de la EPM. Muestra el proceso tecnológico de la base, desde la entrada del suministro por el campo de boya hasta su envío a la Empresa ECG mediante el sistema de bombeo. Ver figura 2.22

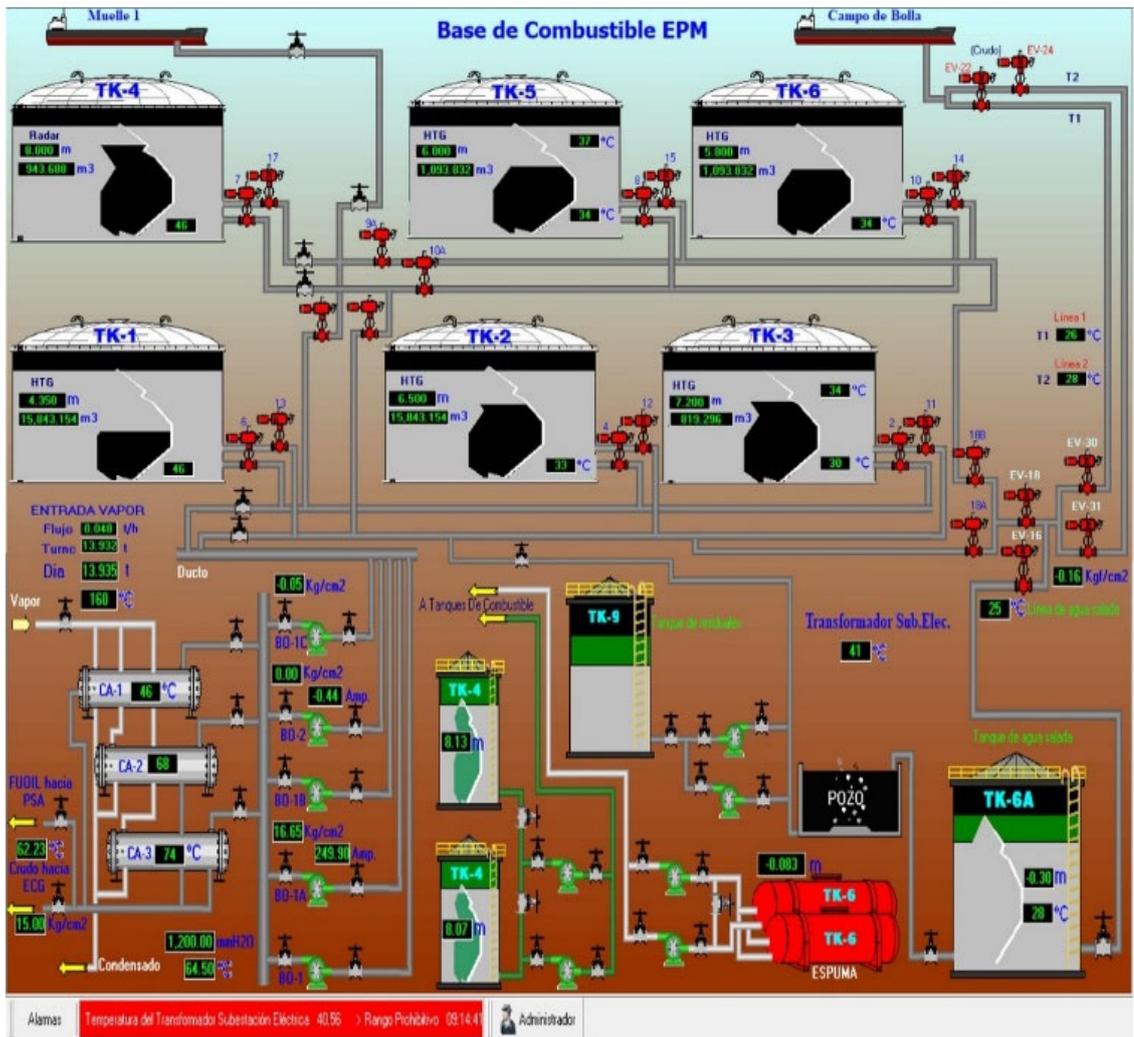


Figura 2.22. Pantalla de la Base de Petróleo. [Del Autor]

Esta es la pantalla de inicio de la supervisión en la base de petróleo, pues asociada a la configuración realizada en el SCADA EROS para esta planta, existe en una configuración remota y en tiempo real que mediante pantallas de mímicos permite acceder a todas las variables de las diferentes áreas de la base. En este caso el despacho técnico productivo, el jefe de operación de la base y el jefe de planta.

En esta pantalla (ver figura 2.23) se muestran las alarmas configuradas en el sistema, almacenando un registro en el momento del evento, permitiendo tener constancia del mismo siendo de una vital importancia para el diagnóstico de averías en el sistema de supervisión.

Se puede observar como las temperaturas de los tanques TK1 y TK2 alcanzan valores superiores a los rangos permisibles, ante estas situaciones el sistema de monitoreo activa las alarmas y es posible actuar oportunamente sobre las causas y evitar accidentes, peligro de incendios y explosiones en los tanques de combustible.

Etiqueta	Valor	Tipo de Alarma	F.Inicio	H.Inicio	H.Fin	F. Fin
1697- Tem_TK1	60.00	> Rango Prohibitivo	19/12/2020	16:21:14		
1696- Tem_TK1	60.00	Razón de Cambio	19/12/2020	16:21:13	16:21:14	19/12/2020
1695- Tem_TK1	45.00	> Rango Prohibitivo	19/12/2020	16:21:11	16:21:13	19/12/2020
1694- Tem_TK1	32.00	Razón de Cambio	19/12/2020	16:21:09	16:21:10	19/12/2020
1693- Tem_TK2	75.00	> Rango Prohibitivo	19/12/2020	16:21:04		
1692- Tem_TK2	75.00	Razón de Cambio	19/12/2020	16:21:03	16:21:04	19/12/2020
1691- Tem_TK2	30.00	Razón de Cambio	19/12/2020	16:20:59	16:21:00	19/12/2020
1690- TCalentador	30.00	< Rango Prohibitivo	19/12/2020	16:20:46	16:20:51	19/12/2020

Figura 2.23 Pantalla de alarmas. [Del Autor]

En esta pantalla (ver figura 2.24) se muestra algunas de las principales variables medidas en la base, en ella se puede observar campos importantes como el valor medido en tiempo real y el estado actual de la variable.

En la figura 2.24 se muestran las principales variables de operación de la base de combustible tales como: los niveles de los tanques, las temperaturas, las corrientes de los accionamientos motor-bomba y las presiones de bombeo. Es necesario que estas variables sean visualizadas en una misma tabla dada la importancia del valor y el estado actual de las mismas y por la complejidad de operación del suministro del

combustible. Se analiza la explotación correcta del sistema de bombeo tanto en el consumo energético como el consumo de vapor que se le dosifica al combustible para alcanzar una densidad idónea de suministro.

Descripción	U/M	Valor (Decimal)	Estado	Etiqueta
Temperatura HTG TK-5	°C	57.32	Ok	T_TK5h
Temperatura de entrada de vapor a Planta	°C	116.51	Ok	Temp_Ent_Vapor
Presión Salida Ducto Petroleo	Kg/cm2	18.82	Ok	P_Salida_Ducto_Pet
Presión succión bombas	mmH2O	3.525.628	Ok	P_SUC
Temperatura de salida del calentador 2	°C	51.72	Ok	Tsal_CA_2
Temperatura de salida del calentador 3	°C	54.51	Ok	Tsal_CA_3
Temperatura de los Gases TK-3	°C	40.818	Ok	T_TK3g
Temperatura de salida del calentador 1	°C	60.48	Ok	Tsal_CA_1
Presión en el nudo de electroválvulas de campode Boya	Kg/cm2	3.104	Ok	P_NUODO_CB
Nivel TK1 Por Radar	m	1.05	Ok	N_TK1_R
Nivel TK6A	m	5.35	Ok	N_6A
Nivel Tanque TK-3 di	m	8.439	Ok	N_TK3
Nivel tanque TK3 con densidad HTG	m	10.15	Ok	N_TK5
Presión de salida de la bomba de petróleo 1C	Kg/cm2	0.03	Ok	P_BO_1C
Presión de salida de la bomba de petróleo 2	bar	0.52	Ok	P_BO_2
Presión de salida de la bomba de petróleo 1	Kg/cm2	-0.10	Ok	P_BO_1
Presión de salida de la bomba de petróleo 1A		281.25	Ok	lb_BO1a
Temperatura de salida del TK-5	°C	-2.22	Ok	Ts_TK5
Temperatura tanque 2	°C	35.05	Ok	TIT_TK2

Figura 2.24 Pantalla Tabla de variables. [Del Autor]

El sistema le brinda un registrador que va mostrando el comportamiento y tendencia en tiempo real de hasta 8 variables (un grupo) al mismo tiempo, así como la historia de las mismas, puede registrar cualquier tipo de variable y puede configurar la cantidad de grupos que se desee, el registro se muestra en la figura 2.25

Es una herramienta muy amigable y útil para el análisis del comportamiento de las operaciones en las diferentes partes tecnológicas de la planta, sobre todo porque el

registro histórico se almacena en el disco duro, brindando un fácil acceso para su uso y estudio.

La importancia del almacenamiento de los históricos de las variables de operación en el disco duro de la computadora de operaciones radica en la posibilidad de brindar al usuario una base de datos útil para el análisis estadístico de dichas variables. A través de él se puede acceder y comparar operaciones de las distintas áreas tecnológicas como por ejemplo el comportamiento energético de las bombas, las presiones y temperaturas del combustible suministrado, pues este influye directamente en el costo económico por conceptos de estadías de los buques petroleros

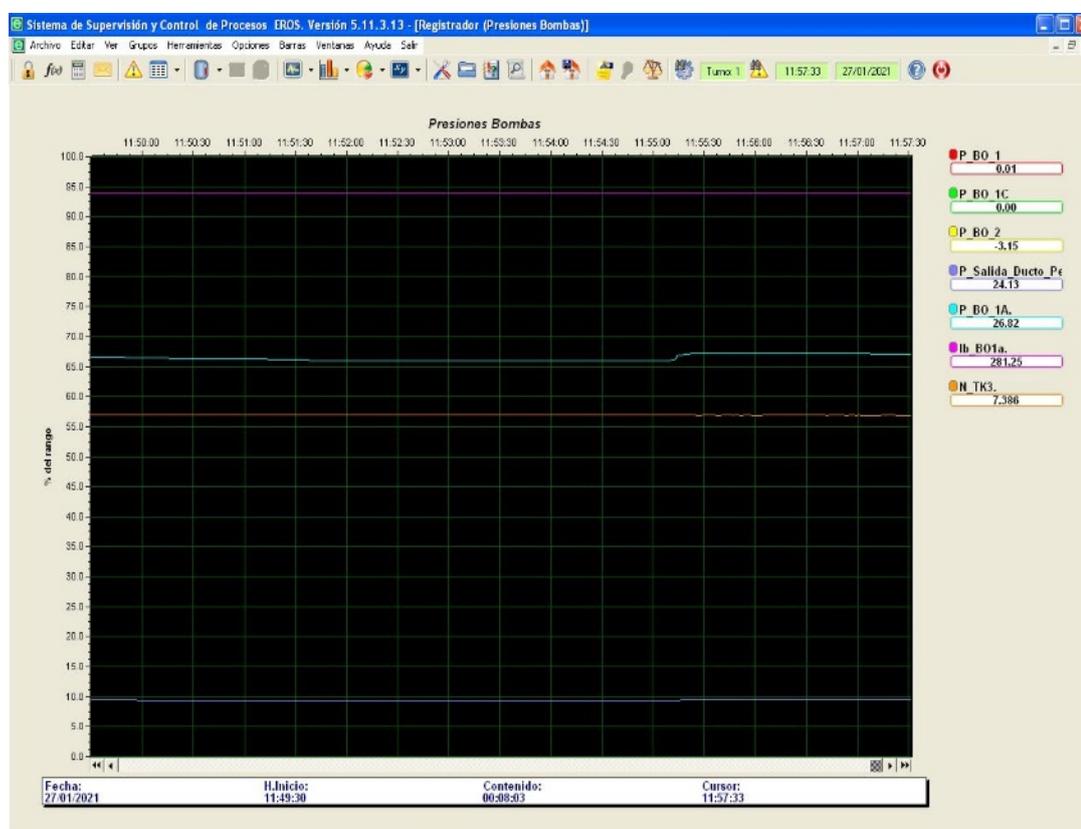


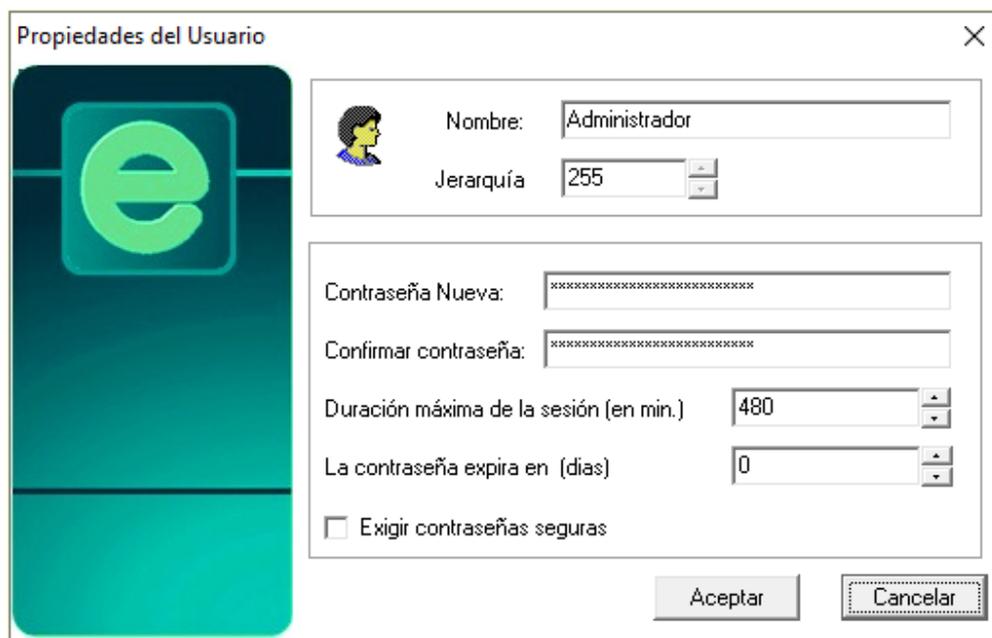
Figura 2.25 Pantalla gráficos de tendencia. [Del Autor]

En la pantalla de la figura 2.26 se configuran los niveles jerárquicos de la configuración del sistema, en el caso del objeto de estudio se utilizan 3 niveles básicos:

- Administrador, con un valor de jerarquía de 255 que corresponde a los configuradores del sistema, los mismos tienen la posibilidad de reiniciar el sistema y otras funciones administrativas del SCADA.
 - ✓ Un administrador del sistema puede configurar grupos de variables a analizar en históricos.
 - ✓ Su grado administrativo le permite configurar nuevas alarmas, o modificarles sus rangos.
 - ✓ Cuenta con la posibilidad de agregar o actualizar variables y pantallas del sistema de supervisión
- Jefe de turno, que corresponden a los responsables de las operaciones de la base en el turno, con un valor de jerarquía de 200, en este nivel se introducen valores al sistema como por ejemplo variables por teclado correspondientes a estadísticas de la planta.
 - ✓ Con este nivel de jerarquía se les permite introducir al sistema variables por teclados que intervienen directamente en las correctas operaciones de la base como es el caso de la densidad corrigiendo así los niveles y el volumen de los tanques de almacenamiento.
- Operador con un valor de jerarquía de 100, que solo les permite desplazarse en el sistema en los diferentes mimicos y acuse de las alarmas.

Con esta jerarquía se le permite navegar por todas las pantallas configuradas para supervisar, poder visualizar las alarmas y hacer acuse de ellas, revisar los históricos de tendencias y analizar su comportamiento como otras bondades que brinda el sistema.

En la figura 2.26 se muestra un ejemplo para el nivel “Administrador”.



The image shows a dialog box titled "Propiedades del Usuario" with a close button (X) in the top right corner. On the left side, there is a vertical bar with a green background and a white letter 'e' inside a rounded square. The main area of the dialog is divided into two sections. The top section contains a user icon (a person's head and shoulders) and two input fields: "Nombre:" with the text "Administrador" and "Jerarquía:" with the value "255". The bottom section contains two password input fields labeled "Contraseña Nueva:" and "Confirmar contraseña:", both filled with asterisks. Below these are two spinners: "Duración máxima de la sesión (en min.)" set to "480" and "La contraseña expira en (días)" set to "0". At the bottom left of this section is a checkbox labeled "Exigir contraseñas seguras" which is currently unchecked. At the bottom right of the dialog are two buttons: "Aceptar" and "Cancelar".

Figura 2.26 Pantalla configuración niveles de acceso. [Del Autor]

En esta pantalla (ver figura 2.27) se muestran las principales acciones ocurridos en el turno, se aprecian campos importantes, tales como los usuarios, la fecha y las trazas de las operaciones realizadas por el usuario.

El registro de acciones permite analizar el uso adecuado del sistema, el mismo almacena las operaciones que se realizan por todos los usuarios (tanto administrativos como operadores) permitiendo dejar constancia de las trazas que se realizan mientras el sistema está en ejecución registrando además posibles descuidos de operaciones no autorizadas.

Ventana activa	Fecha	Hora	Usuario	
Herramienta Píccortes	02/02/2021	15:45:21	Administrador	387
Eros - [Visor de Sucesos]	02/02/2021	15:45:11	Administrador	827
Eros - [Analizadores EPM.cfg]	02/02/2021	15:44:51	Administrador	914
Eros - [Analizador COMB.cfg]	02/02/2021	15:44:33	Administrador	913
Eros - Confirmación	02/02/2021	15:44:29	Administrador	9
Eros - [Explorador de la ELO]	02/02/2021	15:44:23	Administrador	7
Eros - Propiedades del Usuario	02/02/2021	15:44:21	Administrador	825

Figura 2.27 Pantalla visor de acciones.del usuario. [Del Autor]

2.8. VALORACIÓN ECONÓMICA E IMPACTO MEDIO AMBIENTAL

La implementación del sistema de supervisión utilizando tecnología Foundation Fieldbus con SCADA EROS en la base de combustible de la Empresa Puerto Moa” (EPM), posee valor económico, social y medio ambiental.

Se mejoraron las condiciones de operación de la base al disponer de la visualización remota, gráficos de tendencia, estadísticas y registros históricos de las variables del proceso tecnológico desde cualquier lugar de la empresa, con acceso rápido y oportuno, en tiempo real, elevando la eficacia en la toma de decisiones, reduciendo malas operaciones y humanizando el trabajo.

Se disminuyen los riesgos de derrames de hidrocarburos, con un impacto ambiental favorable, debido a que las variables de operación se controlan y registran continuamente por el SCADA EROS, contribuye a que los operadores mantengan una postura más responsable y efectiva sobre el control de dichas variables.

Se mejoró el entorno de operación, con la puesta en marcha de un nuevo panel de operaciones con la ubicación de los equipos necesarios para el sistema supervisor.

Contribuyó a elevar el nivel técnico de todo el personal de operaciones y mantenimiento, el cual puede disponer de técnicas novedosas para el control del proceso y de las herramientas necesarias para su estudio, asimilación y manejo.

Se introdujo una tecnología con un nuevo entorno de configuración y programación, nuevos métodos de medición, constituyendo un reto para el personal involucrado, la adquisición de nuevos conocimientos y know – how para la empresa. Constituye además una validación del SCADA EROS, como producto cubano de la Familia EROS para la automatización, en cuanto a que puede coexistir con tecnologías de los fabricantes Foundation Fieldbus.

Las licencias del SCADA EROS se comercializan en 6 944 CUP, mientras que sistemas con prestaciones similares de procedencia extranjera, se adquieren en precios que oscilan desde los 5 000 USD hasta 25 000 USD, sin considerar los costos de la ingeniería, los adiestramientos en el extranjero que llevan asociados estos trabajos y el servicio post-venta para el mantenimiento del sistema. Se estimó una sustitución de importaciones de 60 MUSD, (ver tabla 2.1).

Tabla 2.1 Sustitución de importaciones por implementación del SCADA EROS

Puestos de supervisión (u)	Precio SCADA EROS (USD)	Precio CIF	Sustitución de Importaciones (USD)
6	0,00	10000,00	60000,00

La medición fiable del combustible almacenado y del consumo en tiempo real, contribuye a controlar los índices energéticos de la empresa productora de Níquel, Ernesto Che Guevara (ECG), que es el cliente de la EPM; contribuyendo a la satisfacción del cliente en cuanto a los procesos de contratación y facturación de esta materia prima.

CONCLUSIONES

1. El sistema híbrido de automatización de la base de combustible está conformado mayormente por los componentes de hardware con tecnología de bus de campo Foundation FieldBus y de software del System302 de SMAR, algunos instrumentos particulares como los radares de la firma SIEMES y todas las muestras de corriente que se estandarizan pertenecen al estándar 4-20 mA. Previo al desarrollo de este trabajo no existía una total integración entre los dispositivos 4-20 mA, Foundation Fieldbus y el SCADA EROS.
2. La posibilidad de establecer jerarquías en el SCADA EROS permite delimitar las acciones y funciones de los administradores, jefes de turno y operadores. Permitiendo exclusivamente las tareas asignadas según su rango durante la supervisión.
3. Las licencias del SCADA EROS se comercializan en 6 944 CUP, precio muy atractivo en comparación con sistemas con prestaciones similares de procedencia extranjera que se adquieren en precios de hasta 25 000 USD.

CONCLUSIONES

1. El protocolo de comunicación OPC propio de la tecnología Foundation Fieldbus permite establecer la adquisición de los principales parámetros de los procesos industriales, sin embargo, es necesario utilizar el driver cliente OPC EROS desarrollado para la compatibilización con el SCADA EROS, ambos de producción nacional.
2. Se logra diseñar e implementar el sistema de supervisión y control de las principales variables de operación de la base de combustible en la empresa Puerto Moa utilizando el driver OPC EROS.
3. Al lograr la comunicación de los instrumentos de la tecnología Foundation Fieldbus con el SCADA EROS mediante el driver OPC EROS desarrollado se evita la importación de un SCADA valorado entre los 5000 y los 25 000 USD. Además, se abaratan los costos de mantenimiento.
4. La implementación del sistema de supervisión utilizando tecnología Foundation Fieldbus con SCADA EROS en la base de combustible de la Empresa Puerto Moa” (EPM), posee valor económico, social y medio ambiental, partiendo desde el precio de adquisición que oscila desde los 5 000 USD hasta 25 000 USD, sin considerar los costos de la ingeniería, los adiestramientos en el extranjero que llevan asociados estos trabajos y el servicio post-venta para el mantenimiento del sistema. Se estimó una sustitución de importaciones de 60 MUSD

RECOMENDACIONES

Se propone la automatización de las válvulas de entrada y salida de los tanques de almacenamiento de petróleo y del nudo de campo de boya.

Se propone profundizar en el estudio de la compatibilización de la tecnología Foundation Fieldbus con el SCADA EROS para otras aplicaciones.

Se propone automatizar los accionamientos del sistema de bombeo de petróleo hacia las empresas productoras de níquel ECG y PSA.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] E. P. Management. (2019, 02/08/2020). *Introducción a Foundation FieldBus*.
- [2] S. E. S. Rigó, A. S. M. Laguardia, and O. P. Mederos, "Web Client and SCADA Applications for Monitoring the "Cayo Santa María" Isolated Electric System," *Sistemas y Telemática*, vol. 16, 2018.
- [3] R. A. R. P. Trujillo Codorníu, Ivan. Álvarez Molina, Rodolfo. Mulet Abreu, Carmen. , "Sistema de Supervisión y Control de Procesos EROS," SERCONI, Ed., ed. Moa, 2017.
- [4] G. D. Hernández Miller, "Elaboración guía de soluciones para problemas de comunicación en segmentos Fieldbus en área electrocontrol licor celulosa Arauco y constitución s.a. ," Pregrado, Universidad austral de chile, Chile, 2010.
- [5] M. V. P. E. P. Santis Chávez, "Estudio del protocolo fieldbus y aplicación práctica con el controlador SMAR DF51 para el manejo de instrumentos industriales. ," Pregrado, Universidad pontificia bolivariana, Bucaramanga, 2009.
- [6] D. C. Palomares Gorham, "Instrumentación inteligente y la tecnología del Fieldbus," Maestría, México, 1998.
- [7] S. LD302, "Manual de Instrucción Operación y Mantenimiento del Transmisor Indicador de Presión LD302 Smar," ed, 2016.
- [8] J. E. Pullaguari Arciniega, "Diseño de un sistema de automatización para un proceso de evaporación (MALCA)," Pregrado, Ingeniería Química, UCLV Martha Abreu, Las Villas, 2006.
- [9] Smar, "Manual de Instrucción Operación y Mantenimiento del Transmisor Indicador de Temperatura TT302 Smar," ed, 2016.
- [10] S. IF302, "Manual de Instrucción Operación y Mantenimiento del Convertidor IF302 Smar," ed, 2016.
- [11] SIEMENS, "Instrucciones de servicio resumidas. Transmisores radar SITRANS Probe LR con mA/HART," S. AG, Ed., ed, 2019.
- [12] B. Huillca Ttito, "Instrumentación para el control de procesos industriales y la tecnología de fieldbus en la comunicación inteligente," Ingeniero Pregado, Automática, Universidad Nacional del Altiplano, PERÚ, 2019.
- [13] J. A. Estrada Roque. (2018) Protocolos de comunicaciones industriales. *Logicbus*
- [14] J. D. M. G. Lemos, David. Arias, Alexander (2006) OPC Como Alternativa a las Tecnologías Propietarias de Comunicación Industrial. *Avances en Sistemas e Informática*. 7-12.
- [15] L. Corrales, "Interfaces de comunicación industrial," U. d. Camagüey, Ed., ed, 2007, p. 50.

- [16] S. E. Samada Rigó, "Aplicación SCADA para la monitorización del sistema eléctrico aislado "Cayo Santa María"," Maestría, Ingeniería en control automático, UCL Martha Abreu, Cuba, 2018.
- [17] AMERICANNATIONALSTANDARD, "Instrumentation Symbols and Identification," in *ANSI/ISA-5.1-2009*, ed, 2009.
- [18] (2020, Interfaces de comunicación industrial. Available: https://www.researchgate.net/publication/27558302_Interfaces_de_comunicacion_industrial
- [19] A. J. G. P. Calderón Godoy, Isaías, "Integration of Sensor and Actuator Networks and the SCADA System to Promote the Migration of the Legacy Flexible Manufacturing System towards the Industry 4.0 Concept. *J. Sens. Actuator Netw*," 2018.
- [20] R. T. Codorníu, A. C. Pozo, and L. E. G. Hernández, "INTERFAZ GENÉRICA PARA LOS MANEJADORES DE DISPOSITIVOS EN EL PROYECTO SCADA PDVSA," FIE2008.
- [21] L. de Varona and Y. Luis, "Sistema de automatización de biorreactores de inmersión temporal," Universidad Central" Marta Abreu" de Las Villas, 2009.
- [22] J. I. Hernández, H. C. Gaona, A. L. M. Pérez, D. R. Miranda, and A. B. Navarro, "Diseño e implementación de una red de comunicaciones industriales tipo SCADA," *Pistas Educativas*, vol. 35, 2018.
- [23] E. S. Hossam Farag , Mikael Gidlund , and Patrik Österberg, "Priority-Aware Wireless Fieldbus Protocol for Mixed-Criticality Industrial Wireless. Sensor Networks.," *IEEE SENSORS JOURNAL*, vol. 19, April, 2019 2019.
- [24] J. S. Molina, J. F. G. Díaz, and R. P. Ramírez, "Implementación de un sistema tipo Scada para mejorar los procesos de secado y cocción de la ladrillera sigma Ltda," *REVISTA COLOMBIANA DE TECNOLOGIAS DE AVANZADA (RCTA)*, vol. 2, 2013.
- [25] C. E. PILLAJO JÁCOME, "IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO PARA EL MONITOREO CONTINUO DE LA DENSIDAD API A TRAVÉS DEL SISTEMA SCADA EN CONTINUO DE LA DENSIDAD API A TRAVÉS DEL SISTEMA SCADA EN LA ESTACIÓN DE BOMBEO LAGO AGRIO DEL OLEODUCTO TRANS ECUATORIANO SOTE," Quito, 2017.
- [26] A. Piñón Pazos, R. Ferreiro García, J. Calvo Rolle, and F. Perez Castelo, "CONTROL HIBRIDO BAJO FOUNDATION FIELDBUS. HSE," 2019.
- [27] A. J. Piñón Pazos, R.-P. C. Ferreiro García, and J. Francisco, "TECNOLOGÍAS ACTUALES DE COMUNICACIÓN DE LAS VARIABLES DE CAMPO EN LA INDUSTRIA DE PROCESO," 2019.
- [28] R. A. Quispe Gonzáles, "Diseño del sistema Scada para el área de recepción, almacenamiento y distribución de hidrocarburos líquidos en la planta Petroperú-Cusco," 2019.

- [29] T. C. Rafael, "New DrvOPC.DLL," SERCONI, Ed., ed. Cuba, 2007.
- [30] H. I. Rodríguez Yagual, "Diseño de un dispositivo de medición de niveles de fluidos en tanques de almacenamiento de petróleo," La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2020., 2020.
- [31] J. A. Santiesteban Powery, "Diseño del Bus de Campo Foundation Fieldbus en el área 3 de la planta de Lixiviación y Lavado de la Empresa del níquel "Cmdte René Ramos Latour", " Pregrado, Ingeniería en control automático, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, 2009.
- [32] D. A. Sigcho Cuvi and W. H. Hurtado Guapulema, "Diseño e implementación de un dispositivo electrónico con interfaz de red industrial para integrarse a un sistema SCADA," Riobamba: Universidad Nacional de Chimborazo, 2016., 2016.
- [33] K. J. Toro J., Hintikka I., Pohjanheimo L, "Automatic Configuration and Diagnostics for Fieldbus Based Automation.," presented at the 4th IEEE International Workshop on Factory Communication Systems, Vasteris, Sweden, 2002.
- [34] *Ayuda del cliente OPC EROS*, SERCONI, 2008.

ANEXOS**ANEXO 1:** Resumen de la instrumentación instalada en la base de petróleo.

Tabla No. 1. Resumen de la instrumentación instalada

Instrumentación Fieldbus Foundation				TAG SCADA
TAG	Tipo	Descripción	Función que realiza	
TIT-071	TT302	Transmisor de temperatura FF	Transmisor indicador de Temperatura	T_TK1
TIT-072	TT302	Transmisor de temperatura FF	Transmisor indicador de Temperatura	T_TK2
TIT-073	TT302	Transmisor de temperatura FF	Transmisor indicador de Temperatura	T_TK3
TIT-074	TT302	Transmisor de temperatura FF	Transmisor indicador de Temperatura	T_TK4
TIT-075	TT302	Transmisor de temperatura FF	Transmisor indicador de Temperatura	Ts_TK5
TIT-076	TT302	Transmisor de temperatura FF	Transmisor indicador de Temperatura	T_TK5
TIT-077	TT302	Transmisor de temperatura FF	Transmisor indicador de Temperatura	T_TK6
LIT-TK1	IF 302	Transmisor de corriente a Fieldbus FF	Transmisor indiciador de Nivel	N_TK1 N_TK2 N_TK3
LIT-TK4a	LD302	Transmisor de presión relativa FF	Transmisor Indicador de Nivel	N_TK_4A
LIT-TK4b	LD302	Transmisores de presión relativa FF	Transmisor Indicador de Nivel	N_TK_4B
LIT-TESP	LD302	Transmisor de presión relativa FF	Transmisor Indicador de Nivel	N_Tesp

IIT-BO1a2	IF302	Transmisor de corriente a Fieldbus FF	Transmisor Indicador de Corriente	Ib_BO1a Ib_BO2
TIT-245	TT302	Transmisor de temperatura FF	Transmisor indicador de Temperatura	Tsal_CA_3
PIT-BO1a	LD302	Transmisor de presión relativa FF	Transmisor Indicador de Presión	P_BO_1A
PIT-172	LD302	Transmisor de presión relativa FF	Transmisor Indicador de Presión	P_BO_1
PIT-049	LD302	Transmisor de presión relativa FF	Transmisor Indicador de Presión	P_BO_2
TIT-162	TT302	Transmisor de temperatura FF	Transmisor indicador de Temperatura	Tsal_Ducto _Ppal
TIT-158	TT302	Transmisor de temperatura FF	Transmisor indicador de Temperatura	Tent_Ducto o_Ppal
PIT-221	LD302	Transmisor de presión relativa FF	Transmisor Indicador de Presión	P_BO_1C
TIT-244	TT302	Transmisor de temperatura FF	Transmisor indicador de Temperatura	Tsal_CA_1
TIT-238	TT302	Transmisor de temperatura FF	Transmisor indicador de Temperatura	Tsal_CA_2
PIT-CB	LD302	Transmisor de presión relativa FF	Transmisor Indicador de Presión	P_NUDO_ CB
TIT-LCB	TT302	Transmisor de temperatura FF	Transmisor indicador de Temperatura	T_LCB_1 T_LCB_2
TIT-LAS	TT302	Transmisor de temperatura FF	Transmisor indicador de Temperatura	T_LAS_TK 6A

IF302	IF302	Transmisor de corriente a Fieldbus FF	Transmisor indiciador de Nivel	N_TK1 N_TK2 N_TK3
IF 302	IF 302	Transmisor de corriente a Fieldbus FF	Transmisor indiciador de Nivel	N_TK4 N_TK5 N_TK6
LIT-TK6A	LD302	Transmisores de presión relativa FF	Transmisor Indicador de Nivel	N_TK6A
TIT-TK6A	TT302	Transmisor de temperatura FF	Transmisor indicador de Temperatura	T_TK6A

ANEXO 2

- **P&DI** Diagrama de Instrumentación mediciones área casa de bomba.

ANEXO 3

- **P&DI** Diagrama de Instrumentación mediciones área calentadores.

ANEXO 4

- **P&DI** Diagrama de Instrumentación mediciones nudo de campo de boyas.