



*Universidad de Matanzas*  
*“Camilo Cienfuegos”*  
*Facultad de Ingeniería Informática*

*Revitalización de la Automática  
de la Base de Crudo y  
Suministro. ECC Matanzas.*



*Tesis en opción al Título de  
Máster en  
“Informática Aplicada”*

*Autor: Ing. Carlos Rafael Molina Hernández.*

*Tutores: MS. C. Roger Pérez Chávez.*

*Dr. C. Evaristo González Milanés.*

*Matanzas. Cuba.*

*2010.*

## *Agradecimientos.*

*Esta investigación es el resultado del continuo afán de llevarla hasta sus últimas consecuencias y tributo un merecido reconocimiento a:*

*Mis tutores:*

*Dr. Evaristo González Milanés, por su dedicación y apoyo incondicional.*

*MSc. Roger Pérez Chávez, por su oportuna intervención, consagración y consejos prestados.*

*A mis amigos por su gran colaboración.*

*A mis compañeros de trabajo por su ayuda.*

*A todos aquellos que de una forma u otra han hecho posible el desarrollo y culminación de manera exitosa de este trabajo y se encuentran en el anonimato.*

*A todos, mi infinito Agradecimiento.*

# DEDICATORIA

*A la vida...*

*Que me da la oportunidad de disfrutarla,*

*Que me brinda el amor de mi esposa,*

*Que me entrega la ternura, la inocencia, el cariño y amor eterno de mis hijos,*

*A mis...*

*Hermanas y sobrinos,*

*Familiares queridos,*

*Amistades y sus familiares.*

*A los que no están hoy junto a mí, especialmente...*

*A la memoria de tía María,*

*A la memoria de mis padres,*

*A la memoria de mi suegro.*

## **RESUMEN.**

El sistema automático de la Base de Crudo y Suministro (BCS) de la Empresa Comercializadora de Combustible Matanzas (ECCM) estuvo fuera de servicio desde mediado del año 2005.

Rescatar este sistema para lograr el funcionamiento del SCADA desde el elemento primario hasta el autómatas programable es el propósito fundamental del presente trabajo. Para ello se aplicó una ingeniería inversa por no contar con la documentación del sistema, se buscaron alternativas hasta encontrar la solución que permite aumentar la inmunidad a las inducciones electromagnéticas, se aplicaron los software SIMATIC de SIEMENS en el diagnóstico, configuración, parametrización y reprogramación del CPU, lo cual permitió realizar las transformaciones que se ajustan a los requerimientos actuales, bajo la guía de un cronograma que permitió ver su ruta crítica y reorientar el Proyecto.

La Investigación se definió como de Desarrollo Tecnológico e Innovación. Se indagó un sistema desconocido, se tuvo en cuenta la tecnología instalada para realizar modificaciones que permitieron realizar la investigación aplicada, innovadora y su transferencia al proceso tecnológico.

Con el presente trabajo se logró restablecer y mejorar la funcionalidad del sistema automático de la BCS, respondiendo el mismo a las necesidades actuales.

*... “El que se dedica a los problemas particulares,*

*sin antes resolver los generales, “tropezará”*

*con estos problemas generales a cada*

*paso sin darse cuenta”...*

*V. I. Lenin.*

## ÍNDICE.

INTRODUCCIÓN. ....	9
1. Caracterización y ubicación. ....	9
2. Situación del sistema automático de la BCS. ....	11
3. Importancia de la aplicación en la industria de la tecnología de punta. ....	13
4. Problema Científico: ....	14
5. Hipótesis. ....	15
6. Objetivo General:.....	15
7. Objetivos Específicos:.....	15
8. Justificación de la investigación.....	16
9. Resultados esperados: ....	17
10. Aspectos metodológicos: ....	17
11. Tareas a realizar en la investigación. ....	18
12. Métodos utilizados en la investigación.....	18
13. Instrumentos, equipamiento, y herramientas a utilizar. ....	19
14. Estructura de la tesis. ....	20
CAPITULO 1. SISTEMAS DE CONTROL AUTOMÁTICOS.....	21
1.1. Breve historia del desarrollo del control automático. ....	21
1.2. Los autómatas programables. Particularidades de los autómatas de SIEMENS. ....	24
1.2.1. Estructura de un PLC.....	25
1.2.2. Software de un autómata. ....	27
1.3 Breve descripción del sistema SCADA. ....	32
1.3.1. Funciones principales y objetivos de un SCADA. ....	32
1.3.2. Caracterización de los diferentes niveles de Redes Industriales. ....	33
1.3.3. Modelo de referencia ISO/OSI para bus de campo.....	39

1.3.4. Tipos de Redes.....	41
1.4 Situación de la Instrumentación en la BCS.....	42
1.4.1. Transmisor de nivel.....	43
1.4.2. Trasmisor de caudal.....	44
1.4.3. Sensores y trasmisores que miden temperatura.....	45
1.4.5. Instrumentos que miden presión.....	46
1.5 Software de SIEMENS.....	47
1.5.1. Paquete de software SIMATIC PDM.....	47
1.5.2. El software estándar STEP 7.....	48
1.5.3. Software SIMATIC NetPro.....	51
1.5.4. Software opcional.....	52
1.6. Microsoft Office Project Professional 2003.....	52
1.7. Conclusiones parciales del CAPITULO I.....	53
CAPITULO 2. SITUACIÓN ACTUAL DE LA AUTOMATICA EN LA BCS.....	55
2.1. Aspectos tomados en cuenta en el Proyecto inicialmente ejecutado.....	55
2.1.1. Implementación de la automática de la BCS.....	58
2.2. Aspectos detectados en el período 2007-2009.....	59
2.3. Conclusiones parciales del CAPITULO II.....	62
CAPÍTULO 3. DIAGNÓSTICO, CONFIGURACIÓN Y PUESTA EN FUNCIONAMIENTO DEL SCADA.....	63
3.1. Sustitución del hardware y configuración del nuevo sistema.....	63
3.2. Sustitución de la red industrial eléctrica por óptica.....	67
3.3. Dificultad a ser corregida en la Programación del PLC a las necesidades actuales.....	75
3.4. Análisis de los sensores y transmisores utilizados en la automática de BCS.....	79

3.4.1. Dificultad corregida en los transmisores de nivel. ....	80
3.4.2. Dificultad corregida en el trasmisor que mide caudal. ....	82
3.4.3. Dificultad corregida en los sensores y trasmisores que miden temperatura. ....	84
3.4.4. Dificultad corregida a los instrumentos que miden presión. ....	88
3.5. Utilización de Microsoft Office Project Professional 2003. ....	91
3.6. Conclusiones parciales del Capítulo III. ....	92
CONCLUSIONES. ....	93
RECOMENDACIONES. ....	95
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS. ....	96
ANEXOS. ....	100

## **INTRODUCCIÓN.**

### **1. Caracterización y ubicación.**

La Empresa Comercializadora de Combustible Matanzas, en lo adelante (ECCM), perteneciente al Ministerio de la Industria Básica, en lo adelante (MINBAS), de la rama CUBAPETROLEO, en lo adelante (CUPET), se encuentra ubicada al noreste de la Ciudad de Matanzas, en la Zona Industrial, barriada de Versalles. El objeto social de la empresa es la comercialización de combustibles, y se subdivide en las Unidades Empresariales Básicas, en lo adelante (UEB). La subdivisión está integrada por la UEB comercial, la UEB técnica y la UEB de operaciones, quienes se fusionan para efectuar la compra y venta de los combustibles y sus derivados (Anexo I. A).

Las instalaciones que componen la ECCM son:

- Muelles de Aguas Profundas, en lo adelante (MAP), permiten la transportación del combustible utilizando la vía marítima, a través de buques cisternas para su comercialización tanto en el área internacional o el cabotaje hacia las Termoeléctricas de “Nuevitas” y “Mariel”.
- La Base de Crudo y Suministro, en lo adelante (BCS) es la encargada de almacenar el crudo cubano que llega a esta base por oleoductos y camiones comprado a las perforadoras que extraen el fósil, el cual es mejorado y vendido a través de oleoductos, camiones, tren y vía marítima a sus clientes (Anexo I. B).
- La Terminal 320 es la encargada de almacenar los llamados combustibles claros y oscuros de baja viscosidad para su comercialización, utilizando las vías marítimas, trenes y camiones.
- La Planta Caribe es la encargada de almacenar el gas licuado del petróleo, en lo adelante (GLP), es la segunda planta de gran envergadura por su capacidad de almacenamiento en el país y realiza la comercialización del GLP a través de buques cisternas y camiones que poseen balas de mediana y gran capacidad, para abastecer al sector estatal y a la población.

Con la comercialización y distribución de los derivados del petróleo y del gas, o la llegada al usuario, termina la cadena industrial iniciada desde la exploración y ubicación de las reservas de los hidrocarburos. La amplia utilización del petróleo y el gas en la industria contemporánea como fuente de energía, le transmite a la comercialización de los hidrocarburos y sus derivados una poderosa incidencia en el mercado nacional e internacional.

Para el almacenamiento de los diferentes combustibles la ECCM cuenta con patios de tanques y balsas. Los tanques y balsas pueden ser clasificados según su forma de construcción, o su uso, si van a ser usados para producción o almacenamiento, y finalmente por el tipo de líquido que van a contener. Sin embargo esta comercializadora difiere en gran medida de la mayoría de las existentes en la nación, al poseer funciones que otras no poseen y sí se realizan en la BCS y MAP como son la realización de mezclas, combinación de crudo nativo con otros aditivos, para hacer este combustible más ligero, y que sea fácil su manipulación, consumo y comercialización.

El combustible fósil cubano posee una alta proporción de componentes sulfhídricos y metales pesados que le confieren propiedades químicas altamente corrosivas, con una alta densidad y viscosidad, por lo que su utilización en estas condiciones es prácticamente nula para cualquier aplicación. En la BCS se mezcla en la proporción adecuada con aditivos que le imprime al nuevo producto (petróleo crudo nacional mejorado) otras características químicas, bajando su densidad y viscosidad, permitiendo su uso en la producción de energía eléctrica.

Posteriormente el petróleo crudo nacional mejorado es comercializado y transportado a través de camiones, trenes, buques cisterna u oleoductos a las empresas de generación de electricidad, o sea, para las Centrales Termoeléctricas en lo adelante (CTE), las cuales consumen más del 90% de la producción, y en menor proporción para otros consumidores incluyendo la exportación, generando divisas convertibles.

El patio de tanques posee una localización geográfica neurálgica y estratégica al ubicarse entre dos puntos fundamentales de extracción del fósil (litoral norte de La Habana y Varadero) y poseer la instalación MAP.

La ECCM, más conocida por Supertanquero Matanzas, es un centro con un peso notable en la economía nacional cubana, entidad capaz de procesar el crudo nacional

para el consumo interno y a través de sus muelles (los de mayor calaje en Cuba) realizar transacciones comerciales tanto nacionales como internacionales utilizando como medio de transportación los buques cisternas de gran capacidad, que no pueden entrar a otros puertos del país por esta limitante de navegación de buques, genera divisas por concepto de exportación y satisface la demanda de combustibles al sector estatal y privado.

La transportación del crudo nacional cubano se realiza por oleoductos provenientes de los posos del crudo enclavados en el litoral norte de la provincia de La Habana, Puerto Escondido y en el litoral norte de la provincia de Matanzas (Varadero).

## **2. Situación del sistema automático de la BCS.**

Desde la recepción del producto hasta su entrega final, en el proceso industrial se debe verificar, controlar y mantener constantes algunas magnitudes tales como nivel, presión, temperatura, caudal, etc. [19]. Esta función elemental la realiza el sistema automático quien vela por el cumplimiento de las exigencias de la industria, dicha función recae en una diversidad de instrumentos que garantizan la confiabilidad y seguridad de las variables y sus magnitudes.

Para lograr su automatización y así poder conocer desde una sala de control de mandos los parámetros fundamentales del proceso tecnológico SCADA Adquisición de datos y supervisión de control (*Supervisory Control And Data Acquisition*) y accionar sobre el mismo, se hizo necesario realizar una costosa inversión de 3.4 millones de USD en la BCS a finales del 2004, resultando para ese año una de las más modernas Comercializadoras del país, con una tecnología SIEMENS.

En junio del año 2005 el proceso de completamiento y ajuste del sistema automático sufrió un duro revés, debido a que el sistema de aterramiento no poseía los parámetros para esta nueva tarea, es decir no cubría las nuevas expectativas y colapsó el hardware producto de tormentas eléctricas locales. Esta situación impidió en aquel momento culminar en su totalidad la automatización de la BCS (Anexo II), lo que unido a la falta de financiamiento adicional para sustituir el hardware dañado y el cambio constante del director de inversiones provocó que el proceso de terminación se alargara y que aún no haya podido concluirse en el presente.

La tecnología instalada pertenece a la firma SIEMENS y el sistema automático materializado con un autómeta programable (Hardware) necesita ser configurado. La configuración y programación del autómeta se realiza con el paquete de software SIMATIC de SIEMENS. Esta tecnología es muy novedosa [40] de tal manera que cumple con las exigencias en la ingeniería de diseño, así como de la puesta en servicio de diferentes tareas de automatización en sectores industriales.

Para ejecutar el Proyecto de montaje y puesta a punto del sistema automático fue contratada la firma extranjera CONYCAL S.A. que a su vez poseía la responsabilidad legal de acometer el Proyecto hasta su terminación. Para ello subcontrató a varias empresas nacionales quienes atendían puntualmente diversos aspectos del Proyecto como son el aseguramiento, canalización, instalación de instrumentos de medición, programación del Controlador Lógico Programable, en lo adelante (Program Logic Control en lo adelante PLC) y programación del supervisorio, entre otras tareas. Parte de la documentación, no fue entregada a la ECCM por retención de pago entre CONYCAL S.A. y las empresas subcontratadas. Transcurrido los años y al no contarse con el financiamiento, caducó el plazo de reparación y puesta en marcha, y con ello la responsabilidad legal de quienes debían acometerla (Anexo III).

El personal técnico que poseían las empresas subcontratadas en ese periodo de tiempo, comenzó a marcharse para otras empresas, en la ECCM no existía personal capacitado para tomar en sus manos este nuevo reto, y a su vez ser contrapartida para refutar soluciones no factibles.

Formar al capital humano que garantice el correcto funcionamiento de la tecnología es una tarea difícil, ya que lograr especialistas en esta esfera cognoscitiva requiere de años de trabajo, cúmulo de experiencia e integración de especialidades. González [9] considera que “La integración de las ciencias de la automática, la electrónica y la informática permite formar a especialistas tecnológicos, que no es más que el ingeniero integrador de sistemas”.

Se retoma a mediados del año 2007 por parte de la dirección nacional de CUPET la ejecución de una nueva inversión para garantizar las exportaciones de crudo y de aquí la necesidad de hacer un estudio conducente a un nuevo diagnóstico preliminar para conocer a profundidad la envergadura de los daños sufridos durante dos años y dar

continuidad al Proyecto de automatización. Este estudio da la posibilidad de cuantificar el alcance para su financiamiento (Anexo IV).

En la actualidad la revitalización del sistema automático necesita de la incorporación de nuevos requerimientos y depuración de otros con el objetivo de que se ajusten a las nuevas exigencias que se encuentran vigentes.

### **3. Importancia de la aplicación en la industria de la tecnología de punta.**

Existe consenso entre los especialistas, que en aquellas industrias donde se aplican estas avanzadas técnicas, le posibilitan mantener la competitividad en el mercado con un alto nivel de calidad, seguridad y eficiencia. Por ello al optimizar constantemente los procesos, utilizando tecnología innovadora se avanza en el frente de la ingeniería de medición, control y automatización encontrando soluciones seguras y eficientes, no solo en el proceso productivo sino también incorporando soluciones a los procesos donde sean compatibles con el cuidado del medio ambiente contribuyendo al ahorro de energía y de recursos. Todo esto permite además, brindar medios que logran el funcionamiento óptimo de los sistemas dinámicos mejorando la calidad, abaratando los costos de producción, expandiendo el ritmo de la producción y con ello se libera de la complejidad de muchas rutinas de las tareas manuales repetitivas, lo que aumenta la seguridad del proceso [19].

Conservar la integridad y aumentar aceleradamente la potencialidad de la tecnología instalada en la industria es uno de los principales retos actuales. Corresponden estas funciones a empresas especializadas o departamentos dentro de la industria que cuentan con servicios de expertos en la instrumentación, control y la automatización del proceso, obteniendo máximos beneficios y riesgos operativos mínimos, los cuales deben centrar sus esfuerzos en la gestión de Proyectos, instalación del sistema y su puesta en marcha, mantenimientos y reparación, adquisición de piezas de repuesto, calibración de la instrumentación, entre otros.

No es viable aplicar la tecnología por el mero hecho de los beneficios que reportan, sino que también es imprescindible que las soluciones estén conformes a las normas estándares para el proceso. Se debe utilizar una instrumentación donde se pueda lograr la trazabilidad y el cumplimiento de todos los requisitos (de funcionamiento y de diseño)

según las normas y procedimientos nacionales e internacionales vigentes para demostrar a los organismos competentes que se ha realizado correctamente la verificación o calibración de los mismos. Explotar todo el potencial de la instrumentación de campo instalado debe ser una posibilidad de los sistemas automáticos. La utilización de los protocolos de comunicación estándares abiertos (red industrial) deben brindar a la entidad la posibilidad de escoger los instrumentos y equipos (y no el sistema) que mejor se adapten para su aplicación [6].

El sistema automático parte desde el instrumento hasta el supervisorio. Para ello se deben tener garantizados la integridad e interdependencia del hardware y del software como un todo único. El hardware es la parte física que soporta el sistema compuesto por los sensores o transductores, transmisores de señal, autómatas programables, fuente de alimentación, módulos de entrada y salidas analógicos y digital, módulos de comunicación, etc. Para la adquisición del software del sistema automático deben estar implícitas las licencias originales para operar en la industria con seguridad, facilitar la información, su procesamiento y su accionar directamente sobre el proceso tecnológico. No puede estar exento el software que realiza el mantenimiento, prevención y localización de fallas, evitando que el sistema no tenga que ser interrumpido y la planta esté disponible en todo momento.

Un análisis preliminar de los beneficios que reporta la automatización de los procesos industriales y la importancia que la misma reporta a la industria del petróleo, da paso al planteamiento del siguiente:

#### **4. Problema Científico:**

En la BCS se están realizando las operaciones del proceso tecnológico de forma manual, sin embargo existe implementado un sistema SCADA fuera de servicio que si se logra explotar adecuadamente pudiera redundar en la automatización de una parte importante de sus procesos.

Todo lo señalado anteriormente conlleva a formular la siguiente:

## **5. Hipótesis.**

Es posible implementar la revitalización del SCADA de la BCS, logrando una automatización que satisfaga los requerimientos actuales con la utilización del software de SIEMENS, realizando la reprogramación del PLC, disminuyendo los errores de medición con la parametrización de los instrumentos, y brindándole inmunidad electromagnética.

Para ello en el trabajo se formula el siguiente.

## **6. Objetivo General:**

Revitalizar el sistema automático de la BCS para lograr el funcionamiento del SCADA desde el elemento primario hasta el autómeta programable, teniendo en cuenta los requerimientos actuales.

Se formulan también los siguientes.

## **7. Objetivos Específicos:**

- Revisar el estado actual de la información científica existente en la temática que se aborda en el presente trabajo y realizar una búsqueda de los documentos de la inversión realizada en el año 2004 relacionados con el sistema automático como elemento de partida.
- Realizar el cambio de la red industrial eléctrica por óptica para lograr la comunicación entre el CPU y la periferia descentralizada (ET200 M), brindándole inmunidad electromagnética y la configuración de la nueva red utilizando los paquetes de software específicos de la firma SIEMENS.
- Obtener la correcta parametrización de los transmisores utilizados por los sensores e instrumentos inteligentes que posean comunicación HART utilizando los paquetes de software específicos de la firma SIEMENS, disminuyendo los errores de la medición.
- Adquirir la lectura de los valores digitalizados de los sensores e instrumentos de medición para ser introducidos en localizaciones de memorias del PLC diferenciadas para cada instrumento, dejando las facilidades necesarias para el supervisorio.

- Presentar a través de la modelación (diagramas, figuras, etc.) los resultados alcanzados que validen la revitalización del SCADA de la BCS.

## **8. Justificación de la investigación.**

En la BCS el proceso operativo posee una elevada complejidad. La utilización de la medición, control y automatización del proceso permite centrar en una sala de control y mando las magnitudes fundamentales utilizadas en el proceso tecnológico de almacenamiento y comercialización del crudo nacional. Con su utilización:

- Evita el error humano al registrar las variables con sus magnitudes físicas que se adquieren a partir de los instrumentos de medición, datos primarios que pueden ser alterados por múltiples causas.
- Aumenta la eficiencia y productividad al advertir al operador a través de alarmas y mensajes la necesidad de tomar acción ante la desviación de las variables y de sus magnitudes físicas inherentes al proceso.
- Humaniza el trabajo del operario en condiciones adversas para altas temperaturas, fenómenos atmosféricos, etc.
- Sienta las bases para el procesamiento estadístico de las variables con sus magnitudes físicas registradas dando la posibilidad de crear registros históricos que permitan el análisis ulterior de algún problema existente no detectado.
- Permite realizar programaciones para advertir la necesidad de mantenimiento preventivo o predictivo. La utilización de alarmas y mensajes permite que no se detenga el proceso productivo, no se produzcan averías costosas para la empresa, como los derrames de combustible y evita tener que invertir en la reparación o sustitución de la parte del sistema tecnológico dañado. Para procesos tecnológicos con riesgo de explosión como el de la BCS se le puede incorporar un sistema de detección que active el sistema de extinción de incendio. Además, impide la contaminación ambiental al tener automatizado el proceso de producción.

Este trabajo, desde el punto de vista teórico, podrá ser utilizado como documento de consulta y estudio, pues contiene datos y valoraciones sobre la medición y mando del proceso tecnológico de la BCS, respecto a la cual no se dispone de información para su

conocimiento y toma de experiencias relevantes al no contarse con una documentación sobre este tema en particular en la empresa.

Resulta importante desde el punto de vista metodológico, por los procedimientos, métodos y técnicas aplicadas para la investigación puede también servir de consulta pues podrían ser aplicadas en la solución de problemas similares a este.

Desde el punto de vista práctico puede ser de gran importancia por los resultados que se esperan de su aplicación. Por tanto, permite promover la retroalimentación de la docencia con el conocimiento derivado de la investigación.

Para la empresa posee una importancia fundamental, la reinserción en el proceso productivo del sistema automático de la BCS que no funcionaba y su puesta en marcha permite darle continuidad y valor de uso a esta inversión.

## **9. Resultados esperados:**

Con este trabajo se esperan obtener los resultados siguientes:

- Organizar la ejecución de la revitalización del sistema automático de la BCS.
- Minimizar el riesgo de inducción en los cables y evitar el desastre con la instalación de la red óptica.
- Parametrizar, calibrar y poner en funcionamiento los diferentes transmisores e instrumentos disminuyendo errores de la medición y los errores de la conversión para la transmisión de datos.
- Realizar la programación o reprogramación del CPU que facilite la ejecución del sistema automático de la BCS con la utilización del lenguaje de programación AWL para obtener la medición digitalizada en diferentes direcciones de memoria asociado a sensores e instrumentos, teniendo en cuenta las nuevas condiciones actuales, potencializando el sistema.

## **10. Aspectos metodológicos:**

Por las características que presenta esta investigación, se ha definido que es de tipo Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación. Se centra en la búsqueda e investigación de conocimientos orientados a una aplicación rápida en la industria con un interés eminentemente práctico.

Se parte de un Proyecto totalmente desconocido, se evalúa a través de una ingeniería inversa y se ejecutan acciones que permiten realizar la investigación aplicada, se articula la innovación y su transferencia a procesos tecnológicos.

#### **11. Tareas a realizar en la investigación.**

- Recopilación y sistematización de la información científico-técnica sobre la temática y ámbito del Proyecto.
- Cambio y configuración del CPU y de la red industrial con la utilización de software SIMATIC.
- Diagnóstico, sustitución, reparación, instalación, y puesta en marcha del hardware destruido o implementación de otros con la utilización de software SIMATIC.
- Calibración y parametrización de los transmisores e instrumentos con comunicación HART para lograr menores errores de lectura con la utilización de software SIMATIC PDM.
- Programación del PLC para realizar cambios en la misma que se ajuste a los nuevos requisitos actuales con la utilización de software SIMATIC.
- Presentación a través de la modelación (diagramas, figuras) los resultados alcanzados que validen la revitalización del SCADA de la BCS.

#### **12. Métodos utilizados en la investigación.**

En la investigación se emplearon métodos teóricos y prácticos. La inducción y la deducción se utilizaron durante el análisis del capítulo I, permitiendo el estudio de los componentes del SCADA como un todo único. El tránsito de lo abstracto a lo concreto se puso en práctica en el análisis y la comprensión de determinados conceptos y principios en la fundamentación teórica.

El análisis está presente al descomponer la situación polémica en sus partes componentes y la síntesis permitió determinar la relación entre la transmisión de los valores analógicos de la instrumentación, la conversión de esta señal analógica a su equivalente digital para ser transmitido por el protocolo de comunicación hasta el CPU y allí ser guardada la información en localizaciones de memoria.

El método inductivo permitió ir realizando un análisis que va de lo particular a lo general y el deductivo viceversa.

Los métodos prácticos resultaron ser de vital importancia durante la etapa de desarrollo, permitieron recuperar la funcionalidad del SCADA en sus diferentes etapas de trabajo, trazando nuevas metas, corroborando a través del método experimental la veracidad de los resultados obtenidos, durante la puesta en marcha.

### **13. Instrumentos, equipamiento y herramientas a utilizar.**

1. Multímetro digital generador de funciones con contador de 10 dígitos serie MEC85.
  - Precisión de DC: 0.05%.
  - Impedancia de entrada en mV: >1000MΩ.
  - Análisis de componentes de corriente o voltaje de señal.
  - Resistencia: 0.1Ω hasta 80M, 10MΩ hasta 8000MΩ.
2. Sistema PDM para instrumentación HART.
  - Módem universal para comunicación y configuración desde PC, puerto USB, de cualquier equipo de cualquier fabricante con protocolo HART.
  - SIMATIC PDM V6.0, ampliación de 4 a 1024 Tag, necesario disponer de PDM BASICO V6.0, licencia flotante para 1 usuario, sin software ni documentación, licencia en disquete, idioma castellano, ejecutable bajo Win2000Prof/ WinXP Prof. 6ES7658-3XC06-2YB5.
3. Programadora field PG.
  - SIMATIC FIELD PG m2 premium 2,2 Ghz core 2 duo (t7500), dl multistandard dvd rw, 15" sxga+ display (1400 x 1050) 160gb s-ata hdd, 1x2gb ddr2 ram power cable for: ger, fr,nl,sp,bel,at,swd,fin; wlan approval f. europe modem approval for europe; windows xpprof english mui with ge/fr/sp/it on hdd as image; license step7 prof, step5, step7 microwin and wincc flexible adv.; incl. eprom adapter and s5-plc cable; version of software 01/2008 6ES7713-1BB10-0AD1. [43].

4. Comprobador de manómetro de peso muerto para la calibración de los transmisores de presión.
  - Manómetro patrón 0-16 BAR 0.04%.
5. Cinta métrica.
  - Con plomada de 0- 15M. Incertidumbre 0.007mm K=2, Marca Lufkin.
  - Con plomada de 0- 30M. Incertidumbre 0.007mm K=2, Marca Lufkin.
6. Destornillador de paleta fino.
7. Destornillador de estriga.

#### **14. Estructura de la tesis.**

La tesis cuenta en su desarrollo con Introducción, tres capítulos, Conclusiones, Recomendaciones y 38 anexos, organizados en un escalonamiento progresivo.

El Capítulo I se dedica a exponer el desarrollo de la ingeniería automática desde sus albores hasta la actualidad, situando como esta prodigiosa ingeniería se ha venido desarrollando en el país y en particular la industria petrolera cubana. Se aborda la fundamentación teórica a partir de los temas claves que sostienen la argumentación para su comprensión. Para ello se analiza el funcionamiento de un autómata programable, las partes integrantes de un SCADA, las redes y protocolos de comunicación que permiten el intercambio de información desde el instrumento hasta el PLC, así como los software que ofrece SIEMENS para la programación, configuración y parametrización del sistema automático.

En el Capítulo II se realiza el análisis del estado actual de la automática en la BCS y su concepción previo a la realización del presente Proyecto.

En el Capítulo III se muestran las dificultades encontradas y se explican las soluciones ejecutadas, argumentadas a través de la modelación, de esta forma se exponen los resultados y soluciones finales de la investigación que validan la hipótesis formulada.

## **CAPITULO 1. SISTEMAS DE CONTROL AUTOMÁTICOS.**

En cualquier proceso tecnológico es preciso monitorear determinadas magnitudes físicas, para detectar desviaciones que se encuentren fuera de los límites prefijados y así accionar en el proceso tecnológico para corregir dichos cambios realizando el control, ya sea anticipativo, predictivo o robusto en lazo cerrado o abierto según las exigencias del proceso en cuestión.

Para automatizar cualquier proceso se requiere de la incorporación de una tecnología que responda funcionalmente a las necesidades y complejidades del proceso tecnológico industrial donde debe existir una estrecha colaboración del personal de operaciones y el de tecnología, que son los encargados de la confección y entrega de la tarea técnica. El control automático ha jugado un rol vital en el progreso de la ingeniería y la ciencia puesto que le ha tocado cumplir un importante papel en los procesos de manufactura desde el comienzo de la revolución industrial.

En la mayoría de las modernas industrias contemporáneas se controlan de forma acertada un sinnúmero de variables físicas cuyas magnitudes complejizan enormemente el proceso tecnológico. Las variables físicas que se encuentran comúnmente en la industria son muy diversas y entre ellas se pueden encontrar presión, temperatura, nivel, caudal, etc. Existen un sinnúmero de industrias en las que se aplican en el proceso tecnológico esta novedosa ciencia, su aplicación se extiende a la industria alimenticia, farmacéutica, petrolera, entre otras [6], por lo que se ha insertado prácticamente en todas las esferas de la vida moderna. La modificación e introducción de nuevos elementos de control automático en esferas de la industria petrolera cubana constituye un tema de actualidad en que centran sus esfuerzos los técnicos e ingenieros pertenecientes a las diferentes empresas vinculadas a esta industria.

### **1.1. Breve historia del desarrollo del control automático.**

El control manual de las variables de procesos por parte de un operario utilizando instrumentos simples fue y es aun aplicable a procesos considerados como de baja complejidad. Se puede decir que el control automático ha ido evolucionado a partir del momento en que se inventó en el siglo dieciocho el regulador centrífugo para el control

de las máquinas de vapor que es considerado el primer trabajo significativo en esta esfera. En la década de 1940 los métodos de respuesta de frecuencia permitió el diseño de sistemas de control realimentados linealmente y la introducción de lazos cerrados de control que utilizaban instrumentación neumática en las plantas de procesamiento industrial. En la década de 1950 el equipamiento para el control de procesos se simplificó con la introducción de la instrumentación electrónica, lo que sirvió de base para que en los años 60 se desarrollara la teoría del control moderno para afrontar las complejidades crecientes de las fábricas y las necesidades rigurosas de exactitud en la realización de las mediciones [19].

El desarrollo ulterior de la industria y la complejidad que han alcanzado hoy en día los procesos industriales han impulsado la automatización creciente por medio del empleo de los instrumentos de medición, control y alarmas, liberando al operador de la acción directa en el proceso, lo que permitió humanizar su trabajo, y revertir su labor hacia la supervisión y vigilancia del proceso desde lugares de control ubicados en el propio proceso o en salas remotas [5]. En los tiempos actuales con la utilización de instrumentos inteligentes las salas de control tienden a convertirse en salas de información, pues toda la regulación se efectúa en el campo (tecnología fieldbus).

El desarrollo vertiginoso de la microelectrónica en la construcción de integrados con una alta escala de integración hizo posible la aparición del microprocesador en 1971 y con ello la aparición de las microcomputadoras digitales. Su alta fiabilidad y precio permitió el uso de la misma en cálculos complejos de las necesidades del control automático y permitió que el hombre pudiera plantearse el problema de controlar el proceso teniendo en cuenta los múltiples factores que interactúan con este, así como las características variables de dichos factores. La utilización de las mismas en los Proyectos de sistema de control y en el control de operaciones se ha convertido en una acción cotidiana [20, 22].

La utilización de la computadora y de las tecnologías de la información y las comunicaciones (TICs), se ha adueñado de la automatización industrial de forma que no es concebible el control del proceso sin el uso de las redes de automatización con controladores lógicos programables (PLC) y microcomputadoras, en varios niveles jerárquicos, que abarcan desde el nivel de medición y acción sobre el proceso, hasta el

manejo de todo el sistema mediante Internet.

El desarrollo del control automático en la industria cubana antes del proceso revolucionario era prácticamente escaso, ya que solo pocas industrias como la azucarera, la de extracción del níquel y la de fertilizantes fundamentalmente, manejaban cierto grado de automatización.

Después del Triunfo de la Revolución se incrementó con creces la instalación de nuevas capacidades industriales, mediante ampliaciones, reconstrucciones y el aumento de la producción en las distintas ramas. Se implementó desde años tempranos políticas que fomentaban procesos tecnológicos de mayor perfección con la aparición de nuevas ramas de la industria y nuevos tipos de producción material, tales como la energía nuclear, desarrollo de equipos médicos, fabricación de componentes electrónicos entre otras. Para ello se necesitaba darle continuidad a la implantación de normas técnicas y a la organización del trabajo, así como el incremento de la mecanización y automatización de determinados procesos de la producción y los servicios con el fin de elevar la productividad del trabajo.

A partir del año 1995, en una situación económica en ascenso, después de un recrudescimiento del periodo especial, se reinicia una nueva etapa en el desarrollo de la industria, dando continuidad al proceso de automatización con nuevos programas de inversiones de capital mixto y con la creación de una infraestructura para su desarrollo.

El recrudescimiento del bloqueo y la crisis económica mundial actual ha frenado la inversión de capitales en nuestro país, lo que ha condicionado que la política económica aplicada por el gobierno cubano sea invertir en aquellos sectores donde se pueda revertir el financiamiento en breve plazo siendo la industria petrolera una de las beneficiadas con esta política. En Tesis y Resoluciones [30] se expone como...“Incrementar la capacidad de refinación del petróleo con la reconstrucción y ampliación de las plantas existentes. Comenzar la instalación de nuevas refinerías. Mejorar la calidad de los derivados y asegurar su eficiente distribución. Aumentar las capacidades de almacenamiento del petróleo y sus derivados”... ha sido uno de los principales lineamientos económicos desde los primeros años revolucionarios.

La perforación y extracción del crudo cubano demanda de tecnología de punta para el desarrollo de esta actividad. En los primeros meses del año 2007 la refinería “Nico

López” de Ciudad de la Habana culminó la automatización de la Terminal 221; a mediados de ese mismo año se automatizó la refinería “Hermanos Días” de Santiago de Cuba, y en diciembre se abrió nuevamente la refinería “Camilo Cienfuegos” de Cienfuegos con la participación de capital mixto venezolano. En la actualidad existen convenios y Proyectos para potencializar esta industria en el país y en particular en la Ciudad de Matanzas, los cuales necesitan a su vez de la realización de trabajos que permitan reacondicionar la tecnología existente a la nueva tecnología que se va a adquirir o se encuentra en proceso de instalación y es en este marco donde se desarrolla el trabajo que se realiza en la presente tesis.

## **1.2. Los autómatas programables. Particularidades de los autómatas de SIEMENS.**

De forma general un sistema de control permite supervisar, monitorear y corregir las desviaciones de los límites de algunas variables físicas y químicas y sus magnitudes preestablecidas; para lograr este propósito se necesita de sensores, transductores o instrumentos de medición que entreguen una señal eléctrica y digital que revelen las tendencias de estas variables con interfaces que se acoplan al sistema de control para su supervisión o monitorización [3].

El desarrollo tecnológico de la industria electrónica hizo posible que se desarrollaran autómatas programables industriales [23], los cuales requieren ser un sistema preparado para operar con:

- Las altas tensiones y corrientes que caracterizan a los procesos industriales.
- Un ambiente agresivo que demanda una construcción robusta y facilidad de interconexión al proceso.
- Funciones específicas de control y de interfaz de comunicación para que puedan acoplarse entre sí y a los propios ordenadores.
- Un juego de instrucciones en la programación que pudiera ser general o específico en dependencia del autómata seleccionado.
- Una alta exigencia de la velocidad de respuesta que hace posible que se vayan superando cada vez más sus potencialidades.

El sistema del autómata puede dividirse en los siguientes bloques:

- Bloques de unidades de control.

- Bloques de accionamientos.
- Bloques de sensores, transductores o instrumentos.
- Bloques Interfaces.

El autómata es un sistema que posee al menos un microcontrolador CPU, que permite realizar las alteraciones físicas de los módulos mediante el fraccionamiento del hardware en partes interconectables, lo cual permite conformar un sistema a la medida de las necesidades (adaptabilidad), y ser configurado por software específico. Los sistemas programables actuales realizan distintas funciones a través del cambio del programa de control ubicado en la memoria del CPU. El adjetivo «programable» significa que el usuario lo pueda programar adaptándolo a las condiciones cambiantes de la industria para lo cual no es preciso invertir en la adquisición de un nuevo sistema sino incorporar o desactivar módulos, partes y piezas, unido a la modificación del programa intérprete capaz de alterar la función de transferencia (salida/entrada) en razón de un programa de usuario. En el Anexo V se muestra el esquema en bloques de la CPU de un autómata basado en microprocesador.

La abreviatura del controlador lógico programable proviene de la lengua inglesa (*Program Logic Control* en lo adelante PLC). Las informaciones sobre el proceso que recibe el PLC provienen de los llamados generadores de interrupciones, las cuales se alteran por las entradas del PLC.

La declaración de una determinada entrada o salida dentro del programa se denomina direccionamiento. Las entradas y salidas de los PLCs están comprendidas en general en 8 grupos de entradas y salidas digitales. Estas 8 unidades se denominan Byte. Cada uno de estos grupos contiene un número llamado dirección de Byte.

Para profundizar en el conocimiento del PLC es necesario profundizar en su estructura y en las particularidades de su software los cuales se abordarán a continuación.

### **1.2.1. Estructura de un PLC.**

Se puede considerar que la estructura de un PLC consta de los siguientes bloques:

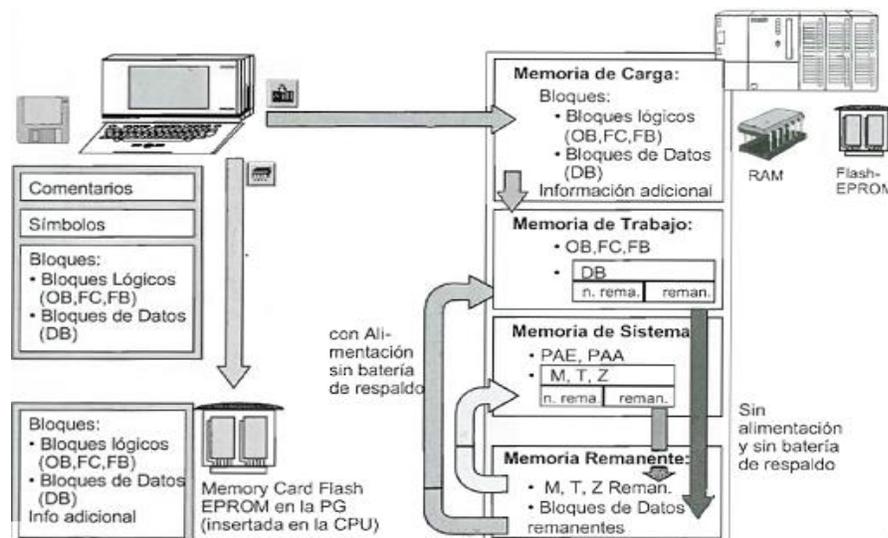
- Elementos de entradas.
- Órganos de mando.
- Unidad central de proceso.

➤ Elementos de salida.

A los **elementos de entrada** de un autómata programable se le conectan los sensores, transductores, transmisores o instrumentos de medición que portan una señal digital o analógica.

Los **órganos de mando** son conectados en la etapa de salida del autómata y la señal puede ser tanto analógica como digital.

La **unidad central de proceso (CPU)** se encarga de procesar el programa de usuario que se le introduce. Para ello se necesitan registros, e instrucciones de programa dispuestos o ubicados en diversas zonas de memoria tal como se muestra en la figura 1 donde aparece la estructura de memoria del CPU de la serie 300 de los autómatas de SIEMENS, en el Anexo VI. A se puede apreciar el modelo que constituye al autómata. Determinados modelos avanzados de PLC pueden tener funciones ya integradas en la CPU, como son los reguladores PID, los controles de posición, etc.



**Figura 1.** Concepto de memoria en el S7-300.

La memoria constituye un bloque funcional del PLC en la que se encuentra alojado el programa de usuario y de trabajo. La modificación al programa de usuario es posible introducirla al CPU por una consola de programación. La información contenida en las imágenes de salidas y entradas producto de la ejecución del programa de usuario en el CPU se guardan en la tabla de imagen de proceso [47].

En los autómatas el programa se separa en diversas áreas de memorias bien definidas según su función o datos las cuales se definirán a continuación.

La **memoria de carga** puede ser una *memory card* o una RAM integrada, es una parte de un módulo programable que contiene objetos de carga creados con el dispositivo de programación.

La **memoria de trabajo** es una RAM integrada al CPU y respaldada por batería y contiene solo datos relevantes en el tiempo de ejecución.

La **memoria del sistema** contiene áreas de memoria para:

- Tablas de imagen de proceso de entrada y salida (PAE, PAA).
- Marcas (M).
- Temporizadores (T).
- Contadores (Z).
- L *stack* (L).

La **memoria remanente** es una RAM no volátil usada para salvaguardar marcas, temporizadores, contadores y bloques de datos. Las áreas a salvaguardar se especifican en los parámetros del CPU.

Para ayudar al trabajo del CPU existen procesadores que se encargan de la comunicación. Los procesadores de comunicación conforman la red industrial y absorben esta funcionalidad dejando al CPU libre para que se ocupe de otras funciones. El bus es un elemento esencial el cual permite la transferencia de datos, control y direccionamiento de la información entre el CPU y el resto de los bloques funcionales [8].

Además de la estructura se requiere abordar el software del autómata.

### **1.2.2. Software de un autómata.**

El software asociado a un autómata consta de dos partes. Por un lado se tiene el sistema operativo (firmware) residente en el autómata (lenguaje de máquina) que ejecuta las órdenes del programa de usuario y vigila el correcto funcionamiento del equipo y por otro el software de edición y depuración de programas que permite escribir e introducir el programa en el autómata (lenguaje interactivo) o en un soporte físico adecuado por parte del programador desde un dispositivo como un PC o una consola de programación. Con la unidad de programación y utilizando el software S7 de SIEMENS puede escribirse un programa a un determinado lenguaje que posteriormente

puede descargarse en el PLC. El *firmware* del PLC interpretará el código y ejecutará el programa de usuario de forma cíclica (OB1). Los lenguajes de programación, que poseen distintas maneras de representaciones, intentan con unas reglas sintácticas definidas, construir un programa coherente y comprensible por el autómata [45].

El programa de usuario del PLC se escribe con el Software STEP 7 en el PC y allí se guarda en la memoria intermedia. Después de la conexión del PC con la Interface MPI (una interface MPI se define como *Multi Point Interface*), interfaz con múltiples puntos, del PLC, se puede cargar el programa en la memoria del PLC gracias a la función de carga.

Resulta importante para nuestro trabajo hacer referencia a la forma en que opera el autómata con el CPU 315 2DP (Anexo VI). SIEMENS explica que [39]:

La ejecución del programa en un PLC realiza el siguiente procedimiento cíclicamente:

1. Después de que el PLC sea conectado, el Procesador pregunta, si las entradas de tensión son activas o no. El estado de las entradas se guarda en la imagen del proceso de las entradas (PAE). Además se guarda para las entradas de tensión la información 1 o “Alto” y para las entradas sin tensión la información 0 o “Bajo”.
2. Este procesador empieza a ejecutarse después de guardar el programa en la memoria. Este contiene una lista de uniones e instrucciones lógicas, las cuales se irán ejecutando sucesivamente. Para esto se necesitan las informaciones de las entradas que se han almacenado en el PAE y los resultados lógicos se escriben en una determinada imagen del proceso de las salidas (PAA). También sobre otras áreas de memoria como marcas, temporizadores y contadores se extrae información durante la ejecución del programa, eventualmente desde el procesador.
3. En el tercer paso, después de la ejecución del programa de usuario de estado se transfieren las PAA a las salidas y este se conecta o se desconecta. A continuación se ejecuta de nuevo el punto 1.

Es importante analizar el programa cíclico (OB1) para comprender el funcionamiento del autómata.

### **1.2.2.1. Programa cíclico (OB1). SIEMENS.**

El sistema operativo de la CPU del S7 ejecuta el OB1 de forma cíclica. La ejecución cíclica del OB1 comienza una vez que el arranque ha finalizado. En el OB1 es posible realizar la llamada a bloques de función (FBs, SFBs) o a funciones (FCs, SFCs).

Modo de funcionamiento del OB1

El OB1 presenta la prioridad más baja de todos los OBs sometidos a vigilancia en lo que respecta a su tiempo de ejecución. Con excepción del OB 90, todos los demás OBs pueden interrumpir la ejecución del OB1. Los eventos siguientes dan lugar a que el sistema operativo llame al OB1:

- Final de la ejecución del arranque.
- Final de la ejecución del OB1 (durante el ciclo anterior).

Una vez finalizada la ejecución del OB1, el sistema operativo envía datos globales. Antes de arrancar de nuevo el OB1, el sistema operativo escribe la imagen de proceso de las salidas en los módulos de salida, actualiza la imagen de proceso de las entradas y recibe datos globales para el CPU.

El software S7 ofrece una supervisión del tiempo de ciclo máximo garantizando el tiempo de reacción máximo. El valor del tiempo de ciclo máximo está preajustado a 150 ms. Se puede modificar la parametrización de este valor o, con SFC 43 "RE\_TRIGR", activar de nuevo la supervisión temporal en cualquier punto del programa. Si el programa sobrepasa el tiempo de ciclo máximo para el OB1, el sistema operativo llama al OB 80 (OB de error de tiempo). Si no está programado el OB 80, la CPU pasa al estado operativo STOP.

Para una mejor comprensión del funcionamiento es necesario analizar los bloques de función del autómatas de SIEMENS que se está describiendo.

### **1.2.2.2. Bloques de función (FB).**

Los bloques de función son bloques programables. Un FB es un bloque "con memoria". Dispone de un bloque de datos asignado como memoria (bloque de datos de instancia). Los parámetros que se transfieren al FB, así como las variables estáticas, se memorizan en el DB de instancia. Las variables temporales se memorizan en la pila de datos locales. Los datos memorizados en el DB de instancia no se pierden al concluir el

tratamiento del FB. Los datos memorizados en la pila de datos locales se pierden al concluir el tratamiento del FB.

Un FB contiene un programa que se ejecuta siempre cuando es llamado por otro bloque lógico. Los bloques de función simplifican la programación de funciones complejas de uso frecuente.

A cada llamada de un bloque de función que transfiere parámetros está asignado un bloque de datos de instancia. Mediante la llamada de varias instancias de un FB es posible controlar varios equipos con un FB. Un FB para un tipo de motor puede controlar, por ejemplo, diferentes motores, utilizando datos de instancias diferentes para los diferentes motores. Los datos para cada motor (tales como número de revoluciones, rampas, tiempo de funcionamiento acumulado, etc.) se pueden memorizar en uno o varios DBs de instancia.

### **1.2.2.3. Bloques de datos globales en el programa de usuario (DB).**

Al contrario de los bloques lógicos, los bloques de datos no contienen instrucciones STEP 7. En cambio, sirven para depositar datos de usuario, es decir que los bloques de datos contienen datos variables con los que trabaja el programa de usuario. Los bloques de datos globales contienen datos de usuario utilizables desde otros bloques.

El tamaño de los DBs puede variar. El tamaño máximo admisible se indica en las descripciones de la CPUs.

Si se llama un bloque lógico (FC Funciones, FB o OB), éste puede ocupar determinada capacidad de memoria en el área de datos locales (pila L). Además de esta área de datos locales, un bloque lógico puede abrir un área de memoria en forma de un DB. Al contrario de los datos en el área de datos locales, los datos contenidos en un DB no son borrados al cerrar el DB o al concluir el tratamiento del correspondiente bloque lógico.

Cada FB, FC u OB puede leer los datos de un DB global o escribir datos en un DB global. Estos datos se conservan en el DB incluso al abandonar dicho DB.

Un DB global y un DB de instancia pueden estar abiertos al mismo tiempo.

Las funciones (FC) son bloques programables. Una función es un bloque lógico "sin memoria". Las variables temporales de las FCs se memorizan en la pila de datos

locales. Estos datos se pierden tras el tratamiento de las FCs. Para fines de memorización de datos, las funciones pueden utilizar bloques de datos globales.

Como una FC no tiene asignada ninguna memoria, se han de indicar siempre parámetros actuales. A los datos locales de una FC no se pueden asignar valores iniciales.

La FC contiene un programa que se ejecuta cada vez que es llamada por otro bloque lógico. Las funciones se pueden utilizar para:

- Devolver un valor de función al bloque invocante.
- Ejecutar una función tecnológica.

Es usual realizar asignación de parámetros actuales a parámetros formales y por su importancia en el contexto se explicará a continuación.

El parámetro formal es un comodín para el parámetro real, es decir, el parámetro actual. Los parámetros actuales sustituyen a los parámetros formales al efectuar la llamada a una FC. A los parámetros formales de una FC se han de asignar siempre parámetros actuales (al parámetro formal "Start" un parámetro actual "E3.6"). Los parámetros de entrada/salida utilizados por la FC se depositan en forma de punteros en los parámetros actuales del bloque lógico que ha llamado a la FC.

Diferencia importante en los parámetros de salida de FC y FB.

En los bloques de función (FB), al acceder a parámetros se utiliza la copia de los parámetros actuales del DB de instancia. Si en la llamada de un FB no se transfiere un parámetro de entrada o si en el bloque no se escribe un parámetro de salida, se continúan utilizando los valores antiguos todavía existentes en el DB de instancia (DB de instancia = memoria del FB).

Las funciones (FC) no tienen memoria. Por eso, al contrario que en el caso del FB, el hecho de proporcionar los parámetros formales no es opcional, sino necesario. El acceso a parámetros de FC se realiza a través de direcciones (indicadores de varias áreas). Si se utiliza como parámetro actual un operando del área Datos (bloque de datos) o una variable local del bloque que realiza la llamada, para la transmisión de parámetros se guarda temporalmente una copia del parámetro actual en los datos locales del bloque que realiza la llamada.

### **1.3 Breve descripción del sistema SCADA.**

Para poder automatizar cualquier proceso tecnológico la información primaria (señales eléctricas, analógicas o digitales) se obtiene de los sensores, transductores e instrumentos de medición. Estas señales deben ser procesadas (amplificadas y filtradas de ser necesario), seleccionadas y entregadas en formato digital (equivalente digital). Los pasos previos mencionados se conocen como adquisición de datos y posteriormente pasan al proceso de control y supervisión. En su conjunto conforman el SCADA cuyas siglas significan Adquisición de datos y supervisión de control (*Supervisory Control And Data Acquisition*) que puede explicarse como una aplicación de software de control de producción, que se comunica a través de una red industrial con los dispositivos de campo y controla el proceso de forma automática desde la pantalla del ordenador y que proporciona información del proceso a diversos usuarios: operadores, supervisores de control de calidad, supervisión de proceso, mantenimiento, etc.

#### **1.3.1. Funciones principales y objetivos de un SCADA.**

Son varias las funciones que un SCADA posee y entre ellas se encuentran:

- La adquisición de datos, o sea, recoger, procesar y almacenar la información recibida.
- La supervisión, que es otra función necesaria para observar desde un monitor la evolución de las variables de control.

El control, mediante el cual se puede modificar la evolución del proceso, actuando bien sobre los reguladores autónomos básicos (consignas, alarmas, menús, etc.) ó bien directamente sobre el proceso mediante las salidas conectadas.

Un SCADA debe cumplir varios objetivos:

- Ser sistemas de arquitectura abierta, capaces de crecer o adaptarse según las necesidades cambiantes de la empresa.
- Comunicarse con total facilidad y de forma transparente al usuario con el equipo de planta y con el resto de la empresa (redes locales y de gestión).
- Poseer programas sencillos de instalar, sin excesivas exigencias de hardware, y fáciles de utilizar, con interfaces amigables con el usuario.

Para la operación de un SCADA resulta importante poseer un medio físico para intercambiar la información desde el CPU hasta los sensores y actuadores de forma bidireccional en el caso que lo requiera, de ello se encargan las redes industriales que por su importancia es tratada a continuación.

### **1.3.2. Caracterización de los diferentes niveles de Redes Industriales.**

Hace más de 30 años la instrumentación de procesos estaba basada en los estándares de transmisión de señales analógicas de corriente 4-20 mA, 0 a 5 Volt, 0 a 10 Volt, y en la década de 1980 comenzó la utilización de las comunicaciones digitales, logrando diversos niveles de redes industriales entre las que se encuentran entre otros:

- Nivel bus de campo.
- Nivel LAN.
- Nivel LAN/WAN.

La posibilidad de intercambio de información entre equipos que controlan un proceso tecnológico, la utilización de comunicación con una interfaz hombre máquina (HMI) y el uso de una base de datos común son ventajas que se le atribuyen a la aplicación de redes industriales; función que es posible gracias a la existencia del bus de campo y los protocolos de comunicación.

Un bus de campo se usa principalmente como un sistema de comunicación digital entre los sistemas de automatización y los dispositivos de campo digital, que permite el intercambio serie de datos bidireccional y multipunto [1]. Con su empleo se obtienen ventajas puesto que se reducen considerablemente los cables a instalar, se reducen los costos de la instalación, del mantenimiento y de operación, se logra mayor rapidez de transmisión de los datos, se alcanza flexibilidad para distribuir el control y facilidad para administrar los elementos de la red, y se asegura la compatibilidad entre instrumentos de diferentes fabricantes.

El bus de campo constituye el nivel más simple y próximo al proceso dentro de la estructura de comunicaciones industriales para instrumentos y otros equipos de automatización de planta. En la actualidad existen diferentes tipos de dispositivos de una diversidad de fabricantes con características diferentes, lo que precisó la normalización de los buses de campo (Anexo VII). Los buses de campo están

sustentados por la necesidad de implementar tecnologías modernas que permitan eliminar el conexionado punto a punto entre los instrumentos o sensores (elementos de campos) y el equipo de control, se reemplaza por redes de control distribuidas que le permite acceder a la mayor cantidad de información posible de manera segura y confiable, ejecutando comandos de control y descarga de configuraciones, todo en forma rápida y a través del mismo medio para llevar a cabo funciones propias de control, mantenimiento y diagnóstico (Anexo VIII). De esta forma, cada nodo de la red puede informar en caso de fallo del dispositivo asociado, y en general sobre cualquier anomalía asociada al dispositivo. Estas redes demandan trabajar en zonas de alta seguridad, que posean la posibilidad de tener sistemas abiertos y extensibles los cuales reducen los costos y mejoran la eficiencia [2, 18].

Es importante definir los conceptos de maestro/esclavo para una mejor comprensión del funcionamiento del bus de campo.

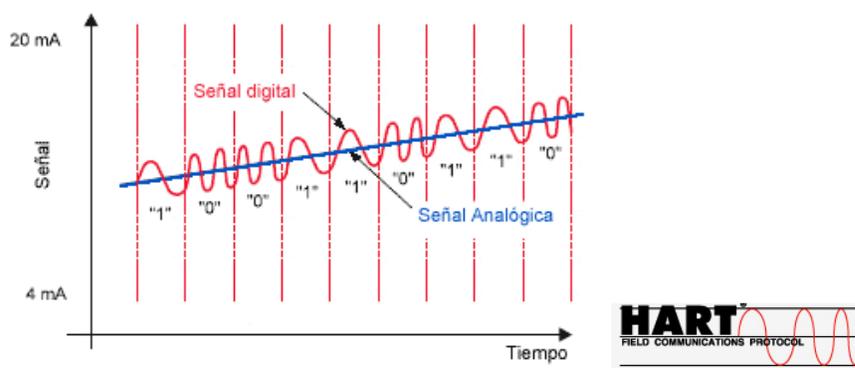
**Maestros:** Determinan la comunicación de datos en el bus. Un maestro puede enviar mensajes, sin necesidad de una petición o solicitud externa, cuando posee los derechos de acceso al bus (*token*). A los maestros también se les da el nombre de estaciones activas en el protocolo PROFIBUS.

**Esclavos:** Son elementos de periferia. Los esclavos típicos incluyen dispositivos de entrada/salida, válvulas, transmisores de medida y accionamientos. Éstos no tienen derechos de acceso al bus y sólo pueden acusar los mensajes recibidos o enviar mensajes al maestro cuando éste así lo requiere. A los esclavos también se les da el nombre de estaciones pasivas, puesto que sólo les es necesaria una pequeña parte del protocolo del bus y su aplicación es especialmente económica y sencilla.

El bus de campo 485 permite la comunicación con buses jerárquicamente superiores y más potentes utilizados por SIEMENS. Hay diversos buses según el fabricante y agrupaciones de fabricantes siendo algunos de los más extendidos los siguientes:

- a) MODBUS MODICON: marca registrada de GOULD INC. que define un protocolo de comunicación de topología maestro-esclavo. Su principal inconveniente es que no está reconocido por ninguna normal internacional.

b) **HART Foundation** (*Highway Adressable Remote Transducer*) es uno de los buses más extendidos [29]. El protocolo HART utiliza el estándar Bell 202 FSK (Codificación por Cambio de Frecuencia) para superponer las señales de comunicación digital al lazo de corriente 4-20 mA. Esto incluye los datos necesarios para control y monitorización del proceso, así como los comandos y parámetros requeridos para puesta en marcha, calibración de dispositivos y diagnosis. Puede establecer comunicación con múltiples dispositivos (15) que poseen direcciones o tap. El mensaje se les envía a todos y solo responde el dispositivo accedido [10]. A la señal de corriente continua (DC) se superpone una señal de alterna (AC) a diferentes frecuencias, cada una representará un nivel lógico (comunicación digital) como lo muestra la figura 2, viajando sobre el mismo cable, sin afectar el nivel de DC ya que la señal AC tiene valor promedio cero.



**Figura 2.** Señal de transmisión con Protocolo Hart.

La señal de directa transmitida se corresponde con la señal de proceso fundamental y la comunicación digital permitirá acceder a medidas adicionales, parámetros de proceso, configuración de instrumentos, calibración e información de diagnóstico. La velocidad de comunicación de este protocolo es de 1,2 Kbit/s con 8 bit de datos. En los Anexos IX, X se pueden apreciar los comandos utilizados por HART y la comparación del costo entre la implementación del bus HART y el método analógico.

c) PROFIBUS: Existen tres perfiles de PROFIBUS:

- PROFIBUS DP (*Decentralized Periphery*). Orientado a sensores actuadores enlazados a procesadores (PLCs) o terminales. La transmisión

de datos a altas velocidades puede alcanzar hasta 12 Mbits/s en dependencia de la longitud del medio de transmisión.

- PROFIBUS PA (*Process Automation*). Para control de proceso y cumpliendo normas especiales de seguridad para la industria química. La velocidad de comunicación de este protocolo es de 31.25 Kbit/s con 246 bytes de datos.
- PROFIBUS FMS (*Fieldbus Message Specification*). Para comunicación entre células de proceso o equipos de automatización. Representa la evolución de PROFIBUS hacia la utilización de protocolos TCP/IP para enlace al nivel de proceso lo que hace que este perfil esté perdiendo importancia.

El sistema de bus **PROFIBUS** se utiliza para la comunicación de proceso y de campo en redes de células con pocas estaciones y equipos de campo y para la comunicación de datos según IEC 61158/EN 50 170. Ofrece apertura para la conexión de componentes normalizados de otros fabricantes. Es un bus potente, abierto y robusto; posee rápida confección y puesta en servicio in situ debido al sistema de cableado *FastConnect*. Este bus permite una constante supervisión de los componentes de red a través de un efectivo sistema de señalización, garantizando una comunicación óptima desde cualquier punto.

No resulta una tarea difícil realizar la configuración de este bus, su puesta en marcha y el diagnóstico del mismo. De esta forma, los enlaces de comunicación son muy flexibles, y son muy fáciles de materializar y de modificar en la práctica [41] (Anexos XI, XII). Las funciones de acceso de PROFIBUS se llevan a efecto de acuerdo al método paso de testigo con Maestro/Esclavo y como resultado se logra una distinción entre los participantes activos y pasivos de la red.

En la aplicación de SIEMENS de la BCS se utiliza el bus de campo PROFIBUS DP (periferia descentralizada) el cual sirve para conectar unidades periféricas descentralizadas (E/R remotas). Este protocolo permite el intercambio de datos cíclico de alta velocidad y está diseñado y optimizado para la comunicación entre los sistemas de automatización.

En el bus de campo PROFIBUS PA (*Process Automation*) la comunicación es implementada como un sistema parcial incluido en el sistema de comunicaciones DP de mayor nivel, con transmisión de seguridad intrínseca según la norma internacional IEC 61158-2 y unidades periféricas descentralizadas o accionamientos, con sistemas de automatización como SIMATIC S7 o PCs. El mismo permite la comunicación de datos y alimentación a dispositivos sobre el bus de dos hilos incluso en áreas peligrosas.

La comunicación de proceso o de campo (PROFIBUS DP, PROFIBUS PA) sirve para conectar equipos de campo a un sistema de automatización, HMI o de control. La conexión se puede establecer a través de interfaces integradas en la CPU o a través de módulos de interfaz (IMs) y procesadores de comunicaciones (CPs). En los potentes sistemas de automatización actuales resulta a menudo muy eficaz conectar varias líneas PROFIBUS DP a un sistema de automatización, no sólo para aumentar el número de unidades periféricas a conectar, sino también para poder manejar independientemente áreas de producción individuales. La utilización de la combinación PROFIBUS DP/PA es efectiva cuando los equipos periféricos en la máquina o en la instalación están distribuidos ampliamente y se pueden reunir físicamente en una estación (Anexo XIII).

Los equipos o instrumentos de campo son abastecidos con datos de salida según el procedimiento de maestro/esclavo y suministran los datos de entrada al PLC o al PC. Para configurar y parametrizar los equipos periféricos se ofrecen herramientas potentes como STEP 7 y COM PROFIBUS. Estas herramientas permiten el test y puesta en marcha vía PROFIBUS lo cual está normalizado según IEC 61158/EN 50170 para la automatización universal (PROFIBUS FMS y PROFIBUS DP), así como según IEC 61158-2 para la automatización de procesos (PROFIBUS PA).

En la industria petrolera es muy común encontrar atmósferas potencialmente explosivas y se debe tener presente en todo momento esta particularidad en la selección de los equipos para la medición y el control, adecuándose a los tipos de protección contra ignición recogidas en normas estándares entre las que se encuentran:

- (Exx e) la seguridad aumentada (antichispas), norma EN 5019.
- (Exx d) recinto a prueba de fuego, norma EN 5018.

- (Exx ia) seguridad intrínsecamente segura para la instrumentación en condiciones de funcionamiento normal, en caso de defecto del sistema o de cualquier combinación de dos defectos (tolerancia a fallos dual), norma EN 50020.

- (Exx ib) es similar a Exx ia excepto a la tolerancia a fallos dual, norma EN 50039.

En la directiva ATEX 94/9/EC se indica el equipamiento aprobado para el uso de cada zona de riesgo las que se mencionan a continuación:

- Zona 0, expuesta a una atmósfera potencialmente explosiva constantemente o durante largos periodos.

- Zona 1, es probable la aparición de una atmósfera potencialmente explosiva durante la operación normal.

- Zona 2, no es probable la aparición de una atmósfera potencialmente explosiva y, sí se dan, es solo durante un corto periodo de tiempo.

Se puede considerar en lo adelante la terminología (Exx o Ex) para el tipo de protección antiexplosivo y el número que lo acompaña se refiere a la zona de riesgo.

Aplicando las normas y estándares para poder operar PROFIBUS en atmósferas antiexplosivas, es preciso realizar adaptaciones físicas (Anexo XIV). Utiliza tecnología eléctrica RS 485 u óptica, el PROFIBUS DP puede llevarse de forma estándar hasta la zona Ex 2. Con el empleo de un aislador galvánico (acoplador RS 485-iS) y tecnología de transmisión RS 485-iS es posible llevar el PROFIBUS DP hasta la zona Ex en calidad de bus de campo de seguridad intrínseca. El PROFIBUS DP de seguridad intrínseca está especificado para el modo de protección EEx(ib) [18].

La conversión de DP/PA Link y viceversa en versión Ex permite desacoplar el PROFIBUS PA del PROFIBUS DP. Con ello, el PROFIBUS PA a la salida del acoplador DP/PA puede emplearse para sensores y actuadores en atmósferas explosivas de las zonas 0 ó 1. Con ello se cumplen los requisitos de los modos de protección EEx(ia) y EEx(ib). Cuando se usa la interface RS 485, PROFIBUS – FMS, DP y PA (módulo que convierte la señal transmitida de PROFIBUS DP a PROFIBUS PA y viceversa) pueden ser integradas en una misma línea de bus. Sin embargo, en la transmisión intrínsecamente segura para áreas con riesgo de explosión, la instalación se debe realizar de acuerdo con IEC 1158-2.

Cuando se transmiten datos a través de una red se puede comprender el estudio de la red utilizando el modelo básico de referencia OSI.

### **1.3.3. Modelo de referencia ISO/OSI para bus de campo.**

Una arquitectura de protocolos es una estructura de capas hardware y software que facilita el intercambio de datos entre sistemas, y proporciona aplicaciones distribuidas. En cada capa de la arquitectura se implementan uno o varios protocolos. Cada protocolo proporciona un conjunto de reglas que regulan el intercambio de datos entre los sistemas. Existen dos arquitecturas que han sido determinantes y básicas en el desarrollo de los estándares de comunicación: el conjunto de protocolos TCP/IP y el modelo de referencia de OSI. TCP/IP es la arquitectura más adoptada para la interconexión de sistemas. Consiste en una extensa colección de protocolos que se han erigido como estándares de Internet. El modelo básico de referencia OSI (*Open Systems Interconnection*) se ha desarrollado por la Organización Internacional de Estandarización ISO (*International Organization for Standardization*) como una arquitectura entre computadores, con el objetivo de ser el marco de referencia en el desarrollo de protocolos estándares. Aunque el modelo OSI es considerado universalmente como el modelo de referencia, TCP/IP definitivamente ha ganado la batalla comercial. OSI se ha convertido en el modelo estándar para clasificar las funciones de comunicaciones y considera siete capas que se conocen como la capa de aplicación, la capa de presentación, la capa de sesión, la capa de transporte, la capa de red, la capa de enlace de datos y la capa física.

La intención del modelo OSI es que los protocolos se desarrollen de forma tal que realicen las funciones de cada una de las capas. Las funciones de comunicación se distribuyen en un conjunto jerárquico de capas. Cada capa realiza un conjunto de funciones relacionadas entre sí, necesarias para comunicarse con otros sistemas. Cada capa se sustenta en la capa inmediatamente inferior, la cual realizará funciones más primitivas, ocultando los detalles a las capas superiores. Una capa proporciona servicios a la capa inmediatamente superior. Idealmente, las capas deberían estar definidas para que los cambios en una capa no implicaran cambios en las otras. De esta forma, el problema se descompone en varios subproblemas más abordables. La

comunicación se lleva a cabo usando un protocolo y una interfaz que permite el intercambio de información entre capas adyacentes [28].

Este Modelo es válido tanto para grandes flujos de información, como para soluciones más sencillas y su implementación estricta depende del grado de complejidad de la aplicación. Para su uso en la industria, la arquitectura de este modelo se simplifica notablemente a tres capas. Todas las variantes de PROFIBUS están basadas en el modelo de referencia OSI para redes de comunicación. La arquitectura PROFIBUS está modelada de acuerdo con el modelo de referencia ISO/OSI [21], restringido a tres capas, por ende, particularizado el interés de la presente investigación en la industria.

Núñez Gualdrón [28] definió a estas capas de la siguiente forma:

- Capa Física. Se encarga de la transmisión transparente de los bits de información a través del soporte físico, en el orden establecido por el nivel de enlace. Define las características eléctricas y mecánicas de la línea, y las señales de control que determinan la temporización.
- Capa de Enlace de Datos. Se encarga de asegurar la transmisión de la cadena de bits entre los dos sistemas involucrados en el proceso de comunicación, apoyándose en un medio físico. Forma las tramas de envío añadiendo datos de control, impone los métodos de direccionamiento, detección y recuperación de errores y regula el tráfico.
- Capa de Aplicación: Se encarga de proporcionar un entorno que facilite el entendimiento entre diferentes usuarios, sin importar medios, ni protocolos. Comprende los servicios específicos de enlace con las diferentes aplicaciones de comunicación.

Desde la capa tres a la capa seis del modelo de referencia ISO/OSI no están implantadas en el modelo PROFIBUS, estando su funcionalidad transferida a la capa de aplicación (Anexo XV).

El usuario no tiene que preocuparse por las capas de enlace o de aplicación, sólo necesita saber cuál es su funcionalidad. Al usuario únicamente se le exige tener un conocimiento mínimo de los servicios de administración de la red, ya que parte de la información generada por dichos servicios puede ser necesaria para la reparación de averías en el sistema. De hecho, prácticamente, el usuario sólo debe preocuparse de la

capa física y la capa de usuario [18]. Se corresponden con las Capas uno y dos del modelo OSI.

En cuanto a la Tecnología de transmisión actualmente hay dos versiones de PA, una cumple con la IEC 1158-2 usando una capa física a baja velocidad compatible IS (*Intrinsic Safety*) otra para utilización de líneas RS-485 o fibra óptica en la capa física. En la versión compatible IEC 1158-2 un cable de par trenzado de dos hilos con apantallamiento transporta datos a 31.25 Kbit/s y alimentación [29].

En cuanto al protocolo de acceso al bus, las tres versiones de PROFIBUS utilizan el mismo. Este protocolo es implementado en la capa dos del modelo OSI e incluye la seguridad de datos, el manejo de los protocolos de transmisión y telegramas, control de acceso al medio (MAC), disponibilidad de los servicios de transmisión de datos y funciones de administración.

#### **1.3.4. Tipos de Redes.**

Las redes que se emplean en un autómata programable se clasifican en eléctrica, ópticas y mixtas o combinadas. Es importante conocer las características de la red física porque de esta manera no se ignora sus potencialidades y limitaciones en el diseño, reparación y mantenimiento del sistema [17, 47, 48, 49].

- a) **Red eléctrica** de PROFIBUS utiliza un cable bifilar trenzado y apantallado como medio de transmisión. La interface RS 485 funciona con diferencias de tensión, por este motivo, es menos sensible a las interferencias que una interface de tensión o de corriente. Con PROFIBUS se conectan al bus las estaciones mediante un terminal de bus o un conector de bus (máx. 32 estaciones por segmento).
  - Los distintos segmentos se conectan a través de repetidores.
  - La velocidad de transmisión puede ajustarse en escalones de 9,6 Kbits/s a 12 Mbits/s.
  - La longitud máxima de segmento depende de la velocidad de transmisión.
  - La red eléctrica puede configurarse como estructura o en topología arborescente.
  - Para aplicaciones en el área de seguridad intrínseca se aplica PROFIBUS PA con tecnología de transmisión conforme a IEC 61158-2.

**b) La red óptica** de PROFIBUS, utiliza un cable de fibra óptica como medio de transmisión (Anexo XVI). La variante del cable de fibra óptica es inmune a las interferencias electromagnéticas, es apta para grandes distancias de transmisión (cables de fibra opcionalmente de plástico o vidrio).

La configuración de las redes de fibra óptica (Anexo XVII) se realiza mediante OLMs (*Optical Link Module*). Los módulos permiten construir fácilmente una red óptica con topología en línea, anillo y estrella. Dos OLMs pueden estar distanciados hasta 15 km. La velocidad de transmisión puede ajustarse en escalones de 9,6 kbits/s a 12 Mbits/s. El aparato terminal se conecta directamente a OLM u OLP. La conexión de aparatos terminales a OLP se realiza únicamente con estaciones pasivas PROFIBUS (esclavos DP/FMS).

La transmisión óptica ofrece las ventajas siguientes:

- Los cables de fibra óptica de plástico o vidrio son insensibles a las interferencias electromagnéticas y hacen innecesarias las medidas de antiparasitaje (CEM) precisas en redes eléctricas.
- En las zonas exteriores no se precisa ningún sistema de protección contra rayos adicional.
- Los potenciales en los módulos quedan automáticamente aislados gracias a las propiedades de los conductores.
- Se pueden alcanzar grandes distancias respecto a los dispositivos de campo.

**c) La Red mixta o combinada** de PROFIBUS son posibles estructuras mixtas (híbridas) de red, es decir eléctrica y óptica (Anexo XVIII). La transición entre ambos soportes se realiza a través del OLM. En la comunicación entre las estaciones acopladas al bus no existe ninguna diferencia entre transmisión eléctrica u óptica. Como máximo pueden conectarse 127 estaciones a una red PROFIBUS.

#### **1.4 Situación de la Instrumentación en la BCS.**

En la automatización de un proceso industrial es esencial contar con un instrumento que mida la magnitud física de la variable de proceso y transmita el valor medido para ser monitoreado posteriormente con el menor error posible. Estos instrumentos deben

estar calibrados para que envíen una señal eléctrica que se corresponda con la magnitud medida.

Para considerar que un transmisor o instrumento de medición está bien calibrado, debe cumplir que la diferencia entre el valor real de la variable, el valor indicado, registrado, o transmitido en todos los puntos de su campo de medida, está comprendido entre los límites determinados por la precisión del instrumento.

Es imprescindible que los sensores, transductores o instrumentos de medición posean la calibración y certificación adecuada y que las señales transmitidas por estos no se deterioren surgiendo en el proceso de control y transmisión errores que conducen a análisis o accionamiento incorrecto.

Teniendo en cuenta la gran importancia que tiene para el cumplimiento de los objetivos propuestos en nuestro trabajo el conocimiento de la situación de los instrumentos que transmiten señal hacia el CPU en la BCS, se hace necesario realizar un estudio de los que se emplean para la determinación de nivel, caudal, temperatura y presión.

#### **1.4.1. Transmisor de nivel.**

El instrumento utilizado para la medición de nivel en la BCS es el transmisor de nivel SITRANS LR 400 de SIEMENS MILLTRONICS para control de proceso [32].

El transmisor de nivel por radar basa su principio de funcionamiento en el tiempo de recorrido de un impulso de las microondas emitidas por una antena de trompeta, se refleja en la superficie. El tiempo de la trayectoria de la microonda es proporcional a la distancia y por tanto el nivel de producto (Anexo XIX). La fórmula que describe el comportamiento se puede apreciar a continuación.

$$d = \frac{c \cdot t}{2} \quad \text{Donde:}$$

d: Distancia de la trayectoria de la onda desde su emisión hasta su recepción.

c: Velocidad de la luz (300 000 m/s).

t: Tiempo transcurrido en segundos.

Con el haz de emisión estrecho se obtiene un cono de radiación agudo y se minimiza el efecto de las reflexiones parásitas causadas por los obstáculos en el tanque. El transmisor entrega a la salida una señal analógica de 4-20mA + Hart. El conexionado

para la señales de salida 4-20mA + Hart se realiza a través de los terminales +7, -8. Es importante la conexión con la polaridad correcta.

#### **1.4.2. Trasmisor de caudal.**

El transmisor utilizado para medir caudal en la BCS es el caudalímetro másico de efecto Coriolis de la SERIE 2000, modelo CMF-400M437NKBFS (Anexo XX).

El principio de funcionamiento del caudalímetro Coriolis está basado en un tubo por el que pasa el caudal o masa del producto. Un excitador electromagnético central hace que el tubo oscile constantemente. A la entrada y a la salida se colocan dos sensores que miden la fase relativa de la oscilación del tubo sobre su longitud. Si no hay flujo, la oscilación es simétrica en todo el tubo y no hay diferencia de fase. Cuando el fluido comienza a fluir, el tubo de medición sufre un retorcimiento adicional, impuesto sobre la oscilación como resultado de la inercia del líquido. Las secciones de entrada y salida del tubo oscilan en diferentes direcciones simultáneamente. Los dos sensores de alta sensibilidad recogen estos cambios de oscilación en términos de tiempo y espacio, ocurriendo una diferencia de fase, esta diferencia de fase es directamente proporcional al caudal másico que está fluyendo a través del tubo. Mientras más alta es la velocidad del flujo y por tanto el caudal total, más grande es la deflexión del tubo de medición oscilante. Puede usarse para determinar de forma simultánea la densidad del flujo. Los sensores también registran la frecuencia de vibración del tubo de medición hacia delante y hacia atrás. La frecuencia de la vibración da una medida de la densidad.

Este caudalímetro está diseñado para el monitoreo de aplicaciones de múltiples variables a transmitir simultáneamente, ofreciendo la selección combinada de señales de salidas. Las señales de salidas que posee este caudalímetro 4-20mA + HART a través de los terminales (+1, -2) perteneciente al canal A, los terminales (+3, -4) dan salida de señal de frecuencia pertenecientes al canal B (no se utiliza por lo que no están conectados) y los terminales (+5, -6) dan salida de señal de 4-20mA pertenecientes al canal C [37]. Es importante la conexión con la polaridad correcta. Entre las variables que puede transmitir se encuentran flujo másico, flujo volumétrico, densidad y temperatura (Anexo XXI). Por el canal A se toma lectura del flujo másico, la entrada analógica de este canal para la ET-200M no es HART por lo que su entrada a

este módulo es de 4-20mA, se utiliza la opción HART de este canal para la parametrización del instrumento solamente, y por el canal C se toma lectura de la densidad [12, 13, 14, 15, 24, 25, 26, 27].

Se pueden tener imprecisiones en la medición para este caudalímetro cuando los sedimentos del producto se acumulan dando al traste con la medición, cuya solución sería la corrección de Zero por software que permite al sensor tomar una nueva referencia en la que se tienen presentes los sedimentos. Una vez rebasado el límite máximo de referencia hay que limpiar el caudalímetro y reajustar nuevamente el Zero.

### **1.4.3. Sensores y transmisores que miden temperatura.**

En la BCS existen dos tipos de sensores que toman del proceso la temperatura, la termoresistencia y las sondas de termopares, utilizando un transmisor 4-20 mA + Hart.

#### **1.4.3.1. Termorresistencias.**

Existen metales que se usan para la medición de la temperatura y se fundamenta en la proporcionalidad que existe entre la variación de una resistencia eléctrica y la temperatura, la resistencia varía con la temperatura en base a una serie de valores básicos reproducibles [7]. Las resistencias están calibradas a la temperatura de 0 °C (32 °F), a 100  $\Omega \pm 0,12 \Omega$ . Poseen elementos de montaje y de conexión necesarios en cada caso (Anexo XXII).

La termoresistencia usada en BCS es una PT-100 (Pt alpha=3850 IEC 751) con 100 $\Omega$  para 0 °C y 3 cables y rango de medición desde -200 hasta 850 °C.

#### **1.4.3.2. Sondas Termopares.**

En la BCS se utilizan sonda de termopares para la medición de 3 puntos de temperaturas a diferentes niveles en los tanques. Dos hilos de diferentes materiales o de aleaciones de metal unidos por una soldadura (junta bimetálica) logran una fem proporcional a la diferencia de temperatura entre la unión fría y caliente (efecto termoeléctrico).

Sensibilidad y ruido son factores importantes a reflexionar en la medición con termopares. Las salidas de los termopares son señales muy pequeñas, cambian de 7 a

50 $\mu$ V por cada grado (1 °C) de cambio en temperatura haciendo a las señales muy susceptibles a los efectos de ruido eléctrico. La utilización de filtros de ruido pasa bajo se hace imprescindible para suprimir el ruido de 50 y 60 Hz, además incluyen amplificadores de instrumentación de alta ganancia para aumentar el nivel de la señal [7].

Desde su punto de conexión, los termopares se prolongan hasta un punto con la temperatura lo más constante posible (unión fría), usando cables de compensación. Los cables de compensación vienen marcados con los mismos colores de identificación que sus termopares asociados; el polo positivo está marcado en rojo. Préstese atención a efectuar la conexión con la polaridad correcta, ya que si no pueden presentarse considerables errores de medida.

#### **1.4.3.3. Trasmisores.**

En la actualidad se impone la conversión de la señal analógica en una señal digital a través de conversores A/D que deben estar ubicados en sitios muy próximos al sensor o elemento primario de medición, posteriormente esta señal digital se convierte en analógica a través de conversores D/A y puede ser transmitidas sin que sufra muchas alteraciones. Convertidores de temperatura de 2, 3 a 4 hilos (4 a 20 mA), programables, con aislamiento galvánico, para termorresistencias y termopares SITRANS TK-H (4-20mA y 4-20mA + HART) (Anexo XXIII) y SITRANS TK-L (4-20mA) (Anexo XXIV) son utilizados en la BCS.

El transmisor se puede comunicar utilizando tarjetas estándares de 4-20 mA, 4-20 mA + HART, PROFIBUS, FOUNDATION FIELDBUS. La utilización de estos buses de campo obtienen detalles adicionales sobre la condición del punto de medición, estos pueden ser una rotura del sensor, circuito abierto, etc. [7].

#### **1.4.5. Instrumentos que miden presión.**

Los transmisores de presión SITRANS P, SERIE DS III 7MF4\*33 son los transmisores utilizados en BCS (Anexo XXV).

El principio de operación del sensor de presión de silicio son galgas de esfuerzos con semiconductores (*Strain gage*), estas se basan en la variación de la longitud y el

diámetro y por tanto de resistencia, que tiene lugar cuando un hilo de resistencia se encuentra sometido a una tensión mecánica por la acción de una presión. Las resistencias se implantan o difunden sobre una oblea de silicio y el espesor de la lámina determina el rango máximo de la presión a aplicar al sensor [36].

Para aplicaciones especiales como por ejemplo la medida de fluidos de alta viscosidad [44], los transmisores de presión están disponibles con diferentes tipos de sellos separadores o diafragmas que se instalan en el proceso para que en la medida que la presión del proceso aumenta el diafragma se expande aplicando su propia presión al líquido de llenado que transfiere hidráulicamente los efectos al sensor. Este transmisor posee comunicación 4-20 mA + HART [46].

## **1.5 Software de SIEMENS.**

Resultó importante en el trabajo realizado estudiar las características del conjunto de software que posee SIEMENS para obtener una panorámica general de las soluciones que se propondrán en el presente trabajo, comprender como la aplicación oportuna de ellos permiten configurar y parametrizar un instrumento de medición; posibilitar la creación de Proyectos, además de dar soluciones a la automatización de los procesos industriales. A continuación se explicará cada uno de ellos.

### **1.5.1. Paquete de software SIMATIC PDM.**

El SIMATIC PDM es un paquete de software destinado a la configuración, parametrización, puesta en servicio y mantenimiento de aparatos, así como a la configuración de redes y PCs. Ofrece, entre otros, una visualización sencilla de los valores del proceso, de las alarmas e informaciones sobre el estado del aparato, además es soporte para la puesta en marcha y el mantenimiento mediante un programa *LifeList* que detecta configuraciones de aparatos de campo online y posibilita configurar Proyectos (Anexo XXVI).

Dicho paquete es una herramienta abierta para la integración de aparatos. Ya se han integrado más de 1000 aparatos de más de 100 fabricantes. La base de la integración de aparatos es el EDDL (*Electronic Device Description Language*), normalizado en el estándar internacional IEC 61804-2. Este estándar fue creado en colaboración con la

organización de usuario PROFIBUS de la *HART Communication Foundation* y de la *Fieldbus Foundation*. Su descripción la suministra el fabricante junto con el aparato en un soporte de datos o bien se pone a disposición en Internet o en los catálogos de los aparatos en aplicaciones EDD, por lo que en cualquier momento es posible importar EDDs de distintos fabricantes, mediante un disquete o una descarga de Internet.

SIMATIC PDM contiene funciones de *Asset Management* y *Lifecycle Management*. En la integración de la estación de mantenimiento (*Maintenance Station*), el software soporta los aparatos de campo integrados mediante un diagnóstico detallado y una clasificación del diagnóstico.

La versión estándar de **SIMATIC PDM** puede utilizar 4 TAGs en un mismo Proyecto (un "TAG" equivale a un aparato). En caso de requerir más de 4 TAGs en un Proyecto, es posible pedir SIMATIC PDM con 128 TAGs o bien con un número ilimitado de TAGs.

Con la opción "Integración en STEP 7/PCS 7", SIMATIC PDM enlaza con el paquete de software SIMATIC STEP 7 o SIMATIC PCS 7 y se integra como paquete opcional en la instalación ya existente. Esta opción permite configurar redes y aparatos de PROFIBUS-DP/PA con la ayuda de la herramienta HW Config de STEP 7.

### **1.5.2. El software estándar STEP 7.**

Los lenguajes de programación SIMATIC integrados en STEP 7 cumplen con la norma DIN EN 6.1131-3. El software estándar se ejecuta bajo los sistemas operativos MS Windows 2000 Professional (en adelante llamado Windows 2000) y MS Windows XP Professional (en adelante llamado Windows XP) y MS Windows Server 2003 y MS Windows Vista 32 Business y Ultimate, estando adaptado a su funcionamiento gráfico y orientado a objetos [42].

Al software estándar le asisten en todas las fases de creación, de soluciones y de automatización SS7 funciones tales como:

- Crear programas, para sistemas de destino S7.
- Diagnosticar fallos de la instalación.
- Gestionar símbolos.
- Crear y gestionar Proyectos.
- Cargar programas en sistemas de destino.

- Comprobar el sistema automatizado.
- Configurar y parametrizar el hardware y la comunicación.

La interface de usuario del software STEP 7 ha sido diseñada siguiendo los criterios ergonómicos más avanzados, lo que permite conocer rápidamente sus funciones.

#### **a.- Administrador SIMATIC.**

El Administrador SIMATIC (Anexo XXVII) gestiona todos los datos pertenecientes al Proyecto de automatización, independientemente del sistema de destino (S7/M7/C7) donde se encuentren. El Administrador SIMATIC arranca automáticamente las herramientas necesarias para tratar los datos seleccionados.

#### **b.- Editor de símbolos.**

Con el editor de símbolos (Anexo XXVIII) se gestionan todas las variables globales. Se dispone de las siguientes funciones:

- Importación/exportación de/hacia otros programas de Windows.
- Definir nombres simbólicos y comentarios para las señales del proceso (entradas y salidas), las marcas y los bloques.
- Funciones de ordenación.

Todas las herramientas pueden acceder a la tabla de símbolos creada. Por consiguiente, detectan automáticamente si se ha modificado un parámetro de un símbolo.

#### **c.- Diagnóstico del hardware.**

El diagnóstico del hardware permite visualizar el estado del sistema de automatización, mostrando una vista general en la que aparece un símbolo cuando alguno de los módulos presenta un fallo o no. Con un doble clic en el módulo averiado se visualiza la información detallada sobre el error. El volumen de información disponible depende del módulo en cuestión:

- Visualización de los fallos del módulo (errores de canal) de la periferia centralizada y de los esclavos DP.
- Visualización de informaciones generales sobre el módulo (número de referencia, versión, denominación) y sobre su estado (fallo).
- Visualización de los avisos del búfer de diagnóstico.

En el caso de las CPUs se visualizan además las siguientes informaciones:

- Características y grado de utilización de la comunicación MPI.
- Duración del ciclo (máximo, mínimo y último).
- Causas de una ejecución errónea del programa de usuario.
- Datos característicos (cantidad de entradas y salidas, marcas, contadores, temporizadores y bloques posibles).

#### **d.- Lenguajes de programación.**

Los lenguajes de programación KOP, AWL y FUP para S7-300/400 son parte integrante del software estándar.

- FUP (diagrama de funciones) es un lenguaje de programación gráfico que utiliza los cuadros del álgebra booleana para representar la lógica. Asimismo, permite representar funciones complejas (funciones matemáticas) mediante cuadros lógicos. En la referencia bibliográfica [34] se puede encontrar el diagrama de funciones.
- KOP (esquema de contactos) es un lenguaje de programación gráfico. La sintaxis de las instrucciones es similar a la de un esquema de circuitos. KOP permite observar la circulación de la corriente a través de contactos, elementos complejos y bobinas. En la referencia bibliográfica [35] se puede encontrar el esquema de contacto.
- AWL (lista de instrucciones) es un lenguaje de programación textual orientado a la máquina. En un programa creado en AWL, las instrucciones equivalen en gran medida a los pasos con los que la CPU ejecuta el programa. Para facilitar la programación, AWL se ha ampliado con estructuras de lenguajes de alto nivel (tales como accesos estructurados a datos y parámetros de bloques). En la referencia bibliográfica [38] se puede encontrar la lista de instrucciones.

Además ofrecen otros lenguajes de programación opcionales.

#### **e.- HW-Config: Configuración del hardware.**

Esta herramienta (Anexo IXXX) se utiliza para configurar y parametrizar el hardware de un Proyecto de automatización [33]. Se dispone de las siguientes funciones:

- Al configurar los módulos, todos los datos se pueden ajustar en cuadros de diálogo. No es preciso efectuar ajustes mediante los interruptores DIP. La parametrización de los módulos se efectúa automáticamente durante el arranque

de la CPU. Por consiguiente se puede sustituir un módulo sin necesidad de repetir la parametrización.

- Para configurar el sistema de automatización, se eligen primero los bastidores (racks) de un catálogo electrónico y luego se asignan los módulos seleccionados a los slots de los bastidores.
- Al parametrizar la CPU se pueden ajustar mediante menús propiedades tales como el comportamiento en el arranque y la vigilancia del tiempo de ciclo. Se asiste el modo multiprocesador. Los datos introducidos se depositan en bloques de datos del sistema.
- La parametrización de módulos de función, en lo adelante (FM), y de procesadores de comunicaciones, en lo adelante (CP), se efectúa con la misma herramienta de configuración del hardware de forma idéntica a como se parametrizan los demás módulos. Para los FM y CP se dispone de cuadros de diálogo específicos de los módulos (que forman parte del volumen de suministro del paquete de funciones FM/CP). El sistema impide que se efectúen entradas incorrectas, ya que los cuadros de diálogo sólo ofrecen las entradas admisibles.
- La configuración de la periferia descentralizada se efectúa del mismo modo. También se asiste la periferia canal a canal (granular).

### **1.5.3. Software SIMATIC NetPro.**

Con NetPro (Anexo XXX) los datos se pueden transferir de forma cíclica y temporizada a través de MPI, permitiendo:

- Seleccionar las estaciones que intervienen en la comunicación.
- Introducir la fuente y el destino de los datos en una tabla. La creación de todos los bloques a cargar (SDB) y su transferencia completa a todas las CPUs se efectúa de forma automática.

Además, existe la posibilidad de transferir los datos de forma controlada por eventos, pudiéndose.

- Parametrizar en el lenguaje de programación habitual los bloques de comunicación o de función seleccionados.
- Definir los enlaces de comunicación.

- Seleccionar los bloques de comunicación o de función de la librería de bloques integrada.

#### **1.5.4. Software opcional.**

Los software opcionales forman parte integrante de las herramientas de ingeniería y su instalación permite disponer de vista, facilidades en el diseño, simulaciones para ejecutar y comprobar su programa en un sistema de automatización, etc. en dependencia del software opcional escogido. A continuación se mencionan software opcionales que SIEMENS ofrece:

- S7-HiGraph: Programación gráfica de máquinas de estados.
- CFC: Configuración gráfica e interconexión de bloques.
- S7-SCL: Lenguaje de alto nivel similar al pascal.
- TeleService: Extensión de la interface MPI a través de la red telefónica.
- S7-GRAPH: Programación gráfica de sistemas de control secuencial.
- S7-PLCSIM: Test de programa lógico offline en la PG/PC.
- S7-PDIAG: Diagnóstico de proceso para controladores lógicos y sistemas de control secuencial.
- HARDPRO: Software de configuración para el hardware.
- DOCPRO: Software de documentación.

#### **1.6. Microsoft Office Project Professional 2003.**

Microsoft Project es una aplicación de Microsoft que ayuda al usuario a crear planes de Proyectos, comunicarlos a otros usuarios y adaptarse a los cambios a medida que éstos se van produciendo. Es un sistema de planificación de Proyectos versátil y fácil de utilizar [4].

Microsoft Project funciona, en muchos sentidos, en forma similar a otras aplicaciones de Microsoft. Las barras de menús, los comandos, las barras de herramientas, los menús contextuales y los cuadros de diálogo tienen mucho en común con Microsoft Excel, Microsoft Word y Microsoft Power Point, lo cual facilitará los primeros pasos de su uso. Se puede crear una planificación de Proyecto utilizando los pasos correspondientes a cada planificación que sea creada:

- La introducción de tareas y duraciones.
- La organización de la lista de tareas en una estructura de esquema.
- La vinculación de tareas y el ajuste de relaciones entre las mismas.
- La introducción y asignación de recursos.
- La comprobación y el formato de la información.
- La impresión de la programación.

Para la programación de un Proyecto se deben planificar las tareas del mismo, tiempo estimado de duración de las mismas, las relaciones de tiempo y los recursos que se utilizarán para completar el Proyecto [11].

### ***1.7. Conclusiones parciales del CAPITULO I.***

El estudio realizado permitió llegar a la conclusión que el SCADA escogido por el grupo de inversión de los años precedentes satisface las necesidades de la implementación de la automática de la BCS.

Centrar el estudio en la estructura del PLC permitió determinar con la ayuda del software de diagnóstico de SIEMENS y el conocimiento empírico acumulado cuales componentes del hardware estaban fuera de servicio, permitió conocer cómo se procesa la información para realizar el control, supervisión del sistema, cómo se realiza el almacenamiento de la información en localizaciones de memoria y cómo realizar la compensación de los errores de transmisión con la programación de los lenguajes utilizados por el CPU.

El estudio de las redes industriales facilitó la comprensión de los diferentes estándares y protocolos de comunicación, el medio físico de transmisión, sus características esenciales y sus peculiaridades para la industria petrolera. Hizo posible hacer un análisis y sintetizar la alternativa ingenieril del tipo de red a utilizar para dar solución a los efectos secundarios de las tormentas eléctricas.

El análisis de la instrumentación instalada en la BCS permitió conocer las diferentes señales analógicas y digitales que transmiten los instrumentos, permitió realizar calibraciones, mantenimiento, elección de las unidades de las variables de campo y realizar una correcta parametrización en el rango de las variables del proceso reduciendo el error de cuantificación del instrumento.

La utilización de Microsoft Project permitió organizar las diferentes etapas del Proyecto, contar con los recursos materiales y humanos, la ejecución oportuna de diferentes tareas inclusive las ejecutables simultáneamente, así como el señalamiento de la ruta crítica.

## **CAPITULO 2. SITUACIÓN ACTUAL DE LA AUTOMATICA EN LA BCS.**

### **2.1. Aspectos tomados en cuenta en el Proyecto inicialmente ejecutado.**

Como se señaló anteriormente para el correcto funcionamiento de la BCS resulta imprescindible ejercer un control preciso sobre sus diferentes magnitudes físicas de operación para lo cual se necesita de la existencia de un sistema de control automático que posibilite la realización de esta tarea, lo que incluye tanto la existencia de un monitoreo constante de todos sus parámetros como la toma de acciones que garantice la estabilidad del sistema. Estas decisiones pueden ser tomadas de forma automática por el sistema o ejecutadas por el operador de la sala de control.

A continuación se describirán las características deseadas con las que fue diseñado el sistema de control automático:

En general el sistema de automatización realiza las siguientes funciones:

- Supervisión de las instalaciones.
- Medición y control de inventario en tanques.
- Control y supervisión de los Oleoductos de Santa Cruz y Guiteras.
- Preparación de las mezclas (petróleo crudo nacional mejorado) para todas las CTE del país
- Comunicación con los dispositivos que controlan el proceso de carga en los cargaderos, ductos de entrada y tanques de almacenamiento.
- Registro, presentación de tendencias y almacenamiento de la información de todas las operaciones de la Base.
- Registro de eventos y activación de alarmas.
- Cálculo de balances de inventarios para los diferentes productos.
- Generación de los reportes para el análisis de las diferentes variables.
- Monitoreo de las condiciones de seguridad de la Base.
- Archivo histórico.
- Comunicación operador-sistema.
- Mandos para abrir y cerrar actuadores.
- Tratamiento de Alarmas.

Estas funciones se agruparán en tres Sistemas Funcionales: Sistema de Adquisición y Tratamiento de Señales, Sistema de control distribuido STEEP-7 y Sistema de supervisión WINCC. El peso fundamental del presente trabajo recae sobre los dos primeros, aunque crea las condiciones necesarias para el tercero.

Para una mejor comprensión seguidamente se explicarán las actividades comunes agrupadas en bloques funcionales y se señalarán las facilidades que demandan del proceso automático, las que físicamente se corresponden con instrumentos de acción mecánica directamente o que transmiten variables del proceso tecnológico al CPU.

Almacenamiento: El almacenamiento de los diferentes productos (crudo nacional, crudo mejorado, disolventes o aquellos productos intermedios de la BCS) tanto para la recepción como para su entrega, se almacenan en 14 tanques de heterogéneos volúmenes.

Los tanques deben poseer las siguientes facilidades automáticas:

- Sistema de medición de nivel por Radar con compensación por sonda de temperatura medida con termorresistencias que realizan el promedio de la temperatura del hidrocarburo.
- Alarma por alto y bajo nivel.
- Interruptor de nivel por muy alto nivel.
- Apertura y cierre manual-automático de válvula de entrada y salida por niveles extra bajo y extra alto.
- Señalización en supervisorio de la temperatura de la mezcla en tanques.
- Regulación del flujo de vapor de calentamiento por válvula auto operada por temperatura.
- Indicación local y remota de la temperatura del crudo en tanques.

Intercambio de calor: Se necesita una transferencia de calor para imprimirle al producto a su salida una temperatura más alta que el de la entrada permitiendo que el producto posea una menor viscosidad para su bombeo.

Los Intercambiadores de calor deben poseer las siguientes facilidades automáticas:

- Indicación local y remota de la presión a la entrada de los intercambiadores.
- Regulación del flujo de vapor de calentamiento por válvula auto operada por temperatura.

- Indicación local y remota de la presión a la salida de los intercambiadores.
- Alarma por alta o baja temperatura a la salida de los intercambiadores.
- Indicación en el supervisorio de la temperatura a la salida de los intercambiadores.

Filtrado: Es el elemento encargado para limpiar el producto de aquellos sedimentos que arrastra el sistema. Al llegar al nivel máximo de elementos espurios no dejaría pasar el fluido.

Los filtros deben poseer las siguientes facilidades automáticas:

- Indicación local y remota de la presión a la entrada y salida.
- Indicación local y remota de la presión diferencial y alarma por alta presión en el supervisorio.

Bombeo: Mediante las estaciones de bombas se logra trasladar el producto largas distancias. Pueden ser bombas de impulsión o bombas de inyección de disolventes.

En la estación de bombas se deben poseer las siguientes facilidades automáticas:

- Sistema de mando y monitoreo de bombas y equipos auxiliares (Arranque, paro y supervisión de funcionamiento).
- Disparo por baja presión en la succión y alta presión en la descarga.
- Indicación local y remota de la presión de succión y descarga de cada bomba.
- Indicación, registro y alarma por bajo y alto flujo en la línea de salida.
- Indicación, registro y alarma por baja y alta presión en la línea de salida.
- Indicación, registro y alarma por baja y alta temperatura en la línea de salida.
- Indicación, registro y alarma por baja y alta temperatura en la línea de entrada a las bombas.
- Sistema de regulación de flujo de reflujo por válvula de control (por recirculación).
- Sistemas de medición de flujo (Coriolis).
- Medición, transmisión e indicación de la temperatura en supervisorio del crudo.

Limpieza interior de los oleoductos. En las estaciones de lanzamiento de rascadores se lanza el rascador encargado de la limpieza en la capa interna del oleoducto debido a las incrustaciones del producto. Este bloque funcional nunca se llegó a conectar y está pendiente para futuras reinversiones en la BCS.

Transmisión de señales desde los puntos finales e intermedios de los oleoductos.

El objetivo de este bloque funcional es transmitir hacia el CPU una serie de variables de proceso que permitan la supervisión en los tramos de los oleoductos, sin embargo el sistema de comunicación que se empleó no funcionó, siendo necesaria la restauración funcional de este bloque, para el actual Proyecto no cuenta con financiamiento.

### **2.1.1. Implementación de la automática de la BCS.**

La automática de BCS se implementó con el sistema de SCADA que cumple desde el nivel inferior al superior con una estructura (Anexo XXXI) en la que pueden apreciarse diferentes niveles que a continuación se describen:

- **Nivel sensor/actuador:** este nivel está compuesto por los sensores de nivel (LR400 Siemens), presión (Sitrans P SIEMENS), temperatura (SIEMENS), flujo (MicroMotions), viscosidad y actuadores RotorK y Auma. Se debe mencionar que la comunicación cíclica y acíclica para la adquisición de datos desde el nivel superior así como para la parametrización y diagnóstico se realiza sobre HART.
- **Nivel Campo:** Este nivel está compuesto por 6 ET-200M, dispositivos compuestos por fuente de alimentación, interfaz de comunicación y módulos de entrada-salida digitales y analógicos, con posibilidad de diagnóstico al rebasar límites. Estos equipos son los encargados de la adquisición de datos de procesos, realizan el procesamiento de la señal a través de convertidores análogo-digitales y efectúan la transmisión al nivel inmediato superior por red eléctrica, además realiza acciones finales en el control de los actuadores, bombas, etc.
- **Nivel de Célula:** Permite el control de las tareas, la supervisión, el control de la producción y la monitorización. En este nivel se encuentra instalado y funcionando un CPU Siemens 316-2DP sobre Profibus DP a 9,6 KBits x Seg con topología lineal como Maestro según la filosofía Maestro-Esclavo (los módulos IM 153-1 del nivel anterior se comportan como esclavos DP) enviando y recibiendo datos de proceso y diagnóstico. En el CPU está implementado el software encargado de todo el proceso de adquisición de datos, evaluación, cálculo y acción del sistema general, siendo la familia SIMATIC de SIEMENS con sus herramientas adicionales el software esencial para lograr los objetivos

planteados en la tarea. Los lenguajes de programación S7 que se utilizados son AWL (Lista de instrucciones), KOP (esquema de contactos), HWConfig (Configuración de Hardware), NetPro (Configuración de red), PDM (parametrización y diagnóstico de redes industriales e instrumentos de campo sobre HART o Profibus PA).

- **Nivel Gestión y Supervisión:** Este nivel está compuesto por un servidor de datos en tiempos reales e históricos, una estación de operador y una estación de ingeniería. El enlace entre el servidor y el CPU se realiza a través de un módulo de comunicación CP342 1.5 Mbit/seg comunicación S7 (Profibus). El operador puede acceder a todos los valores del proceso, accionar sobre el sistema, tomar decisiones a través de las curvas de evolución de las variables, además de tener todo un sistema de alarmas implementado para identificar una repentina salida de los límites de cualquier parámetro.

## **2.2. Aspectos detectados en el período 2007-2009.**

La situación encontrada al inicio del trabajo fue que el SCADA de la BCS que fue concebido tal y como fue descrito en el epígrafe anterior, no funcionaba porque los efectos secundarios de los rayos pusieron fuera de servicio al hardware, debido a que el sistema de aterramiento no cumplía con la impedancia exigida para esta aplicación. Las inducciones electromagnéticas en los cables de cobre utilizados en las líneas de transmisión, alcanzó valores de voltaje superiores a los de ruptura de los componentes y equipos que intervienen en el proceso de adquisición de datos y comunicación (Anexo XXXII). En estos casos la tensión inducida puede alcanzar un radio de acción de 1500 metros [31]. En el Anexo XXXIII se muestra la densidad de rayos en el mapa mundial para el periodo comprendido entre abril de 1995 y febrero del 2003 donde se puede observar que en nuestro país (y por ende en la BCS) existió en esa etapa una alta incidencia de descargas eléctricas.

El hardware del autómatas, el CPU, el procesador de comunicación, los módulos de comunicación de la periferia distribuida (IM-153-1), y múltiples módulos de entradas y salida analógica y digital estaban inertes. En la búsqueda realizada consta el pago por concepto de Proyectos de la ingeniería básica y de detalle y planos del conexionado de

los elementos de campo con las ET-200 sin embargo parte de estos documentos no fueron entregados a la ECCM por retención de pago a las entidades subcontratadas (Anexo III). Además la consola de programación estaba averiada y sin posibilidad de reparación por no existir en el mercado el circuito electrónico dañado. Estos inconvenientes no permitieron diagnosticar la envergadura de los daños existentes en la entidad con la utilización del software de diagnóstico de SIEMENS.

El financiamiento aprobado para la nueva inversión cubría la sustitución de partes y piezas, sustitución de red eléctrica por óptica, consola de programación y licencias de software. Por tal motivo se inicio una nueva etapa de reconstrucción con la adquisición de los recursos materiales. En un inicio se desconocía por completo la situación de la programación del usuario y la configuración que poseía el sistema.

El programa de usuario en el autómatas y la programación del HMI (WinCC) encontrado una vez restaurado el hardware y la comunicación (inicio del 2009), no era la versión en el instante en que se averió el sistema, ya que en aquel momento el sistema se encontraba en una etapa de ajuste sujeta a diversas modificaciones y estaba desactualizado porque el personal designado para su manipulación no realizaba la salva del Proyecto con la frecuencia necesaria. Los requisitos para el presente cambió respecto a los planteados en el año 2003, el programa de usuario y el HMI debieron ser modificados con este fin, además de tener en cuenta que en la investigación fue detectado que las licencias del software estaban vencidas.

En la presente investigación se trabaja con variables de proceso de entrada analógicas, como son nivel, caudal, temperatura y presión, todas ellas con entradas analógicas de 4-20mA + HART, que hacen necesaria su digitalización para ser transmitida e interpretadas por el CPU. Además se detectó que los instrumentos con comunicación 4-20 mA + HART poseían la parametrización de la fábrica, no se ajustó a los rangos de valores del proceso tecnológico, lo cual introduce el error de cuantificación. El canal de transmisión también introduce errores, los cuales pueden ser minimizados en el programa de usuario para lograr mayor exactitud.

El autómatas programable (PLC) del cual se dispone 315 2 DP pertenece a la familia S7-300, basada en un sistema de mini autómatas modulares para prestaciones de gama baja y media el cual se puede implementar con una amplia gama de módulos

obteniendo una adaptación óptima a la tarea de automatización en particular. Con esta familia se logra una aplicación flexible gracias a la posibilidad de realizar estructuras descentralizadas e interconexiones por red, además ampliable sin problemas en el caso de que aumenten las tareas y muy potente por la gran cantidad de funciones integradas [16]. La CPU utilizada inicialmente fue la CPU 316-2 DP con periferia descentralizada e interface maestro/esclavo con PROFIBUS-DP [39].

Para conectar los distintos módulos S7-300 en el sistema de periferia descentralizada ET 200M al PROFIBUS DP pueden utilizarse diversos módulos de interfaz IM 153-1 como esclavos normalizados DP.

La interface IM 153-1 actúa como módulo base o de cabecera de la ET 200M. A dicho módulo es posible conectar hasta 8 módulos periféricos de la gama del autómatas S7-300. La interface y los módulos periféricos necesarios se montan sobre un perfil soporte de la gama S7-300. Los módulos periféricos y la interface IM 153 se interconectan a través de conectores de bus RS 485.

Dependiendo de la capacidad del módulo maestro, pueden conectarse diferentes tipos de módulos periféricos. La simple instalación utilizando conectores de bus del SIMATIC S7-300 hace que la ET 200M sea flexible y fácil de usar para el montaje de los módulos en el perfil del soporte, abatirlos y atornillarlos. El bus posterior está integrado en los módulos y el enlace entre los mismos se realiza a través de los denominados conectores de bus que se conectan en la parte posterior de la caja de la carcasa (Anexo XXXIV, Tabla 1 Datos técnicos de la ET200M).

La ET-200M contempla también:

- Módulos de salidas digitales DO16 24V/0.5A, en grupos de 8.
- Módulos de entradas digitales DI16 24V, en grupos de 16.
- Entradas analógicas para conectar sensores con señal de tensión y de corriente (Intensidad), provenientes de los sensores.

El sistema dispone también del CP342-5 el cual posee las siguientes características:

- Maestro o esclavo PROFIBUS DP con interfaz eléctrica para la conexión de SIMATIC S7-300 y SIMATIC C7 a PROFIBUS, hasta 12 Mbits/s (incl. 45.45 Kbits/s).
- Servicios de comunicación.

- Configuración y programación sencilla vía PROFIBUS.
- Comunicación PG superando los límites de la red gracias a la función S7-Routing (encaminamiento S7).
- Cambio de módulo sin tener que conectar una PG.

Todos estos elementos poseen a su vez su correspondiente fuente de alimentación existiendo entonces:

- Fuentes de alimentación de carga para S7-300/ET 200M
- Fuentes para transformar la tensión de red en una tensión de empleo de 24 V DC.

Se debe accionar para poner a funcionar el SCADA de la BCS y corregir las dificultades encontradas para entregar un producto de mayor calidad, argumento tratado en el CAPÍTULO III.

### **2.3. Conclusiones parciales del CAPÍTULO II.**

En el presente capítulo se expuso cómo la concepción para el diseño inicial de la automática de la BCS cumple con los requerimientos necesarios de un SCADA y sirvió como punto de partida para su revitalización.

La solución técnica que se plantea incluye la búsqueda de alternativas para que no se induzca en el sistema los efectos secundarios de las tormentas eléctricas y ni se altere el nivel de las señales transmitidas, ya que el sistema de aterramiento continúa sin poseer los valores de impedancia necesarios.

La no existencia de la documentación técnica implicó la necesidad de realizar una ingeniería inversa al hardware y software y por la necesidad de modificar al programa de usuario y así obtener un nuevo producto terminado que cumpla con los requisitos actuales y elimine los errores de transmisión y los errores de cuantificación presentes en la parametrización del instrumento aplicando los software de SIEMENS.

## **CAPÍTULO 3. DIAGNÓSTICO, CONFIGURACIÓN Y PUESTA EN FUNCIONAMIENTO DEL SCADA.**

Como fue explicado en el capítulo anterior, la situación encontrada en el SCADA de la BCS requería de la sustitución del hardware y configuración de un nuevo sistema como punto de partida aplicando el software de SIEMENS.

Se debe buscar solución a las inducciones provocadas por los efectos secundarios de las tormentas eléctricas, realizar la actualización y modificación al programa usuario del CPU y disminuir los errores que inciden sobre la medición de los instrumentos.

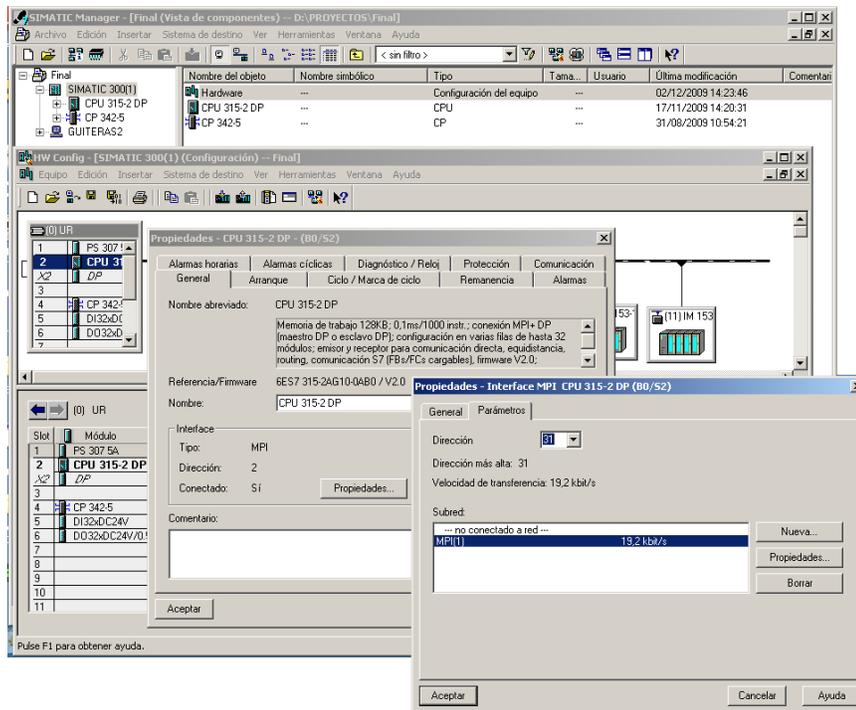
En el presente capítulo se exponen los resultados de las tareas realizadas para poner a funcionar el SCADA en la BCS.

### **3.1. Sustitución del hardware y configuración del nuevo sistema.**

Para realizar la diagnosis del hardware del sistema automático se conectó SIMATIC FIELD PG a través del puerto MPI con el del CPU 316 2 DP del autómeta. La utilización del software estándar STEP 7 de SIEMENS en particular el SIMATIC MANAGER, permitió detectar la destrucción del CPU debido a que no se logró la comunicación con la PG.

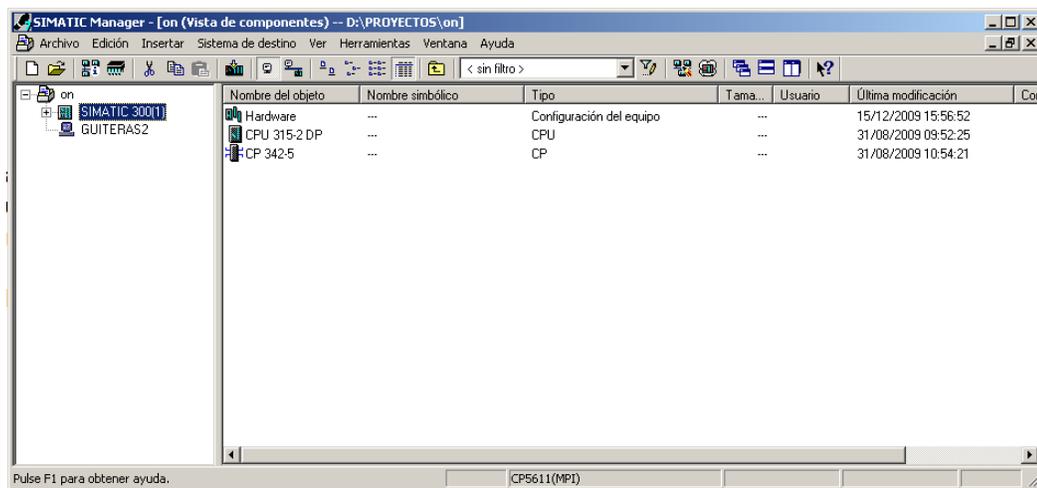
El primer paso a ejecutar fue la sustitución y configuración del CPU 315 2 DP teniendo en cuenta las peculiaridades del CPU anterior, implica usar la consola de programación (SIMATIC Field PG) para la configuración del nuevo hardware, en la figura 3.0 se muestran algunos parámetros a tener en cuenta en la configuración que se mencionan a continuación:

- Dirección (2).
- Velocidad de transferencia (19,2 kbit/s).
- Pertenece a la subred MP (1).
- Alarma horaria en OB (10).
- Alarma cíclica en OB35 con una periodicidad (25 ms).
- Diagnóstico del reloj con un tiempo de vigilancia (150 ms) y carga de ciclo por comunicaciones (20%), etc.



**Figura 3.0.** Configuración del CPU con la utilización del software Hw Config.

En el diagnóstico inicial debió verse una pantalla aplicando el software SIMATIC Manager parecido al mostrado en la figura 3.1 con la diferencia de tener reflejado en la segunda línea en lugar del CPU 315 2 DP el CPU 316 2 DP.



**Figura 3.1.** Software estándar STEP 7 de SIEMENS, SIMATIC manager.

En la etapa de diagnóstico esta pantalla no se mostró, ante esta situación no se podía continuar con el diagnóstico y para evitar la dilatación de la puesta en marcha del sistema automático se solicitó la compra de un conjunto de partes piezas de repuesto que pudieran ser las causantes de los problemas y para ello se tuvo en cuenta la

experiencia empírica del personal técnico para la determinación de las posibles afectaciones, y así evitar la dilatación del proceso de diagnóstico y adquisición de los repuestos desde su oferta hasta su importación.

En la oferta se propuso la adquisición del CPU 315 2 DP ya que SIEMENS había descontinuado el CPU 316 2 DP. Este simple cambio estuvo fundamentado en la adaptabilidad del PLC en su funcionalidad modular.

El CPU 315-2DP adquirido posee una memoria de trabajo 128KB; 0,1ms/1000 instr.; conexión MPI+DP (maestro DP o esclavo DP), configuración en varias filas de hasta 32 módulos, emisor y receptor para comunicación directa, equidistancia, routing, comunicación S7 (FBs/FCs cargables), firmware V2.0.

Una vez sustituido el CPU, se aplicó nuevamente el software estándar STEP 7 de SIEMENS en particular el SIMATIC Manager y se pudo corroborar que el diagnóstico preliminar efectuado empíricamente acertaba con la realidad (Anexo VI).

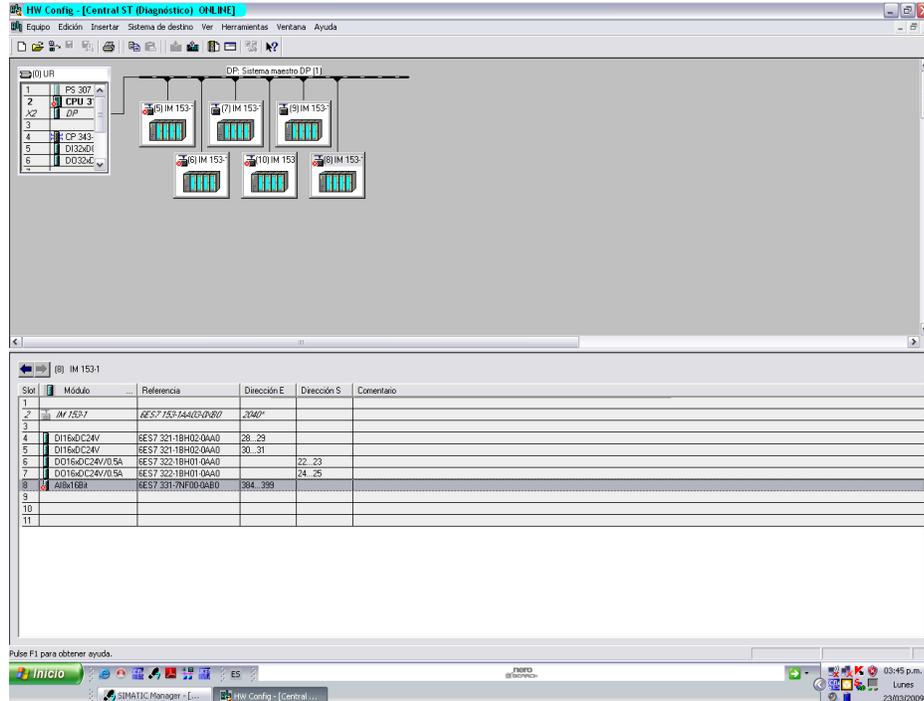
Partes y piezas sustituidas al SCADA:

- Un CPU 315 2DP.
- Cinco módulos de comunicación IM 153-1 de las ET200M.
- Dos Tarjetas PCI 5613 A2 de la PCs.
- Un Procesador de comunicación CP 342-5.
- Cinco módulos de entrada analógicas de las ET200M.

En las figuras 3.2. y 3.3. se puede observar la utilización del software estándar STEP 7 de SIEMENS, HW Config. en la programación del autómeta programable. El hardware quedó compuesto por la fuente PS 307 5A, el CPU 315 2DP, la periferia descentralizada y el procesador de comunicación CP 342-5; la periferia descentralizada a su vez está compuesta por siete módulos ET200M los cuales se comunican con el CPU a través del bus PROFIBUS DP. Las interfaces de comunicación IM 153-1 poseen el conector DB9 PROFIBUS que permite la conexión con SIMATIC Field PG.

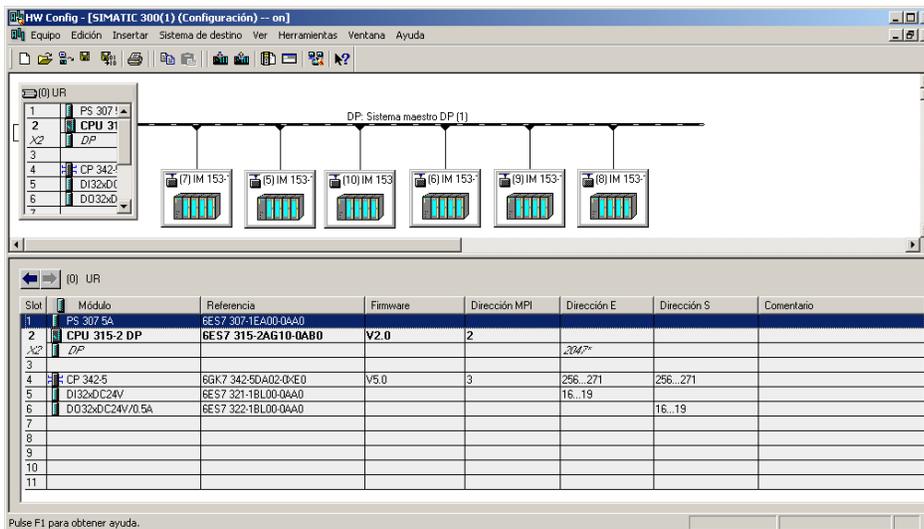
En la figura 3.2. se muestra también el sistema una vez sustituido el CPU en Stop (el programa no está corriendo) y dos módulos de interfaz IM 153-1 que logran comunicación; existen además tres módulos de interfaz que poseen una señalización de color rojo lo cual significa que hay alguna dificultad en ellos. Para solucionar los problemas detectados con el software hay que revisar la parametrización de cada parte,

su conexión física con el bus, estado físico del módulo e instrumentos, etc. Con la utilización del software de diagnóstico del sistema, se minimiza el tiempo de búsqueda y ello permite ir orientando oportunamente al personal técnico por lo que su utilización disminuye el tiempo en que la planta esté fuera de servicio.



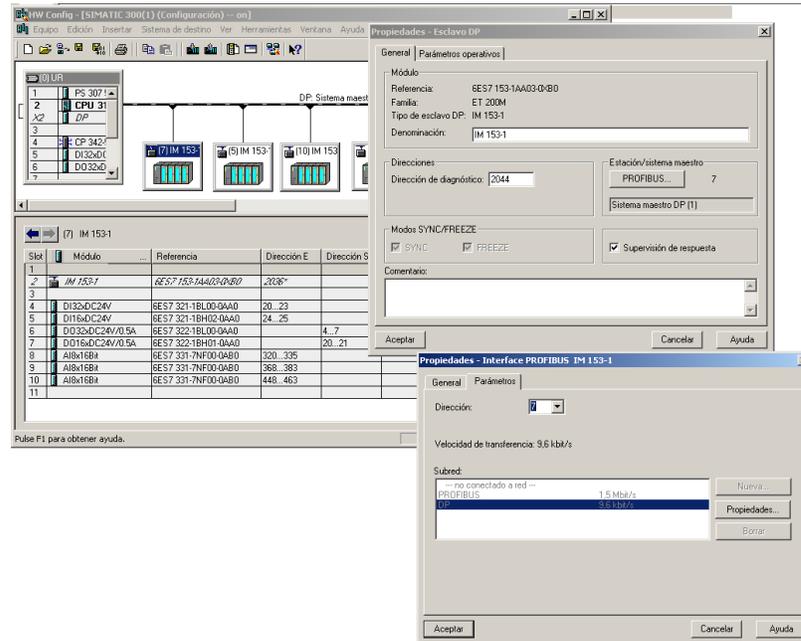
**Figura 3.2.** Software estándar STEP 7 de SIEMENS, HW Config.

En la figura 3.3 se muestra la situación cuando los problemas que existían en la figura 3.2 fueron solucionados.



**Figura 3.3.** Software estándar STEP 7 de SIEMENS, HW Config.

A los módulos de interfaz sustituidos (IM 153-1) es preciso colocarles un direccionamiento, tarea que se realiza con unos conmutadores físicos, que permiten ubicar el número correcto a la dirección adecuada. En la figura 3.4 se muestra la pantalla donde ejemplifica la utilización del Software estándar STEP 7 de SIEMENS, HW Config. para definir las propiedades del módulo, identificarlo como un esclavo DP, etc.



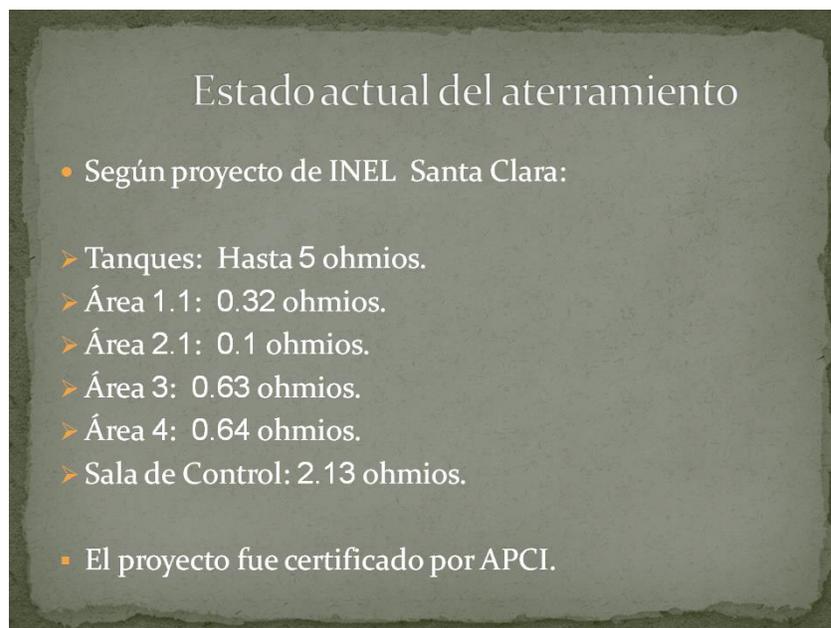
**Figura 3.4.** Software estándar STEP 7 de SIEMENS, HW Config. Propiedades - Esclavo DP, Propiedades – Interface PROFIBUS IM 153-1.

Los módulos (ET 200M) se deben comunicar con el CPU a través del procesador de comunicación, el medio físico para lograr tal propósito es una red industrial.

### 3.2. Sustitución de la red industrial eléctrica por óptica.

Inicialmente la comunicación ente el CPU y la periferia descentralizada se restableció con la utilización de la red eléctrica industrial ya existente. Al continuar profundizando en el trabajo se detectó que el sistema de aterramiento, aún no cumple con la impedancia recomendada por el fabricante (1 ohmio), contenidas en el documento “S7-300 Programmable Controller Hardware and Installation EWA 4NEB 710 6084-02 01” concerniente a la protección contra rayos (capítulo 4.2). El nivel keráunico donde se encuentra situada la BCS es alto y las redes con el cable de cobre poseen una

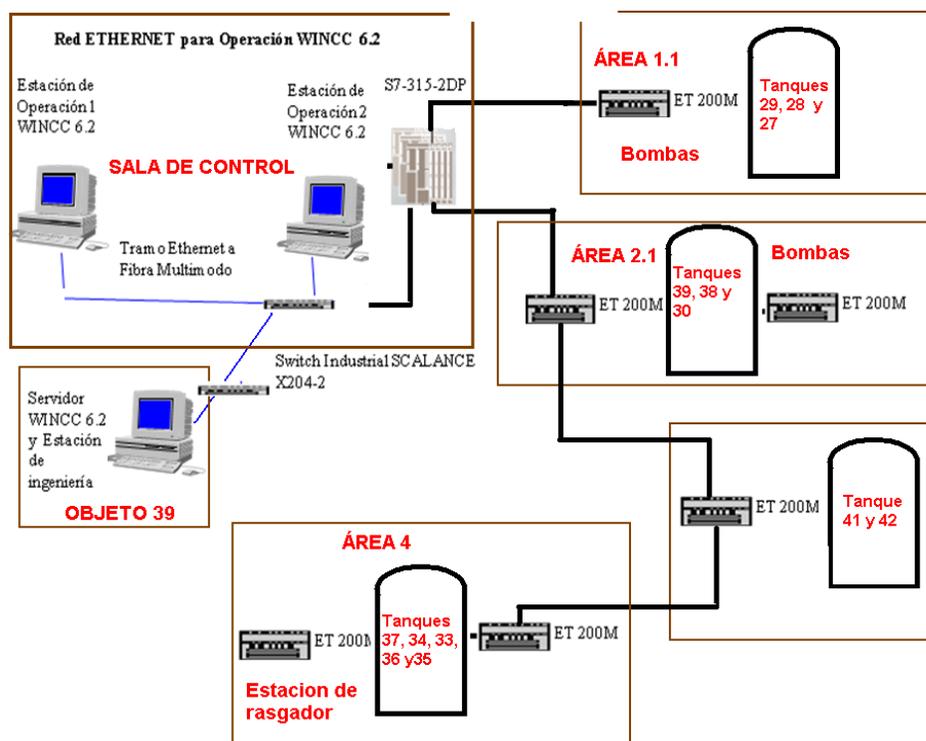
probabilidad alta de inducción de transientes por poseer el terreno una alta resistividad. Esta situación requiere de la labor de una empresa especializada para ejecutar los trabajos de aterramiento que cumpla con los parámetros normalizados para la automática. Para ello se debe subcontratar a INEL (Santa Clara) y así obtener los valores adecuados de impedancia. En la figura 3.5 se ve el estado actual del aterramiento (2009-2010), por lo que debido a la no materialización de dicho Proyecto se deben buscar alternativas para que los efectos secundarios de las tormentas eléctricas sean reducidos.



**Figura 3.5.** Estado del aterramiento según INEL Santa Clara, certificado por APCI.

La alternativa que resultó más viable fue proponer una arquitectura de red industrial en la cual se utiliza fibra óptica (red mixta) como medio físico de transmisión. Esta nueva arquitectura se materializó y se muestra en la figura 3.6. En la misma se puede apreciar un servidor de datos en tiempo real, una estación de operación y una estación de ingeniería la cual da mayor prestación de servicios al sistema automático. Consta de un autómatas de SIEMENS de la serie S-300 con comunicación PROFIBUS DP hacia las diferentes áreas (4 áreas) que se agrupan por equipos y el medio físico es la fibra óptica utilizando para ello OLM.

### Propuesta de Arquitectura para el Sistema de Control Supertanqueros Matanzas



**Figura 3.6.** Red industrial para la comunicación entre el CPU y la periferia descentralizada.

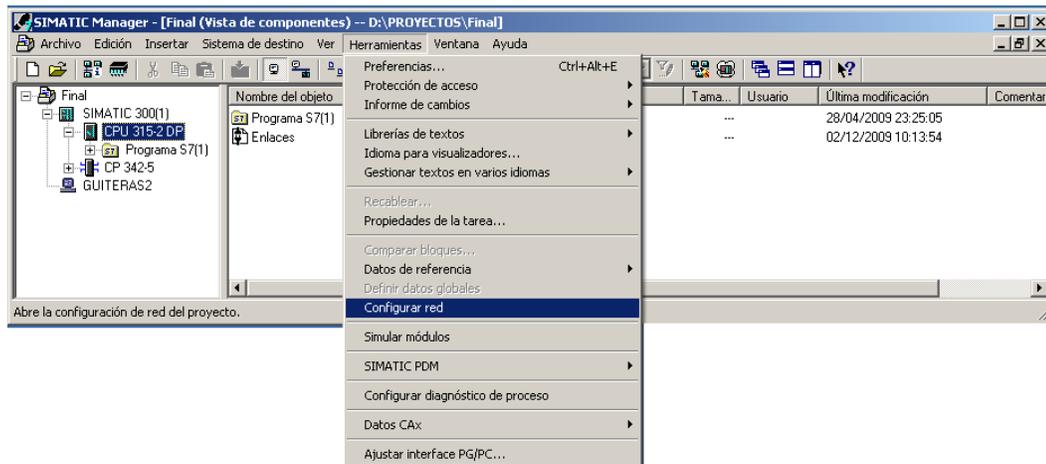
La sustitución de la red eléctrica por una red mixta de fibra óptica la hace insensible a las interferencias electromagnéticas y en las zonas exteriores no se precisa ningún sistema de protección contra rayos adicional, atenuando el riesgo ante esta situación con la utilización de un convertidor de señal eléctrica a óptica. Físicamente el dispositivo que realiza esta función es el OLM/G12.

Fue preciso canalizar el cable de fibra óptica por todo su recorrido, hacer el montaje de los OLM/G12 y la conectorización de los terminales del cable óptico, para posteriormente realizar la configuración de la red. Esta red industrial es una red mixta, ver figura 3.7. En las áreas 2.1 y 4 existen dos ET 200M que se conectan al bus por red eléctrica (por la proximidad entre ellas, no más de 3 m). Se puede considerar que presenta una topología lineal. Como la teoría lo indica la máxima velocidad que puede alcanzar el bus lo determina el elemento de menor velocidad que compone al sistema independientemente de las limitaciones que impone el medio de transmisión, es una confusión pensar que al utilizar la fibra óptica, esta determine la velocidad de la red.



**Figura 3.7.** Red mixta (óptica eléctrica) de la BCS.

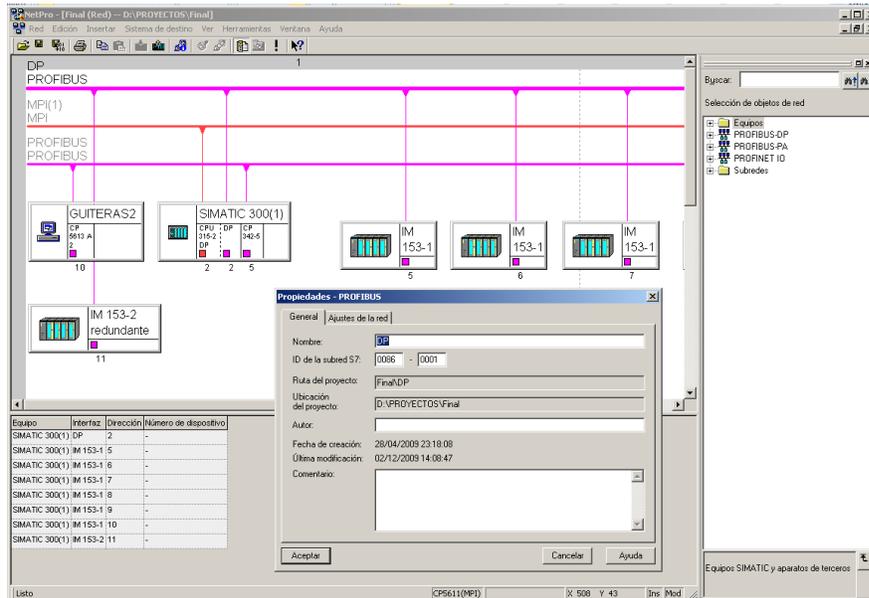
Para realizar la configuración de la red PROFIBUS se utilizó el software SIMATIC, ver figura 3.8. en la opción Herramientas, Configurar red, se procede a entrar al programa NetPro.



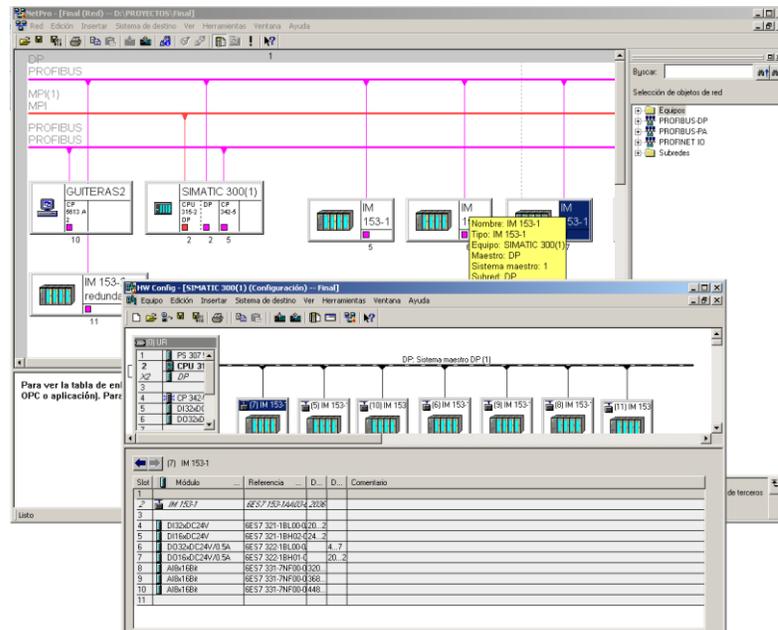
**Figura 3.8.** Realizar la configuración de la red utilizando software SIMATIC.

Con la ayuda del software SIMATIC NetPro se realiza la selección de objetos de red, los cuales se escogen adecuadamente para insertar los componentes de la red. En la

figura 3.9 se pueden observar las interfaces que están conectadas y la dirección que corresponde a cada una.



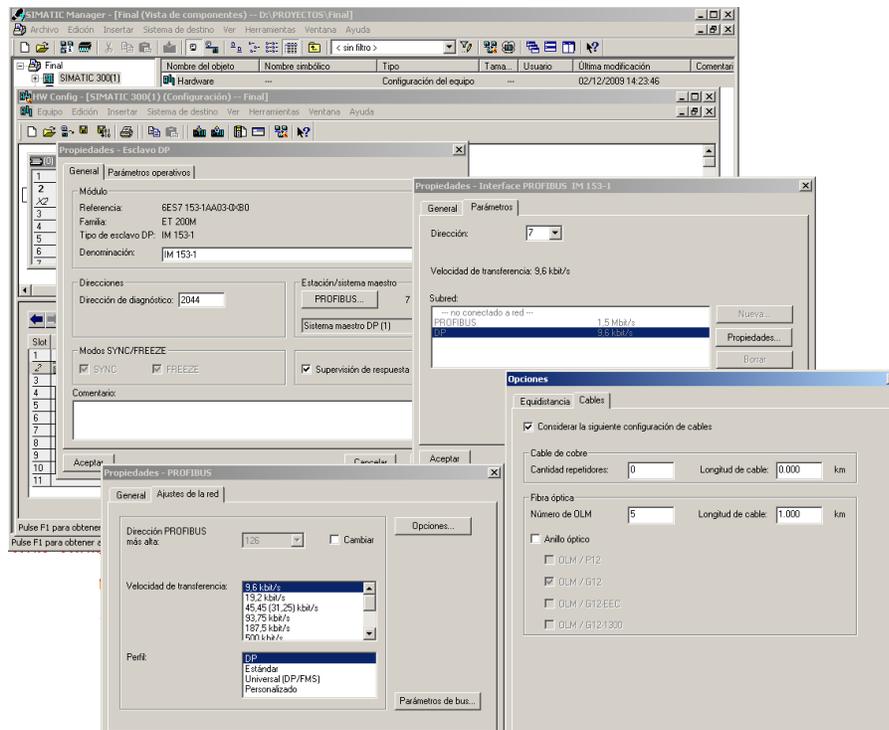
**Figura 3.9.** NetPro. Interfaces conectadas a la red DP PROFIBUS y sus direcciones. La entrada a la red PROFIBUS DP se realiza al dar doble click encima de la representación de red (superior de color rosado).



**Figura 3.10.** NetPro. Configuración del bus DP PROFIBUS.

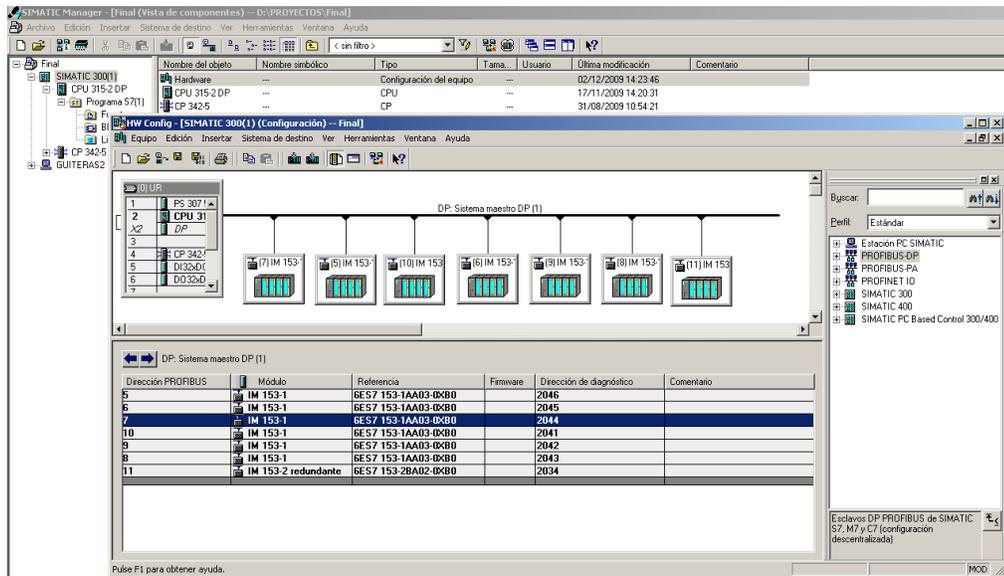
Al dar doble click encima de cualquier módulo interfaz que compone la red, remite al programa HW Config y se puede configurar correctamente el módulo seleccionado como se muestra en la figura 3.10.

También en la configuración de la ET 200 M hay que tener presente que el módulo IM 153-1 se debe configurar como esclavo DP de esta red, su dirección, velocidad, parámetros del bus, si utiliza OLM, etc. aspectos que se pueden apreciar en la figura 3.11.



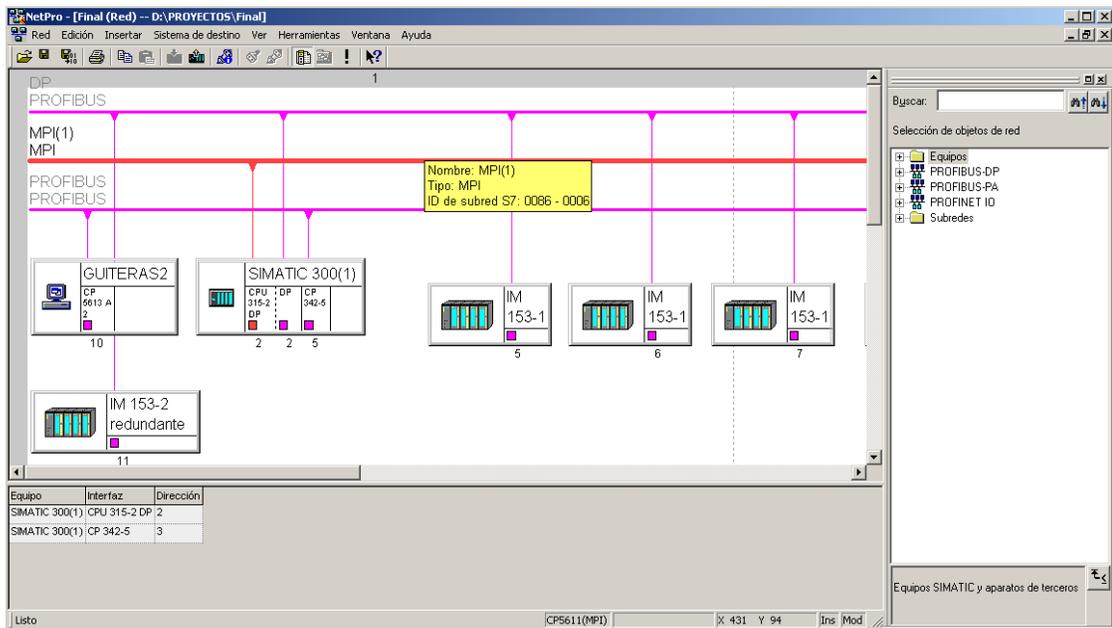
**Figura 3.11.** Opciones para la configuración módulos utilizando OLM (Red industrial mixta).

En la figura 3.12. se encuentra la red PROFIBUS DP configurada. La misma brinda información de la dirección PROFIBUS en que se encuentra el módulo, qué tipo de módulo es con su referencia y la dirección de diagnóstico.

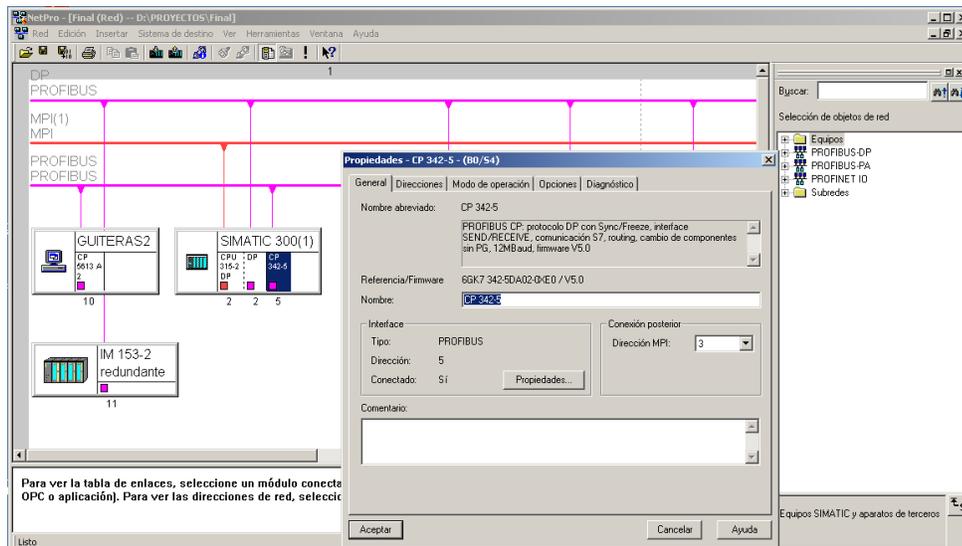


**Figura 3.12.** Configuración de la red PROFIBUS DP.

La red MPI establece comunicación entre la CPU y el procesador de comunicaciones CP 342-5 Ver figura 3.13. La entrada a la red MPI se realiza al dar doble click encima de la representación de red de color Rojo. La configuración de este módulo se realiza de manera similar a la anterior. Ver figura 3.14.

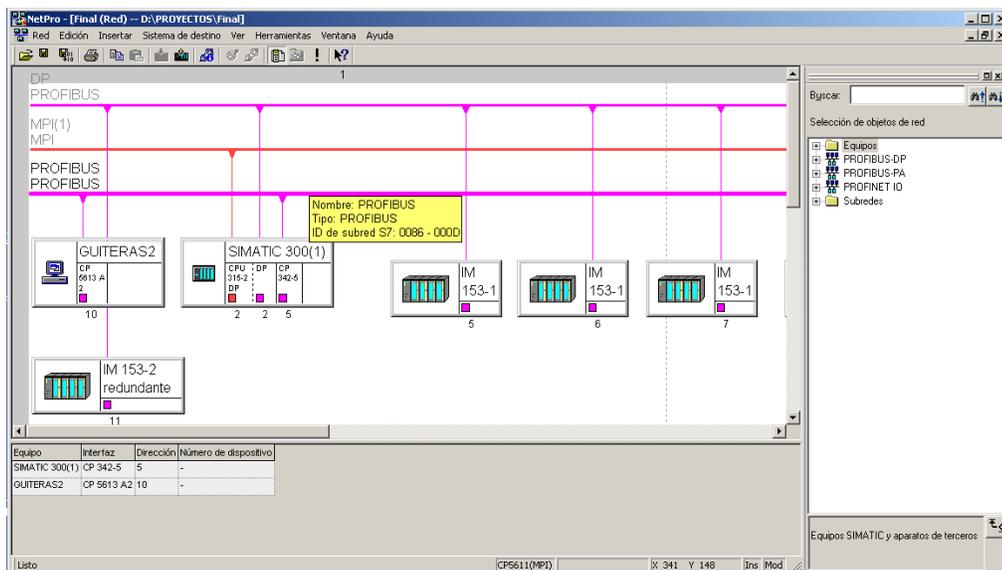


**Figura 3.13.** NetPro. Configuración de la red MPI.



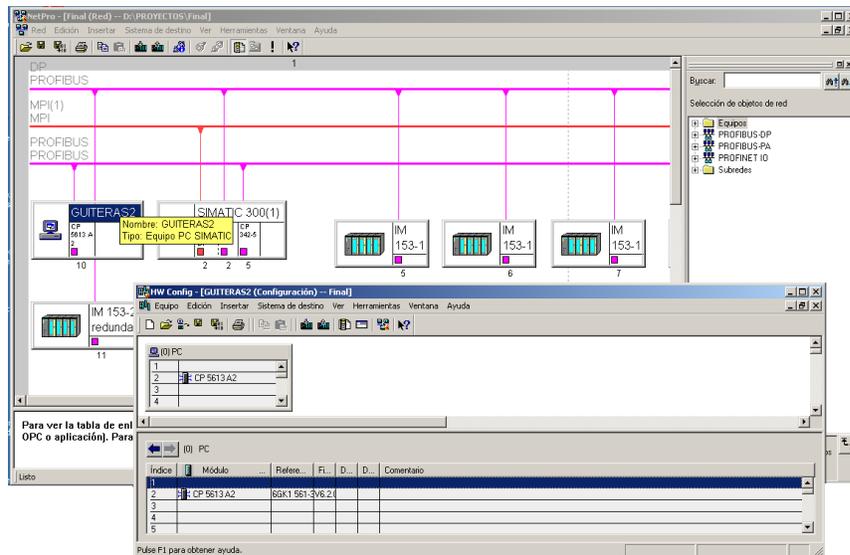
**Figura 3.14.** NetPro. Configuración de la red MPI.

La red PROFIBUS-PROFIBUS establece comunicación entre el procesador de comunicaciones CP 342-5 y el procesador de comunicación CP 5613 A2. Ver figura 3.15. El CP 5613 A2 es una tarjeta PCI encargada de la comunicación PC PROFIBUS y se encuentra dentro de una PC que funciona como servidor. El servidor se encarga de realizar la interfaz del HMI. La entrada a la red PROFIBUS-PROFIBUS se realiza al dar doble click encima de la representación de red (inferior de color rosado).



**Figura 3.15.** NetPro. Configuración de la red PROFIBUS PROFIBUS.

La configuración del CP 5613 A2 se realiza en la PC de manera similar a las anteriores. Ver figura 3.16.



**Figura 3.16.** NetPro. Configuración de la red PROFIBUS-PROFIBUS.

### 3.3. Dificultad a ser corregida en la Programación del PLC a las necesidades actuales.

En la memoria que aloja el CPU (EPROM 64KBytes) del autómat, se almacenan las partes esenciales del programa de usuario, FBs, DCs, DBs, SFCs, SFBs. La versión de la programación del PLC que pudo ser rescatada en la etapa de diagnóstico no fue la versión final en el momento en que colapsó el sistema. No existía salva actualizada y sí una versión intermedia de la puesta a punto, lo que implicó darle continuidad a la programación y realizar cambios esenciales para su ajuste a las nuevas necesidades actuales.

Los cambios en el software almacenado en el CPU se extendieron a la modificación de los valores de consigna, límites de escalado (para el caso del tratamiento de valores analógicos), reestructuración y actualización de la configuración del Hardware, cambios en los parámetros de bus existentes (p.ej velocidad, estructura, modo de comunicación), configuración de red que incluye cambios en la conceptualización del SCADA anterior con respecto al nuevo, definiéndose un solo servidor de datos en tiempo real, una estación de operación, y una estación de ingeniería, y además se trabajó en el re direccionamiento de las variables (analógicas y digitales) .

El error de la medición entregada por el sensor, el transmisor, los dispositivos de puente o de conversión (convertidores análogo-digitales y digitales analógicos, longitudes en el

cableado, etc.), puede ser corregido por software en el programa de usuario del PLC ajustando la salida en escalado a la medida real observada por un patrón para el caso de variables analógicas.

### Fragmento de OB1 (ejecución cíclica).

En el STEP 7 el ciclo de programa se escribe en un determinado bloque de organización OB1 por defecto (figura 3.17). Es automáticamente llamado y ejecutado cíclicamente siendo la Interface para el sistema operativo. Otras estructuras de programación son llamadas desde este bloque de organización. En la figura 3.18 se puede apreciar la llamada de OB1 a las funciones FC100, FC101, FC10, FC60 y FC50.

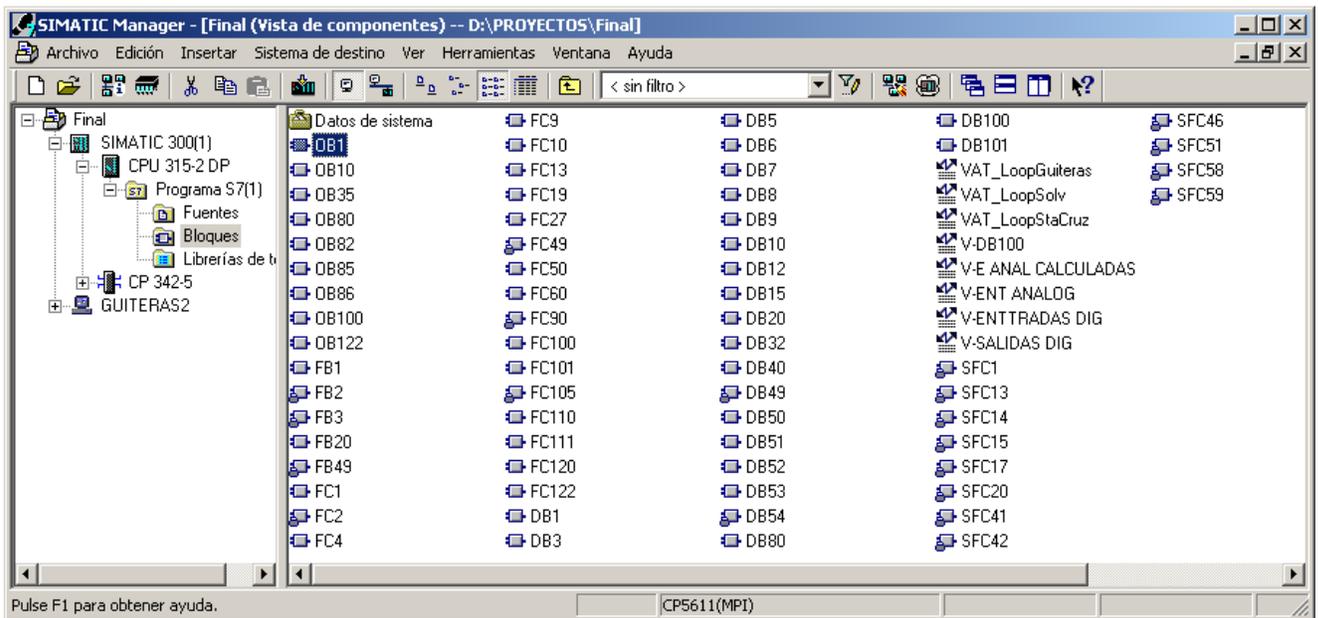
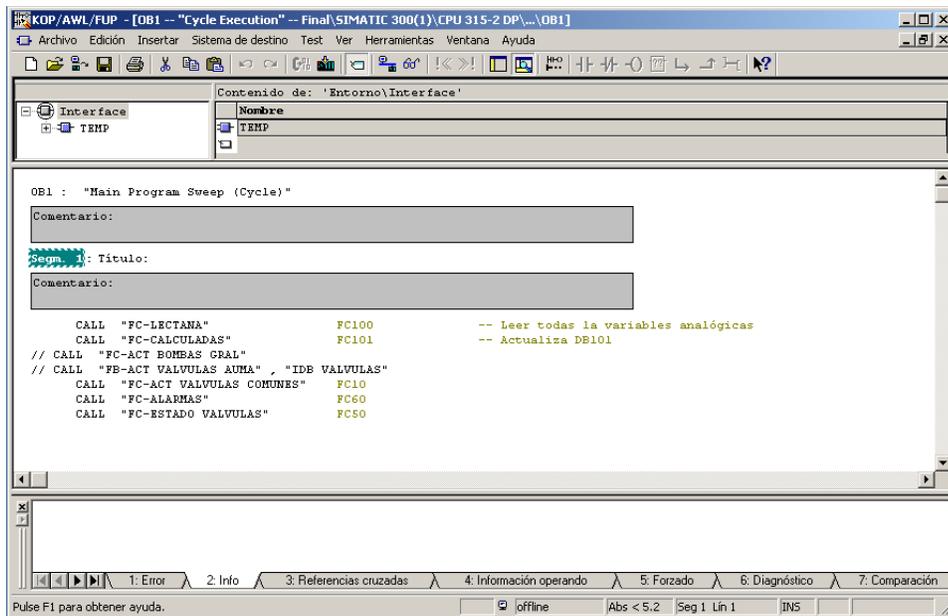


Figura 3.17. SIMATIC Manager. Bloque OB1.

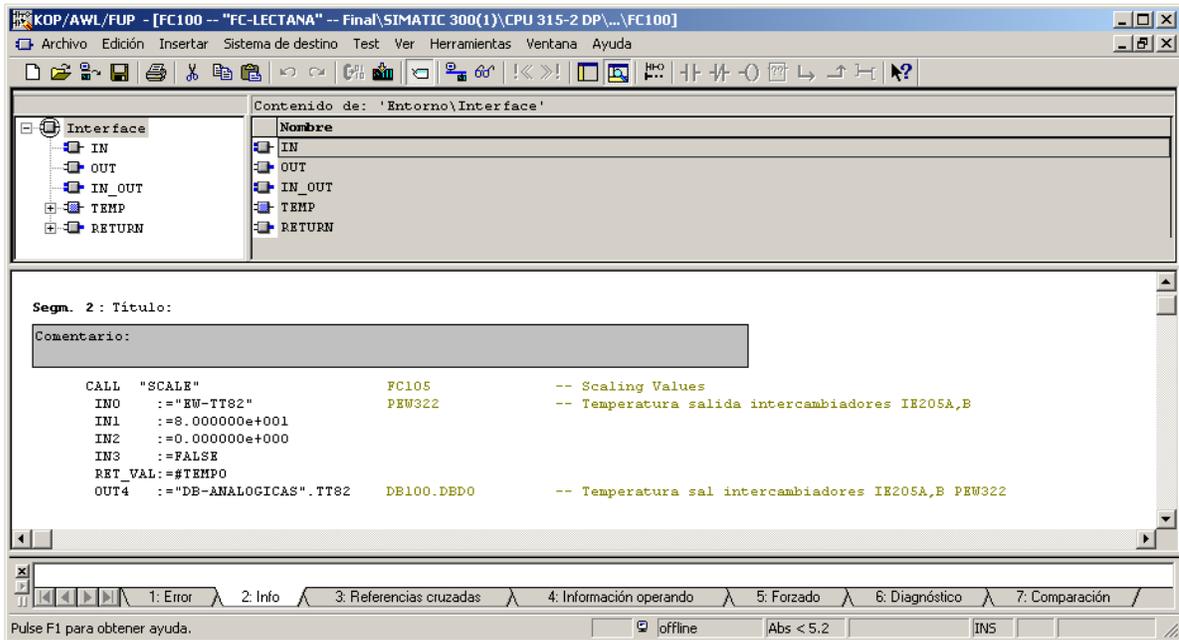


**Figura 3.18.** KOP/AWL/FUP. Fragmento del Bloque de organización OB1. Llamada a otras estructuras de programa del PLC 315- 2 DP de BCS.

La función FC100 en específico, es la función repetitiva que ejecuta la entrada de los valores digitales correspondiente a los valores analógicos transmitidos por los sensores e instrumentos de medición. Esta función fue objeto de modificación para ajustar el programa a los requerimientos actuales. FC100 se encuentra en el bloque de programa del SET 7 y se puede ver en la figura 3.17 al ser llamada se muestra la figura 3.18 que es el programa principal OB1, estudiado anteriormente.

### **Direccionamiento directo y llamada a la FC105 Scale.**

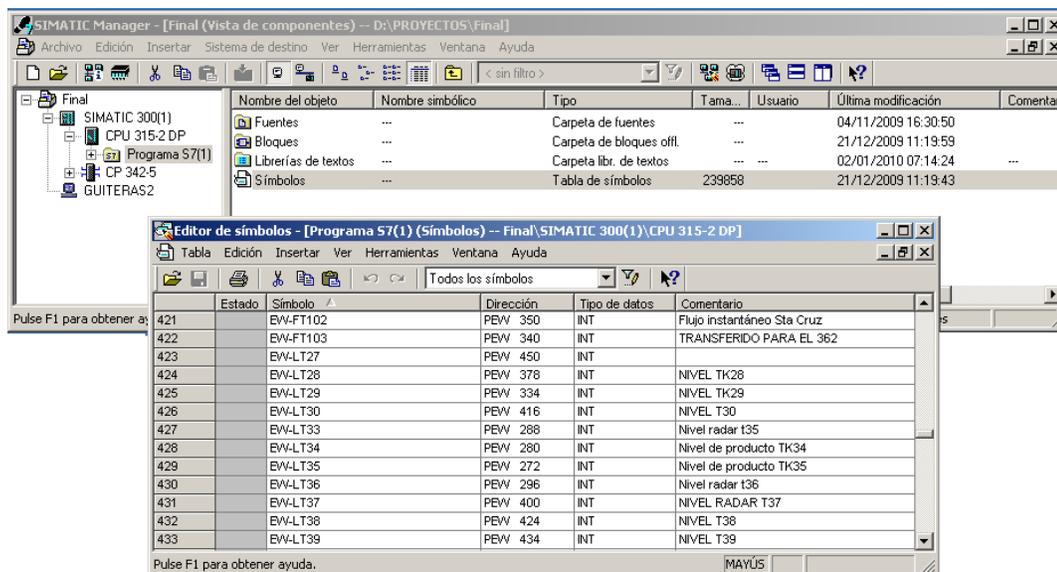
La función "Escalar valores" (SCALE) toma un valor entero en la entrada IN0 (apuntando a la dirección del instrumento) y lo convierte en un valor real, convirtiéndolo a escala en un rango comprendido entre un límite inferior (IN2) y un límite superior (IN1) (LO\_LIM y HI\_LIM). El resultado se escribe en la salida OUT. Ver figura 3.19. Estos límites son valores de consigna que han podido variarse en el proceso tecnológico, su ajuste en el programa se toma de la parametrización del instrumento de medición por lo cual debe tener en cuenta para su cambio en la programación de FC105 en el CPU. De no tenerse en cuenta se muestran valores incorrectos de lectura en tiempo real (ON LINE) y se le puede adjudicar al error cometido otras causas haciendo difícil su detección.



**Figura 3.19.** Función FC 105 (SCALE). Fragmento de programa (AWL).

El fragmento de programa de la figura 3.19 lee el valor del transmisor de temperatura (PT100) de salida del intercambiador IE205A ubicado por hardware en la dirección PEW322, con valores de consigna desde 0 hasta 80 °C. Este valor es convertido a un número real y guardado en la dirección de memoria del CPU DB100.DBDO.

El editor de símbolos (ver figura 3.20) facilita la programación, en el mismo están declarados el estado, el símbolo, la dirección en que se encuentran todas las variables de proceso, el tipo de dato y los comentarios. En la figura 3.20 se accede a la tabla de los símbolos utilizados en el CPU. Se encontraron errores en la programación de varios instrumentos. Por ejemplo, el nivel del tanque 41 leía la misma dirección de hardware del tanque 42, por ende se guardaba en la dirección de memoria asociados a estos instrumentos el mismo valor. En el ANEXO XXXV se encuentra la Tabla 2 en la que se muestran algunos símbolos usados para describir las variables de procesos en el Editor de Símbolos.



**Figura 3.20.** Editor de símbolos - [Programa S7 (1) (Símbolos)-- Final \ SIMATIC 300(1)\ CPU 315-2 DP].

Los datos primarios de cualquier sistema automático son proporcionados por los sensores y transmisores por lo que el análisis de cualquier variable asociada a una magnitud física parte de él.

### 3.4. Análisis de los sensores y transmisores utilizados en la automática de BCS.

Todos los instrumentos con comunicación HART fueron reparametrizados; la misma se realizó con la utilización de SIMATIC FIELD PG, SIMATIC PDM V6.0 y el Módem universal para comunicación y configuración desde PC, puerto USB, de cualquier equipo de cualquier fabricante con protocolo HART.

Se realizó un estudio de los valores de consigna del proceso tecnológico y se pudo comprobar que los instrumentos de temperatura y presión poseían en su parametrización rangos extremadamente altos; para el caso de los instrumentos de nivel las variables de consigna no cumplían los márgenes de seguridad necesaria. Estas circunstancias hacen que se pierda resolución por una inadecuada configuración inicial del sistema. Es importante destacar que la correcta parametrización del sensor transductor o instrumento de medición repercute en el error de la señal transmitida (error de cuantificación) y los cambios asociados a la nueva configuración de cada instrumento repercuten en el programa del sistema de alarmas y mensajes.

A partir de este instante van a ser analizadas las dificultades corregidas en los instrumentos de medición estudiados.

### 3.4.1. Dificultad corregida en los transmisores de nivel.

Se realizó la parametrización completa de todos los radales instalados. Los tanques 27 y 35, se encontraban en reparación capital en la fase inicial de la instalación de la automática ver figura 3.21, y no fue concebida la programación en el CPU y la parametrización del instrumento, excluyéndolos del control del proceso. Esto fue un hallazgo en el proceso de diagnóstico del presente Proyecto.

Parámetro	Valor	Unidad	Estado
<b>SITRANS LR</b>			
» Identificación			
» » Unidad operativa			
TAG	869		
Descriptor	_#0_		
Message			Valor inicial
» » Aparato			
Manufacturer / Fabricante	Siemens Milltronics		Valor inicial
Device Type / Tipo de aparato	SITRANS LR		Valor inicial
Device ID	869		
Revisión universal	5		Valor inicial
Device revision	1		Valor inicial
Software revision	1		Valor inicial
Hardware revision	1		Valor inicial
Last config	31.07/2002		
» Datos Instr.			
» » Unidades			
Length unit	m		Valor inicial
Volume unit	m³		Valor inicial
Mass unit	kg		Valor inicial
Temp unit	°C		Valor inicial
Other units	SI units		Valor inicial
» » Parám. Operac.			
» » » Tank geometry			
Nozzle height	-0.062	m	
Tank height	12.570	m	
Stilling pipe?	No		Valor inicial
» » » Measur. conditions			
Applic. type	Liquide (process)		Valor inicial
Surface	Wavy		
Dead band	0.400	m	
Correction factor	1.000000		Valor inicial
Filling speed	200.00	mm/min	
Reflectivity	30	dB	
Failsafe level	Hold continuously		Valor inicial
Failsafe timer	10	min	Valor inicial
Range extension	3.000	m	Valor inicial
» » » Sensor parameter			
Sensor damping	1	s	Valor inicial
Multiple echo	On		Valor inicial

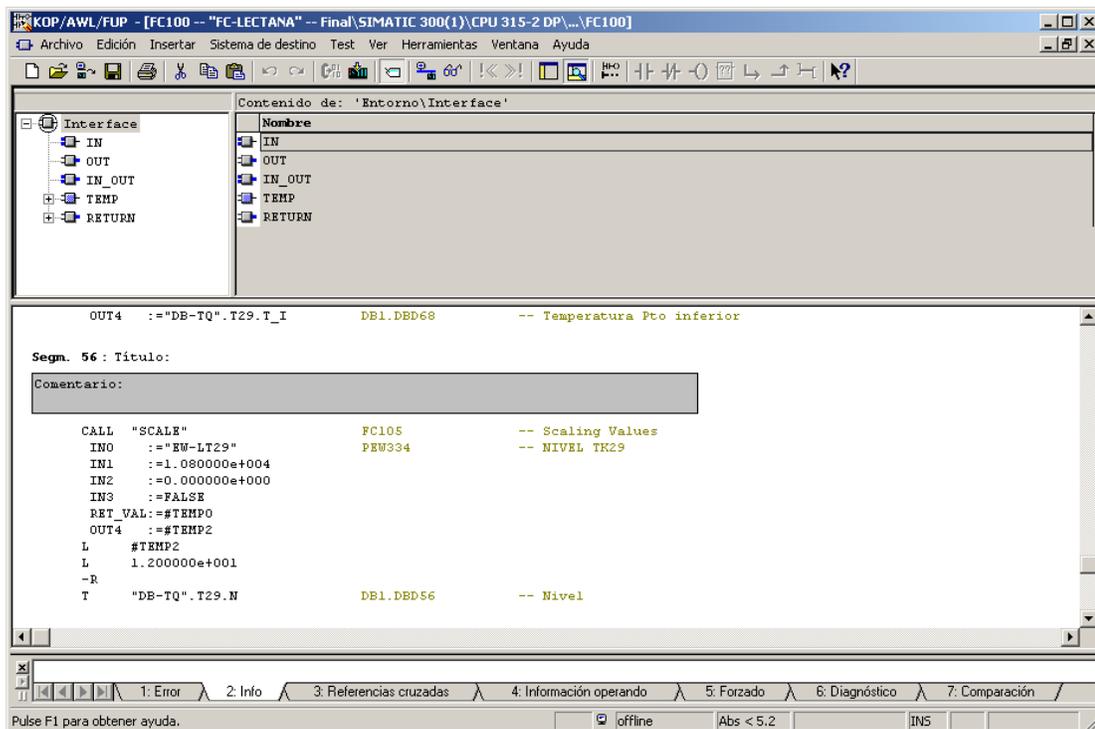
**Figura 3.21.** Comunicación HART con instrumento de Nivel del tanque 27.

El tanque 36 salió fuera de servicio en el año 2008 para efectuarle una reparación capital. Los cambios en las estructuras del tanque mueven la ubicación del instrumento, teniendo que realizar una calibración e introducirle correcciones a los parámetros guardados en la memoria del instrumento, confiriéndole una lectura fiable al proceso.

El resto de los tanques necesitaban de un mantenimiento de software y calibración de los radales, interviniendo al final la parametrización de los mismos. La afectación de las estructuras que soportan al instrumento y las normas internacionales que exigen la

trazabilidad y certificación de los mismos hacen de este proceso una repetitividad cada cierto tiempo.

Para la calibración se utilizó además como patrón la cinta métrica plomada utilizada en las operaciones de transferencia fiscal del producto por las normas establecidas tanto en el país como internacionalmente, calibrada una vez al año y con un error de 0.01 mm. El Sitrans LR 400 no posee ajustes que permitan su calibración y verificación por parte de personal calificado, el procedimiento necesitaría realizarse en laboratorios certificados en el extranjero, sin embargo el error de cero y de multiplicación se puede corregir realizando una linealización por comparación e introducir aritmética correctiva en la programación del CPU. En la figura 3.22. Se puede observar que al valor leído del instrumento se le resta 12mm para escribirse en la dirección de memoria DB1.DBD56.



**Figura 3.22.** Fragmento de programa (AWL) para escribir en la dirección de memoria DB1.DBD56 el valor de nivel del tanque 29. La dirección del radar LT29 PEW334.

En el Anexo XXXVI se muestra en A la información en RUN TIME para ser guardada la lectura del transmisor del nivel TK 41 en una localización de memoria, en B el display del mismo instrumento y en C utilizando el software HW Config. la dirección de memoria de hardware del instrumento.

### 3.4.2. Dificultad corregida en el transmisor que mide caudal.

En la ET-200M se recogen las señales del caudalímetro que es un módulo de entrada analógico. Sin embargo este flujómetro en el canal A tiene la posibilidad de transmitir señales HART (BELL 2002). En la figura 3.23 se muestran las diferentes magnitudes físicas que puede transmitir el instrumento, flujo másico, flujo volumétrico, densidad del producto y la temperatura.

Parámetro	Valor	Unidad	Estado
<b>Online</b>			
» Process variables			
» » View fld dev vars			
Mass flo	35.4	MetTon/h	
Temp	86.2	degC	
Mass totl	0.0	MetTon	
Dens	0.94057	g/Cucm	
Mass inventory	1133798.0	MetTon	
Vol flo	37.6	Cum/h	
Vol totl	5277.3	Cum	
Vol inventory	114089.2	Cum	
Pressure	0.00	psi	
TC Dens	0.00000	g/Cucm	
TC Vol	0.0	Cum	
TC Vol totl	0.0	Cum	
TC Vol inv	0.0	Cum	
TC Avg Temp	0.0	degC	
TC Avg Dens	0.00000	g/Cucm	
CTL	0.0000		
» » View output vars			
» » » View PV.Analog 1			
PV is	Mass flo	MetTon/h	Valor inicial
	35.4		
% rng	39.39	%	
AO	10.30	mA	
» » » View SV.Analog 2			
SV is	Dens	g/Cucm	Valor inicial
	0.94057		
% rng	1.00	%	Valor inicial
AO	1.00	mA	Valor inicial
» » » View TV.Freq/DO			
TV is	Vol flo	Cum/h	
	37.6		
Pres freq	2090.7	Hz	
» » » View QV			
QV is	Vol flo	Cum/h	
	37.6		
» » » View event 1			
Event1 type	Low Alarm		
Event1 setpoint	0.00	g/Cucm	
» » » View event 2			
Event2 type	Low Alarm		

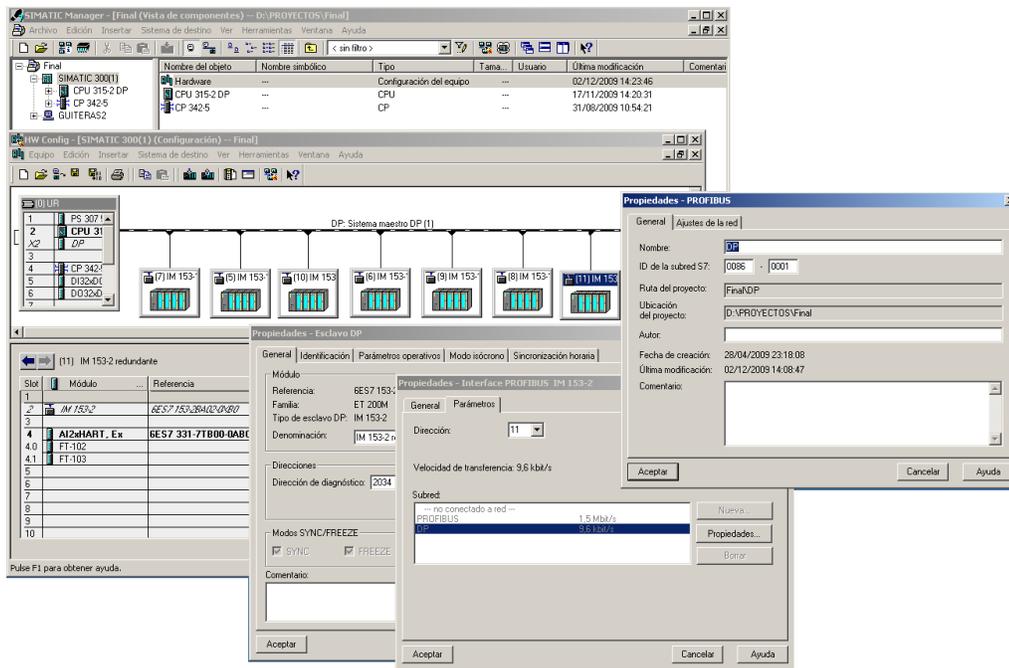
**Figura 3.23.** Comunicación HART utilizando el SOFTWARE SIMATIC PDM en la parametrización del Transmisor de caudal FT 102 para la venta a la termoeléctrica de Santa Cruz. Parametrización de las magnitudes físicas.

En la figura 3.24 se muestra las diferentes unidades de medidas que puede transmitir el instrumento.

Parámetro	Valor	Unidad	Estado
Live zero flow	35.4		
<b>Basic setup</b>			
Tag	FT-102		
Unit	MetTon/h		
Unit	g/Cucm		
<b>Analog 1 range vals</b>			
URV	90.0	MetTon/h	
LRV	0.0	MetTon/h	
<b>Analog 2 range vals</b>			
URV	1.00000		Valor inicial
LRV	1.00000		Valor inicial
<b>Freq scaling</b>			
FO Scale Method	Freq=Flow		Valor inicial
<b>FO Scaling</b>			
Freq factr	1.00	Hz	Valor inicial
Rate factr	101.9	Cum/h	Valor inicial
<b>Detailed setup</b>			
<b>Charize sensor</b>			
Temp cal factr	1.0000000000		
Update Rate	Normal		Valor inicial
<b>Flow</b>			
FCF	4294.73.89		
FTG	0.00		
FFQ	0.00		
<b>Density</b>			
D1	0.00000	g/Cucm	
K1	6212.55	uSec	
D2	1.00000	g/Cucm	Valor inicial
K2	7338.85	uSec	
DTG	0.00		
DFQ1	0.00		
DFQ2	0.00		
DT	4.37		
FD	608.00		
D3	0.00000	g/Cucm	
K3	0.00	uSec	
D4	0.00000	g/Cucm	
K4	0.00	uSec	
<b>Pressure Comp.</b>			
Enable Pressure Comp	Disabled		Valor inicial
Flow factr	0.00000000	% per psi	
Dens factr	0.00000000	g/Cucm per psi	
Flowcal pressure	0.00	psi	
Static Pressure	0.00	psi	

**Figura 3.24** Comunicación HART utilizando el SOFTWARE SIMATIC PDM en la parametrización del Transmisor de caudal FT 102 para la venta a la termoeléctrica de Santa Cruz. Parametrización de unidades.

La adquisición de un módulo con entrada HART incorporada es una realidad. Se incrementó en la configuración de hardware una nueva ET-200M de dirección 11 a la interfaz de comunicación 153-2, incrementándolo en el slot cuatro, dos entradas HART. Se puede apreciar en la figura 3.25 la configuración del mismo utilizando el software SIMATIC HW Config en la subred DP a una velocidad de 9,6 kbit/s lo que permite transmitir al instrumento diferentes magnitudes físicas del caudalímetro, el flujo volumétrico, la temperatura y la densidad, esta facilidad que brinda este módulo repercute esencialmente en el diagnóstico, mantenimiento, parametrización y lectura de variables de proceso simultáneamente desde la sala de control.

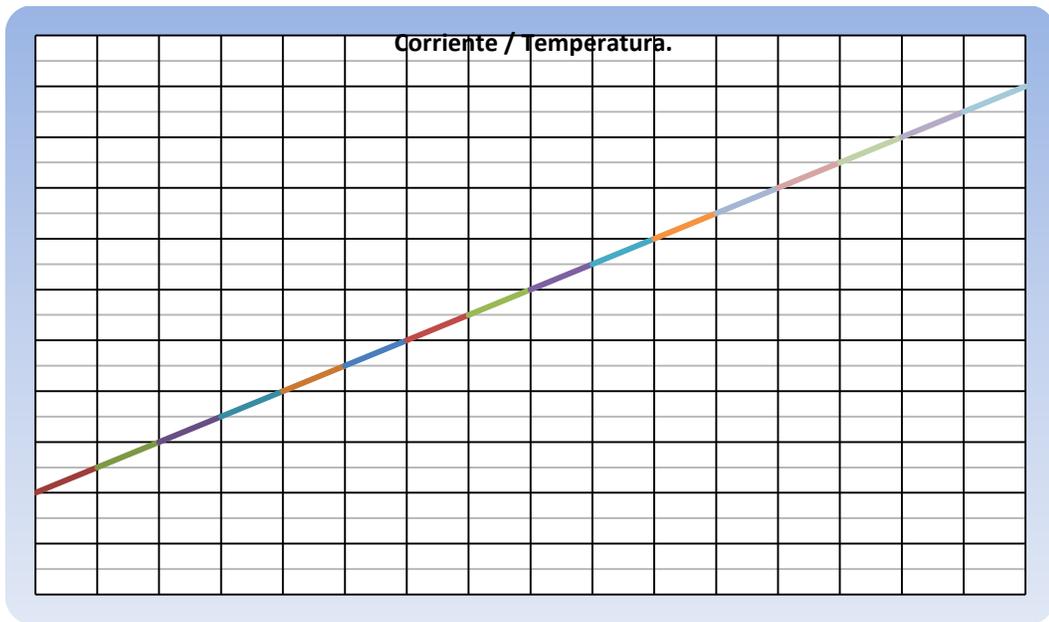


**Figura 3.25.** Utilización del SIMATIC HW Config. Para realizar la configuración del módulo de entrada HART.

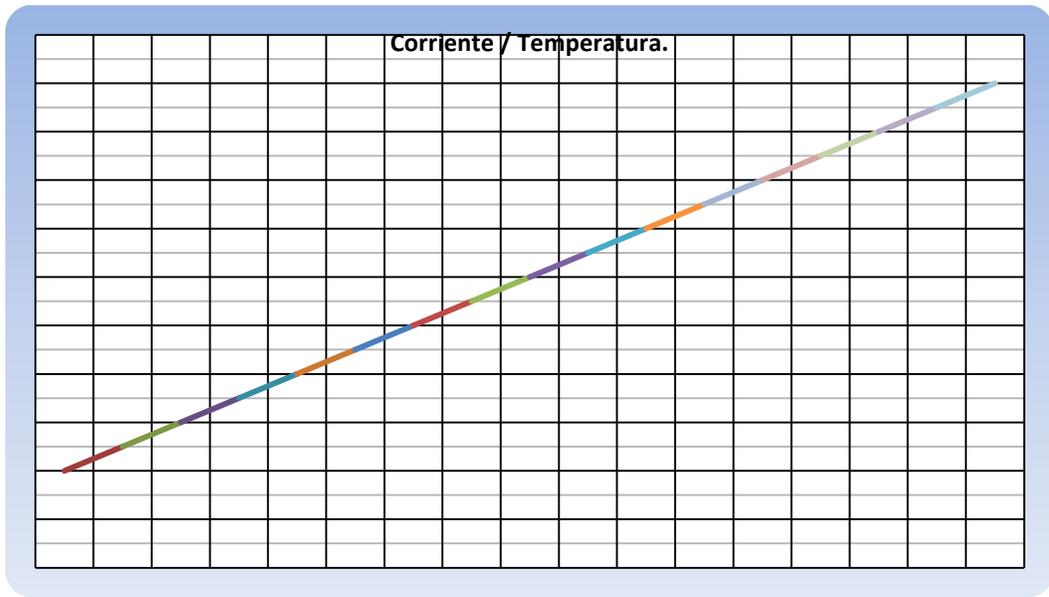
En el Anexo XXXVII se muestra en A la lectura del Flujómetro en RUN TIME (Guardando la información en una localización de memoria), en B Transmisor de Flujo (que es el instrumento de medición) y en C HW Config. Localización de memoria del instrumento (Hardware).

### 3.4.3. Dificultad corregida en los sensores y trasmisores que miden temperatura.

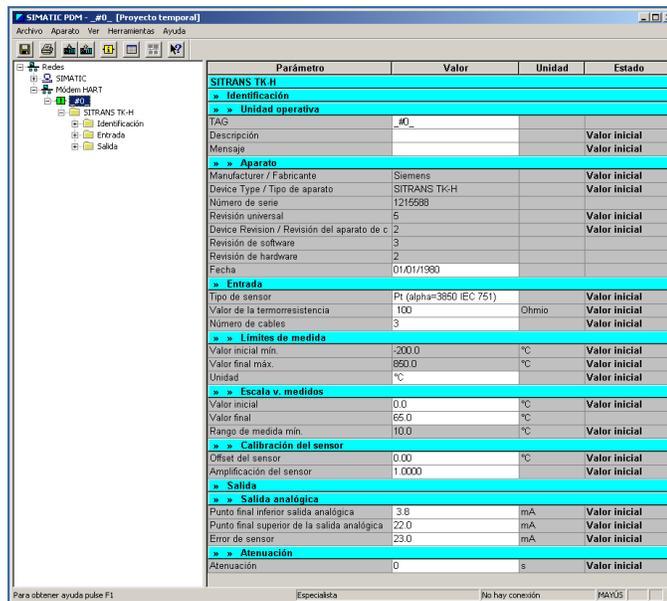
Ningunos de los sensores que miden temperatura pueden ser calibrados ya que la medición indirecta de esta variable depende de propiedades física del metal o la unión de dos metales y las dificultades a corregir no están implícitamente en el sensor. Los problemas detectados y corregidos se encontraron en el diseño de la ingeniería básica inicial y la mala selección de los requerimientos del sistema para las termorresistencias en la parametrización del transmisor, donde los márgenes de trabajo de corriente contra temperatura son muy amplios y con ello aumentan los errores de cuantificación de la señal que se transmite (comparar gráficos 3.1, 3.2 y observar Figura 3.26.)



**Gráfico 3.1.** Transmisor de temperatura TT78 sin parametrizar. Rango de corriente de 4 a 20 mA para un rango de temperatura de 0 hasta 100°C.

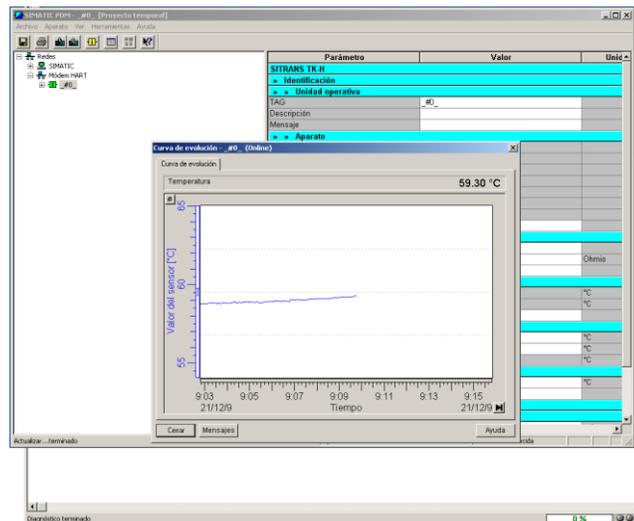


**Gráfico 3.2.** Transmisor de temperatura TT78 parametrizado. Rango de corriente de 4 a 20 mA para un rango de temperatura de 0 hasta 65°C.



**Figura 3.26.** Comunicación HART utilizando el SOFTWARE SIMATIC PDM en la parametrización del Transmisor de Temperatura TT78, correspondiente a una PT-100 ubicada en el Área 1.1 a la salida del intercambiador de calor.

El SOFTWARE SIMATIC PDM permite realizar la lectura de la curva de evolución (variable de proceso / tiempo), siendo una facilidad que brinda para la realización del análisis de un instrumento en régimen dinámico. En la figura 3.27 se muestra la curva de evolución de temperatura contra tiempo del transmisor de temperatura TT78.



**Figura 3.27.** Curva de evolución y el valor de la temperatura en el tiempo, para el Transmisor de Temperatura TT78, correspondiente a una PT-100 ubicada en el Área 1.1 a la salida del intercambiador de calor.

La medición de la temperatura en los tanques se realiza por las sondas de termopares en cada uno de ellos, a tres alturas diferentes. Con la utilización de los software de SIEMENS se pudo detectar que en la gran mayoría de los tanques no están disponibles las tres mediciones por la rotura física de la sonda, y las que se pudieron rescatar, los contactos presentaban corrosión en sus terminales dando rotura de hilo o una medición incoherente, además se pudo observar la incorrecta instalación de los cables de compensación lo cual fue instalada correctamente.

La investigación arrojó que se facturó sondas termorresistivas, sin embargo la utilización del software SIMATIC PDM confirmó que todos los sensores utilizados son sondas de termopares. Ver figura 3.28.

El termopar tipo K como se puede apreciar en la figura 3.28 posee valores mínimos desde (-250°C) hasta valores máximos de (1370°C) de temperatura, los cuales son muy amplios e independientemente que se escoja en la parametrización un rango pequeño, pierde resolución y con ello precisión y exactitud sobre todo si la medición es necesaria para llevar un control de inventario.

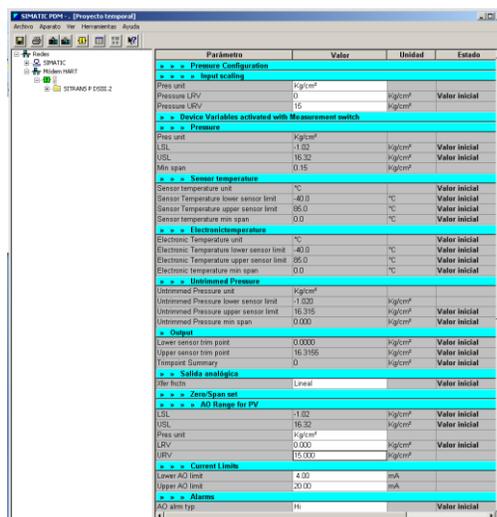
Parámetro	Valor	Unidad	Estado
<b>SITRANS TK-H</b>			
<b>Identificación</b>			
» <b>Unidad operativa</b>			
TAG	#0		
Descripción			Valor inicial
Mensaje			Valor inicial
» <b>Aparato</b>			
Manufacturer / Fabricante	Siemens		Valor inicial
Device Type / Tipo de aparato	SITRANS TK-H		Valor inicial
Número de serie	1214856		
Revisión universal	5		Valor inicial
Revisión de software / Revisión del aparato de c	2		Valor inicial
Revisión de software	3		
Revisión de hardware	2		
Fecha	01/01/1980		
<b>Entrada</b>			
Tipo de sensor	Termopar tipo K		
Compensación unión fría (CJC)	0		
» <b>Límites de medida</b>			
Valor inicial min.	-250.0	°C	
Valor final max.	1370.0	°C	
Unidad	°C		Valor inicial
» <b>Escala v. medidos</b>			
Valor inicial	25.0	°C	
Valor final	90.0	°C	
Rango de medida min.	50.0	°C	
» <b>Calibración del sensor</b>			
Offset del sensor	0.0	°C	Valor inicial
Amplificación del sensor	1.0000		Valor inicial
» <b>Salida</b>			
» <b>Salida analógica</b>			
Punto final inferior salida analógica	3.8	mA	Valor inicial
Punto final superior de la salida analógica	22.0	mA	Valor inicial
Error de sensor	22.0	mA	
» <b>Atenuación</b>			
Atenuación	0	is	Valor inicial

**Figura 3.28.** Comunicación HART utilizando el SOFTWARE SIMATIC PDM para el Transmisor de Temperatura TE300, correspondiente al termopar que mide la temperatura alta del tanque 30.

### 3.4.4. Dificultad corregida a los instrumentos que miden presión.

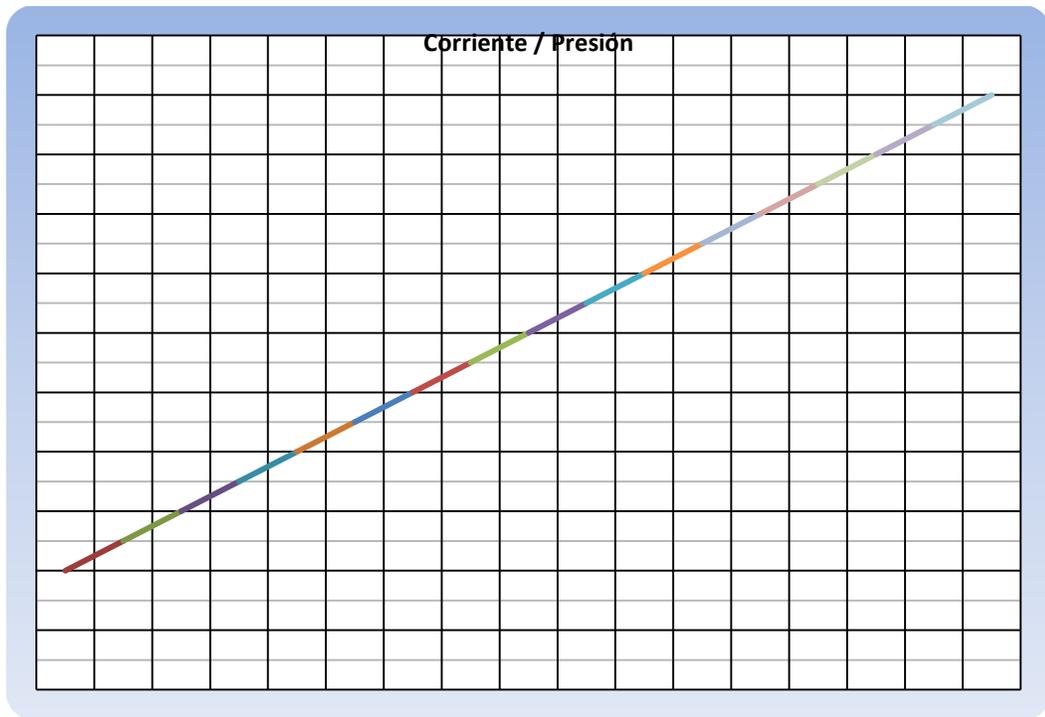
Un hallazgo para estos instrumentos es que utilizaban comunicación 4-20 mA y no la comunicación HART, despreciando la potencialidad del instrumento. Estaban sobredimensionados los rangos en la parametrización en el proceso tecnológico introduciendo errores de cuantificación en la señal transmitida.

La parametrización de todos los transmisores de presión SITRANS P DSII.2 se corrige con el software SIMATIC PDM. Estos instrumentos poseían la misma parametrización que se le confirió en la fábrica y no se había adecuado aún a los parámetros del proceso tecnológico. Explicando la figura 3.29, la cual se corresponde con el instrumento PT-79, el instrumento se instaló inicialmente con un rango de -1,02 hasta 16,32 kg/cm<sup>2</sup>, o sea, desde -1.00028 hasta 16.0045 bar. La ubicación que tiene el instrumento en el proceso tecnológico necesita un *span* de 0 hasta 2.03943 kg/cm<sup>2</sup> máximo, o sea, de (0- 2.5 bar). Este software brinda la posibilidad de cambiar vía HART la presión mínima (LRV=0 kg/cm<sup>2</sup>) y presión máxima (URV=2.03943 kg/cm<sup>2</sup>). Si se compara los gráficos 3.3, 3.4. y 3.5 se logra comprender que se puede disponer de valores con mayor exactitud para ser transmitido hacia el autómeta.

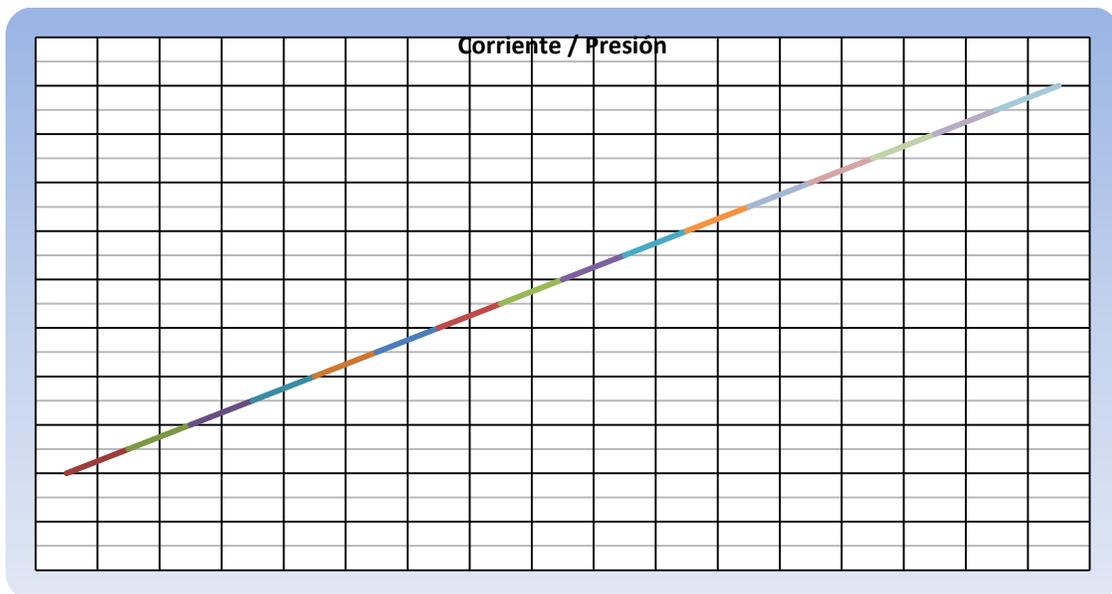


Parámetro	Valor	Unidad	Estado
<b>Pressure Configuration</b>			
<b>Input scaling</b>			
Pres unit		kg/cm <sup>2</sup>	
Pressure LRV	0	kg/cm <sup>2</sup>	Valor inicial
Pressure URV	16	kg/cm <sup>2</sup>	
<b>Device Variables activated with Measurement switch</b>			
<b>Pressure</b>			
Pres unit		kg/cm <sup>2</sup>	
LSL	-1.02	kg/cm <sup>2</sup>	Valor inicial
USL	16.32	kg/cm <sup>2</sup>	Valor inicial
Min span	0.15	kg/cm <sup>2</sup>	
<b>Sensor temperature</b>			
Sensor temperature unit		°C	Valor inicial
Sensor Temperature lower sensor limit	-40.0	°C	Valor inicial
Sensor Temperature upper sensor limit	95.0	°C	Valor inicial
Sensor temperature min span	0.0	°C	Valor inicial
<b>Electronic temperature</b>			
Electronic Temperature unit		°C	Valor inicial
Electronic Temperature lower sensor limit	-40.0	°C	Valor inicial
Electronic Temperature upper sensor limit	95.0	°C	Valor inicial
Electronic temperature min span	0.0	°C	Valor inicial
<b>Untrimmed Pressure</b>			
Untrimmed Pressure unit		kg/cm <sup>2</sup>	
Untrimmed Pressure lower sensor limit	-1.020	kg/cm <sup>2</sup>	
Untrimmed Pressure upper sensor limit	16.315	kg/cm <sup>2</sup>	Valor inicial
Untrimmed Pressure min span	0.000	kg/cm <sup>2</sup>	Valor inicial
<b>Output</b>			
Lower sensor trim point	0.0000	kg/cm <sup>2</sup>	Valor inicial
Upper sensor trim point	16.3155	kg/cm <sup>2</sup>	Valor inicial
Pressure Summary	0	kg/cm <sup>2</sup>	Valor inicial
<b>Salida analógica</b>			
Var. Ponto	Linear		Valor inicial
<b>Zero-Span set</b>			
<b>AD Range for PV</b>			
LSL	-1.02	kg/cm <sup>2</sup>	Valor inicial
USL	16.32	kg/cm <sup>2</sup>	Valor inicial
Pres unit		kg/cm <sup>2</sup>	
LRV	0.000	kg/cm <sup>2</sup>	Valor inicial
URV	15.000	kg/cm <sup>2</sup>	Valor inicial
<b>Current Limits</b>			
Lower AO limit	4.00	mA	
Upper AO limit	20.00	mA	
<b>Alarms</b>			
AO alarm typ	1%		Valor inicial

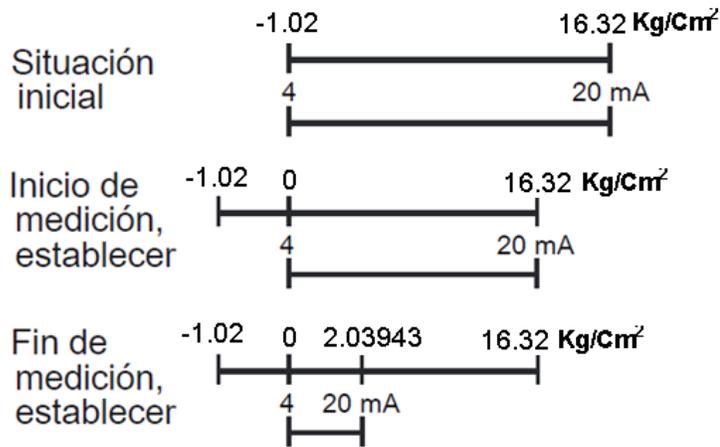
**Figura 3.29.** Comunicación HART utilizando el SOFTWARE SIMATIC PDM. Se muestra el transmisor de presión PT-79 SITRANS P DSII.2 y la parametrización del rango de operación.



**Gráfico 3.3.** Transmisor de presión PT79 para un rango de corriente de 4 a 20 mA y un rango de presión de -1,02 hasta 16,32 Kg/Cm<sup>2</sup>. Parametrización en fábrica.

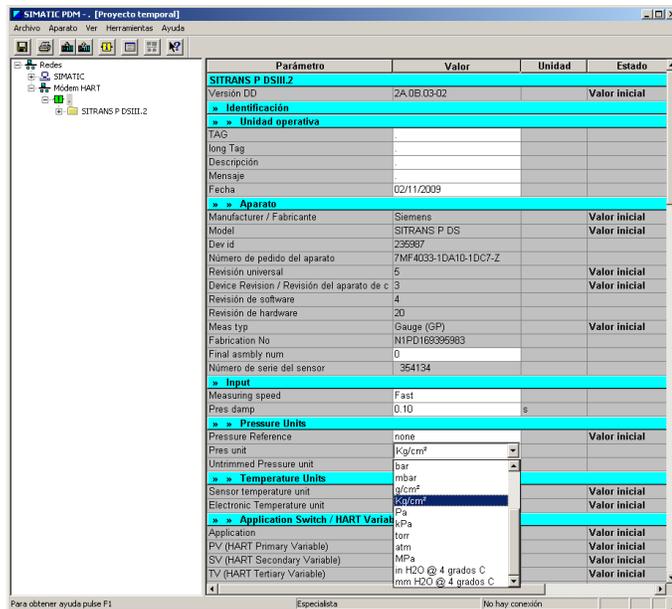


**Gráfico 3.4.** Parametrización del transmisor de presión PT79 para un rango de corriente de 4 a 20 mA y un rango de presión de 0 hasta 2.03943 Kg/Cm<sup>2</sup>.



**Gráfico 3.5.** Establecer inicio y fin del rango de la medición.

En el campo comúnmente se encuentran instrumentos de una variable física con magnitudes de rangos en varias unidades de medida y frecuentemente es necesario informar en una unidad homogénea. En la figura 3.30 se puede observar cómo es posible cambiar la selección de la unidad de medida de estos instrumentos, para tener un sistema que posea una homogeneidad (Kg/Cm<sup>2</sup>) en la medición entre los instrumentos que se encuentran en el campo y el HMI, además de ser una facilidad, evita errores en la conversión humana.



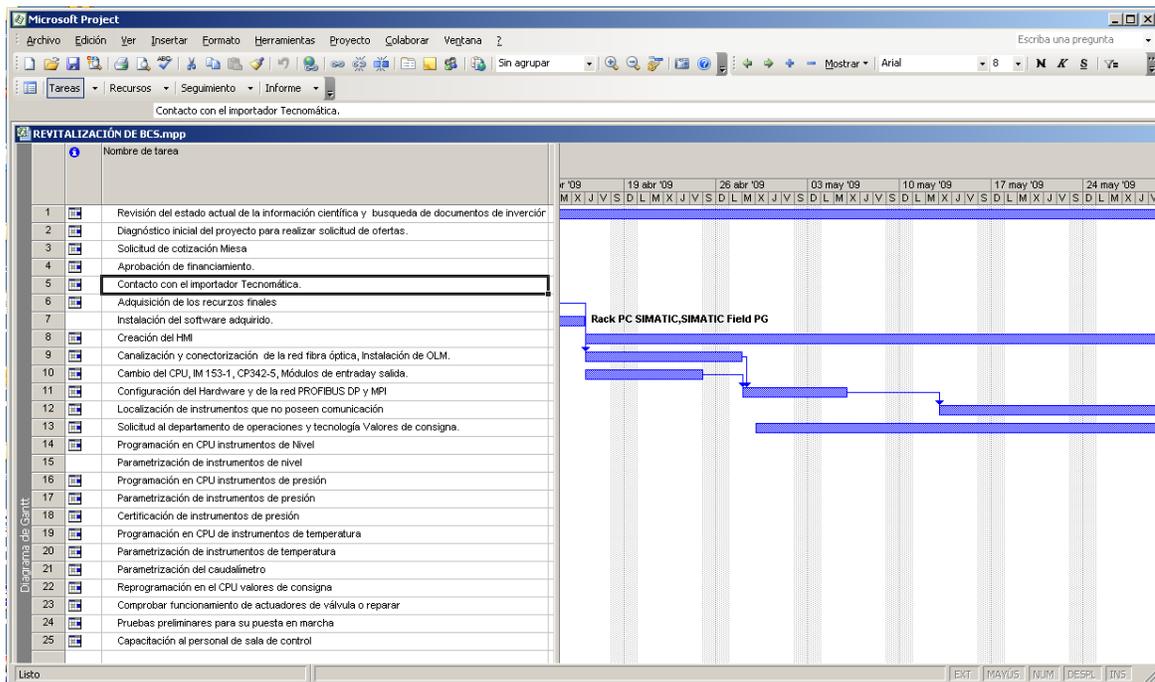
**Figura 3.30.** Comunicación HART utilizando el SOFTWARE SIMATIC PDM. Transmisor de presión PT-79 SITRANS P DSII.2. Parametrización de la unidad de medida.

En el Anexo XXXVIII se muestra en A la lectura del transmisor de presión en RUN TIME (Guardando la información en una localización de memoria), en B Transmisor de Presión (que es el instrumento de medición) y en C HW Config. A, B y C aplicados al instrumento de presión a la salida del flujómetro de Santa Cruz.

### 3.5. Utilización de Microsoft Office Project Professional 2003.

En sus inicios, el financiamiento necesario para adquirir las partes y piezas de la automática fue llevado a efecto por concepto de mantenimiento. No es hasta que se aprueba una inversión que realmente se impulsa la automática de BCS.

Para la gestión de Proyecto, se utilizó el programa Microsoft Project el cual fue necesario modificar de manera continua, pues se reorientaron las metas a seguir a través de las tareas planificadas con tiempo de inicio y culminación (Ver figura 3.31).



**Figura 3.31.** Programa Microsoft Project. Revitalización de BCS.

Con el Diagrama de Gantt se pudo diagnosticar la ruta crítica del Proyecto ver figura 3.32, y esto permite dar seguimiento detallado e ir analizando para ajustar el Proyecto convenientemente y evitar retrasos en su culminación. La planificación acertada de los recursos es importante que se valore a la hora de confeccionar el cronograma de trabajo.

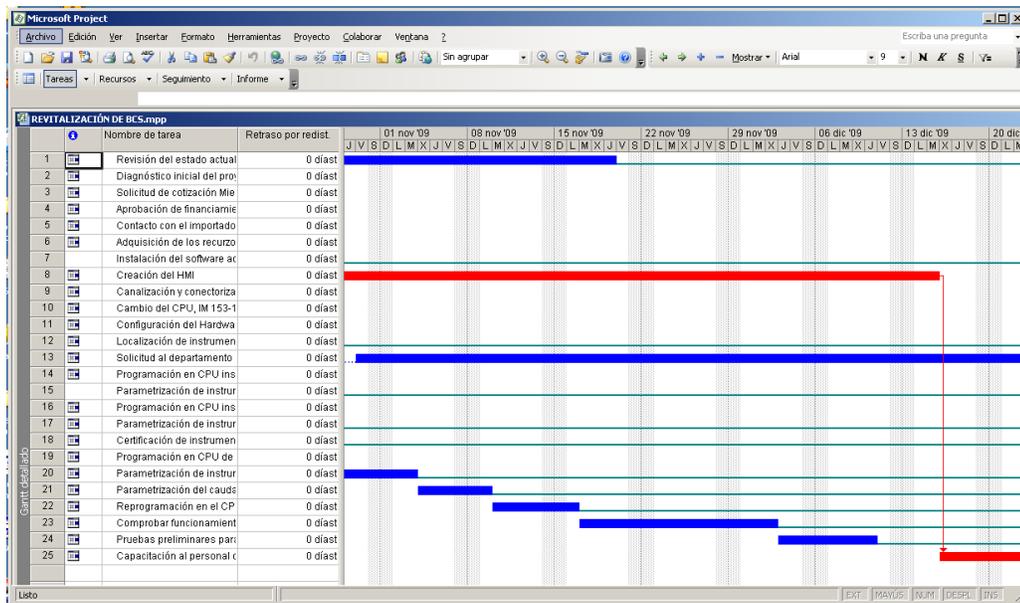


Figura 3.32. Ruta crítica.

### 3.6. Conclusiones parciales del Capítulo III.

En el presente capítulo se muestran las dificultades y las soluciones ejecutadas para revitalizar el SCADA de la BCS. El cambio en el hardware permitió que el SCADA sea en la actualidad un producto terminado diferente, con funcionalidad superior al anterior. La red mixta permite evitar que las perturbaciones eléctricas afecten al sistema. La programación del CPU utilizando el lenguaje de programación AWL permitió corregir los errores en la transmisión de las variables analógicas y la parametrización acertada de los instrumentos y transmisores proporcionó una mayor precisión de su lectura. Los cambios efectuados en los valores de consigna, la parametrización de los instrumentos y transmisores, la configuración del hardware, hacen posible valorar estas modificaciones como experimentos, comprobando de qué forma y en qué dirección se modifica el sistema, lo cual permitió comprobar que los resultados obtenidos, se corresponden con los resultados esperados.

## CONCLUSIONES.

No es típico encontrarse que el propietario de la instalación de un sistema automático no posea la documentación del sistema y que su implementación desde su creación presente grandes dificultades. Para su revitalización se realizó la ingeniería inversa al sistema automático, ya que no se contaba con gran parte de la documentación por lo que hubo necesidad de hacer una búsqueda actualizada de la temática y un análisis profundo del sistema para su estudio y comprensión, de esta manera se fue conformando la idea de su funcionamiento inicial ya que el programa que logró rescatarse era una versión desactualizada.

La etapa de diagnóstico y adquisición de las partes y piezas permitió sustituir el hardware dañado ayudado por software SIMATIC de SIEMENS porque facilita el diagnóstico.

El diseño modular del autómeta programable permitió cambiar el CPU que tenía el sistema ya que su construcción fue descontinuada y no existe en el mercado, poniéndose en práctica su adaptabilidad. Estos cambios importantes en el hardware del PLC conforman un nuevo sistema el cual necesita ser configurado con la ayuda de software que porta la consola de programación (SIMATIC Field PG).

El cambio de la red industrial eléctrica por óptica logra inmunizar (las interfaces de comunicación de la periferia descentralizada) al sistema por estar fuera de servicio el hardware causado por tormentas eléctricas.

El estudio de los valores de consignas y su introducción correcta en la parametrización y calibración de los instrumentos de medición y transmisores, logró disminuir o corregir el amplio margen de error, aplicando el software SIMATIC PDM.

La programación que ejecuta el control automático del sistema se modificó y se reprogramó en el CPU. Los cambios se extendieron al incremento o decremento de instrumentos, modificación de los valores de consigna asociado a la parametrización de cada instrumento, y la corrección de errores de corrimiento de cero y angularidad por software. Esto permitió adquirir la lectura de los valores digitalizados de los sensores e instrumentos de medición para ser introducidos en localizaciones de memorias del PLC diferenciadas para cada instrumento y su utilización en el SCADA.

Con la utilización del software Microsoft Project se pudo velar la ruta crítica del proceso y priorizar las actividades imprescindibles que impedían el avance del Proyecto.

La correcta utilización de los métodos de investigación permitió que los resultados esperados concordaran con la investigación realizada.

Con el estudio de los sistemas de automatización, utilizando técnicas de ingeniería inversa, transmitiendo una señal eléctrica producida por los sensores, transductores e instrumentos de medición hasta el autómata programable, guardando su valor equivalente digital en la localización de memoria correspondiente a esas magnitudes físicas y teniendo presente los nuevos requerimientos actuales modificando el programa de usuario del CPU en el PLC, se contribuyó a lograr la revitalización del sistema automático de la BCS.

## RECOMENDACIONES.

- Instalación del sistema de aterramiento que cumpla con las normas de impedancia establecida por los fabricantes, contenidas en el documento “S7-300 *Programmable Controller Hardware and Installation* EWA 4NEB 710 6084-02 01” concerniente a la protección contra rayos (capítulo 4.2) y las prácticas de alambraje para estos dispositivos. Incorporar al sistema de alimentación y transmisión de datos supresores de transientes que permita eliminar inducciones electromagnéticas, y atenúa los efectos secundarios de las tormentas eléctricas.
- Diseñar el sistema para el HMI. Esta interfaz hombre máquina permitirá al operario de la sala de control un ambiente amigable en la visualización de las diferentes pantallas del supervisorio.
- La adquisición de instrumentos que posean el protocolo de comunicación PROFIBUS PA, debido a que la transmisión de esta señal digital posee una relación señal/ruido alta en contraste con la señal analógica, además el instrumento transmite una señal que no es necesario digitalizar.
- Realizar salvadas del sistema cada vez que se realicen modificaciones a la programación y configuraciones del mismo y mantener actualizados los cambios que permitan su reparación.
- Incrementar las prestaciones del SCADA en la cual se vayan incorporando sistemas e instrumentos que permita centrar en la sala de control las operaciones del proceso tecnológico de la ECCM.
- Cambiar las sondas termopares que miden la temperatura del fluido almacenado en los tanques por sondas termorresistivas las cuales son precisas para el rango de la medición del hidrocarburo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

1. Avallone, Fernando; Fillat Repsol, Fabian. "Comunicaciones Industriales. Implementación de un Sistema de Telesupervisión basado en Buses de Campo". Setting the standard for automation. Conferencia Anual ISA España. 2007.
2. Beas, José; Galán, Laura. "La importancia en la selección de los buses de campo y su correcta implementación en los procesos industriales". A&D/AS. SIEMENS Chile. Consultado en Internet, marzo 2008.
3. Bustillos Ponte, Omar. "Instrumentación industrial". Puerto la Cruz, Universidad de Oriente. Núcleo de Anzoátegui. Consultado en Internet, agosto 2007.
4. Cesáreo García, Rodicio. "Mi experiencia en la Gestión del Proyecto REDP: de MS Project a Internet". <http://www.cesa-reox.com/>. Consultado en Internet, julio 2008.
5. Creus Soles, Antonio. "Instrumentación industrial". Sexta Edición. España. 1997.
6. Endres+Hauser. "Hablar en lenguaje común. Sistemas abiertos gestionan procesos complejos". Revista International News-2007-2.
7. Endress+Hauser. "*E+H<sup>o</sup>C Law of temperature*". DVD. 2009.
8. Garcini Leal, Héctor J. "Autómatas programables (PLC)". Puerto Ordaz, Venezuela. Consultado en Internet, enero 2009.
9. González-Abreu, Gracia, Sonia. "Control de inventario en tanque". Conferencia en Supertanqueros, C. Matanzas. Cuba. 2008.
10. HART Communication Foundation. "*Application guide*". 1999-2005.
11. <http://www.arquitectuba.com.ar/curso-microsoft-project-gratis/>.
12. [http://www.documentation.emersonprocess.com/groups/public\\_public\\_mmisami/documents/instruction\\_manuals/mmi-20011705.pdf?&xBusinessUnit=Micro%20Motion](http://www.documentation.emersonprocess.com/groups/public_public_mmisami/documents/instruction_manuals/mmi-20011705.pdf?&xBusinessUnit=Micro%20Motion).
13. [http://www.documentation.emersonprocess.com/groups/public\\_public\\_mmisami/documents/instruction\\_manuals/mmi-20010163.pdf?&xBusinessUnit=Micro%20Motion](http://www.documentation.emersonprocess.com/groups/public_public_mmisami/documents/instruction_manuals/mmi-20010163.pdf?&xBusinessUnit=Micro%20Motion).

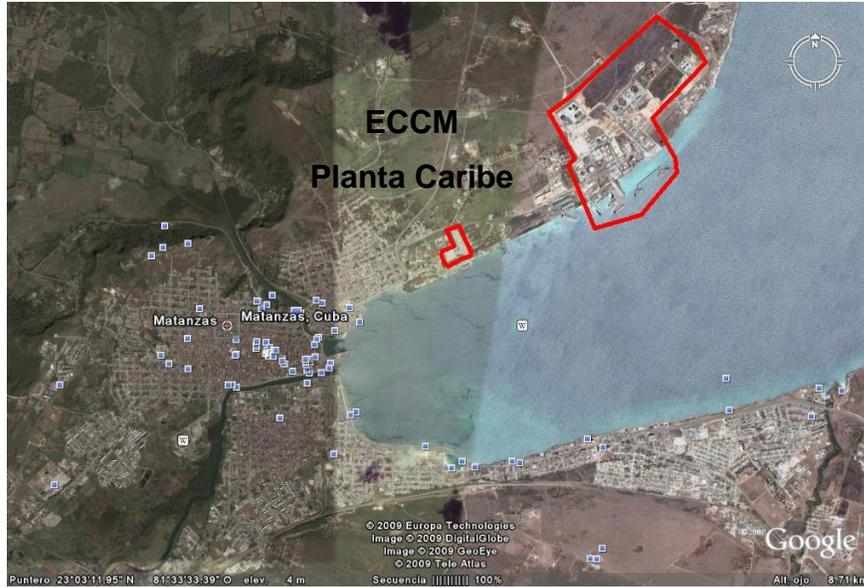
14. [http://www.documentation.emersonprocess.com/groups/public\\_public\\_mmisami/documents/instruction\\_manuals/20001965.pdf?&xBusinessUnit=Micro%20Motion#15](http://www.documentation.emersonprocess.com/groups/public_public_mmisami/documents/instruction_manuals/20001965.pdf?&xBusinessUnit=Micro%20Motion#15).
15. [http://www.documentation.frco.com/groups/public\\_public\\_mmisami/documents/instruction\\_manuals/3600210.pdf?&xBusinessUnit=Micro%20Motion](http://www.documentation.frco.com/groups/public_public_mmisami/documents/instruction_manuals/3600210.pdf?&xBusinessUnit=Micro%20Motion).
16. <http://www.siemens.com/automation/service>.
17. <http://www.siemens.com/simatic-net/ik-info>.
18. Kaschel, Dr. Héctor C.; Pinto, Ing. Ernesto L. "Análisis del estado del arte de los buses de campo aplicados al control de procesos industriales". Fac. de Ingeniería, Depto. de Ingeniería Eléctrica. Universidad de Santiago de Chile. Consultado en Internet, octubre 2008.
19. Katsuhiko, Ogata. "Ingeniería de control moderna". Edición Revolucionaria, segunda reimpresión. 1989.
20. Lage, Jorge A., Pascual Miriam M. "Sistema de control con microprocesadores". Editorial científico técnico. Ciudad de la Habana. 1989.
21. López Fernández, Dr. Joaquín. "PROFIBUS". Universidad de Vigo. URL: <http://www.aisa.uvigo.es/joaquin>. Consultado en Internet, marzo 2009.
22. Marcel, Andino. "Aseguramiento técnico de los sistemas automatizados". Editorial Pueblo y Educación. Ciudad de la Habana. Cuba. 1987.
23. Matas Alcalá, José; Ramos Lara, Rafael R. "Micro controladores MCS-51 y MCS251". Universidad Politécnica de Catalunya. Ediciones UPC 2001. España.
24. Micro Motion. "Installation Manual". September 2005. [http://www.microviewaustralia.com.au/images/20002158\\_A-MANUAL,INSTALL%20CMF%20SENSOR%20ENG.pdf](http://www.microviewaustralia.com.au/images/20002158_A-MANUAL,INSTALL%20CMF%20SENSOR%20ENG.pdf).
25. Micro Motion. "Series 1000 and 2000 Transmitters With MVD™ Technology. Product Data Sheet PS-00400". Rev. C. April 2005. [http://www.documentation.emersonprocess.com/groups/public\\_public\\_mmisami/documents/instruction\\_manuals/1004398.pdf](http://www.documentation.emersonprocess.com/groups/public_public_mmisami/documents/instruction_manuals/1004398.pdf).
26. Micro Motion. "Series 1000 and 2000 Transmitters With MVD™ Technology. Product Data Sheet. PS-00400". Rev. C. April 2005. <http://www.bets-co.com/images/1000%20%26%202000%20Transmitters.pdf>.

27. Micro Motion. “Series 1000 and Series 2000 Transmitters. Configuration and Use Manual”. Rev. B. September 2006.  
[http://www.documentation.emersonprocess.com/groups/public\\_public\\_mmisami/documents/instruction\\_manuals/20001715.pdf](http://www.documentation.emersonprocess.com/groups/public_public_mmisami/documents/instruction_manuals/20001715.pdf).
28. Núñez Gualdrón, Omar L.; Barrero Pérez, Jaime G.; Meneses Florez Jorge E. “Sistemas de comunicación a nivel industrial: Presentación y requerimientos de diseño”. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga. Consultado en Internet, diciembre 2008.
29. Piñón Pazos, Andrés J.; Ferreiro García, Ramón; Pérez Castelo, Francisco “Tecnologías actuales de comunicación de las variables de campo en la industria de proceso”. Universidad de A Coruña. Departamento de Ingeniería Industrial.  
[http://www.cea-ifac.es/actividades/jornadas/XXII/documentos/A\\_03\\_IC.pdf](http://www.cea-ifac.es/actividades/jornadas/XXII/documentos/A_03_IC.pdf). Consultado en Internet, octubre 2008.
30. Primer Congreso del Partido Comunista de Cuba. “Tesis y Resoluciones”. Editorial de ciencias sociales. C. Habana. Cuba. 1978.
31. Rodríguez Montes, Ángel. “Estudio particular del comportamiento del rayo en una zona Keráunica del Principado de Andorra”.  
[http://www.rayos.info/estudio\\_rayo.htm](http://www.rayos.info/estudio_rayo.htm). Consultado en Internet, octubre 2009.
32. SIEMENS MILLTRONICS. “SITRANS LR 400”. Manual del Usuario Julio 2002.  
[www.siemens-milltronics.com](http://www.siemens-milltronics.com).
33. SIEMENS. “Configurar el hardware y la comunicación con STEP 7 V5.1”. A5E00069883-03.
34. SIEMENS. “Diagrama de funciones (FUP) para S7-300 y S7-400”. A5E00068873-02.
35. SIEMENS. “Esquema de contactos (KOP) par S7-300 y S7-400”. A5E00068867-02.
36. SIEMENS. “Instrumentación de campo para la automatización de procesos”. Catálogo FI 01. 2007.
37. SIEMENS. “Instrumentos de medición”. Catalogo de Siemens IK PI. 2005.
38. SIEMENS. “Lista de instrucciones (AWL) para S7-300 y S7-400”. Manual de referencia A5E00068878-02.

39. SIEMENS. "Manual de formación para soluciones generales en automatización *Totally Integrated Automation (T I A)*. MÓDULO A3, Startup' Introducción a la programación de PLC con STEP 7". Edición: 05/2001.
40. SIEMENS. "Producto y sistemas industriales". CDROOM Catalogo general SIEMENS. Ediciones 2001.
41. SIEMENS. "PROFIBUS según IEC 61158/EN 50170". Siemens IK PI. 2005.
42. SIEMENS. "Programar con STEP 7 V5.1". A5E00069876-03.
43. SIEMENS. "*SIMATIC Field PG*". Manual A5E00091328-05 SIEMENS.
44. SIEMENS. "SITRANS P, Serie DS III 7MF4\*33 Instrucciones de servicio". Edición 10/2003.
45. SIEMENS. "Software de sistema para S7-300 y S7-400 Funciones estándar y funciones de sistema". A5E00069894-04.
46. SIEMENS. "Transmisor de presión SITRANS P, serie DS III con comunicación HART. Instrucciones de servicio." Edición 12/2007.
47. SIEMENS. Catálogo. IK 10, 1997.
48. Smith, Carlos A.; Corripio, Armando B. "Control automático de proceso. Teoría y práctica". *Louisiana State University*. Editorial Limusa, S.A. 1991.
49. Universidad de Oviedo. "Redes locales en entornos industriales. Buses de campo". Ingeniería de sistemas y automática. Consultado en Internet, septiembre 2009.

**ANEXOS.**

**ANEXO I: A. Situación geográfica de la ECCM. B. Patio de tanques de la BCS.**



**A. Situación geográfica de la ECCM.**

**B.**



**C. Patio de tanques de la BCS.**

**ANEXO II: Necesidad de adquisición de piezas de repuesto adicionales para el Sistema Automático de Base en Tierra.**

18/10/2005

Necesidad de adquisición de piezas de repuesto adicionales para el Sistema Automático de Base en Tierra

---

El viernes se realizó una inspección al estado de los equipos de automática por los compañeros del CEDAI en conjunto con la Empet, detectándose que una descarga atmosférica posterior a su última visita ha producido nuevos daños al equipamiento que hacen necesaria la reposición de los siguientes componentes como mínimo para poder arrancar el sistema:

1. S7 CPU 315-2DP (6ES7341-1AH01-0AE0)
2. CP 341 (6ES7315-2AG10-0AB0)

Estos componentes son los imprescindibles para el arranque y puesta en marcha, en unión a las tarjetas ET 200 que están en proceso de adquisición, lo que no resta la posibilidad que una vez arrancado el sistema surjan nuevas deficiencias que hagan necesaria la adquisición de componentes adicionales, ya que al parecer la mencionada descarga eléctrica fue especialmente destructiva.

Una vez que este equipamiento esté en nuestro poder se arrancará el sistema y se podrá llegar a un diagnóstico efectivo del alcance de los daños ocasionados.

Por estas razones la adquisición de estas tarjetas no está contemplada en el plan 2005 de la EMPet división Matanzas

---

Eddy Febles  
Esp. Automática  
EMPet div. Matanzas

---

Carlos Riveiro  
Jefe BT ECC Matanzas  
(CLIENTE)

**ANEXO III:** Dificultades para asumir el mantenimiento del Sistema Automático de la Base de Crudo y Suministro imputables al Suministrador (CONYCAL SA).

Documento digital del archivo del departamento de automática.

~~Dificultades para asumir el mantenimiento del Sistema Automático de la Base de Crudo y Suministro imputables al Suministrador (CONYCAL SA).~~

**Para:** Roberto Morales.

**CC:** Artemio Ávalos, Leonor Silva.

**De:** Eddy Febles.

**Fecha:** 29/09/2005

Teniendo en cuenta que se acerca el plazo de vencimiento de la garantía pactada en el contrato con Conycal SA, debemos recordar los problemas fundamentales que son responsabilidad directa de dicha entidad, que se caracterizó en su participación en la inversión por continuos incumplimientos y demoras, cuestión que tampoco ha mejorado a la hora de solucionar los problemas que se han presentado en el período de garantía, lo que nos hace suponer que solo puede empeorar esta situación una vez que se haya vencido dicha garantía y ya no tengan obligación legal de ningún tipo con el cliente.

El primer y fundamental problema es que no se ha entregado la documentación final del cableado y distribución de las señales en cada uno de los paneles que conforman el sistema automático, lo que nos deja prácticamente en el papel de "adivinos" ante cualquier dificultad a resolver, con la consiguiente merma en la eficiencia del mantenimiento.

Las otras dificultades (que están en fase de reclamación) son las siguientes:

- Sonda de temperatura del tanque 37 (defectuosa de fábrica)
- Sonda de temperatura del tanque 28 (idem)
- Sonda de temperatura del tanque 27 (nivel bajo)

Además quedan otra serie de problemas de la inversión que por ser de conocimiento de todas las partes interesadas no repetiremos aquí, pero que también afectan en gran medida el buen desempeño del servicio de mantenimiento a la instalación y por supuesto el funcionamiento de la misma.

**ANEXO IV:** Oferta comercial de firma Miesa para la adquisición de parte del equipamiento y software con sus licencias para operar el sistema automático.  
Documento digital del archivo del departamento de automática.

		FECHA: Juni/2/2008 REVISION: 6			
	Attn: <b>Carlos Molina Hernández</b> email: <b>carlos@divmtzas.empet.cupet.cu</b> Empresa: <b>EMPET</b>				
	De: <b>Armando Vera González</b> <b>OFERTA: 08OF0020-6</b>				
Po sc.	Mod. Solicitado	Mod. Ofertado	Cant.	Precio unitario a ofertar Euros	Precio total a ofertar Euros
1		<b>SOFTWARE SISTEMAS SCADA.</b> - 2 ESTACIONES DE OPERACION CLIENTES - 1 ESTACION COMPLETA SERVER CS (RT + DESARROLLO).			

1.2		Software de sistema WinCCV6.2+SP2, RC 1024 (1024 power tags), run time & configuración, en DVD, licencia flotante, 5 idiomas (al., in., fr., esp., it.), ejecutable. bajo win2000/xp <b>6AV6381-1BP06-2AX0</b>	1	<b>6,390.79</b>	<b>6,390.79</b>
1.3		1 WinCC/server V6.2+SP2, opción para SIMATIC WinCCV6.2+SP2, licencia individual <b>6AV6371-1CA06-2AX0</b>	1	<b>2,698.84</b>	<b>2,698.84</b>
1.4		Software de sistema WinCCV6.2+SP2, RT 128 (128 power tags), run time, en DVD, licencia individual, 5 idiomas (al., in., fr., esp., it.), ejecutable. bajo win2000/xp <b>6AV6381-1BC06-2AX0</b>	2	<b>1,944.83</b>	<b>3,889.66</b>

		<b>TOTAL Partida. (Euros)</b>			<b>12,979.29</b>
<b>2</b>		<b>COMPONENTES DE RED ETHERNET MONOMODO PARA PUESTOS SCADA</b>			
<b>2.1</b>		SIMATIC NET, SCALANCE X204-2, SWITCH IE gestionado, 4 x puertos 10/100Mbit/s RJ45, 2 x 100Mbit/s multimodo BFOC, diagnóstico por LED, contacto de señalización de fallo con pulsador, alimentación redundante, PROFINET IO-DEVICE, gestión de red, gestor de redundancia integrado, incluye manualectrónico en CD, C-PLUG opcional <b>6GK5204-2BB10-2AA3</b>	<b>2</b>	<b>915.48</b>	<b>1,830.96</b>
<b>2.2</b>	<b>Revisión</b> <b>6</b> Solicitado 6 unidades, suministro mínimo, paquete de 20 unidades	SIMATIC NET conectores BFOC(20unidades) para cable de fibra óptica, cable estándar y	<b>1</b>	<b>218.49</b>	<b>218.49</b>

		cable arrastrable, nota: el montaje requiere herramientas especiales y personal cualificado <b>6GK1901-0DA20-0AA0</b>			
		<b>TOTAL Partida. (Euros)</b>			<b>2,049.45</b>
<b>3</b>		<b>HARDWARE DE PUESTOS SCADA Estación Server con CP5613. Red ethernet entre Server y OS 1 y 2.</b>			
<b>3.1</b>		SIMATIC RACK PC 547B, INTERFACES: 1X GBIT LAN (RJ45); 1X SERIAL (COM1); 1X PARALLEL (LPT); 4X USB 2X USB FRONT SIDE 2XPS/2; AUDIO; 7 SLOTS (4X PCI LONG, 1X PCIE X 16, 2X PCIE X 1); DRIVE BAYS: 6 (3X5,25", 1X3,5" FRONT-ACCESS; 2X3,5" INTERNAL); TEMPERATURE AND FAN CONTROL	<b>3</b>	<b>3,508.08</b>	<b>10,524.24</b>

		<p>WATCHDOG; BOARD RETAINER; CORE 2 DUO E6600 (2,4 GHZ, 1066 MHZ FSB, 4 MB L2 CACHE, EM64-T;VT) 250 GBYTE HDD SATA; INTERNAL 4.0 GBYTE DDR2 SDRAM (4X 1.0 GB), DUAL CHANNEL DVD-ROM; WITHOUT FDD; SERIAL INTERFACE (COM2) + PCIE X16 GRAPHICS CARD, DH (2XDVI OR 2X VGA) WINDOWS XP PROF. MULTI-LANG. (EN, DE, FR, IT, SP), SP2 WITHOUT SOFTWARE; 110/230V INDUSTR. POWER SUPPLY; POWER SUPPLY CORD EUROPE; <b>6AG4104-0DA41-2BX0</b></p>			
3.2	<p><b>Revisión</b> <b>6</b> Solicitado 2 unidades</p>	<p>SIMATIC NET,CP 5613A2, tarjeta PCI (32 bits; 3,3/5V; 33/66 MHz) para conexión a PROFIBUS,</p>	3	827.10	2,481.30

		incluido SW DP BASE con NCM PC: interfase DP-RAM para maestro DP, incluye protocolo PG y FDL, licencia simple para una instalación SW RT, SW + manuales electrónico en CD, clase A, 2 idiomas (AL, IN), para 32 bit WINDOWS 2000 PRO/SV, XP PRO <b>6GK1561-3AA01</b>			
		<b>TOTAL Partida. Euros)</b>			<b>13,005.54</b>
<b>4</b>		<b>PLC S7 315-2DP</b>			
<b>4.6</b>	<b>Solicitado CP 343-5 (6GK7343-5FA01-0XE0) ofertado en Rev.3 Pos.16</b> Es para comunicarse en Profibus FMS y se usa para comunicación de datos de sistemas de automatización de distintos fabricantes.	SIMATIC NET, Procesador de comunicación CP 342-5 para la conexión eléctrica de SIMATIC S7-300 a PROFIBUS hasta 12 MBAUD <b>6GK7342-5DA02-0XE0</b>	<b>2</b>	<b>802.93</b>	<b>1,605.86</b>
<b>4.7</b>		SIMATIC S7-300, procesador de comunicación CP341, con interfase RS232C (V.24) incluido software de configuración en CD	<b>1</b>	<b>904.38</b>	<b>904.38</b>

		<b>6ES7341-1AH01-0AE0</b>			
<b>4.8</b>		SIMATIC S7, adaptador PC USB para conectar a S7-300/-400, C7; con cable USB (5m) ejecutable bajo: Windows 2000/ XP <b>6ES7972-0CB20-0XA0</b>	<b>1</b>	<b>333.68</b>	<b>333.68</b>
		<b>TOTAL Partida. (Euros)</b>			<b>2,843.92</b>
<b>5</b>		<b>PERIFERIA ET200M</b>			
<b>5.1</b>		SIMATIC ET 200, IM 153-1 Esclavo para conectar una ET200M a PROFIBUS <b>6ES7153-1AA03-0XB0</b>	<b>10</b>	<b>284.23</b>	<b>2,842.30</b>
<b>5.2</b>		SIMATIC ET 200, interfase ET 200M IM 153-2 HIGH FEATURE para un máximo de 12 módulos S7-300, apto para configuraciones redundantes, etiquetado de fecha y hora, apto para modo isócrono; nuevas características: para un máximo de 12 módulos	<b>5</b>	<b>494.13</b>	<b>2,470.65</b>

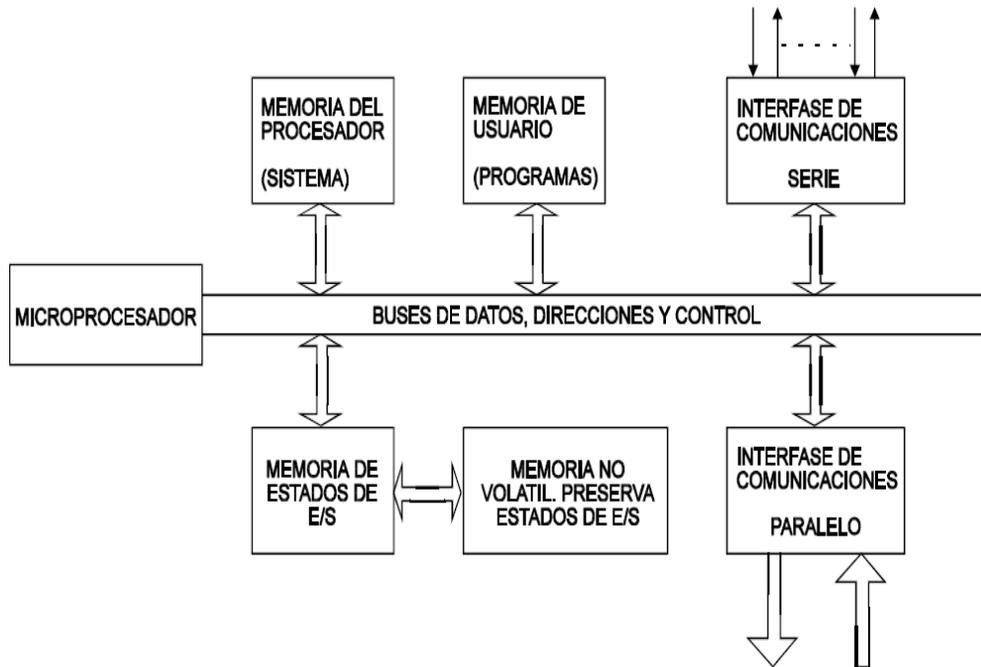
		por estación, iniciativa de esclavo para SWITCH ES y DRIVE ES, capacidad ampliada para variables secundarias en operación HART, posibilidad de uso de módulos a 64 canales, estampación horaria para hasta 32 señales por slot <b>6ES7153-2BA02-0XB0</b>			
<b>5.3</b>	<b>Solicitado 6GK1500-0EA02 ofertado en Rev.1 Pos.8</b> El 6GK1500 tiene salida a 180° y por su construcción, es el que se suele utilizar en las pantallas y al contrario este conector de 180° es incómodo de utilizar en un autómatas. <b>EI 6ES7972</b> tiene salida de cable a 90° y es el típico para autómatas.	SIMATIC ET 200, conector para PROFIBUS hasta 12 Mbit/s, salida de cable a 90 grados, técnica de borna de conexión FAST CONECT, sin conector de PG <b>6ES7972-0BA50-0XA0</b>	<b>2</b>	<b>40.65</b>	<b>81.30</b>
<b>5.4</b>		SIMATIC S7-300, tarjeta de entradas analógicas SM 331, con separación galvánica 8 AI; +/-	<b>5</b>	<b>634.04</b>	<b>3,170.20</b>

		5/10V, 1-5 V, +/-20mA, 0/4 a 20mA, 16 bit(55 ms). Común individual (50 V com.). 40 polos <b>6ES7331-7NF00-0AB0</b>			
<b>5.5</b>		SIMATIC DP, tarjeta de entradas analógicas HART SM 331, 8EA, 0/4 - 20mA Hart, para ET200M con interfase IM 153-2, 20 polos <b>6ES7331-7TF00-0AB0</b>	<b>5</b>	<b>909.29</b>	<b>4,546.45</b>
		<b>TOTAL Partida. Euros)</b>			<b>13,110.90</b>
<b>7</b>		<b>SISTEMA PDM PARA INSTRUMENTACION HART</b>			
<b>7.1</b>		Módem universal para comunicación y configuración desde PC, puerto USB, de cualquier equipo de cualquier fabricante con protocolo Hart. <b>7MF4997-1DB</b>	<b>2</b>	<b>380.84</b>	<b>761.68</b>
<b>7.2</b>		SIMATIC PDM V6.0 BASICO, software para 4 Tag, licencia flotante para 1 usuario, software y documentación en CD,	<b>1</b>	<b>410.13</b>	<b>410.13</b>

		licencia en disquete, idioma castellano, ejecutable bajo Win2000Prof/ WinXP Prof. <b>6ES7658-3AX06-0YA5</b>			
<b>7.3</b>		SIMATIC PDM V6.0, ampliación de 4 a 1024 Tag, necesario disponer de PDM BASICO V6.0, licencia flotante para 1 usuario, sin software ni documentación, licencia en disquete, idioma castellano, ejecutable bajo Win2000Prof/ WinXP Prof. <b>6ES7658-3XC06-2YB5</b>	<b>1</b>	<b>3,947.50</b>	<b>3,947.50</b>
		<b>TOTAL Partida. (Euros)</b>			<b>5,119.31</b>
<b>8</b>		<b>PROGRAMADORA FIELD PG</b>			
<b>8.1</b>		SIMATIC FIELD PG M2 PREMIUM 2,2 GHZ CORE 2 DUO (T7500), DL MULTISTANDARD DVD RW, 15" SXGA+ DISPLAY (1400 X 1050) 160GB S-ATA	<b>2</b>	<b>5,527.50</b>	<b>11,055.00</b>

		HDD, 1X2GB DDR2 RAM POWER CABLE FOR: GER, FR,NL,SP,BEL,AT,SW D,FIN; WLAN APPROVAL F. EUROPE MODEM APPROVAL FOR EUROPE; WINDOWS XPPROF ENGLISH MUI WITH GE/FR/SP/IT ON HDD AS IMAGE; LICENSE STEP7 PROF, STEP5, STEP7 MICROWIN AND WINCC FLEXIBLE SOFTWARE 01/2008 <b>6ES7713-1BB10-0AD1</b>			
		<b>TOTAL Partida. (Euros)</b>			<b>11,055.00</b>
	<b>TOTAL EXWORK MIESA BILBAO EN EUROS</b>				<b>60,163.41</b>
	<b>Forma de Pago:</b> A definir <b>Exclusiones:</b> Lo no escrito expresamente en la presente oferta. <b>Tiempo de Entrega:</b> 6/8 semanas posteriores a la firma del Contrato. <b>Validez de la Oferta:</b> para pedido confirmado antes del 30/Junio/2008				

**ANEXO V.** Esquema en bloques de la CPU de un Automáta basado en microprocesador.



**ANEXO VI.** A. Módulo del automáta programable de SIEMENS serie 300. B. CPU 315-2 DP 6ES7315-2AG10-0AB0 V2.6



A. Módulo del automáta programable de SIEMENS serie 300.

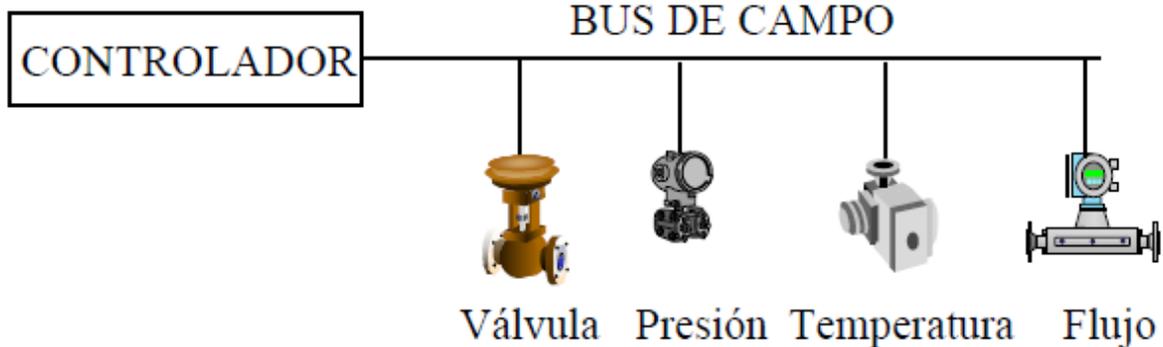


B. CPU 315-2 DP 6ES7315-2AG10-0AB0V2.6

## ANEXO VII. Comparación de características entre algunos buses y protocolos.

Nombre	Topología	Soporte	Más dispositivos	Tasa de transm. Bps	Distancia max km	Comunicación
Profibus DP	línea, estrella y anillo	par trenzado fibra óptica	127/segm	Hasta 1.5M y 12M	0.1 segm 24 fibra	Master/Slave peer to peer
Profibus PA	línea, estrella y anillo	par trenzado fibra óptica	14400 /segm	31.5K	0.1 segm 24 fibra	Master/Slave peer to peer
Profibus FMS		par trenzado fibra óptica	127/segm	500K		Master/Slave peer to peer
Foundation Fieldbus HSE	estrella	par trenzado fibra óptica	240 p/segm 32.768 sist	100M	0.1 par 2 fibra	Single/multi master
Foundation Fieldbus H1	estrella o bus	par trenzado fibra óptica	240 p/segm 32.768 sist	31.25K	1.9 cable	Single/multi master
LonWorks	bus, anillo, lazo, estrella	par trenzado fibra óptica coaxial, radio	32768 /dom	500K	2	Master/Slave peer to peer
Interbus-S	segmentado	par trenzado fibra óptica	256 nodos	500K	400/segm 12.8 total	Master/Slave
DeviceNet	tronca/puntual c/bifurcación	par trenzado fibra óptica	2048 nodos	500K	0.5 6 c/repetid	Master/Slave, multi-master, peer to peer
AS-I	bus, anillo, arbol, estrella	par trenzado	31 p/red	167K	0.1, 0.3 c/rep	Master/Slave
Modbus RTU	línea, estrella, arbol, red con segmentos	par trenzado coaxial radio	250 p/segm	1.2 a 115.2K	0.35	Master/Slave
Ethernet Industrial	bus, estrella, malla-cadena	coaxial par trenzado fibra óptica	400 p/segm	10, 100M	0.1 100 mono c/switch	Master/Slave peer to peer
HART		par trenzado	15 p/segm	1.2K		Master/Slave

### ANEXO VIII. Bus de campo.



### ANEXO IX. Comandos usados por el protocolo de comunicación HART.

#### COMANDOS EN HART

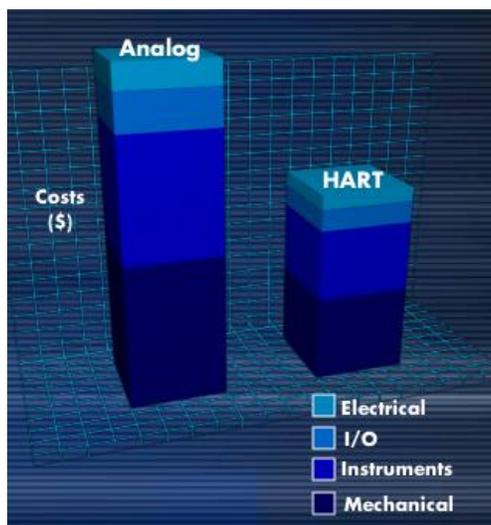
La comunicación HART está basada en comandos. Hay tres tipos de comandos que van a proporcionar acceso de lectura-escritura a la información disponible en los instrumentos de campo compatibles con HART. Los comandos pueden ser Comandos Universales (*Universal Commands*), Comandos de Práctica Común (*Common Practice Commands*) y Comandos Específicos del Dispositivo (*Device Specific Commands*).

Los Comandos Universales aseguran la interoperabilidad entre los productos de distintos fabricantes, y proporcionan el acceso a la información útil en la operación habitual en planta. Todos los esclavos compatibles HART deben responder a todos los Comandos Universales.

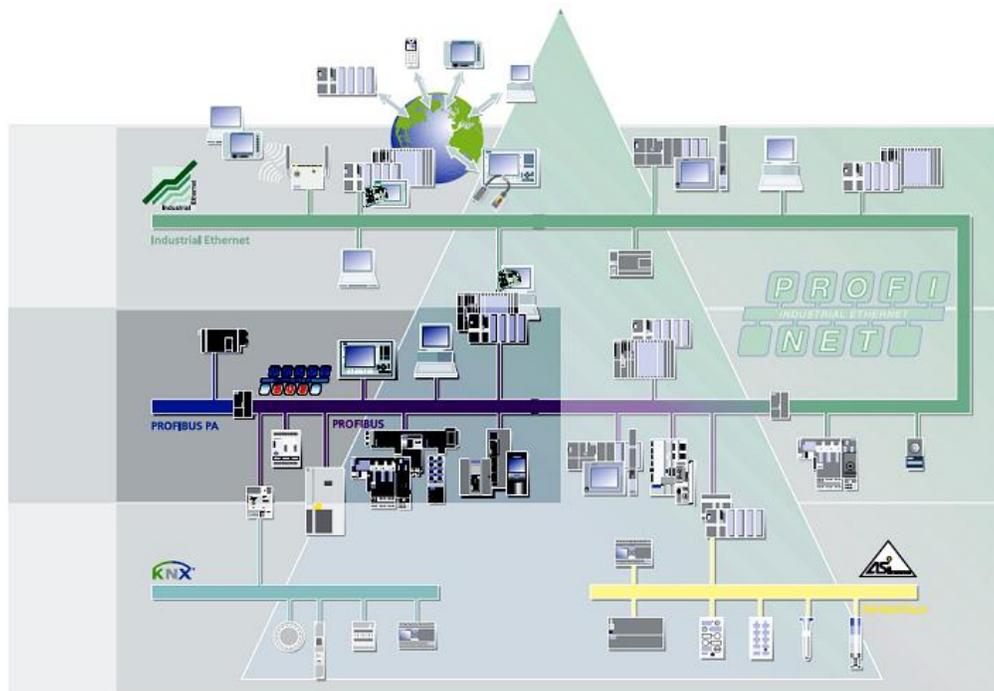
Los Comandos de Práctica Común proporcionan acceso a funciones que son implementadas en muchos dispositivos, pero no en todos. Son opcionales, pero si se implementan, debe ser como se especifica.

Los Comandos Específicos del Dispositivo ofrecen la libertad para que cada aparato particular tenga parámetros o funciones exclusivos.

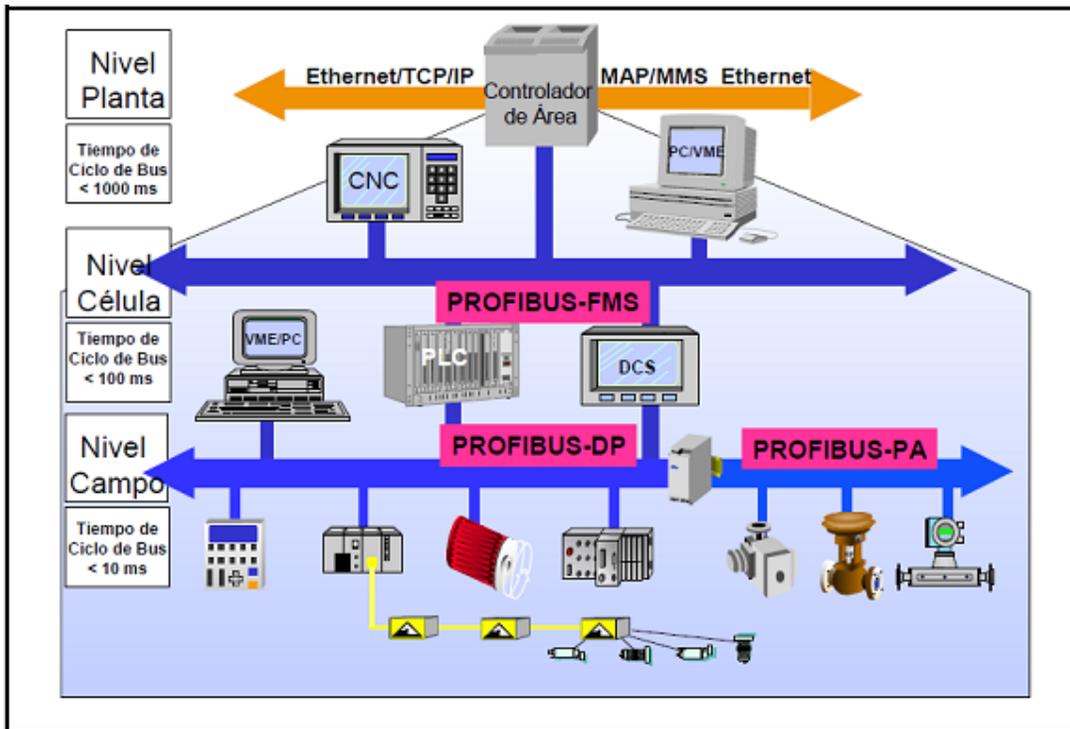
**ANEXO X.** Comparación del costo entre la implementación del bus HART y el método analógico.



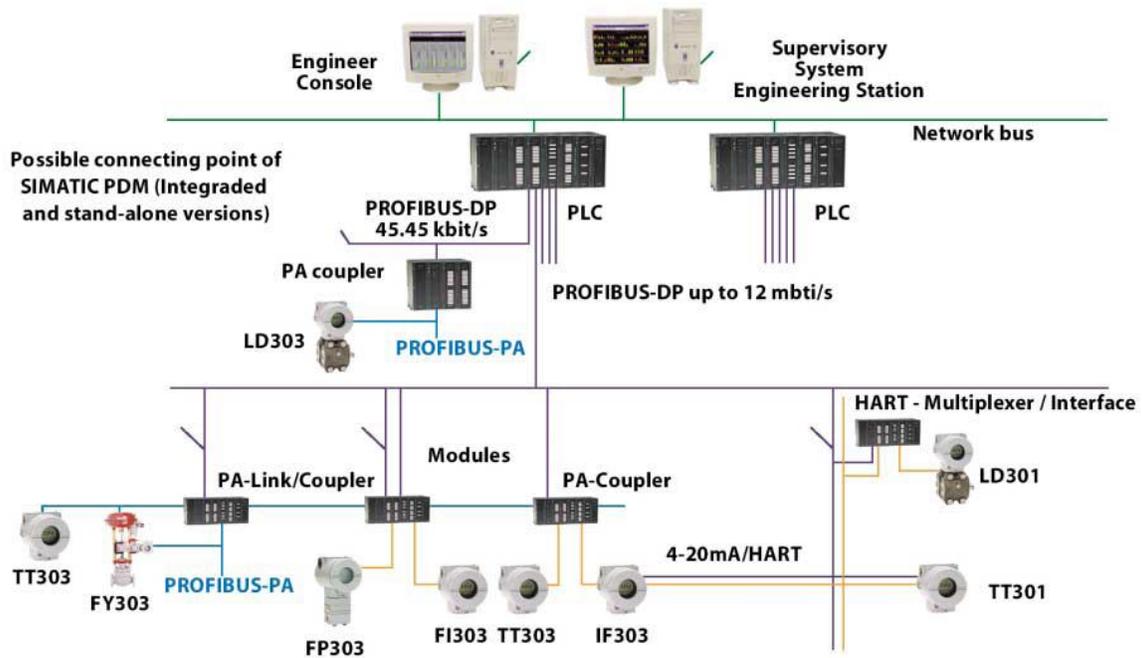
**ANEXO XI.** PROFIBUS dentro de la pirámide de automatización.



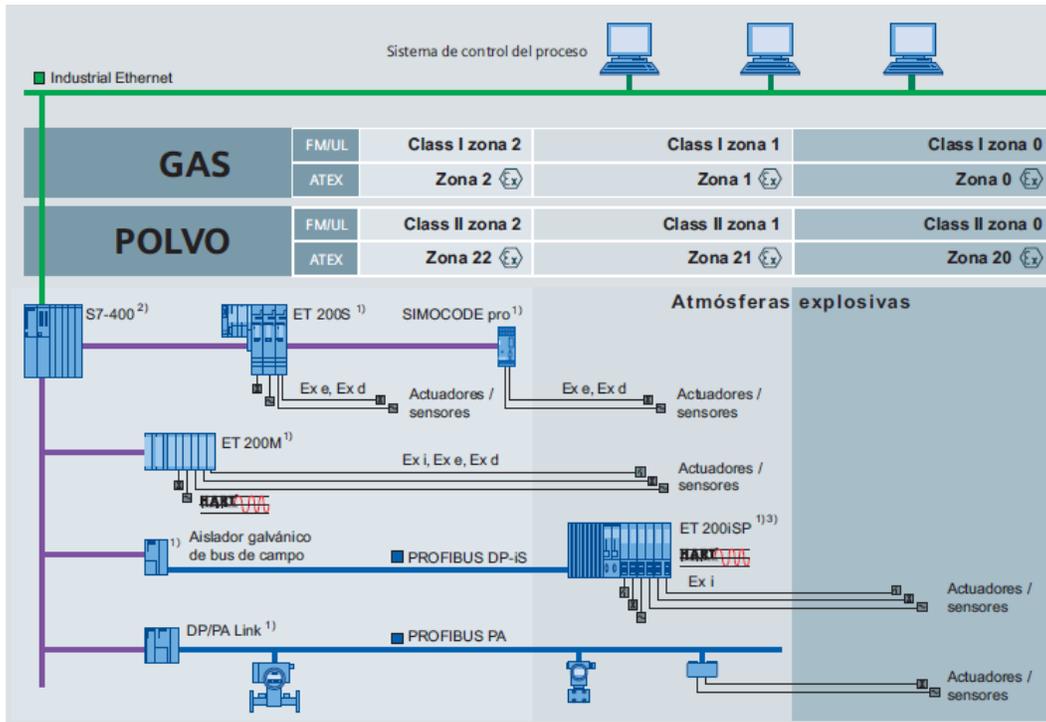
## ANEXO XII. Utilización de PROFIBUS.



## ANEXO XIII. Ejemplificación de una red PROFIBUS DP y PA.



## ANEXO XIV. PROFIBUS en zonas intrínsecamente seguras.

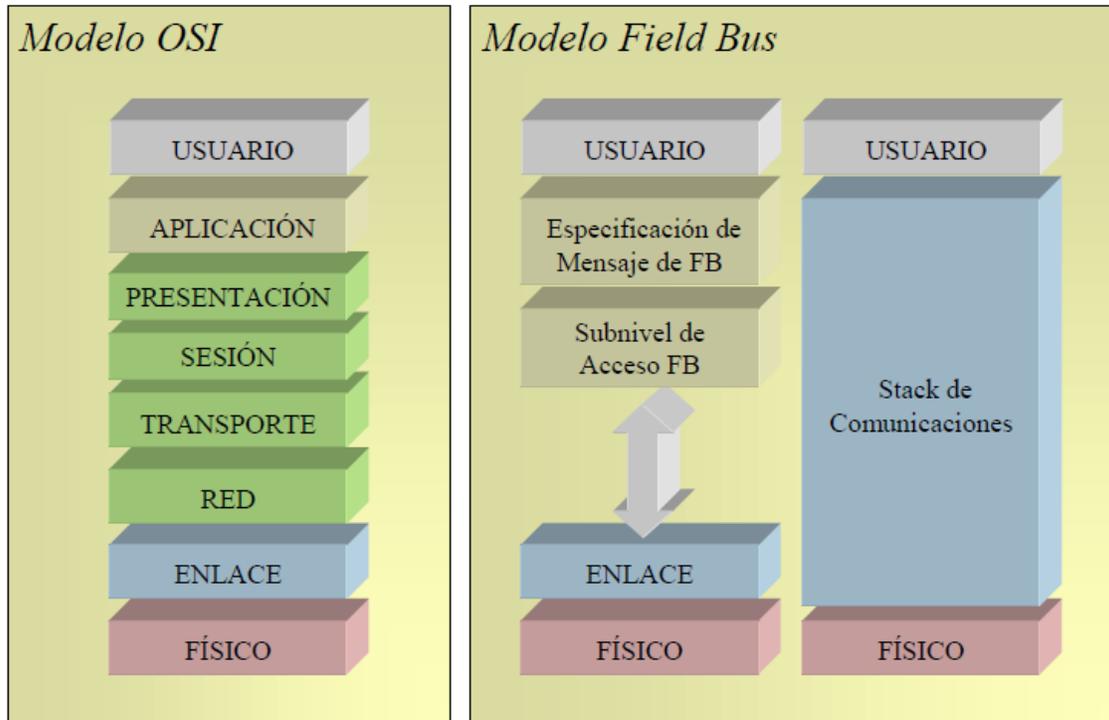


Visión general de PROFIBUS en atmósferas explosivas de gas y polvo

- 1) Atmósfera de polvo: instalación de los componentes siempre en una carcasa del grado de protección IP6x
- 2) Con suministro de corriente estándar 10 A DC
- 3) Cumple también las normas FM/UL según Class I Division 2

Comparativa entre Zonas y Classes/Divisions		
Normas	NEC 505	NEC 500
<b>Atmósfera</b>		
Gases, vapores	Zona 0	Class I, Division 1
	Zona 1	
	Zona 2	Class I, Division 2
Polvos	Zona 20	Class II, Division 1
	Zona 21	
	Zona 22	Class II, Division 2

**ANEXO XV.** Modelo de referencia ISO/OSI en el modelo de bus de campo (PROcess Field BUS).



## ANEXO XVI. Características de redes ópticas con OLM. Fibra óptica.

Características de redes ópticas con OLM.

- Transmisión óptica de señales.
- Sin radiación a lo largo del cable.
- Sin perjuicios por campos perturbadores externos.
- Sin problemas de puesta a tierra.
- Aislamiento galvánico.
- Peso reducido.
- Instalación sencilla.

El cable de fibra óptica sirve para la transmisión de señales con ayuda de ondas electromagnéticas en la región de las frecuencias visibles. El haz luminoso es conducido por reflexión total en la transición del núcleo a la funda de la fibra, que tiene un índice de refracción menor que el núcleo.

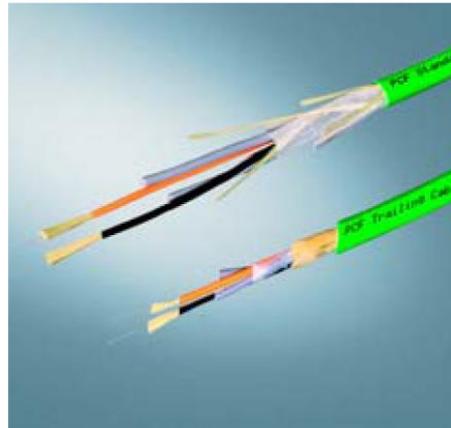
El cable de fibra óptica lleva un revestimiento protector (recubrimiento).

Para el FO (cable de fibra óptica) también se suele emplear el término fibra.

La red óptica PROFIBUS se construye empleando cables de fibra óptica.



Cable de fibra óptica de vidrio



Cable de Fibra óptica de plástico y PCFO

## **ANEXO XVII. *Optical Link Module* OLM. PROFIBUS OLM/G12.**

### *Optical Link Module* OLM.

- Configuración de redes ópticas PROFIBUS (en línea, estrella, anillo) con fibra óptica de vidrio, plástico y PCF.
- Puede lograrse una elevada disponibilidad mediante alimentación redundante y red redundante de cables.
- Vigilancia de funcionamiento mediante contacto de señalización.
- Soporte de todas las velocidades de PROFIBUS, de 9,6 kbits/s a 12 Mbits/s inclusive 45.45 kbits/s para PROFIBUS PA.
- Comprobación de las líneas FO con voltímetro.

### **Beneficios**

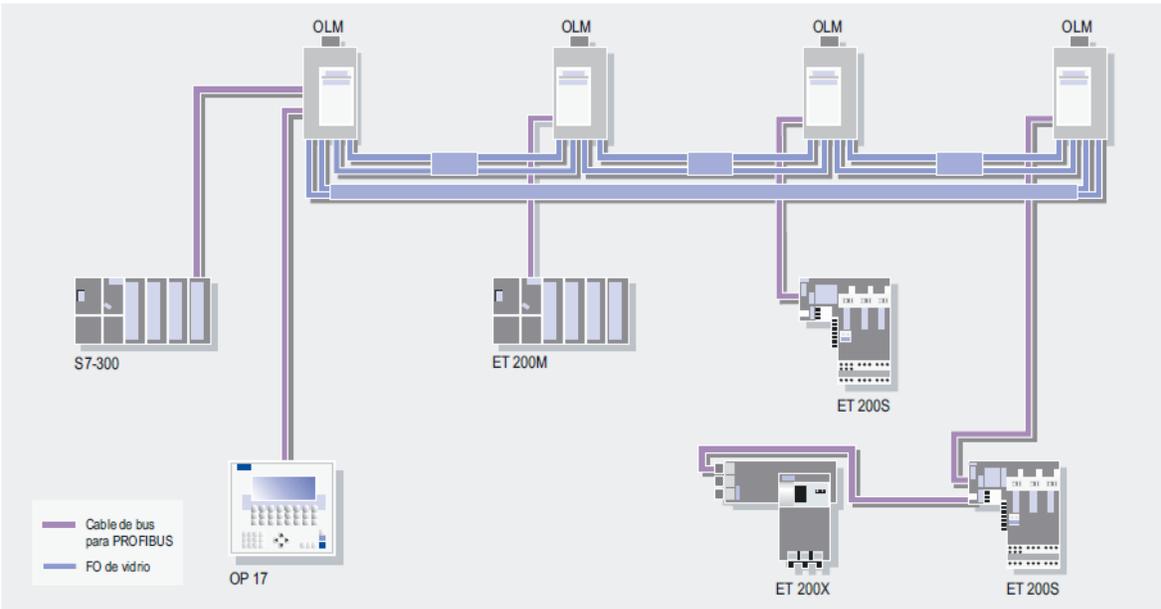
- Elevada disponibilidad de la red gracias a la estructura en anillo óptico redundante.
- Rápida localización de errores y fallos por contactos de señalización, LED y hembrillas de medida.
- Gran alcance gracias a la utilización de FO de vidrio en líneas de hasta 15 km de longitud.
- OLM/G12-EEC para aplicar en exteriores hasta  $-20^{\circ}\text{C}$ .



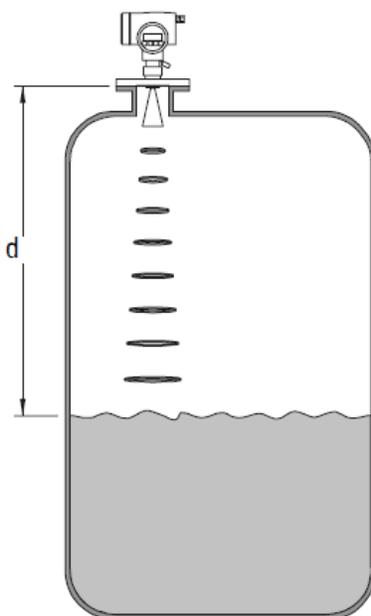
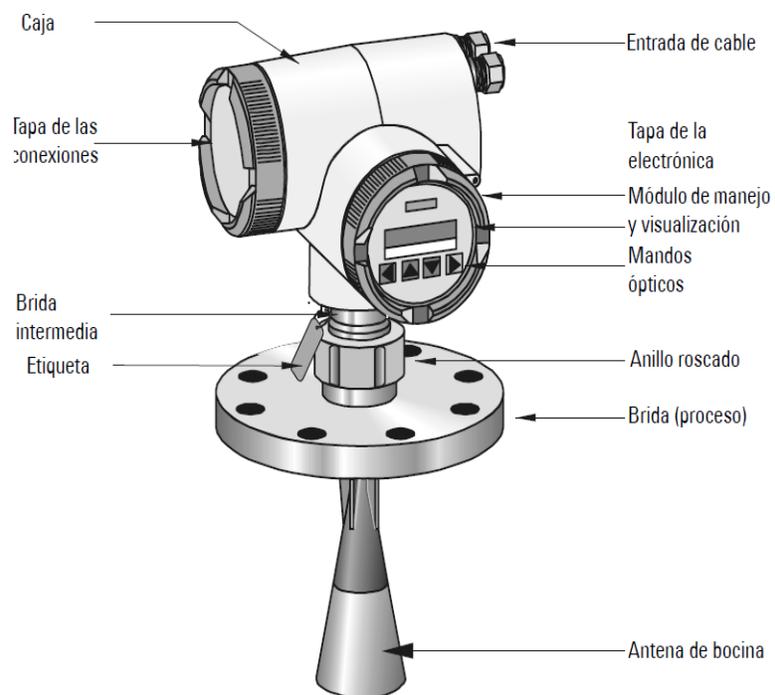
### **PROFIBUS OLM/G12**

*Optical Link Module* con 1 puerto RS 485 y 2 puertos FO de vidrio (4 hembrillas BFOC), para distancias estándar, hasta 3000 m con contacto de señalización y salida de medición

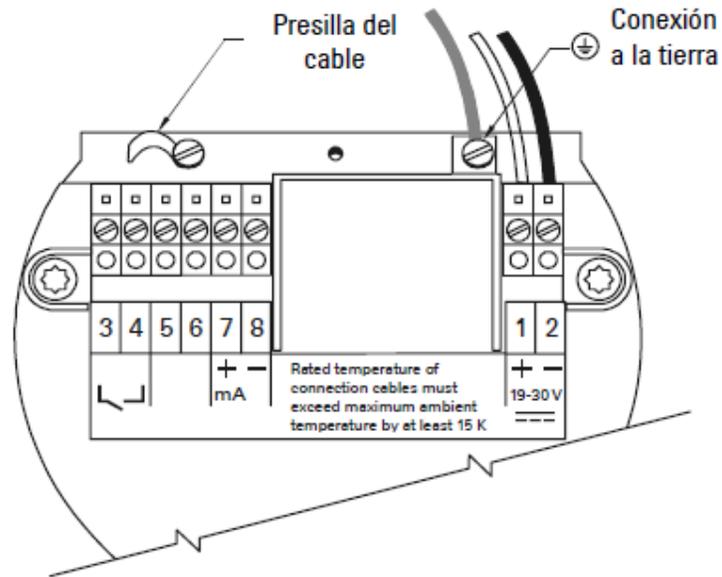
**ANEXO XVIII.** Configuración de red mixta con PROFIBUS eléctrico y óptico.



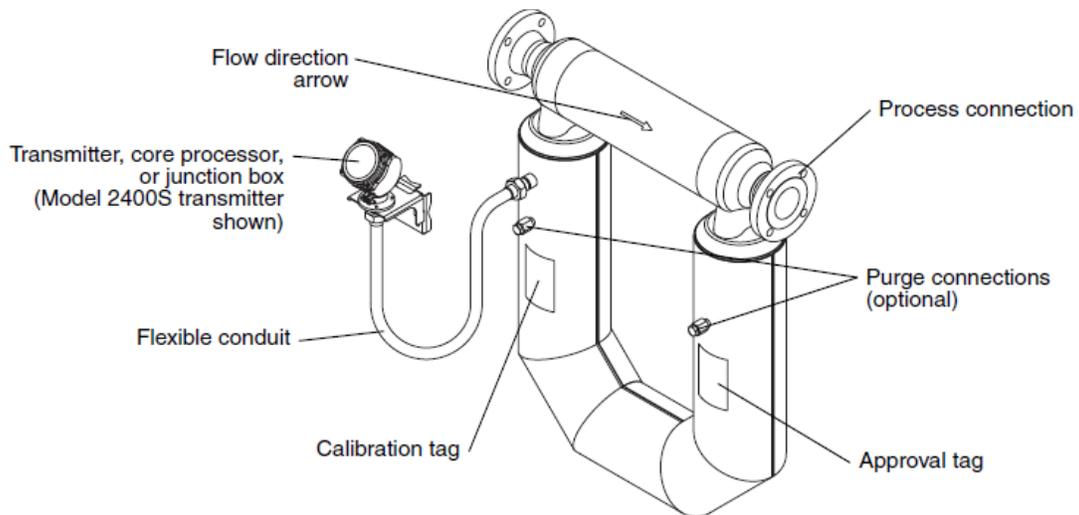
**ANEXO IXX. Transmisor de nivel SITRANS LR 400 de SIEMENS MILLTRONICS.**



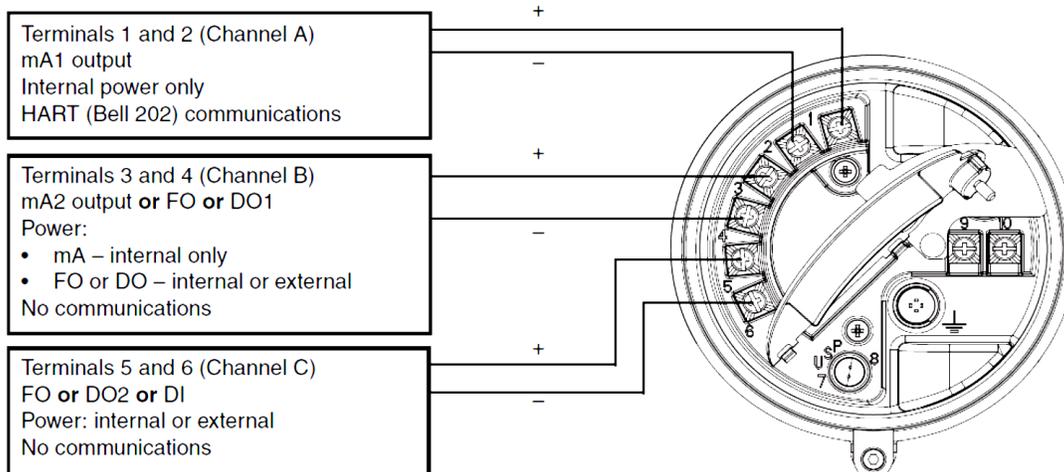
## Conexiones Hart



## ANEXO XX. Caudalímetro másicos de CORIOLIS 2700, MODELO CMF-400M437NKBFS.

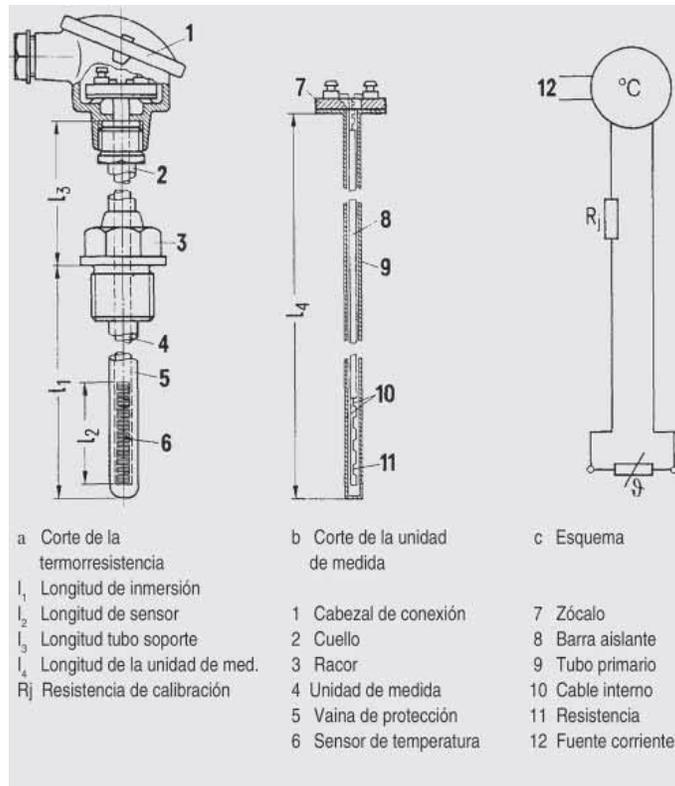


## ANEXO XXI. Terminales de comunicación y alimentación del caudalímetro másicos de CORIOLIS 2700, MODELO CMF-400M437NKBFS.

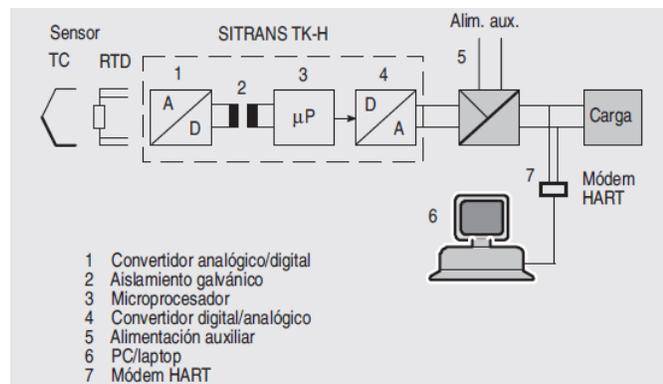


mA = milliamp  
 FO = frequency output  
 DO = discrete output  
 DI = discrete input

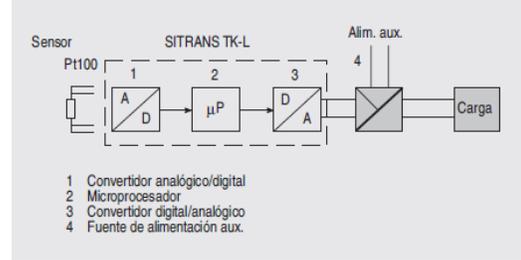
**ANEXO XXII. Termoresistencia.**



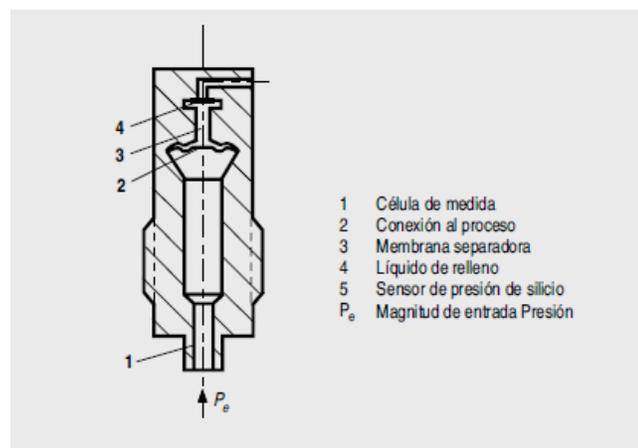
### ANEXO XXIII. Transmisor de 4-20 mA + HART SITRANS TK-H.



### ANEXO XXIV. Transmisor de 4-20 mA TK-L.



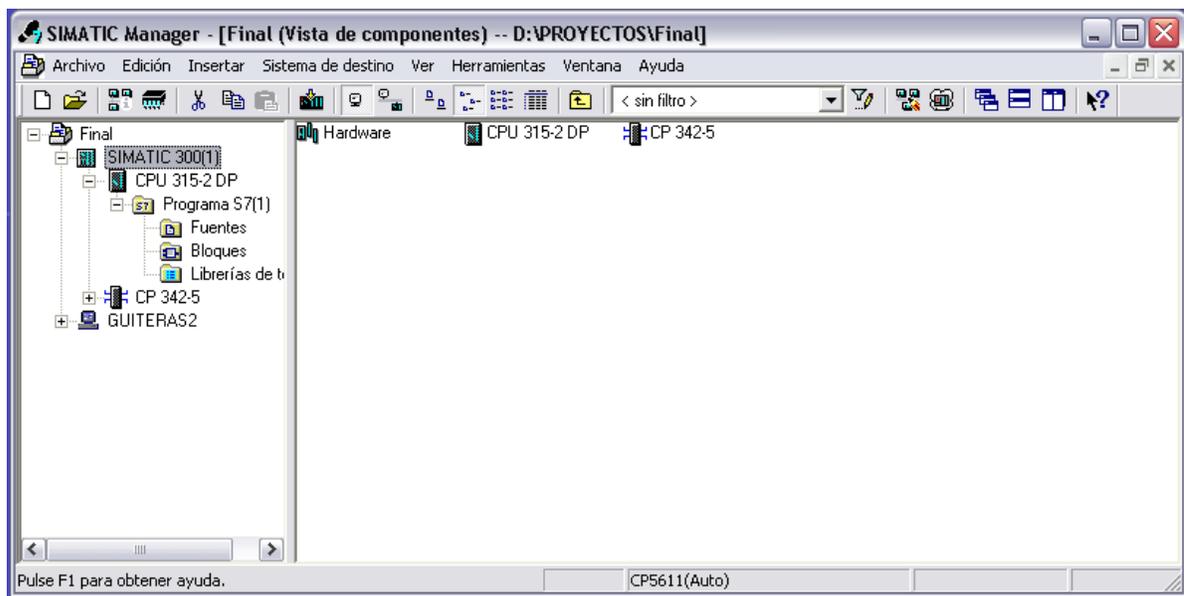
**ANEXO XXV. Los transmisores de presión SITRANS P, SERIE DS III.**



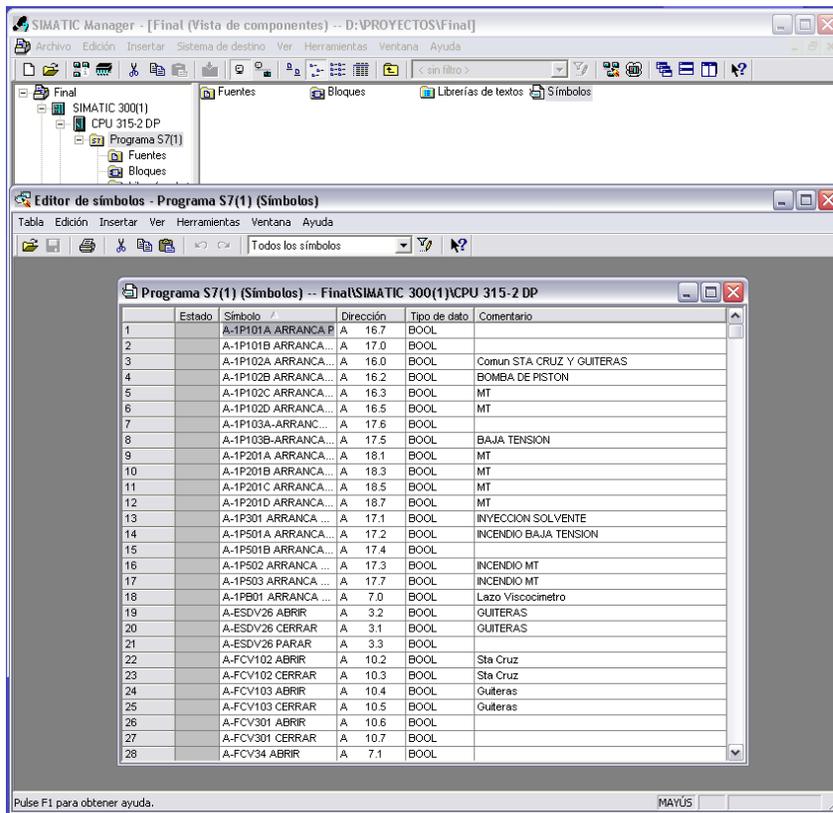
**ANEXO XXVI. Software de SIEMENS SIMATIC PDM.**



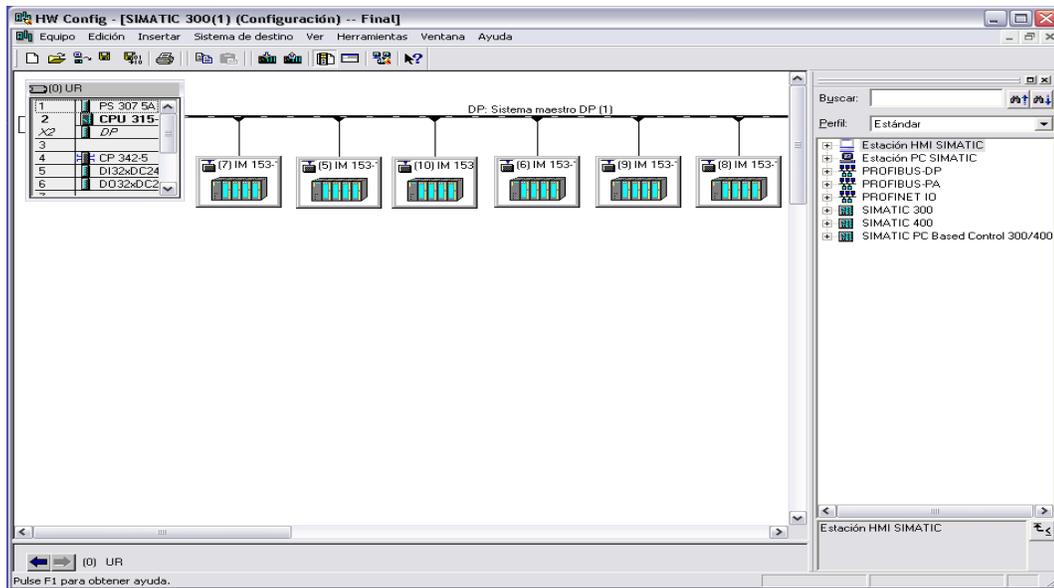
**ANEXO XXVII.** Software de SIEMENS SIMATIC Manager.



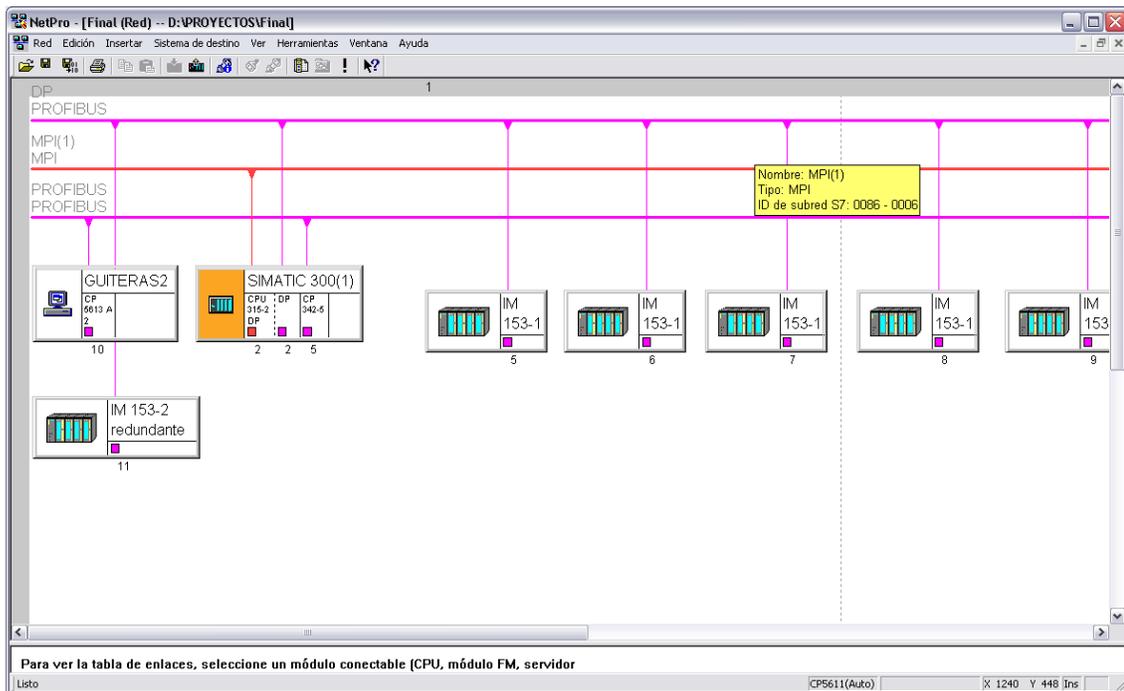
**ANEXO XXVIII.** Software de SIEMENS Editor de símbolos.



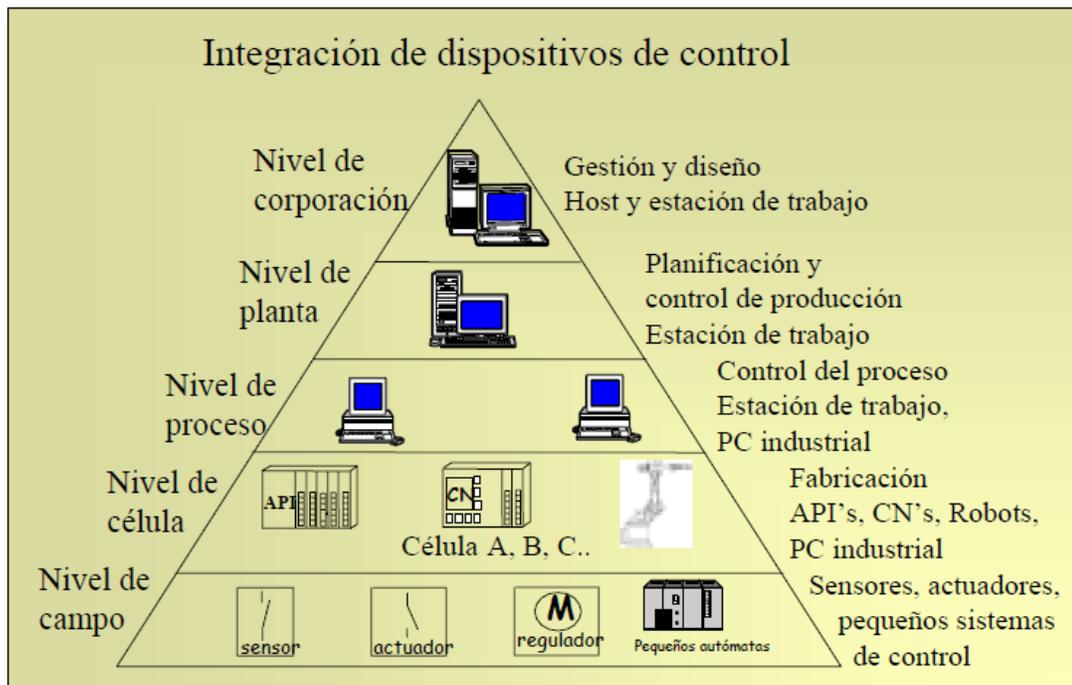
### ANEXO IXXX. Software de SIEMENS HW Config.



### ANEXO XXX. Software de SIEMENS NetPro.



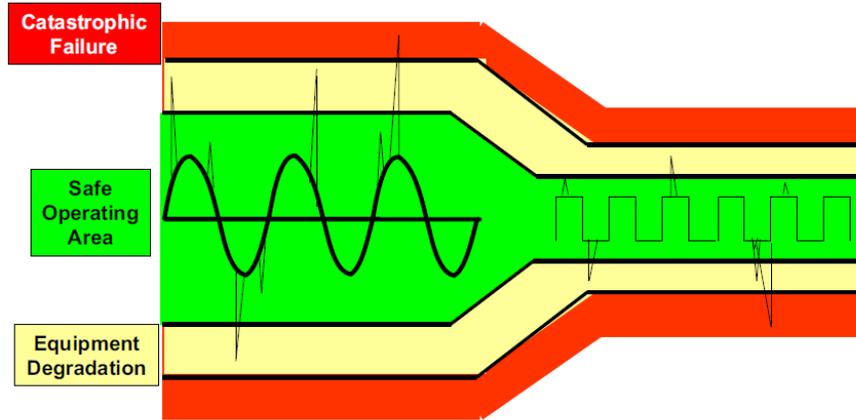
### ANEXO XXXI. Estructura Jerárquica de las comunicaciones industriales.



### ANEXO XXXII. Inducciones de picos de transientes en la señal.

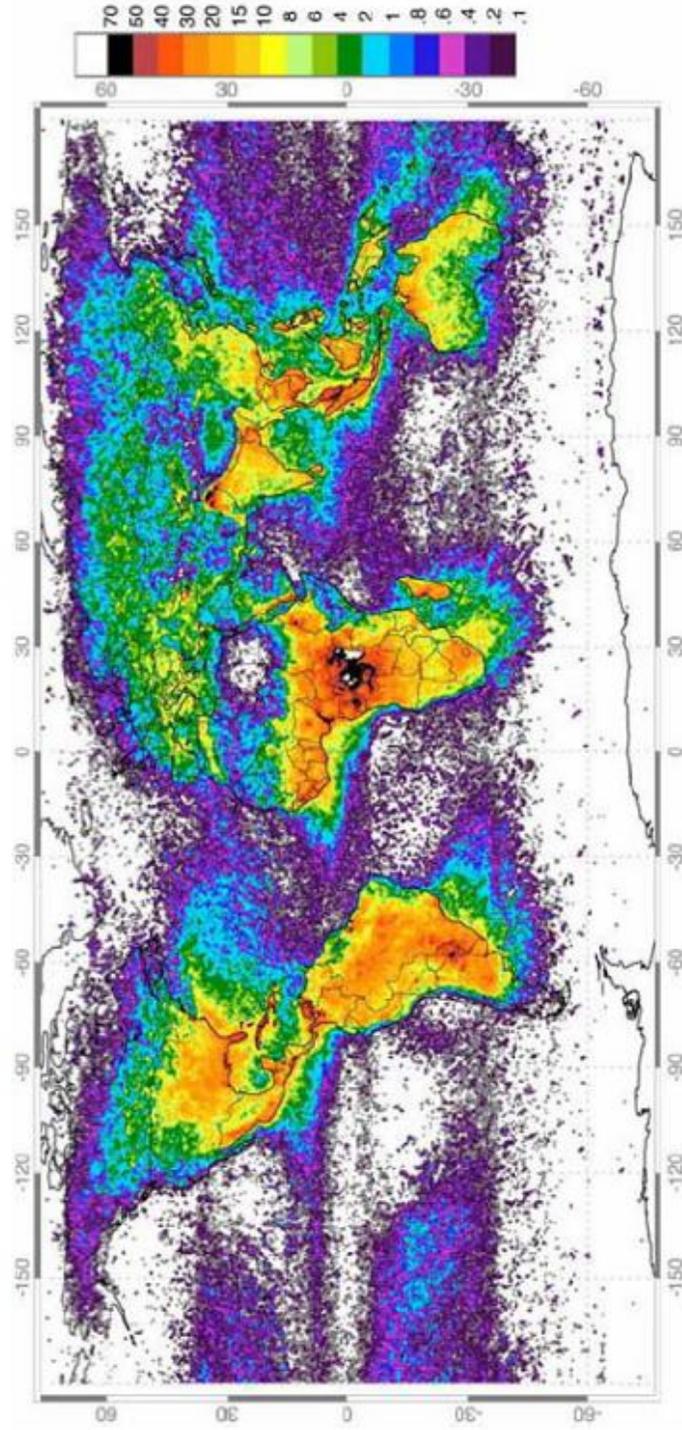


# Failure Modes of Equipment



31 OCT 2007 Kuala Lumpur

**ANEXO XXXIII.** Estudio de densidad de tormentas eléctricas.



**High Resolution Full Climatology Annual Flash Rate**

Global distribution of lightning April 1995-February 2003 from the combined observations of the NASA OTD (4/95-3/00) and LIS (1/98-2/03) instruments

<b>Datos técnicos generales ET 200M</b>	
Sistema de conexión	Bornes de tornillo y de resorte con cableado independiente
Grado de protección	IP 20
Temperatura ambiente en pared vertical (posición de montaje preferente)	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• montaje horizontal</li> <li>• con montaje vertical</li> </ul>	<p>0 a +60 °C</p> <p>0 a +40 °C</p>
Humedad relativa del aire	5 a 95% (RH grado de severidad 2 según IEC 1131-2)
Presión atmosférica	795 a 1080 hPa
Solicitaciones mecánicas <ul style="list-style-type: none"> <li>• vibraciones</li> <li>• choques</li> </ul>	<p>IEC 68, parte 2 – 6: 10 - 57 Hz (amplitud constante 0,075 mm) 57 - 150 Hz (aceleración constante 1 g)</p> <p>IEC 68, parte 2 – 27 onda semisenoidal, 15 g, 11 ms</p>

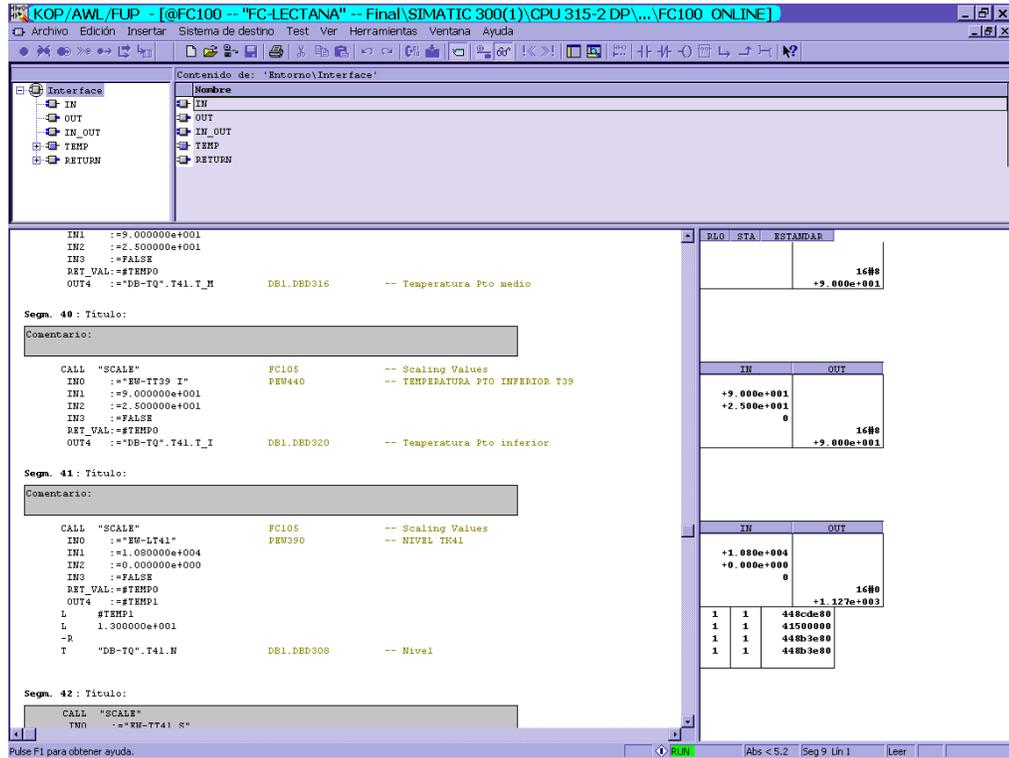
**ANEXO XXXV.** Tabla 2. Algunos símbolos usados para describir las variables de procesos en el Editor de Símbolos.

SIMBOLO	DIRECCIÓN	TIPO DE DATO	COMENTARIO
EW-FT102	PEW 350	INT	Flujo instantáneo Sta Cruz
EW-FT103	PEW 340	INT	TRANSFERIDO PARA EL 362
EW-LT27	PEW 450	INT	NIVEL TK27
EW-LT28	PEW 378	INT	NIVEL TK28
EW-LT29	PEW 334	INT	NIVEL TK29
EW-LT30	PEW 416	INT	NIVEL T30
EW-LT33	PEW 288	INT	Nivel radar t35
EW-LT34	PEW 280	INT	Nivel de producto TK34
EW-LT35	PEW 272	INT	Nivel de producto TK35
EW-LT36	PEW 296	INT	Nivel radar t36
EW-LT37	PEW 400	INT	NIVEL RADAR T37
EW-LT38	PEW 424	INT	NIVEL T38
EW-LT39	PEW 434	INT	NIVEL T39
EW-LT41	PEW 390	INT	NIVEL TK41
EW-LT42	PEW 398	INT	NIVEL TK42
EW-NIT84	PEW 326	INT	VISCOCIMETRO
EW-PT-FST	PEW 358	INT	Presion salida filtros Sta Cruz
EW-PT07	PEW 338	INT	Presión a la salida de los filtros Guiteras
EW-PT102	PEW 354	INT	Presión a la salida del Fluómetro Sta Cruz
EW-PT175	PEW 432	INT	PRESION LINEA SALIDA BOMBAS 101A Y B
EW-PT181	PEW 442	INT	PRESION LINEA SOLVENTE
EW-PT24	PEW 344	INT	Presión a la salida del Fluómetro Guiteras
EW-PT53	PEW 330	INT	PRESION SUCCION COMUN BOMBAS 201 A,B,C,D
EW-PT79	PEW 324	INT	Presion descarga comun 1P-201A,B,C,D

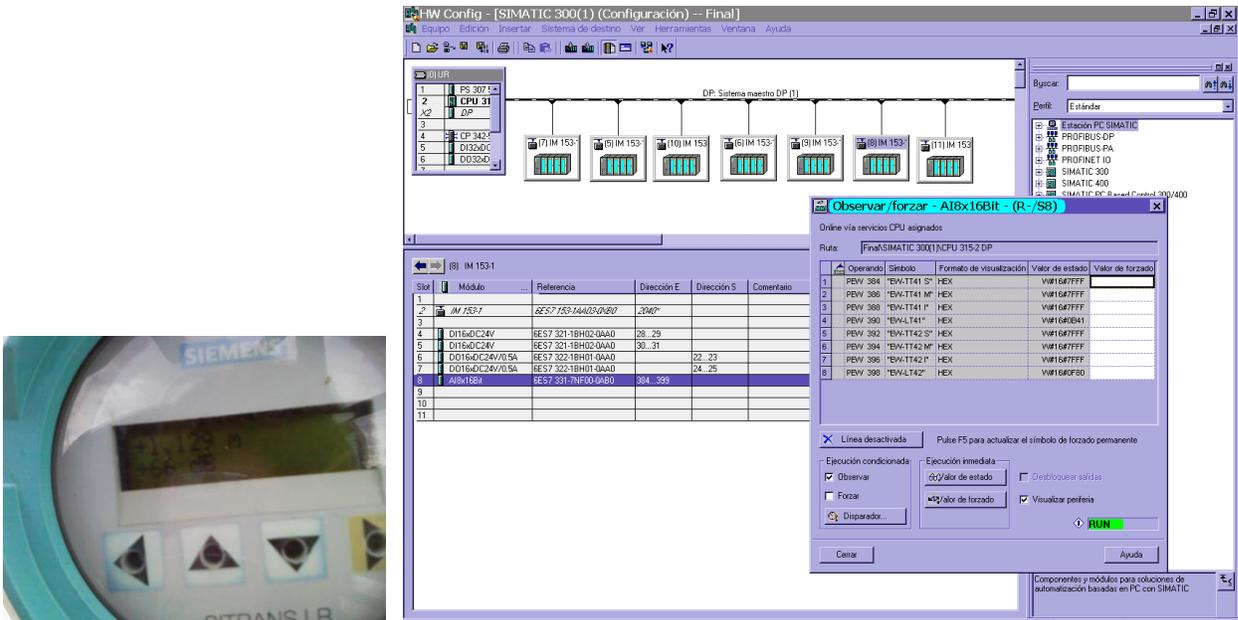
EW-TT03	PEW 336	INT	Temperatura salida del intercambiador I-01
EW-TT176	PEW 348	INT	Temperatura salida intercambiador I-02 Sta Cruz
EW-TT177	PEW 352	INT	Temperatura salida del Fluómetro Sta Cruz
EW-TT22	PEW 342	INT	Temperatura salida del Fluómetro Guiteras
EW-TT27 S	PEW 328	INT	TEMPERATURA TK27 SUPERIOR
EW-TT28 I	PEW 376	INT	TEMPERATURA TK28 INFERIOR
EW-TT28 M	PEW 374	INT	TEMPERATURA TK28 MEDIA
EW-TT28 S	PEW 372	INT	TEMPERATURA TK28 SUPERIOR
EW-TT29 I	PEW 332	INT	TEMPERATURA TK29 INFERIOR
EW-TT29 M	PEW 382	INT	TEMPERATURA TK29 MEDIA
EW-TT29 S	PEW 380	INT	TEMPERATURA TK29 SUPERIOR
EW-TT30 I	PEW 422	INT	TEMPERATURA PTO INFERIOR T30
EW-TT30 M	PEW 420	INT	TEMPERATURA PTO MEDIO T30
EW-TT30 S	PEW 418	INT	TEMPERATURA PTO SUPERIOR T30
EW-TT33 I	PEW 274	INT	Temperatura pto alto TK33
EW-TT33 M	PEW 276	INT	Temperatura pto medio TK33
EW-TT33 S	PEW 278	INT	Temperatura pto bajo TK33
EW-TT34 I	PEW 282	INT	Temperatura pto alto TK 34
EW-TT34 M	PEW 284	INT	Temperatura pto medio TK34
EW-TT34 S	PEW 286	INT	Temperatura pto bajo TK34
EW-TT35 I	PEW 294	INT	Temperatura pto bajo
EW-TT35 M	PEW 292	INT	Temperatura pto medio
EW-TT35 S	PEW 290	INT	Temperatura pto alto
EW-TT36 I	PEW 298	INT	Temperatura pto alto
EW-TT36 M	PEW 300	INT	Temperatura pto medio
EW-TT36 S	PEW 302	INT	Temperatura pto bajo
EW-TT37 I	PEW 406	INT	TEMPERATURA PTO INFERIOR T37
EW-TT37 M	PEW 404	INT	TEMPERATURA PTO MEDIO T37

EW-TT37 S	PEW 402	INT	TEMPERATURA PTO SUPERIOR T37
EW-TT38 I	PEW 430	INT	TEMPERATURA PTO INFERIOR T38
EW-TT38 M	PEW 428	INT	TEMPERATURA PTO MEDIO T38
EW-TT38 S	PEW 426	INT	TEMPERATURA PTO SUPERIOR T38
EW-TT39 I	PEW 440	INT	TEMPERATURA PTO INFERIOR T39
EW-TT39 M	PEW 438	INT	TEMPERATURA PTO MEDIO T39
EW-TT39 S	PEW 436	INT	TEMPERATURA PTO SUPERIOR T39
EW-TT41 I	PEW 388	INT	TEMPERATURA TK41 INFERIOR
EW-TT41 M	PEW 386	INT	TEMPERATURA TK41 MEDIA
EW-TT41 S	PEW 384	INT	TEMPERATURA TK41 SUPERIOR
EW-TT42 I	PEW 396	INT	TEMPERATURA TK42 INFERIOR
EW-TT42 M	PEW 394	INT	TEMPERATURA TK42 MEDIA
EW-TT42 S	PEW 392	INT	TEMPERATURA TK42 SUPERIOR
EW-TT78	PEW 320	INT	Temperatura descarga comun 1P- 201A,B,C,D
EW-TT82	PEW 322	INT	Temperatura salida intercambiadores IE205A,B

**ANEXO XXXVI. A) Lectura del transmisor de nivel TK 41 en RUN TIME. B) Transmisor de Nivel C) HW Config. A, B y C Aplicados al transmisor de nivel.**



**A**



**B**

**C**

**ANEXO XXXVII. A) Lectura del Fluómetro en RUN TIME. B) Transmisor de Flujo C) HW Config. A, B y C Aplicados al flujómetro a la salida del flujómetro de Santa Cruz.**

The screenshot shows the SIMATIC Manager interface with the following content:

**Contenido de: 'Entorno\Interface'**

Nombre
IN
OUT
IN_OUT
TEMP
RETURN

```

CALL "SCALE"          FC105      -- Scaling Values
INO := "FW-PT07"      PFW338     -- Presión a la salida de los filtros Cuiteras
IN1 := "DB-INST".PT07_S DB12.DBD40 -- presión salida del filtro PFW338
IN2 := "DB-INST".PT07_I DB12.DBD44 -- presión salida del filtro PFW338
IN3 := FALSE
RET_VAL:=#TEMP0
OUT4 := "DB-ANALOGICAS".PT07 DB100.DBD12 -- presión salida del filtro PFW338
    
```

**Segn. 6 : Titulo:**  
Comentario:

```

CALL "SCALE"          FC105      -- Scaling Values
INO := "FW-TT176"     PFW348     -- Temperatura salida intercambiador I-02 Sta Cruz
IN1 := "DB-INST".TT176_S DB12.DBD72 -- Temperatura salida intercambiador I-02 PFW348
IN2 := "DB-INST".TT176_I DB12.DBD76 -- Temperatura salida intercambiador I-02 PFW348
IN3 := FALSE
RET_VAL:=#TEMP0
OUT4 := "DB-ANALOGICAS".TT176 DB100.DBD32 -- Temperatura salida intercambiador I-02 PFW348
    
```

**Segn. 7 : Titulo:**  
Comentario:

```

CALL "SCALE"          FC105      -- Scaling Values
INO := "FW-FT102"     PFW350     -- Flujo instantáneo Sta Cruz
IN1 :=#0.000000e+001
IN2 :=#0.000000e+000
IN3 := FALSE
RET_VAL:=#TEMP0
OUT4 := "DB-ANALOGICAS".FT102 DB100.DBD36 -- Flujo instantaneo Sta Cruz PFW350
    
```

**Segn. 8 : Titulo:**  
Comentario:

**PLC STA ESTANDAR**

IN	OUT
	16#0
	+5.159e+001

IN	OUT
+1.000e+002	16#0
+0.000e+000	+7.099e+001

IN	OUT
+9.000e+001	16#0
+0.000e+000	+2.118e+001

Pulse F1 para obtener ayuda. RUN Abs < 5.2 Seg 9 Lin 1 Leer

A



B

The screenshot shows the SIMATIC Manager HW Config interface with the following content:

**HW Config - SIMATIC 300(1) (Configuración) -- Final**

DP: Sistema maestro DP (1)

**Observar/forzar - AIBx1681 (R-/S)**

Dirige via servicio CPU asignado

Ruta: FinalSIMATIC 300(1)CPU 315-2 DP

Selección	Formato de visualización	Valor de estado	Valor de forzaje
1 "DIN1177"	HEX	VAR16540A	
2 "DINPT162"	HEX	VAR16163B	
3 "DINFCV102"	HEX	VAR16777C	
4 "DINPT161"	HEX	VAR16167E	
5 "DINFCV102 ACQUE"	HEX	VAR16777F	
6 "PT1167"	HEX	VAR16234D	
7 "DINFCV102 ACQUE"	HEX	VAR16402C	
8 "DINFCV102 ACQUE"	HEX	VAR16777F	

Línea desactivada Pulse F5 para actualizar el símbolo de forzaje permanente

Ejecución condicionada:  Ejecución inmediata  Desactivar edición

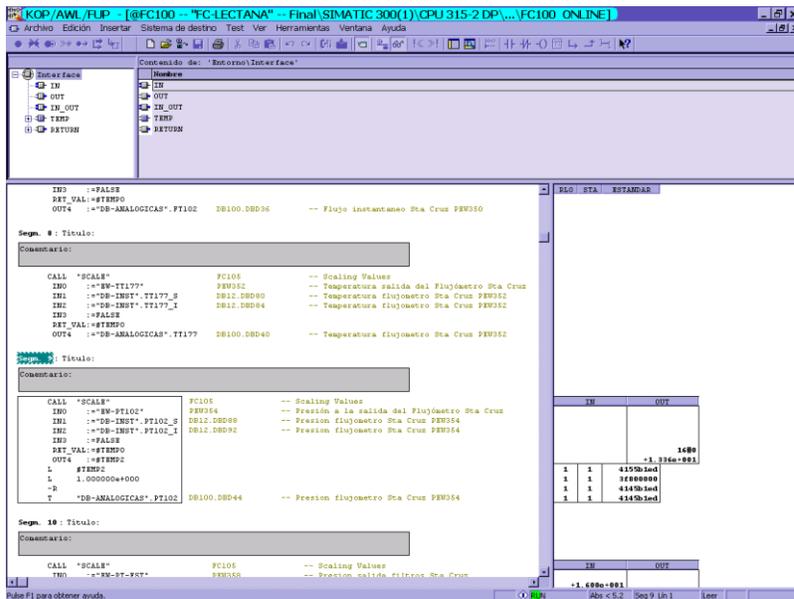
Forzar  Visualizar perfil

Desactivar  Visualizar perfil

OK RUN Ayuda

C

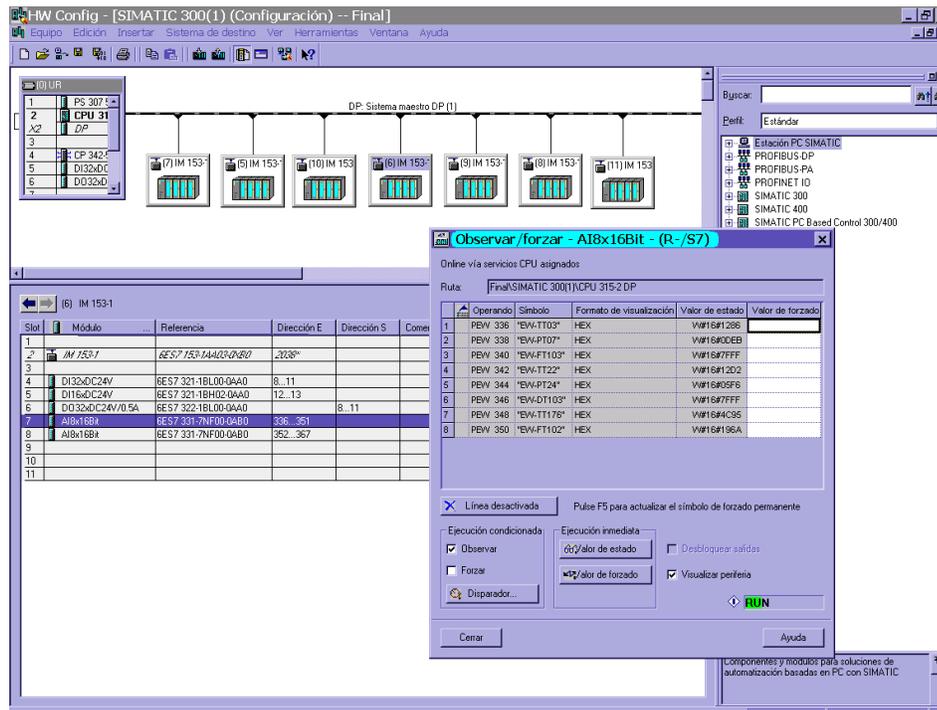
**ANEXO XXXVIII. A) Lectura del transmisor de presión en RUN TIME. B) Transmisor de presión C) HW Config. A, B y C Aplicados ala instrumento de presión a la salida del flujómetro de Santa Cruz.**



A



B



C