



FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
CARRERA AUTOMÁTICA

Trabajo de Diploma

Tesis en opción al título de Ingeniero en Automática

Título: Diseño del Bus de Campo Foundation Fieldbus en el área 3 de la planta de Lixiviación y Lavado de la Empresa del níquel “Cmdte René Ramos Latour”.

Autor: José Antonio Santiesteban Powery.

Tutores: Dr. Arquímides L. Salazar Mustelier.

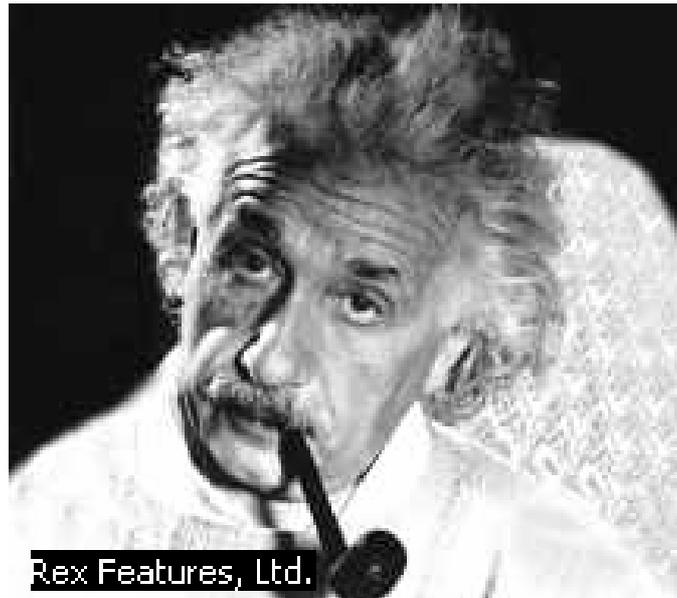
Ing. Salvador Castillo Antuan.

Santiago de Cuba, junio de 2009

“Año del 50 Aniversario del Triunfo de la Revolución”

El trabajo sin desfallecimientos, guiado hacia un noble objetivo, conduce lenta, pero seguramente al triunfo.

A. Einstein



Dedicatoria

Este trabajo es mi modesta contribución para tratar de disminuir la emanación de gases a la atmósfera que afecta a mi pueblo Nicaro, a quien va dedicado.

Agradecimientos

Agradezco a Dios por darme la oportunidad de realizar mis sueños.

Agradezco a todas las personas que me han apoyado a lo largo de todos estos años y que han contribuido con la realización de este trabajo, especialmente a:

- Mis padres y mi hermano, quienes siempre han sido para mí un ejemplo a seguir.
- A mi profesor y tutor Dr. Arquímedes L. Salazar Mustelier, quien me guió con sus amplios conocimientos a través de este trabajo.
- A mi tutor Ing. Salvador Castillo Antuan, quien me ha ayudado a conocer la industria del níquel.
- A todos los profesores del Departamento de Control Automático.
- A mí querida profesora Tini.
- A mis amigos de siempre Alejandro Fuentes y Ramón Velásquez.

Resumen

El presente trabajo de diploma tiene como objetivo principal la obtención de un sistema de comunicación digital que permita la interconexión en red de múltiples instrumentos directamente en el campo, con vistas a mejorar la comunicación en la Empresa Cmdte "René Ramos Latour", y así obtener mayor eficiencia y productividad en la misma. Se ha seleccionado al poderoso Bus de Campo Foundation Fieldbus para cumplir con este propósito gracias a los enormes beneficios que brinda. Este trabajo es el fruto de una profunda investigación, en el cual se han detallado los pasos para la realización de un proyecto con esta tecnología, realizándose el diseño de este Bus de Campo en el área 3 de la planta de Lixiviación y Lavado cumpliendo con las exigencias de longitud, voltaje y macrociclo que impone la firma Smar. Además se ha utilizado la herramienta Syscon perteneciente al paquete de automatización System 302 para montar las estrategias de control de cada segmento Fieldbus en el campo. Esta investigación reviste gran importancia para la carrera de Ingeniería Automática, puesto que esta tecnología está considerada actualmente, la mejor solución para el control de procesos industriales.

Abstract

This present diploma work has as its main objective the obtainment of a digital communication system, which permits the net interconnection of multiple instruments directly in the field, so as to improve communication in the Enterprise Cmdte René Ramos Latour, achieving in this way higher efficiency and productivity. To fulfill this purpose the powerful Foundation Fieldbus was selected, due to the great amount of benefits that it offers. This work is the result of a deep research, in which all the steps were detailed for the performance of a project using this technology. This Fieldbus was designed in area number 3 of the Leaching and Washing Plant, reaching length, voltage and macrocycle requirements appraised by Smar firm. Also the Syscon tool which belongs to the automation package System 302 was used for the montage of control strategies of each Fieldbus segment in the field. This investigation is very important for the Automation Engineering Career, as this technology is currently considered the best solution for the control of industrial processes.

INDICE

Introducción	9
Capítulo 1. La tecnología Foundation Fieldbus	11
1.1 Introducción.....	11
1.2 Consideraciones iniciales.....	11
1.3 Bus de campo.....	12
1.4 Definición de Foundation Fieldbus.....	13
1.5 Capas del Protocolo Foundation Fieldbus.....	14
1.5.1 Capa de Comunicación.....	14
1.5.2 Capa del Usuario.....	18
1.5.3 Capa Física.....	18
1.6 Los detalles de un proyecto Fieldbus.....	22
1.6.1 Configuración del sistema.....	22
1.6.2 Posibles topologías a usar.....	23
1.6.3 Cables.....	25
1.6.4 Aterramiento, Shield y Polaridad.....	26
1.6.5 Longitudes de los buses.....	27
1.6.6 Terminadores.....	27
1.6.7 Conectores.....	28
1.6.8 Host Devices.....	28
1.6.9 Repetidor, Puente (Bridge) y Gateway.....	28
1.7 Consideración de seguridad intrínseca (IS).....	29
1.8 Conclusiones del capítulo.....	30
Capítulo 2. Diseño del Bus de Campo Foundation Fieldbus	31
2.1 Introducción.....	31
2.2 Planta niquelífera de Lixiviación y Lavado.....	31
2.3 Arquitectura del Sistema.....	32

2.3.1 Asignación de los Canales.....	33
2.3.2 Lazos de Control.....	33
2.4 Cálculo de la Tensión en el dispositivo más lejano de cada segmento Fieldbus.....	34
2.5 Selección de la Fuente de Alimentación.....	37
2.6 Macro ciclo.....	38
2.6.1 Cálculo de los Macro ciclos.....	39
2.7 Bloques Funcionales.....	41
2.8 Instrumentación de campo utilizada en el proyecto y Accesorios.....	47
2.9 Cálculo de reservas para futuras expansiones.....	52
2.10 Elaboración de las Estrategias de Control de cada segmento Fieldbus a través del Syscon, perteneciente al System 302.....	55
2.10.1 System 302.....	56
2.10.2 Syscon.....	57
2.10.3 Estrategias de Control.....	58
2.11 Propuesta para disminuir el macro ciclo.....	60
2.12 Conclusiones del Capítulo.....	62
Valoración Técnica – Económica.....	63
Valoración Medioambiental.....	65
Valoración de expertos.....	66
Conclusiones Generales.....	67
Recomendaciones.....	68
Referencias Bibliográficas.....	69
Bibliografía.....	70
Anexos.....	71

INTRODUCCION

En la actualidad la tendencia a una sociedad moderna automatizada va en incremento, lo que significa ir reemplazando y perfeccionando en las industrias toda la automatización existente, con el objetivo de lograr mejores resultados productivos, mayor eficiencia y que esta se corresponda con la calidad requerida.

La fábrica pionera del níquel en Cuba Cmdte. "René Ramos Latour" ubicada en la costa noreste del territorio holguinero, en el poblado de Lengua de Pájaro, actual Nicaro, fundada en 1943, se encuentra enfrascada en un proceso de modernización de la instrumentación y los sistemas de control, dado que los actuales, donde existen, no cumplen los mínimos requerimientos para llevar la industria a los niveles de calidad y seguridad que deben garantizar a la tecnología y de igual forma en los niveles de pérdidas que en estos momentos son muy altos, todo debido a la falta de información y control que debe propiciar la automatización.

Durante largo tiempo, la comunicación de 4-20mA, ha sido el estándar en esta industria. Muchos vendedores diseñaron sus dispositivos haciendo uso de este estándar, haciéndolo compatible e interoperable con instrumentos y sistemas de otros suministradores. No obstante, el estándar 4-20mA presenta límites en las capacidades de comunicación: solo puede ser transmitida una variable y en un solo sentido. Dispositivos inteligentes requieren de una comunicación bidireccional para intercambiar sus status e información de control. Esto solo puede ser realizado en un ambiente que garantice interoperabilidad e intercambiabilidad, lo cual se logra con el desarrollo del control distribuido que está formado por una gran variedad de campos que van paralelo al de las comunicaciones.

Con la llegada de siglo XXI la implementación de sistemas de control con tecnología basada en buses de campo ha alcanzado gran auge. La tecnología Foundation Fieldbus se ha convertido en un sistema realmente abierto, interoperable y escalable no sólo en el concepto de crecimiento sino también en el de la inclusión de nuevos niveles, tanto de hardware como de software, que el mercado pueda ofrecer en el futuro y lo que es importante: con total independencia de fabricantes. Fieldbus es un resultado extremo. La transmisión de la señal ha evolucionado a una estructura totalmente digital, la arquitectura del sistema ha sido totalmente distribuida en el campo. Fieldbus no solo sustituye 4-20mA sino también las actuales desesperanzadas y obsoletas arquitectura DCS (Sistemas de Control Distribuido) de los años '70, es un sistema tan poderoso que permite concretar problemas de control con tan solo algunos click del ratón. Fieldbus ayuda a las compañías a incrementar la productividad, flexibilidad y calidad, y a cumplir con las cada vez mas exigentes regulaciones para el medio ambiente y a la misma vez disminuyen sus costos de operación.

Teniendo en cuenta los planteamientos anteriores este trabajo está encaminado al diseño del bus de campo Foundation Fieldbus en la industria anteriormente citada, específicamente en el área 3 de la planta de Lixiviación y Lavado (turboareadores), sustituyendo toda la instrumentación, que en su mayoría están obsoletas e inseguras, pues datan de la última modernización de esta planta realizada en el año 1971, por estas razones impera la evaluación de las necesidades tecnológicas para implementar una instrumentación confiable que responda a los intereses productivos actuales y a la economía del país.

Problema de la investigación: Carencia de un sistema de comunicación digital que permita la interconexión en red de múltiples instrumentos directamente en el campo, realizando funciones de control y monitoreo de procesos y en estaciones de control (IMH) a través de softwares supervisorios.

Objeto de la investigación: El Bus de Campo Foundation Fieldbus en la planta de Lixiviación y Lavado de la industria niquelífera de Nicaro.

Objetivo de la investigación: La obtención de un sistema de comunicación digital que permita la interconexión en red de múltiples instrumentos directamente en el campo, con vistas a mejorar la comunicación en la Empresa niquelífera de Nicaro y así obtener mayor eficiencia y productividad en la misma.

Campo de acción: El sistema de comunicación digital con tecnología Foundation Fieldbus en la Planta de Lixiviación y Lavado.

Hipótesis: Si se logra diseñar el Bus de Campo Foundation Fieldbus en la planta de Lixiviación y Lavado, se obtendría un sistema de comunicación digital que permitiría la interconexión en red de múltiples instrumentos directamente en el campo, comunicándose entre ellos de forma bidireccional, logrando obtener mejores resultados en la producción de la empresa, y por tanto, en la economía del país.

Tarea de la investigación:

Diseñar el Bus de Campo Foundation Fieldbus.

Métodos y técnicas empleados en la investigación:

1. Análisis de fuentes documentales y datos estadísticos.
2. La observación.
3. Encuesta y entrevistas.
4. Análisis de las valoraciones de expertos.

La estructura del trabajo es la siguiente:

El primer capítulo acerca al lector a la tecnología Foundation Fieldbus, explicando detalladamente las características más importantes para realizar un proyecto.

El segundo capítulo realiza los pasos para efectuar el diseño del Bus de Campo Fieldbus, elaborando las estrategias de control en el Syscon, herramienta perteneciente al System 302 de Smar.

También presenta las valoraciones técnico-económica y medioambiental, así como la de expertos, demostrando la importancia del proyecto para la economía del país y su impacto en el medioambiente.

Capítulo 1. La tecnología Foundation Fieldbus

1.1 Introducción

Con la llegada del siglo XXI ha evolucionado la era de la comunicación digital, esto se evidencia en las industrias de todas partes del mundo, sin importar el desarrollo del país. La mayor ventaja de las comunicaciones digitales es la cantidad de información que puede ser transmitida a través de un solo cable de comunicación. Antes de que esta tecnología fuese introducida solo era posible la transmisión de las magnitudes de E/S del proceso. La sintonía y el ajuste de los parámetros de los controladores tenían que hacerse localmente. Por lo tanto todos los controladores tenían que estar ubicados en salas y paneles de manera tal que fuese permitida la manipulación de su parte frontal. Los sensores y actuadores eran alambrados con un par de cables dedicados a tal función y transmitían no más que una sencilla variable de proceso o manipulada. Esta señal (analógica) solo viajaba en una sola dirección, desde el transmisor al controlador o desde el controlador al posicionador de la válvula. Con el advenimiento de las comunicaciones digitales se hizo posible que los controladores fueran ubicados estratégicamente lejos de la sala de control, en un local auxiliar. Toda la información de supervisión, de los lazos de control y de los puntos de monitoreo podían ahora ser transmitidas a la consola del operador en la sala de control a través de un cable de red. La comunicación digital no solo provee información de las variables de E/S sino también información operacional como valores de set-point, alarma, estados y ajustes en ambas direcciones, desde y hacia la sala de control.

1.2 Consideraciones iniciales

La instalación y mantenimiento de los sistemas de control tradicionales implican un alto costo principalmente cuando se desea ampliar una aplicación por ser necesario además de los costos de proyecto y equipamiento, costos en cables para la conexión desde los equipos a la unidad de control. Como forma de minimizar estos costos y aumentar la operabilidad de una aplicación se introdujo el concepto de red para interconectar varios equipos en una aplicación. La utilización de redes en aplicaciones industriales provee un significativo avance en los siguientes aspectos:

- Costos de instalación.
- Procedimientos de mantenimiento.
- Opciones de actualización (upgrades).
- Información del control de la calidad.

La opción de implementar sistemas de control basados en redes requiere de un estudio para determinar cual red posee las mayores ventajas al usuario final, que deberá buscar una plataforma de operación compatible con el mayor número de equipamientos posibles [1]. Surge así la opción por la utilización de arquitecturas con sistemas abiertos que al contrario de las arquitecturas propietarias, donde un solo fabricante lanza productos compatibles con su propia arquitectura de red, un usuario puede encontrar en más de un fabricante la solución a sus problemas. Además de eso, muchas redes abiertas poseen organizaciones de usuarios que facilitan información e intercambio de experiencia respecto a los más diversos problemas relativos relacionados con las redes. Las redes industriales son soportadas sobre 3

niveles jerárquicos, cada cual responsable de la conexión de diferentes tipos de equipos, con sus propias características de información. (Ver figura 1.1).

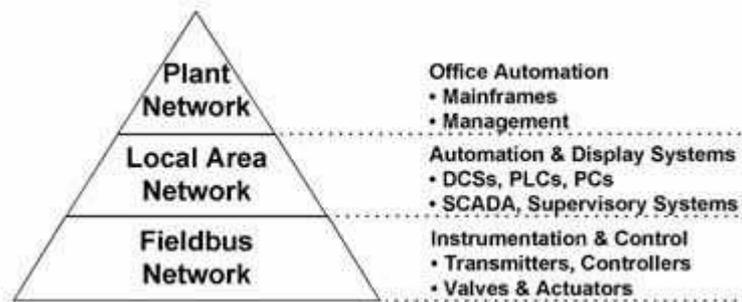


Figura 1.1- Pirámide de los niveles en las redes industriales.

El nivel más alto, el de información de la red, está destinado a un ordenador central que procesa todo el comportamiento de la producción de la planta y permite operaciones de monitoreo estadístico de la planta, siendo implementado generalmente por software de gerencia (MIS). Un sistema Ethernet operando con un protocolo TCP/IP es lo más común utilizado a este nivel. Un nivel intermedio, el nivel de control de la red, que contempla la red central en la planta, los PLC, DCS y las PC diseminadas por el proceso. En este nivel la información debe transitar en tiempo real para garantizar la actualización de los datos enviados al soft que realiza la supervisión de la aplicación. El nivel más bajo, el nivel de control, este se refiere generalmente a las interconexiones físicas de la red a un nivel de I/O. En este nivel encontramos los sensores, transmisores, válvulas y actuadores.

1.3 Bus de campo

Un bus de campo es un sistema de transmisión de información (datos) que simplifica enormemente la instalación y operación de máquinas y equipamientos industriales utilizados en procesos de producción. El objetivo de un bus de campo es sustituir las conexiones punto a punto entre los elementos de campo y el equipo de control a través del tradicional lazo de corriente de 4-20 mA. Típicamente son redes digitales, bidireccionales, multipunto, que conectan dispositivos de campo como PLCs, transductores, actuadores y sensores. Cada dispositivo de campo incorpora cierta capacidad de proceso, que lo convierte en un dispositivo inteligente, manteniendo siempre un bajo costo [2].

El objetivo es reemplazar los sistemas de control centralizados por redes de control distribuido mediante el cual permita mejorar la calidad del producto, reducir los costos y mejorar la eficiencia. Para ello se basa en que la información que envían o reciben los dispositivos de campo es digital, lo que resulta mucho más preciso que si se recurre a métodos analógicos.

Además, cada dispositivo de campo es un dispositivo inteligente y puede llevar a cabo funciones propias de control, mantenimiento y diagnóstico.

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. Esta monitorización permite aumentar la eficiencia del sistema y reducir la cantidad de

horas de mantenimiento necesarias. Los grupos más poderosos en buses de campo para el control de procesos se muestran en la siguiente figura.



Figura 1.2 - Grupos más poderosos en buses de campo para control de procesos.

1.4 Definición de Foundation Fieldbus

Fieldbus es un sistema de comunicación digital bidireccional (Ver figura 1.3) que permite la interconexión en red de múltiples instrumentos directamente en el campo, realizando funciones de control y monitoreo de procesos y en estaciones de control (IHM) a través de softwares supervisorios [2]. (Ver figura 1.4).

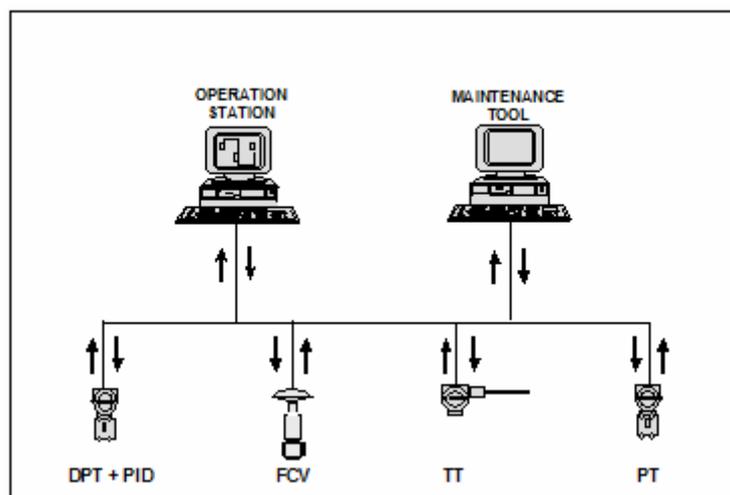


Figura 1.3 - Comunicación digital bidireccional.

Para proseguir, estaremos siempre analizando los detalles de un proyecto utilizando la tecnología del bus de campo Foundation Fieldbus, normalizado por ISA-Sociedad Internacional para la Medición y el Control para la automatización de plantas de procesos.

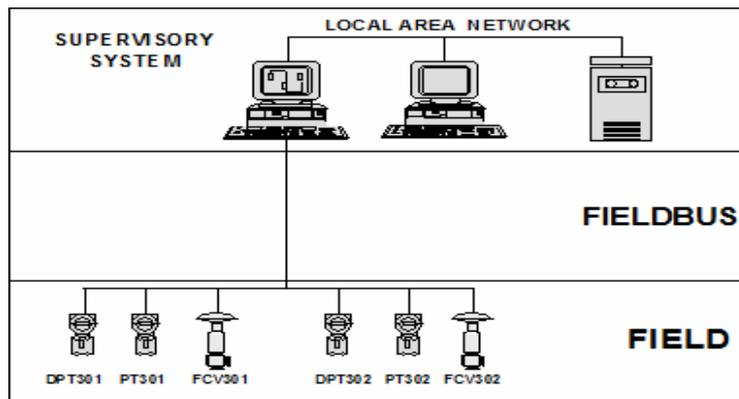


Figura 1.4 - Fieldbus en operación y software Supervisórios.

1.5 Capas del Protocolo Foundation Fieldbus

El protocolo Foundation Fieldbus fue desarrollado basado en el modelo ISO/OSI aunque no contiene los niveles originales. (Ver figura 1.5). En un análisis rápido podemos ver que se divide en una capa Física (Physical Layer), que define las técnicas de interconexión de los instrumentos; una capa de Comunicación (Communication Stack), que trata la comunicación digital entre los equipos, además es la encargada de la codificación/decodificación de los mensajes de la tercera capa, denominada capa del Usuario (User Layer), la cual permite al usuario la programación a través de Bloques Funcionales de control y diagnóstico [8]. (Ver figura 1.6).

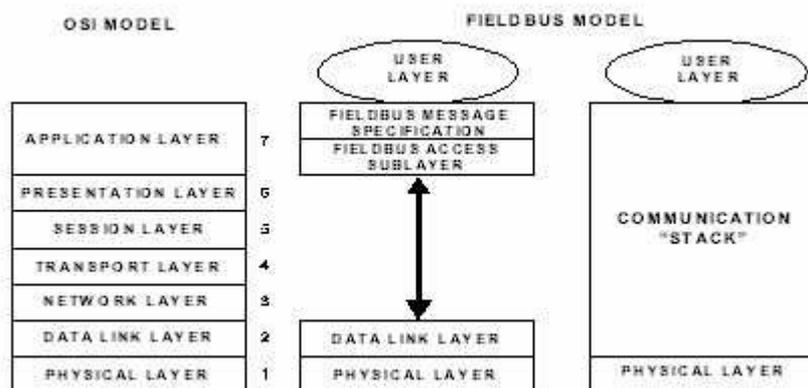


Figura 1.5 – Modelos OSI y Fieldbus.

1.5.1 Capa de Comunicación

La capa de Comunicación está dividida en dos subcapas denominadas [3]:

- Capa de Enlace de Datos (Data Link Layer, DLL).
- Capa de Aplicación (Application Layer), la cual se divide en:
 - 🔗 Subcapa de Especificación de Mensajes Fieldbus (Fieldbus Message Specification, FMS).

- Subcapa de Acceso al Fieldbus (Fieldbus Access Sublayer, FAS).

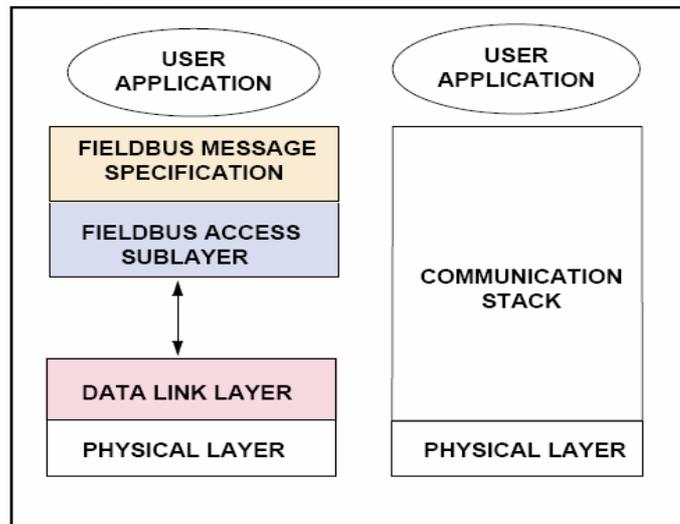


Figura 1.6 – Capas del protocolo Fieldbus.

Capa de Enlace de Datos (Data Link Layer)

La capa de enlace controla la transmisión de los mensajes dentro del Fieldbus, y garantiza que todos los datos lleguen al equipo correcto. El DLL maneja el acceso al Fieldbus a través de un programa de bus centralizado llamado Programador Activo de Conexión (Link Active Scheduler, LAS).

Dos tipos de dispositivos son definidos en esta capa:

- Basic Device.
- Link Master Device.

Los dispositivos Links Master tienen la capacidad de convertirse en LAS, mientras que los dispositivos Basic no presentan esta propiedad. (Ver figura 1.7).

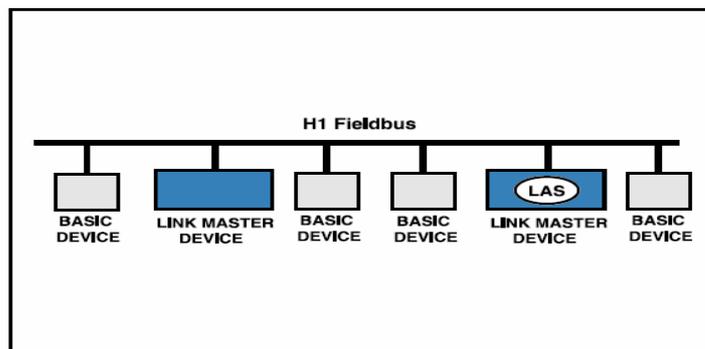


Figura 1.7 – Capacidad de los dispositivos Link Master de convertirse en LAS.

Dos tipos de comunicación son usados en esta capa:

- Comunicación Programada (Scheduled Communication).

- Comunicación No Programada (Unscheduled Communication).

Comunicación Programada

Los dispositivos en un segmento comunican los datos de control de procesos en forma cíclica, cuyo tiempo es administrado por la función de planificación maestra LAS.

El LAS tiene una lista de tiempo de transmisión para todos los buffers de datos en todos los dispositivos que necesitan ser transmitidos cíclicamente.

Cuando es tiempo para el dispositivo de mandar un buffer, el LAS emite un mensaje de Dato Recuperado (Compel Data, CD) hacia el dispositivo.

Al recibo del CD, el dispositivo difunde o publica (publishes) el dato en el buffer de todos los dispositivos en el Fieldbus. Cualquier dispositivo configurado para recibir el dato es llamado subscriptor (subscriber). Esto significa que la comunicación utiliza la forma publisher/subscriber, es decir, es determinística (ocurre siempre en el tiempo planificado) (Ver figura 1.8).

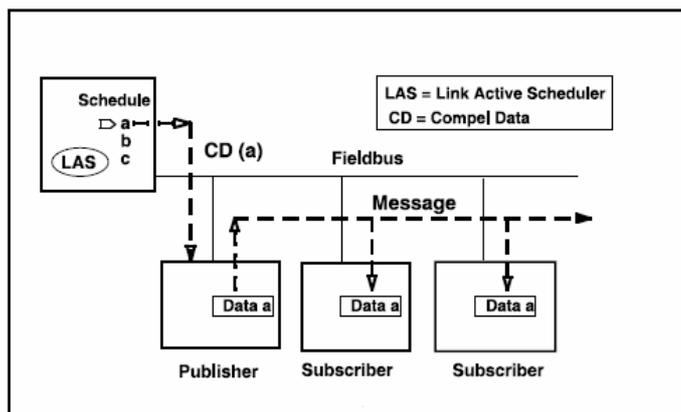


Figura 1.8 – Transferencia de datos programada.

Comunicación No Programada

Todos los dispositivos en el Fieldbus tienen un chance para mandar mensajes no programados (datos de información, alarmas, diagnósticos, configuración) entre transmisiones de mensajes programados, (comunicación asincrónica).

El LAS brinda permiso al dispositivo para usar el Fieldbus a través de la emisión de un mensaje Pass Token (PT) al dispositivo. Cuando este dispositivo recibe el PT, es autorizado a enviar mensajes hasta que este haya finalizado o hasta que el tiempo del Token designado haya terminado, cualquiera que sea el tiempo más corto. El mensaje puede ser mandado a un destino o a múltiples. (Ver figura 1.9).

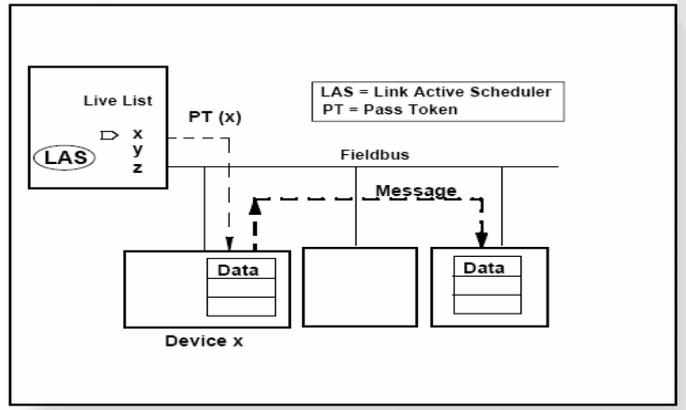


Figura 1.9 – Transferencia de datos no programada.

Lista Viva (Live List)

La lista de todos los dispositivos que están respondiendo apropiadamente al Pass Token (PT) es llamada Lista Viva. Nuevos dispositivos pueden ser adicionados al Fieldbus en cualquier momento. El LAS envía periódicamente mensajes de Nodo de Prueba (Probe Node, PN) a las direcciones que no están en la Lista Viva. Si un dispositivo está presente en la dirección y recibe el PN, este inmediatamente retorna un mensaje de Respuesta de Prueba (Probe Response, PR). Si el dispositivo responde con un PR, el LAS adiciona el dispositivo a la Lista Viva y confirma esta adición enviando al dispositivo un mensaje de activación del nodo.

Sincronización de tiempo del DLL

El LAS difunde periódicamente un mensaje de Distribución de Tiempo (Time Distribution, TD) en el Fieldbus de forma tal que todos los dispositivos tengan exactamente el mismo tiempo de enlace de datos. Esto es importante porque la comunicación programada en el Fieldbus y la ejecución de los bloques funcionales programada en la Capa de Aplicación del Usuario están basadas en la información obtenida de estos mensajes.

En la siguiente figura se muestra el algoritmo usado por el LAS.

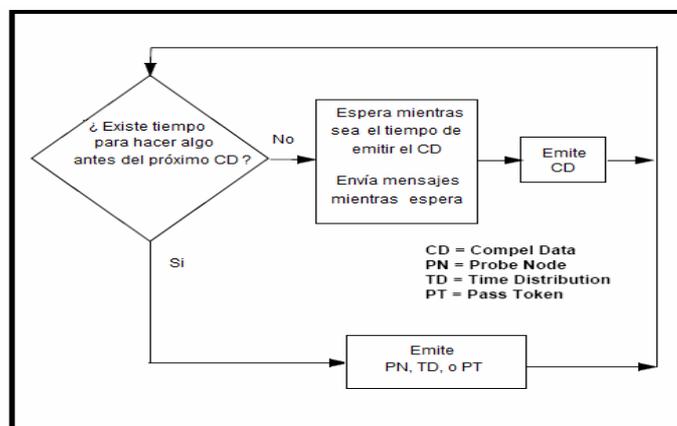


Figura 1.10 – Algoritmo usado por el LAS.

Capa de Aplicación (Application Layer)

La capa de aplicación ofrece una Interface para el software del equipo. Básicamente este nivel define como leer, escribir o ejecutar una tarea en una estación remota. Una tarea principal es la definición de una sintaxis para los mensajes.

Esta también define el modo por el cual un mensaje debe ser transmitido: cíclicamente, inmediatamente, solamente una vez o cuando sea requerido por el consumidor.

Un gerenciamiento define como inicializar la red: atributos del Tag, atributos de dirección, sincronización del tiempo, escalonamiento de las transacciones en la red o conexión de los parámetros de entrada y salida de los bloques de funciones.

Ella también controla la operación de la red como valores estadísticos, detección de fallos y la adición de un nuevo elemento o la renovación de una estación. El gerenciamiento monitorea continuamente una conexión para identificar la adición de nuevas estaciones.

1.5.2 Capa del Usuario

Define como acceder la información dentro de los equipos Fieldbus y de que forma esta información podrá ser distribuida para otros equipos, sin ser necesariamente del mismo tipo, pero que estén conectados a la red Fieldbus. Este atributo es fundamental para aplicaciones en control de proceso.

La base de la arquitectura del Fieldbus y de esta capa, son los bloques de funciones, los cuales ejecutan las tareas necesarias para aplicaciones existentes tales como: adquisición de datos, control PID, cálculos y actuación, entre otras.

Un equipo Fieldbus contiene un número definido de bloques funcionales cuya base de datos podrá ser accedida vía comunicación [6]. En el capítulo 2, epígrafe 2.7 se amplía sobre los bloques funcionales.

1.5.3 Capa Física

La Capa Física está definida por normas aprobadas en la Comisión Electrónica Internacional (IEC) y la Sociedad Internacional para la Medición y el Control (ISA) [3].

La Capa Física recibe mensajes de la Capa de Comunicación y convierte los mensajes en señales físicas en el medio de transmisión del Fieldbus y vice-versa.

Esta capa se divide en dos subcapas:

H1

- Tiene una baja velocidad y es usada para el control de procesos.
- Substituye tecnología de 4-20 mA por transmisión de datos digital.
- Velocidad de transmisión 31.25 kbit/s.
- Alimentación por el bus o por fuera de este.
- Tiene la opción de seguridad intrínseca.

- Longitud máxima del bus sin el uso de repetidores, igual a 1900m.
- Comunicación bi-direccional.
- Código Manchester.

HSE

- Alta velocidad para automatización avanzada de 10 a 100Mbit/s, Ethernet/Fibra Óptica.

Código Manchester Bifásico - L

Este código se encarga de la codificación de la cámara física, (Ver figura 1.11).

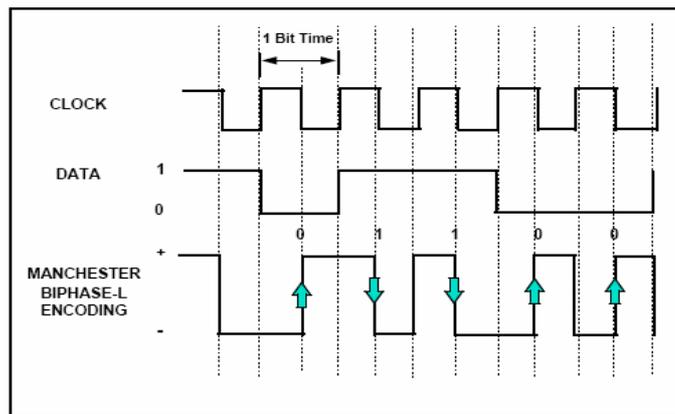


Figura 1.11 – Código Manchester.

En este código los datos son bit 0 y 1 codificados en transiciones de subida o bajada respectivamente. La codificación Manchester es completamente simétrica y por tanto no adiciona componente DC.

El nivel de instrumentos conectados al bus de campo tendrá una velocidad normalizada de 31,25 kbit/s, las otras velocidades deberán ser utilizadas con los Bridges y Gateways para interconectar estos dispositivos en altas velocidades.

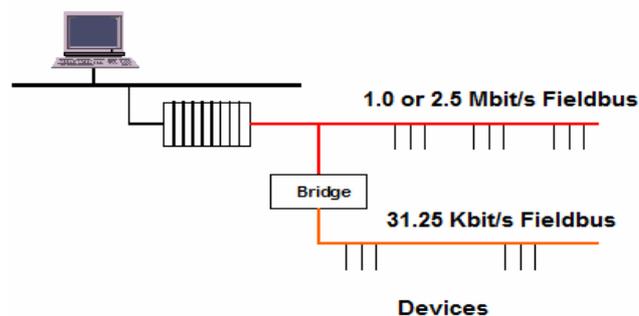


Figura 1.12 – Utilización de Puentes ("Bridges").

La velocidad de 31,25 kbit/s de la norma Fieldbus determina entre otras, las siguientes reglas:

- Un instrumento FIELDBUS debe ser capaz de comunicarse entre las siguientes características y números de elementos [7]:
 - Entre 2 y 32 instrumentos para una conexión sin seguridad intrínseca y alimentación fuera del canal de comunicación.
 - Entre 2 y 6 instrumentos alimentados por el Bus de comunicación con seguridad intrínseca.
 - Entre 1 y 12 instrumentos alimentados por el Bus de comunicación sin seguridad intrínseca.
- Un Bus cargado con el número máximo de instrumentos y la velocidad de 31,25 kbit/s no deberá exceder una distancia entre los terminales mayor de 1.900m (incluyendo las derivaciones) (Ver figura 1.13).
- El número máximo de repetidores para la regeneración de la forma de onda entre dos instrumentos no podrá exceder 4 (cuatro) (Figura 1.14).
- Un sistema Fieldbus debe ser capaz de continuar operando mientras un instrumento está siendo conectado/desconectado.

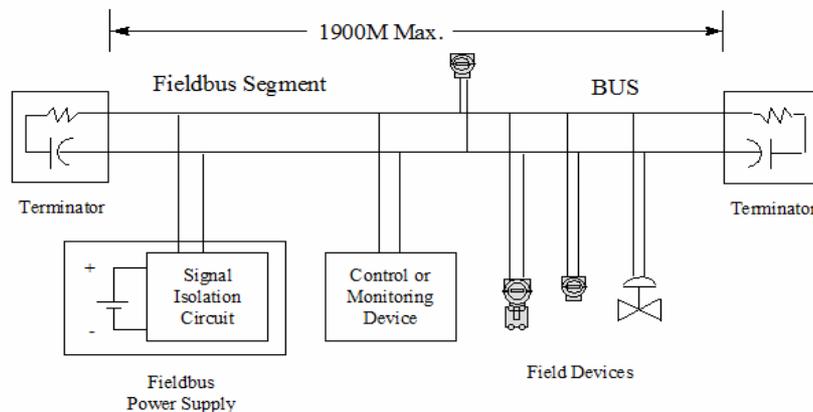


Figura 1.13 – Longitud máxima de un segmento Fieldbus.

- Las fallas de cualquier elemento de comunicación o derivación (como las sobrecargas en cortocircuito o bajas impedancia) no deberá perjudicar la comunicación por más de 1 ms.
- Debe ser respetada la polaridad en sistemas que utilizan par trenzado, sus conductores deben ser identificados y la polarización debe ser mantenida en todos los puntos de conexión.
- El "shield" de los cables no deberá ser utilizado como conductor de energía.

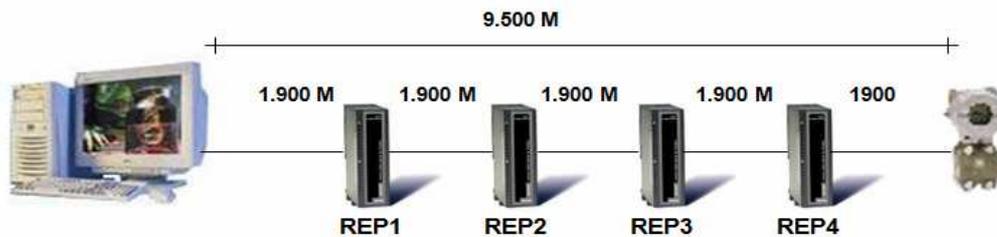


Figura 1.14 – Distancias máximas entre repetidores.

Distribución de la energía

Al alimentar equipos Fieldbus esta podrá ser opcionalmente en los mismos conductos de la comunicación o separadamente. Un instrumento con alimentación separada podrá ser conectado a otro instrumento con alimentación y comunicación por el mismo bus.

A continuación algunas especificaciones eléctricas para sistemas Fieldbus:

- Un equipo puede opcionalmente recibir energía a través de los conductores de señal o por cables separados.
- Un equipo puede ser certificado como intrínsecamente seguro recibiendo energía tanto por los conductores de señal que por conductores separados.

Características de los equipamientos energizados en red para 31,25 Kbit/s:

- Voltaje de operación: 9,0 a 32 V DC Máximo voltaje: 35 V.
- Máxima tasa de cambio de corriente de reposo (no transmitiendo); este requisito no es aplicable en los primeros 10 ms aprox. de la conexión del equipo en una red en operación y a los 10 ms aprox. después de energizada la red: 1,0 mA/ms.
- Máxima corriente: este requisito es ajustado durante un intervalo de 100 ms hasta 10 ms después de conectar el equipo a una red en operación y el mismo factor después de energizada la red. Corriente de reposo: 10 mA.

Requisitos para la alimentación de redes para 31,25 Kbit/s:

- Voltaje de salida, no intrínsecamente seguro < £ 32 V DC.
- Voltaje de salida, intrínsecamente seguro (I.S.): depende de la barrera.
- Impedancia de salida no intrínsecamente segura, medida dentro de una frecuencia 0,25 fr a 1,25 fr > 3 KΩ.
- Impedancia de salida, intrínsecamente segura, medida dentro de una frecuencia 0,25 fr a 1,25 fr > 400 KΩ (La alimentación intrínsecamente segura incluye barrera intrínsecamente segura).

1.6 Los detalles de un proyecto Fieldbus

En esta sección serán abordados los elementos básicos para el diseño de un proyecto Fieldbus [4], [1].

1.6.1 Configuración del sistema

La configuración de un sistema Fieldbus consiste en dos fases: 1) diseño del sistema y 2) configuración de los dispositivos.

Diseño del sistema

El diseño de sistemas basados en tecnología Fieldbus es muy similar al diseño de Sistema de Control Distribuido (DCS) de hoy en día pero con las siguientes diferencias. La primera diferencia es respecto al cableado físico de la red de control. En los DCS es usado el cableado punto a punto de 4-20 mA analógico frente al bus digital de Fieldbus donde pueden ser conectados varios dispositivos a un solo cable. Cada dispositivo en el Fieldbus debe tener una única identificación que corresponda con su dirección en la red. La segunda diferencia es la capacidad de distribuir las funciones de control y de E/S a la instrumentación de campo. Esto reduce considerablemente la cantidad de controladores de campo y módulos de E/S montados en racks.

Un aspecto importante en un proyecto Fieldbus es la determinación de cómo serán instalados los equipos que forman parte de la red. Así, debe considerarse la distancia máxima permitida entre equipos, es decir debe conocerse en detalle la planta objeto del proyecto para poder definir con precisión los puntos más adecuados para instalar los equipos, de modo tal que se optimice al máximo las distancias de los troncos y las ramas de la red.

Otro aspecto a tener en consideración será el número máximo de equipos en una red Fieldbus (atención a las limitaciones de la fuente de alimentación), la topología utilizada y los elementos constitutivos de la red Fieldbus, como por ejemplo las cajas de conexión en el campo (para lograr agilidad en el caso de mantenimientos). Otro aspecto importante es tener en cuenta el uso de barreras de seguridad intrínseca (I.S) y la redundancia de equipos. Debe hacerse un análisis detallado que logre optimizar la instalación de los equipos (cantidad de equipos y características de la red).

Configuración de los dispositivos

Luego de que el diseño del sistema se haya completado y que todos los dispositivos de campo se hayan adquiridos, se procederá a la configuración de los dispositivos conectando las entradas y salidas de los respectivos bloques de función según sea la estrategia de control, lo cual se profundiza en el capítulo 2, epígrafe 2.10.3. Después de que hayan sido introducidas las configuraciones de los bloques de función, los nombres e identificación de los dispositivos y la identificación de los lazos existentes, la configuración de dispositivos de la red de control genera la información necesaria para cada instrumento Fieldbus.

1.6.2 Posibles topologías a usar

Topología de bus con derivaciones

Esta topología utiliza un Bus único donde los equipos y las derivaciones secundarias (Spurs) (ramas) son conectados directamente de este. Se pueden tener diversos equipos en cada Spur [7]. (Ver figura 1.15).

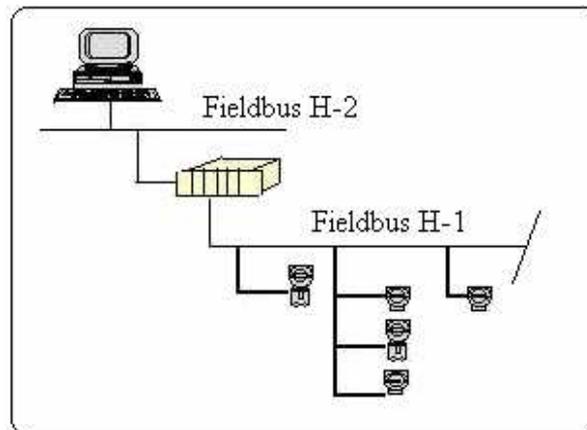


Figura 1.15 – Topología de Bus con derivaciones.

Topología punto a punto

En esta topología se conectan en serie todos los equipos utilizados en una aplicación. El bus Fieldbus es conectado de equipo en equipo de manera secuencial en los mismos terminales del instrumento. Las instalaciones que utilizan esta topología deberán usar conectores de forma que la desconexión de uno de los equipos no interrumpa la continuidad del segmento [7]. (Ver figura 1.16).

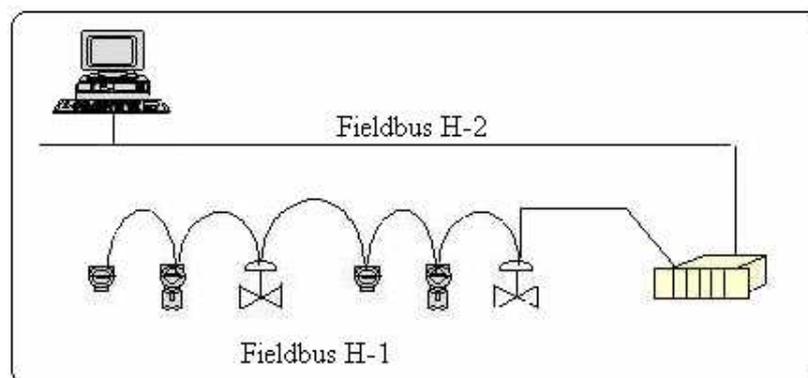


Figura 1.16 – Topología punto a punto.

Topología en árbol

Para esta topología se concentra la conexión en acopladores o cajas de conexión en el campo para enlazar varios equipos. Debido a su distribución esta se conoce también como "pata de gallina" [7]. (Ver figura 1.17) y (figura 1.18).

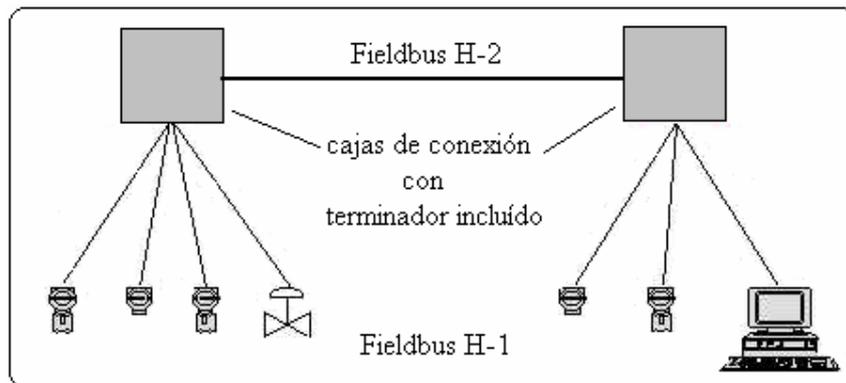


Figura 1.17 – Topología en árbol o “pata de gallina”.

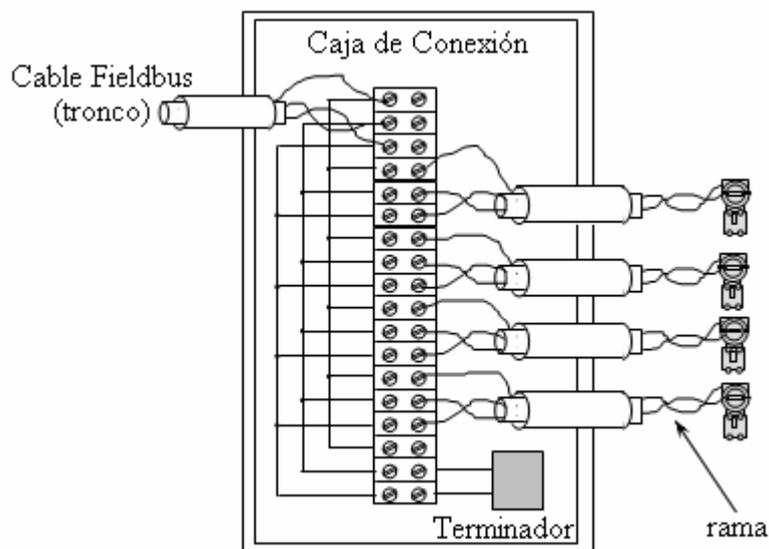


Figura 1.18 - Vista de la caja de conexión con terminador incluido en la topología de árbol.

Topología "final a final"

Esta topología es usada cuando se conectan solo dos instrumentos. Esta puede ser usada directamente en el campo (un transmisor y una válvula sin ningún otro equipo conectado) o también puede conectarse un transmisor a una PC de supervisión [7]. (Ver figura 1.19).

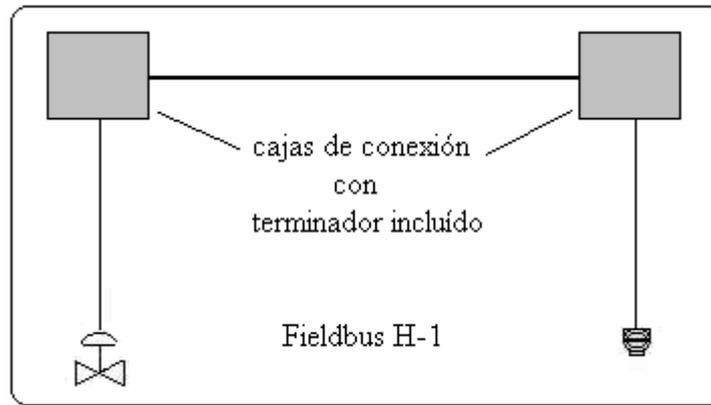


Figura 1.19 – Topología final a final.

1.6.3 Cables

De acuerdo con los requisitos de la norma ISA-S50.02, el cable a utilizar para conectar instrumentos FIELDBUS en la velocidad de 31,25 Kbits/s puede ser un simple par trenzado blindado y que contenga los siguientes requisitos mínimos (a 25 °C) [7]:

- Z0 en fr (31,25 KHz) = $100\Omega \pm 20\%$.
- Atenuación máxima en 1,25 fr (39 KHz) = 3.0 dB/Km.
- Máxima capacitancia no balanceada del blindaje = 2 nF/Km.
- Resistencia DC máxima (por conductor) = $22\Omega/\text{Km}$.
- Retardo máximo de propagación entre 0,25 fr y 1,25 fr = $1.7\mu\text{s}/\text{Km}$.
- Área del conductor = nominal 0,8 mm² (#18 AWG).
- Cobertura mínima del blindaje mayor o igual a 90%.

Un cable tipo A se ajusta a estas especificaciones para nuevas instalaciones Fieldbus. Las mayorías de los cables utilizados en los sistemas 4-20 mA pueden ser clasificados como del tipo B, C y D. Estos tipos (B, C, D) no son considerados ideales para la comunicación Fieldbus. Las distancias para estos tipos de cables han sido especificadas con muchas limitaciones.

La siguiente tabla muestra los tipos de cables y sus longitudes máximas:

Tipo	Descripción	Sección	Long. Max
A	Par trenzado con blindaje	#18 AWG	1900m
B	Multi-par trenzado con blindaje	#22 AWG	1200m

C	Multi-pares trenzado sin blindaje	#26 AWG	400m
D	Múltiples conductores sin blindaje	#16 AWG	200m

Tabla 1.1 – Tipos de cables y sus distancias máximas.

1.6.4 Aterramiento, Shield y Polaridad

Aterramiento

Las reglas de aterramiento para un sistema Fieldbus deben ser tomadas en conformidad con la instalación y mantenimiento de la capa física, que siguen prácticas estándar para plantas y patrones internacionales. En los dispositivos Fieldbus no deberán conectarse a tierra ninguno de sus conductores en ningún punto de la red, esto provocaría la pérdida de la comunicación entre los equipos del bus donde fuera aterrado. Solo es necesario el aterramiento, de forma adecuada, del terminal negativo de la fuente de alimentación de cada canal de comunicación [2].

Apantallamiento o “shield”

El shield del bus, por práctica estándar, deberá ser aterrado en uno de sus extremos y no deberá ser utilizado para la conducción de energía. Es común que en algunas plantas se haga un aterramiento del shield en más de un punto a lo largo del cable, esto puede provocar interferencias en los sistemas Fieldbus. Si un esquema de múltiple aterramiento será utilizado, los requisitos para el shield y la tierra deberán ser revisados.

Polaridad

Todos los sistemas diseñados para este tipo de aplicación deberán ser sensibles a la polaridad. Basado en los estándares de la capa física, no habrá ninguna necesidad para que los equipos sean insensible a estas, a pesar de que algunos de los equipos no presenten polarización. Al menos se debe indicar polaridad en los cables y respetar la misma en todos los puntos de la conexión.

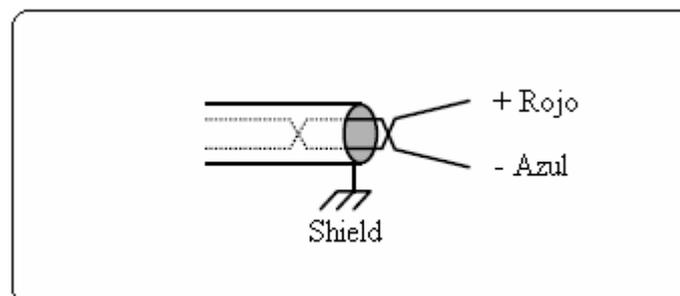


Figura 1.20 – Polaridad y color que brindan los fabricantes de cables Tipo A para Foundation Fieldbus.

1.6.5 Longitudes de los buses

La longitud máxima indicada en las especificaciones son recomendaciones teniendo en cuenta un factor de seguridad que reduzca satisfactoriamente los problemas de comunicación. En general, esta distancia máxima se relaciona con los tipos de cable y sus características, la topología utilizada y el número de equipos interconectados. La tensión mínima para el funcionamiento de los equipos Fieldbus es de 9 V DC, por tanto se debe calcular la caída de tensión que ocurrirá en la conexión, desde la fuente de alimentación hasta los equipos, de forma tal que se verifique que esta condición sea cumplida. En la tabla que a continuación se ofrece se muestran las distancias máximas permitidas para las ramas (Spurs) [1].

Total Dispositivos	1 Dispositivo por Spur	2 Dispositivo por Spur	3 Dispositivo por Spur	4 Dispositivo por Spur
25-32	1m	1m	1m	1m
19-24	30m	1m	1m	1m
15-18	60m	30m	1m	1m
13-14	90m	60m	30m	1m
1-12	120m	90m	60m	30m

Tabla 1.2 – Longitudes máximas recomendadas para las Spurs.

1.6.6 Terminadores

Son dispositivos que minimizan las señales de distorsión y ruido, las cuales pueden causar errores de dato. (Ver figura 1.21). Su función más importante es convertir las señales de corriente transmitidas por un dispositivo a una señal de voltaje que puede ser recibida por todos los dispositivos en la red. Cada segmento Fieldbus debe tener exactamente dos terminadores [1].

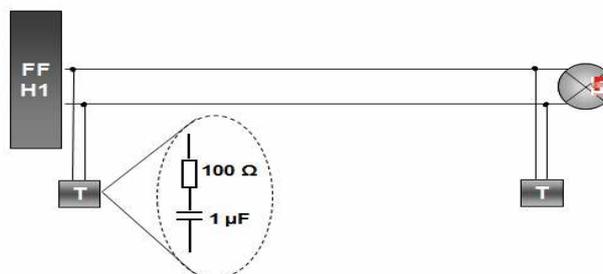


Figura 1.21 – Terminales en una red Fieldbus.

1.6.7 Conectores

Los conectores son dispositivos opcionales muy utilizados en las instalaciones donde los equipos deben ser periódicamente desconectados o movidos y donde podría ser conveniente una conexión temporal de un equipo en determinado local.

1.6.8 Host Devices

Un "Host Device" es un equipo que se conecta al Bus Fieldbus con el cual se puede configurar, monitorear y interactuar con un proceso sin la necesidad de permanecer en el campo. Típicamente es una PC que deberá tener al menos las siguientes características:

- Microprocesador Pentium o mejor.
- SVGA con 4 Mbyte de memoria.
- 32 Mbytes de memoria RAM.
- 50 Mbytes de espacio libre en HD.
- 1 drive 3 1/2".
- 1 puerto paralelo y dos series.
- Monitor SVGA color.
- Mouse Interno (puerto PS/2).
- Sistema Operativo DOS 5.0 o superior.
- Microsoft Windows 3.1 o superior.

1.6.9 Repetidor, Puente (Bridge) y Gateway

Repetidor

Es un equipo con alimentación por el bus o no, que es utilizado para prolongar la longitud de un segmento Fieldbus. Pueden ser utilizados un máximo de 4 repetidores o acopladores activos entre cualquiera dos equipos de un segmento Fieldbus, utilizando 4 repetidores la máxima distancia entre cualquiera de 2 equipos de un segmento Fieldbus será 9.500 metros.

Puente.

Es un equipo controlador con alimentación en el bus o independiente que se utiliza para conectar segmentos Fieldbus de diferentes velocidades (Interface H1 con HSE) a fin de formar una extensa red. (Ver figura 1.21).

Gateway.

Se utilizan para conectar uno o más segmentos de diferentes tipos de protocolos de comunicación, como por ejemplo Ethernet y RS232, etc.

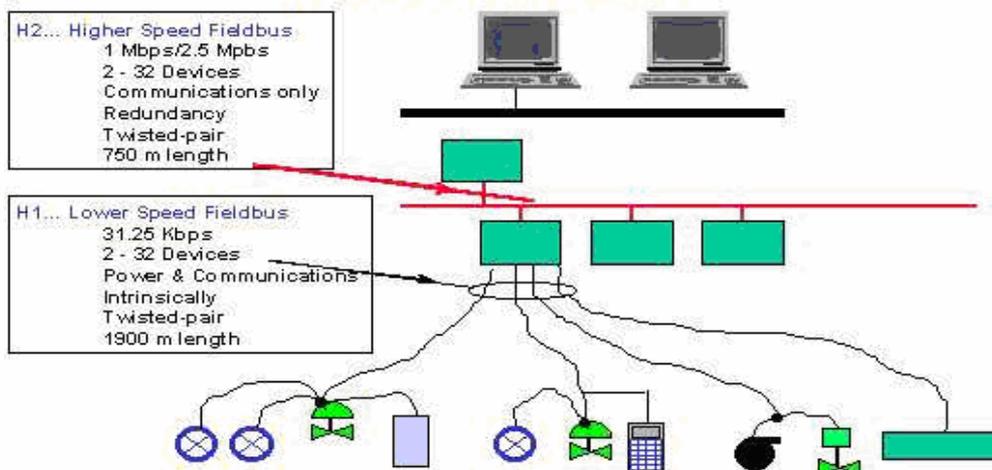


Figura 1.22 - Interface entre los niveles H1 y H2 utilizando Bridge.

1.7 Consideración de seguridad intrínseca (IS)

La aplicación de la seguridad intrínseca es importante para plantas dónde existen gases explosivos. La Seguridad Intrínseca (SI) es la regla para diseñar e instalar los dispositivos en un área peligrosa para prevenir que un gas explosivo sea encendido por una descarga eléctrica o la temperatura de la superficie de un dispositivo. Un dispositivo de campo con SI debe diseñarse cuidadosamente para prevenir la ignición incluso cuando ocurra una simple falla de su componente [5].

Una barrera de SI debe instalarse para separar el área de riesgo del área segura como se muestra en la (figura 1.22). Una barrera limita el voltaje, la corriente y la potencia alimentados a un dispositivo instalado en el área de riesgo. Por consiguiente, un dispositivo de campo debe ser operacional con las restricciones del suministro de energía. Los dispositivos de campo y las barreras de seguridad intrínseca se diseñan teniendo en cuenta los requerimientos de las organizaciones normalizadoras.

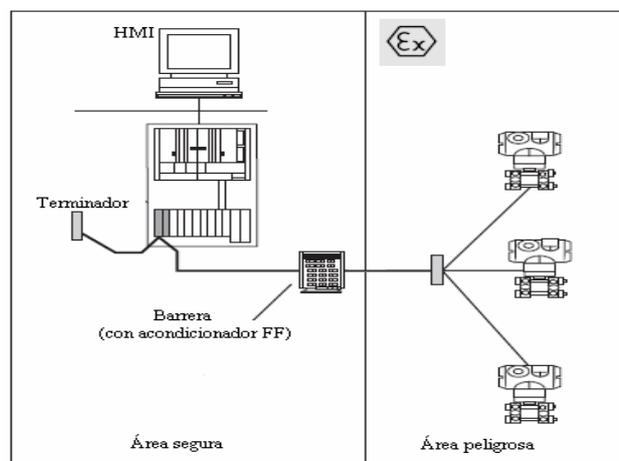


Figura 1.23 – Separación entre el área segura y el área de riesgo.

Hay que decir que la IS es la única tecnología posible para zonas donde los gases explosivos existen en todo momento. En zonas donde los gases existen la mayoría del tiempo pero no siempre, la tecnología a prueba de explosión es aplicable la cual es independiente de la tecnología Fieldbus.

1.8 Conclusiones del capítulo

Hoy en día las tecnologías que triunfan en el mercado son aquellas que ofrecen las mejores ventajas y seguridad a los clientes, cada vez se está acabando con tecnologías cerradas; que en un mundo en proceso de globalización, es imposible que sobrevivan.

A nivel industrial se está dando un gran cambio, ya que no solo se pretende trabajar con la especificidad de la instrumentación y el control automático, sino que existe la necesidad de mantener históricamente información de todos los procesos, además que esta información este también en tiempo real y que sirva para la toma de decisiones y se pueda así mejorar la calidad de los procesos.

Capítulo 2. Diseño del Bus de Campo Foundation Fieldbus

2.1 Introducción

En este capítulo se realizará el diseño del bus de campo Foundation Fieldbus en la planta de Lixiviación y Lavado, perteneciente a la Empresa Comandante René Ramos Latour. Este proyecto se ha dividido en siete áreas ya que permite en primer lugar no realizar compras considerables que generen un alto nivel de inventario en los almacenes y en segundo lugar poder hacer una mejor evaluación de las etapas aplicadas o en desarrollo.

Se ha escogido el área 3 para este trabajo de diploma; ya que es la más cercana al cuarto de control, y desde el punto de vista productivo tiene gran incidencia en la eficiencia tecnológica de la planta.

2.2 Planta niquelífera de Lixiviación y Lavado

Esta planta tiene la finalidad de lixiviar el níquel y el cobalto presentes en el mineral reducido que se recibe de los hornos de reducción. Producto de esta lixiviación el níquel y el cobalto pasan a solución, mientras que el hierro es descargado en la cola. En la primera etapa de lixiviación del total del níquel lixiviado en la planta, se lixivia alrededor del 90 %. El mineral después de aireado pasa a través de un campo magnético (electroimanes) para ayudar a la floculación y sedimentación, ya que después de la etapa de aireación corresponde una de sedimentación. Existen electroimanes en la entrada de pulpa de todos los sedimentares de la planta [9].

La extracción del níquel del mineral es un proceso a contracorriente y como es natural el mineral irá empobreciéndose en níquel y los licores provenientes de la última etapa del proceso irán enriqueciéndose en este elemento.

Hay que decir que se requiere aire para oxidar los constituyentes metálicos formados en la operación de los hornos de reducción, puesto que ninguno de los elementos: Ni, Fe y Co es suficientemente activo para desplazar al ión hidrogeno directamente de una solución amoniacal.

El oxígeno introducido en los turboaeradores convierte el hierro ferroso al estado férrico y lo precipita, de la misma forma oxida el níquel y el cobalto que en forma de óxido son más solubles y forman el complejo amoniacal en la solución.

Los factores que más influyen en el proceso de lixiviación son: concentración de amoniaco y CO₂, temperatura, tiempo de lixiviación, grado de agitación, absorción de oxígeno, grado de reducción del hierro en el mineral etc.

El área 3 está compuesta principalmente por 33 turboaeradores de las series A, B y C pertenecientes a la primera etapa de lixiviación.

El turboaerador es un tanque de concreto o metálico provisto de un motor reductor que mueve el agitador con el impelente. Es el encargado de agitar y aerear la pulpa en las etapas de lixiviación.

También esta área presenta un tanque de licor (TK-CT56), un tanque de licor reboso (TK-CT22) y un tanque de sulfhidrato de sodio (TK-CT). También están presentes los dos tanques distribuidores de pulpa de mineral (TK-005 y TK-006) y sus siete

cajas distribuidoras (CT-001 – CT-008), además de cinco compresores Nash en uso (CP-001 – CP-004 y CP-007), para suministrar el aire necesario para los turbos en las distintas etapas de lixiviación, y un tanque de gases condensados (TK-000). (Ver Anexo 1).

2.3 Arquitectura del Sistema

El proyecto de la planta de Lixiviación y Lavado tendrá la siguiente arquitectura, la cual no es más que la aplicación de la pirámide de los niveles en las redes industriales, analizada en el epígrafe 1.2 perteneciente al capítulo 1.

- Red Corporativa de la Empresa; formada por servidores SQL, Despacho RRL, Dirección Técnico, Dirección de Mantenimiento, Grupo de Automática / Instrumentación. En esta red se han escogido estos usuarios, analizando la influencia de ellos en la producción de la empresa.
- Red Corporativa de Planta; (esta se encuentra en la sala de control de la planta), formada por la estación de ingeniería softwares (Syscon, Logic View, OPC Server, los tres de suministro de Smar), dos estaciones de operación Scada Eros (redundancia en cliente) que es suministro de la empresa, dos servidores OPC, Estación Jefe de Turno; Estación Jefe de Brigada, Estación Tecnólogo, Estación Jefe Planta, Impresora.
- Redes Controladores DFIs redundantes; (esta se encuentra en la sala de gabinetes), formada por cuatro rack de DFI302, cada uno redundante.
- Campo; formada por 16 canales Fieldbus H1, con la instrumentación y control necesario para el proceso.

(Ver Anexo 2).

Este trabajo de diploma abordará solamente las Redes DFIs redundantes y el Campo, los cuales se muestran en la (figura 2.1).

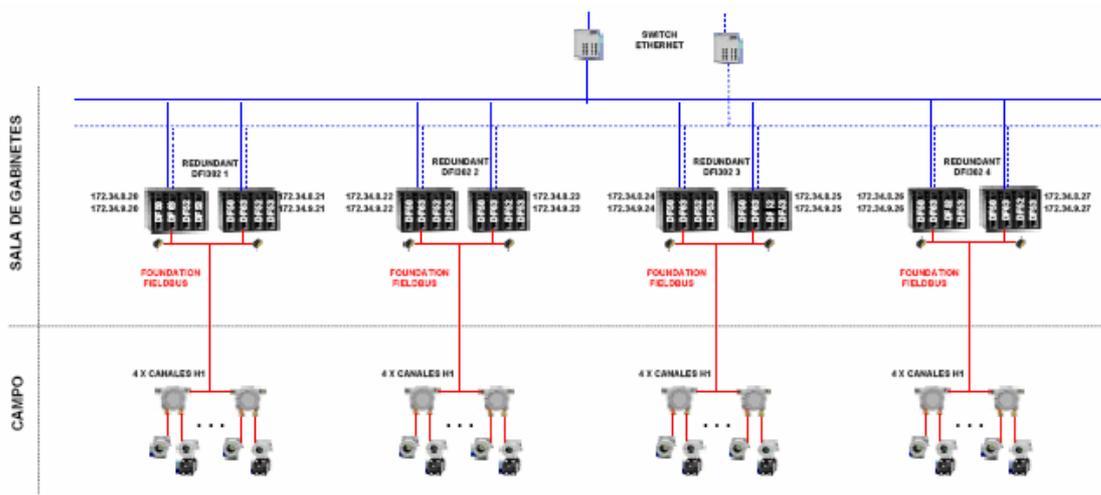


Figura 2.1 – Redes DFIs redundantes y el Campo.

2.3.1 Asignación de los Canales

Uno de los aspectos más importantes cuando se trabaja con Foundation Fieldbus es la asignación de los canales. (Ver Anexo 3).

Esto se logra haciendo un estudio detallado del proceso tecnológico a través del layout de instrumentos y de ayuda de especialistas de la planta y de la empresa. Este trabajo consta de cuatro puentes universales DFI302 y cada uno de 4 segmentos Fieldbus H1, los cuales se diseñaron teniendo en cuenta no poner más de tres lazos de control y entre 7 y 10 dispositivos por canal, con un total de 140 dispositivos. Se ha decidido poner esta cantidad de dispositivos, ya que, para la velocidad de 31,25 kb/s se establece que debe haber entre 1 y 12 instrumentos alimentados por el bus de comunicación sin seguridad intrínseca, ver epígrafe 1.5.2. Luego de haberse efectuado la asignación de los canales y de saber la posición geográfica de los instrumentos, se confeccionó un esquema donde se aprecia el recorrido del cableado Foundation Fieldbus en esta área.

(Ver Anexo 4).

2.3.2 Lazos de Control

En la asignación de los canales realizada en el epígrafe anterior se muestra la cantidad de lazos por segmento, habiendo un total de 45 lazos de control en el Campo.

- Lazos de control de flujo – 30, de los cuales todos pertenecen al control de flujo en línea de aire de proceso a los diferentes turboaeradores de la primera etapa de lixiviación.
- Lazos de control de presión – 15, de los cuales todos pertenecen al control de presión de gases en los diferentes turboaeradores de la primera etapa de lixiviación. Estos lazos de control de presión pertenecen al sistema de absorción de la planta para recuperar el amoniaco desprendido en los turboaeradores, evitando la pérdida de esta sustancia, y la contaminación del medio ambiente. El objetivo de los sistemas de absorción es absorber los gases amoniacaes y devolverlos al sistema en forma de un licor débil de aproximadamente 2 % de NH₃.

También están los dispositivos que solo efectúan la visualización (locales), que miden además de flujo y presión, el nivel en determinados tanques y la temperatura en los rodamientos de los diferentes motores en los distintos compresores.

El (Anexo 5) muestra el esquema perteneciente a una parte del área 3, específicamente a la serie de turboaeradores TA-100A – TA-103A. Se ha escogido esta serie de turbos como ejemplo, para mostrar la posición de los dispositivos en los turboaeradores y alrededor de este. Las demás series están compuestas igualmente, y funcionan del mismo modo.

El control del flujo de aire hacia los turboaeradores es fundamental, ya que, debe haber una entrada de (12 a 14)m³/min, (valores de setting que dependen del caudal a la salida del distribuidor o del tonelaje de Hornos) para que exista una correcta operación, y así lograr oxidar los constituyentes metálicos formados en los hornos de reducción.

El control de presión de gases en los turboaeradores también es de gran importancia, pues debe de existir una presión de vacío de (-2 a -4) mm H₂O para una correcta operación en estos turbos.

Si el vacío aumenta demasiado. Además de arrastrar pulpas que tupen las líneas se producen sobrecargas de gases a las torres de absorción, provocando un incremento de las pérdidas de amoníaco.

Si por lo contrario el vacío es deficiente, además de aumentar las pérdidas de amoníaco, se produciría la contaminación ambiental que haría irrespirable la atmósfera en esa área.

2.4 Cálculo de la Tensión en el dispositivo más lejano de cada segmento Fieldbus

El tamaño del sistema de cableado y la cantidad de dispositivos en un segmento de red están limitados por la alimentación de la red, es decir, por el voltaje que pueda entregar la fuente de alimentación al bus, la resistencia del cable y por el consumo de corriente de cada dispositivo [7].

Para realizar el cableado de todo el sistema usaremos el cable A par torcido con blindaje ya que tiene características que lo hacen “ideal” para la transmisión de señales que se encuentren dentro de los requerimientos del estándar Foundation Fieldbus. Además, para evitar la reflexión de la señal digital deberá ser usado un terminador (ver epígrafe 1.10 del capítulo 1) de manera adecuada aparte del terminador que se halla incluido en la fuente de impedancia. En este trabajo de diploma se ha escogido un **BT302** como terminador. (Ver figura 2.2).

Los cables de par torcido, los terminadores, la fuente de impedancia y la fuente de alimentación del bus trabajan unidos para conformar un sistema de cableado que transporta las señales desde y hasta los dispositivos Fieldbus. Se usó en todos los segmentos la topología de bus con derivaciones, aunque pudo usarse otras. Para minimizar el diseño no se han puesto en los segmentos la fuente de voltaje, la fuente de impedancia ni los terminadores. Para la realización del cálculo se han tomado en todos los segmentos al dispositivo D1 como el más distante de la fuente de voltaje, y la condición que se verificará es que su caída de voltaje debe de ser mayor que los 9v mínimos necesarios para el funcionamiento de los dispositivos Foundation Fieldbus. Para facilitar los cálculos se han creado los llamados sub-segmentos, que en algunos casos son Trunk y en otros Spurs.



Figura 2.2 – Dispositivo terminador BT302 de FF.

Para la demostración del cálculo se ha escogido el segmento H1 perteneciente al DFI 1 (Ver figura 2.3). La ubicación geográfica de los segmentos y dispositivos del DFI 1 se encuentra en el Anexo 6. En el Anexo 7 se muestra la función de cada dispositivo, así como sus rangos de operación y sus límites de alarma. En la tabla 2.1 se muestran los valores de longitud, resistencia, corriente y voltaje de cada sub-segmento creado en el canal H11. La celda resaltada representa el consumo máximo de corriente en el segmento Fieldbus.

Segmento H11:

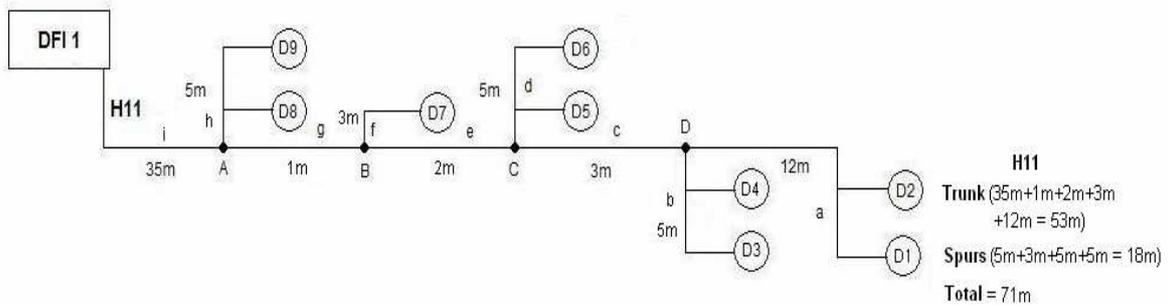


Figura 2.3 – Esquema del segmento H11.

Sub - Segmento	Longitud(m) L	Resistencia(Ω) R	I(mA)	U(V)
a	12	0.528	24	0.0126
b	5	0.22	24	0.0052
c	3	0.132	48	0.0063

d	5	0.22	24	0.0052
e	2	0.088	72	0.0063
f	3	0.132	12	0.0015
g	1	0.044	84	0.0036
h	5	0.22	24	0.0052
i	35	1.54	108	0.1663

Tabla 2.1 – Valores de longitud, resistencia, corriente y voltaje de cada sub-segmento en el canal H11.

Fórmula utilizada: $R=2*L*R_{Cable}$ donde $R_{Cable} = 0.022\Omega/m$

🔧 Luego sumamos la caída de voltaje en los sub-segmentos $a+c+e+g+i = 0.1951V$, y a este voltaje se le suma 1V necesarios para la modulación de la señal, resultando 1.1951V. Entonces se le resta 1.1951V al valor de la fuente, en este proyecto es de 24V, resultando **22.80V**, que es la caída de voltaje en el dispositivo1, que es el más lejano de la fuente de voltaje.

🔧 Lo anterior demuestra que la ubicación de los dispositivos geográficamente y la selección del cable están correctas.

Los valores de caída de voltaje de los restantes dispositivos D1 aparecen en la siguiente tabla. También en esta tabla se muestra el número de los Anexos relacionados con la ubicación geográfica de los segmentos y dispositivos de cada DFI, así como el tipo de instrumento y la función que realiza, entre otras características.

DFI	Canal	Caída de voltaje en D1	Anexos
DFI 1	H11	22.80V	6 y 7
	H12	22.7V	
	H13	22.75V	
	H14	22.85V	
DFI 2	H21	22.75V	8 y 9
	H22	22.74V	
	H23	22.61V	
	H24	22.73V	

DFI 3	H31	22.72V	10 y 11
	H32	22.60V	
	H33	22.73V	
	H34	22.71V	
DFI 4	H41	22.68V	12 y 13
	H42	22.58V	
	H43	22.79V	
	H44	22.44V	

Tabla 2.2 – Valores de las caídas de voltaje en los diferentes D1 de cada segmento Fieldbus.

2.5 Selección de la Fuente de Alimentación

Si los dispositivos en el campo tienen la comunicación en el bus (bus-powered) será necesaria la implementación de una fuente capaz de suministrar la alimentación para el funcionamiento adecuado del instrumento incluyendo su comunicación [7]. La capacidad de entrega de la fuente de alimentación debe ser mayor que el consumo de corriente total de todos los dispositivos conectados en el bus.

En este trabajo de diploma se escogió como fuente de alimentación el módulo **DF52** del DFI 302. (Ver figura 2.4).

Esta unidad es una fuente conmutada con una entrada universal y salida escogida, la cual se acopla a una fuente de impedancia DF53. Esta fuente de voltaje es apropiada para zonas donde no exista seguridad intrínseca. Tiene un voltaje de salida de 24V, corriente de 1.5A, consumo de potencia de 45W, y tiene un límite de temperatura ambiente de 0 – 50 °C, lo que la hace adecuada para las exigencias de los dispositivos en este trabajo.



Figura 2.4 – Fuente de Alimentación DF52.

2.6 Macro ciclo

Este es uno de los parámetros más importantes cuando se diseña un proyecto Foundation Fieldbus. El macro ciclo es la ocurrencia del Schedule (comunicación cíclica o sincrónica) completo para cada dispositivo en el segmento o canal Fieldbus [1]. La actualización de los links es hecha cada macro ciclo (Mc) y este tiempo puede variar dependiendo del tipo de instrumento y los parámetros que el mismo publica. En cada proyecto se debe verificar el tiempo del Mc y comparar este con el tiempo crítico del proceso de modo que no se comprometa la dinámica del proceso a controlar. Este tiempo de los macro ciclos es calculado y el valor de este cálculo se introduce en el software del System 302 denominado Syscon. (Ver figura 2.5).

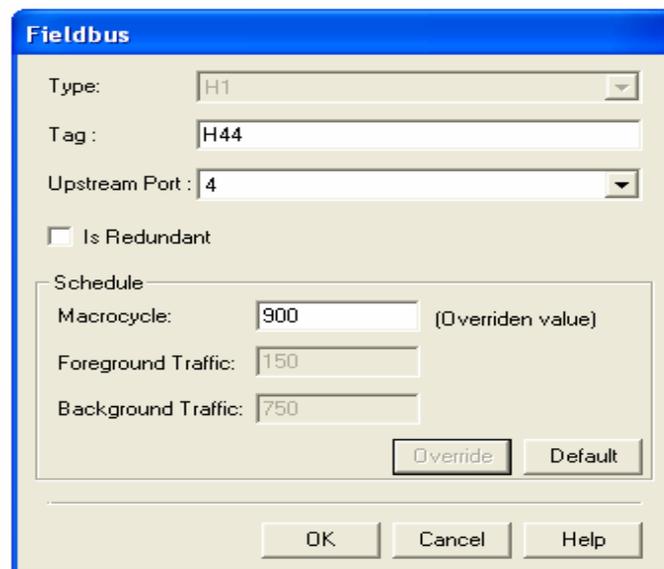


Figura 2.5 – Macro ciclo calculado e introducido en el Syscon.

2.6.1 Cálculo de los Macro ciclos

Ecuación General:

$$\text{Macro ciclo} = \text{Máx. (Ejecución de los Bloques, Ciclo de Tráfico Default)} \quad (2.1)$$

Ejecución de los Bloques = Suma de los Tiempos de Ejecución de los Bloques funcionales de un instrumento (por caso), incluyendo intervalos de "gap" (20, 40 o 4ms), que es el tiempo entre la ejecución de los bloques y un intervalo final de 100ms.

$$\text{Tiempo de Ejecución de los Bloques} = \text{Cantidad de Bloques del mismo tipo} * 4\text{ms} * \text{ITF} \quad (2.2)$$

$$\text{Ciclo de Tráfico} = \text{Tráfico Foreground} + \text{Tráfico Background} \quad (2.3)$$

$$\text{Tráfico Foreground} = (\text{Número de Links Externos} + 1) * 30 \quad (2.4)$$

Donde los Links Externos son aquellas conexiones (links) que van de un dispositivo a otro. (Ver figura 2.6).

$$\text{Tráfico Background} = \text{Máx} (100, \text{Número de dispositivos} * 30) \quad (2.5)$$

$$\text{Ciclo de Tráfico Default (CTD)} = (\text{Ciclo de Tráfico} * \text{ITF}) * 1.2 \quad (2.6)$$

donde ITF = número de interfaces utilizadas, en este caso trabajamos con dos DFI, existe redundancia.

En el epígrafe 2.7 se da una explicación detallada de los bloques de función.

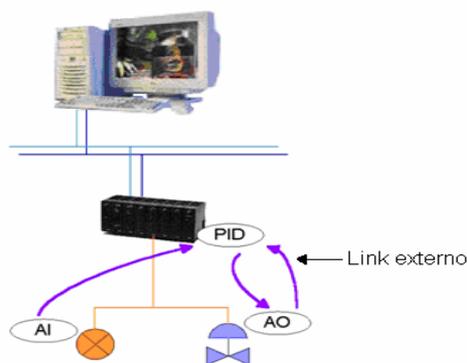


Figura 2.6 – Representación de 3 links externos.

Para la demostración del cálculo se ha escogido el segmento H11 perteneciente al DFI 1. Los bloques funcionales que se usarán para cada dispositivo aparecen en los (Anexos 7, 9, 11 y 13).

Segmento H11:

Aplicando la ecuación (2.4.2) tenemos:

$$\text{AI} \text{ ----- } 6 * 4\text{ms} * 2 = 48\text{ms}$$

$$\text{ARTH} \text{ ---- } 5 * 4\text{ms} * 2 = 40\text{ms}$$

$$\text{PID} \text{ ----- } 3 * 4\text{ms} * 2 = 24\text{ms}$$

$$\text{AO} \text{ ----- } 3 * 4\text{ms} * 2 = 24\text{ms}$$

$$\text{AALM} \text{ ---- } 4 * 4\text{ms} * 2 = 32\text{ms}$$

$$\text{Total} = 168\text{ms} + 40\text{ms} + 100\text{ms} = \mathbf{308\text{ms}} = \text{Ejecución de los Bloques.}$$

Aplicando la ecuación (2.4.6) tenemos:

$$\text{CTD} = [(6 + 1) * 30 + \text{Máx} (100, 9 * 30) * \text{ITF}] * 1.2$$

$$CTD = [210 + (270 * 2)] * 1.2$$

$$CTD = 900ms$$

Aplicando la ecuación (2.4.1) tenemos:

$$\text{Macro ciclo} = \text{Máx} (308ms, 900ms)$$

$$\text{Macro ciclo} = 900ms$$

Los valores del macrociclo de los restantes canales aparecen en la siguiente tabla.

Canal	Macro ciclo
H11	900ms
H12	828ms
H13	1044ms
H14	828ms
H21	828ms
H22	756ms
H23	972ms
H24	900ms
H31	756ms
H32	972ms
H33	1116ms
H34	756ms
H41	1044ms
H42	1044ms
H43	900ms
H44	900ms

Tabla 2.3 – Valores de los macrociclos en los diferentes canales.

Hay que tener en cuenta que en este diseño no se compromete la dinámica del proceso, pues los tiempos críticos de los procesos que intervienen en el área 3 son de un valor aproximado de 1500ms, y el valor del máximo macrociclo es de 1116ms, es decir, que el sistema funcionará correctamente.

2.7 Bloques Funcionales

Las aplicaciones de los bloques funcionales están definidas para aplicaciones de las industrias que desempeñan muchos monitoreos automáticos y funciones de control. Los bloques funcionales representan las funciones de automatización básicas, que son ejecutadas por aplicaciones del bloque funcional. Cada bloque funcional procesa parámetros de entrada de acuerdo con un algoritmo específico y un conjunto interno de parámetros de control. Estos producen parámetros de salida que están disponibles para el uso dentro de la misma aplicación del bloque funcional o en otras aplicaciones [6].

Los bloques funcionales son identificados usando un Tag y un índice numérico.

La capa superior del modelo Fieldbus (Capa de Aplicación del Usuario) se configura a través de los bloques funcionales. (Ver figura 2.7).

Los bloques Transducer (**TRD**), Resource (**RES**), Diagnostic Transducer (**DIAG**) y Display Transducer (**DISP**), lo llevan predeterminado los dispositivos Foundation Fieldbus.

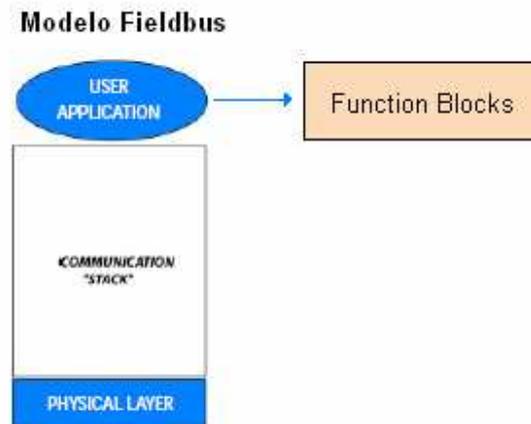


Figura 2.7 – Bloques Funcionales (Function Blocks) dentro del Modelo Fieldbus.

El bloque **TRD** separa el bloque funcional de los sensores y actuadores.

El bloque **RES** es usado para definir las características específicas de hardware de las aplicaciones de los bloques funcionales.

El bloque **DIAG** hace revisión de hardware y firmware, además de verificar links entre bloques.

El bloque **DISP** es usado en dispositivos que tengan display LCD, es usado para monitoreo de parámetros locales del bloque.

En este trabajo de diploma los bloques utilizados son los siguientes:

AI – Entrada analógica.

ARTH – Aritmético.

PID – Controlador PID.

SPLT – Splitter.

AO – Salida analógica.

AALM – Alarma.

Bloque de Entrada Analógica - AI

El bloque AI toma la entrada del bloque transductor y dispone esta para el uso de otros bloques de funciones a través de su salida. (Ver figura 2.8).

En este proyecto se han utilizado 86 bloques AI.

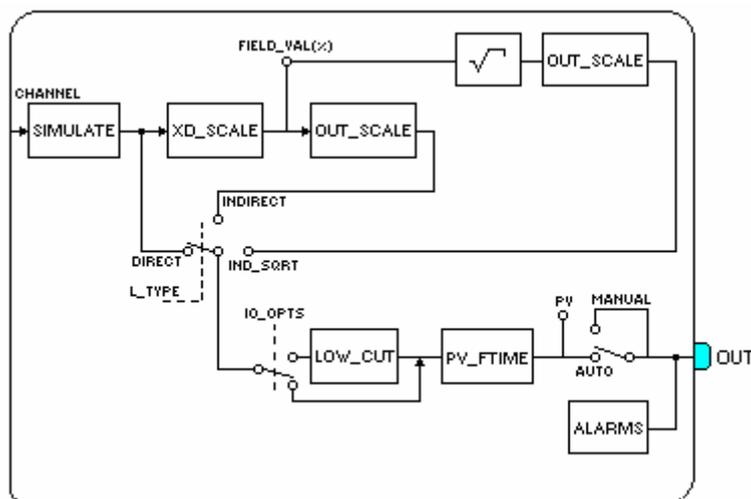


Figura 2.8 – Bloque funcional AI.

Bloque Aritmético – ARTH

Este bloque ARTH es usado en este proyecto para la compensación de flujo por el método de la raíz cuadrada, puesto que el transmisor LD 302 es un transmisor de presión diferencial y es usado además en este trabajo para transmitir señales de flujo. Estos transmisores miden el flujo de un fluido indirectamente, creando y midiendo una presión diferencial por medio de una obstrucción al flujo. El principio de operación se basa en medir la caída de presión que se produce a través de una restricción que se coloca en la línea de un fluido en movimiento, esta caída de presión es proporcional al flujo. La proporcionalidad es una relación de raíz cuadrada, en la cual el flujo es proporcional a la raíz cuadrada del diferencial de presión.

Diversos algoritmos están disponibles en el bloque para la sola sustitución de parámetros y totalmente seleccionables por el operador. (Ver figura 2.9).

El operador posee 6 constantes las cuales puede cambiar en cualquier modo para obtener la respuesta deseada. No se requiere del dominio de ningún lenguaje por parte del usuario, ni el uso de alguna herramienta adicional para completar el proceso de la definición del algoritmo. Este bloque permite el cálculo de ecuaciones predefinidas. En este proyecto se han utilizado 43 bloques ARTH.

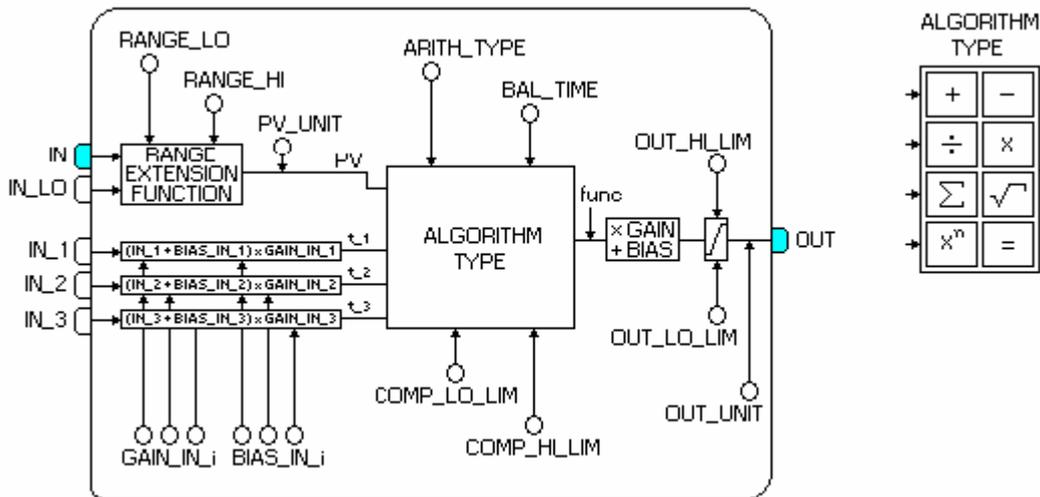


Figura 2.9 – Bloque funcional ARTH y sus diversos algoritmos.

Bloque Controlador – PID

Este bloque es la clave del control en muchos de los esquemas aplicados universalmente con la excepción de PD, el que es utilizado cuando el proceso por si mismo realiza la integración. Siempre y cuando un error exista, la función PID integrara el error, lo cual desplazara la salida para lograr la corrección del error. Los bloques PID pueden estar conectados en cascada cuando las diferencias en las constantes de tiempo hacen esta necesaria. Está es una técnica muy simple y bastante satisfactoria, con un buen comportamiento en los procesos que tradicionalmente nos encontramos. En este proyecto no es usada la configuración en cascada, puesto que el proceso no lo exige, la utilizada es la básica. (Ver figura 2.10).

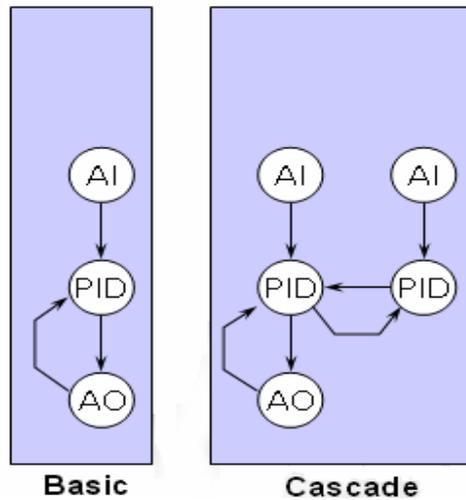


Figura 2.10 – Configuraciones Básica y Cascada.

En este trabajo de diploma son usados 45 bloques PID. (Ver figura 2.11).

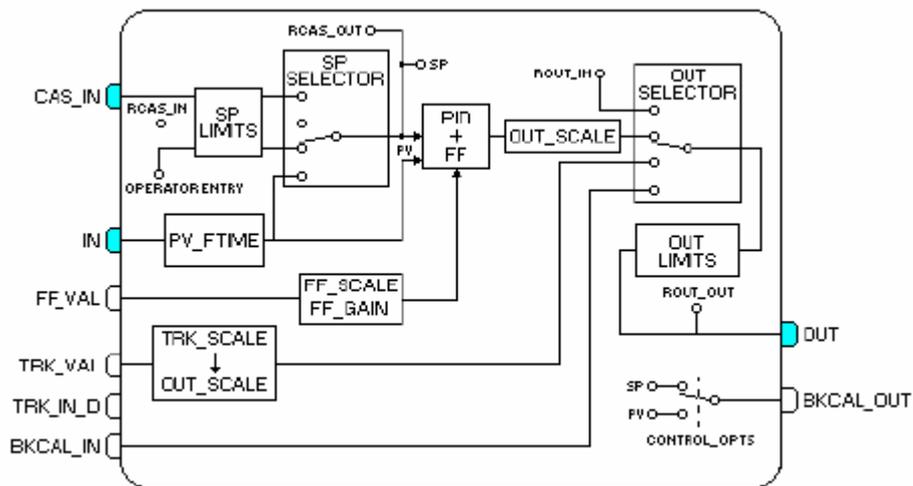


Figura 2.11 – Bloque funcional PID.

Bloque Splitter – SPLT

Este es un bloque divisor que se utiliza generalmente conectado entre un bloque PID y un bloque AO. Es usado en aplicaciones para comparar rangos, secuenciar o para la selección de salidas. Este bloque soporta dos salidas, por lo general dos válvulas. En este trabajo de diploma son usados 9 bloques SPLT. (Ver figura 2.12).

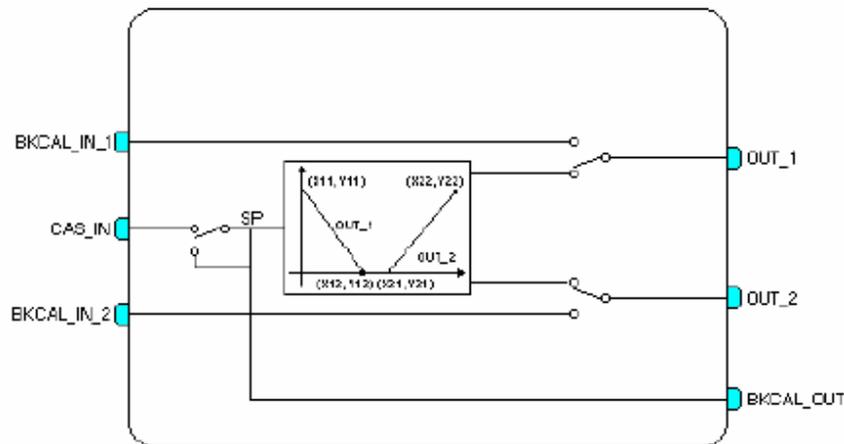


Figura 2.12 – Bloque funcional SPLT.

Bloque de Salida Analógica – AO

Este bloque es utilizado por dispositivos que trabajan como elementos de salida en un lazo de control, como válvulas, actuadores, posicionadores, etc. El bloque AO recibe una señal de otro bloque funcional y pasa su resultado a un transductor de salida a través de un canal interno de referencia. En este trabajo de diploma son usados 54 bloques AO. (Ver figura 2.13).

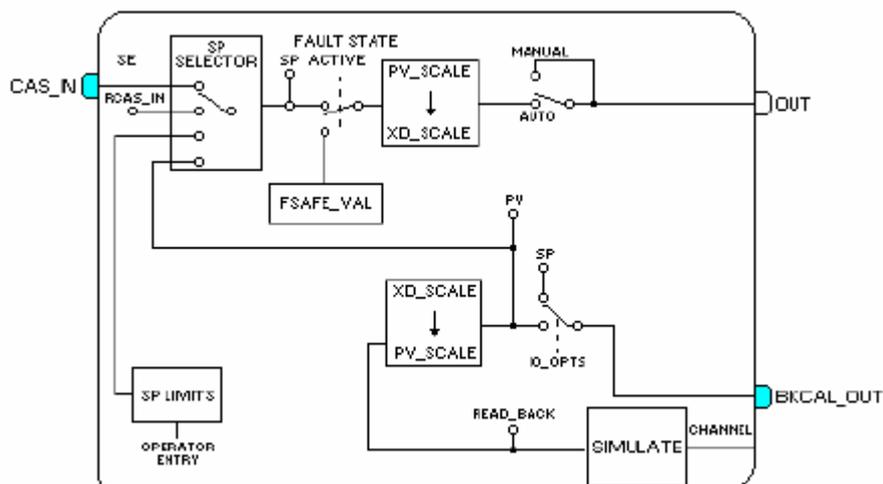


Figura 2.13 - Bloque funcional AO.

Bloque de Alarma – AALM

Este bloque suministra el reporte de las condiciones de alarmas en una salida analógica de cualquier bloque. En las condiciones de alarmas se incluyen por alta (H), alta-alta (HH), por baja (L), baja-baja (LL). (Ver figura 2.14). Se debe prevenir que un evento simple provoque una cascada de alarmas, reportando jerárquicamente las alarmas al operador. En este trabajo de diploma son usados 72 bloques AALM.

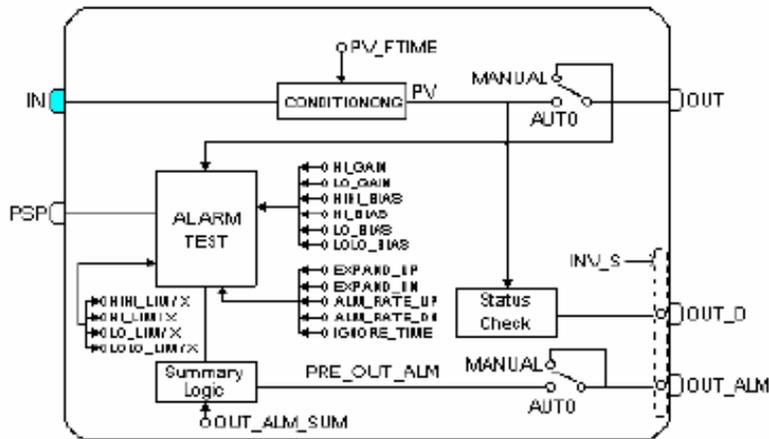


Figura 2.14 – Bloque funcional AALM.

2.8 Instrumentación de campo utilizada en el proyecto y Accesorios

Puente universal Fieldbus DFI302

El DFI302 es un componente de hardware multifuncional que forma parte integral del System302. Este dispositivo es una unidad integrada que incluye fuente de alimentación, de impedancia, terminador, por lo que es mucho más simple de mantener y expandir. Ya que un simple módulo implementa cuatro puertos Fieldbus H1, Ethernet y puerto Modbus directamente en el controlador sin la necesidad de usar módulos separados, la DFI302 se usa en las mayorías de las soluciones de automatización con Foundation Fieldbus [1]. (Ver figura 2.15).



Figura 2.15 – DFI302 de Smar.

Arquitectura Modular.

Dos DFI-302 idénticas pueden ser conectadas en paralelo para proveer funcionalidad redundante. Un punto clave para las tolerancias a los fallos es que el DFI-302 master y el de respaldo están separados físicamente para eliminar de esta manera las causas comunes de fallo. Como muestra la (figura 2.15) este dispositivo es una unidad modular montada en un rack en el cual son insertados todos los componentes. De izquierda a derecha se encuentran:

- DF50 – Fuente de alimentación del rack (DFI302).
- DF62/63 – CPU para FF.
- DF52 – Fuente de alimentación para FF.
- DF53 – Fuente de impedancia para FF.

La fuente de alimentación del rack DF50 presenta las siguientes características:

- Entrada: 90 ~ 260 Vac.
- Salida: 5V @ 3A, 24V @ 0.3A.
- Consumo máximo: 35 VA.

El módulo de CPU DF62/63 presenta las siguientes características:

- Número de puertos H1: 4.
- Número de bloques funcionales (FB): 100 bloques.
- Ancho de banda: 31.25 kbps (H1).
- LAS y Modbus Gateway.
- Conector Ethernet RJ-45.
- Conector EIA-232 RJ-12.
- Mecanismo Watchdog, que es usado para detectar y corregir cualquier falla que ocurra en el controlador cuando esté realizando sus tareas.

El DF62/63 posee una batería interna que mantiene el RTC (Real Time Clock) y su memoria RAM no volátil (NVRAM) alimentados cuando hay ausencia de alimentación externa. En la (figura 2.16) se muestra este módulo con sus distintos puertos.

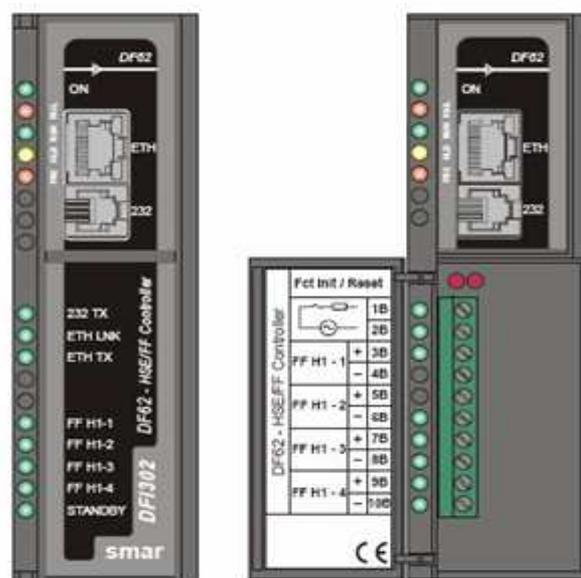


Figura 2.16 – DF62/63 perteneciente al DF302.

La fuente de alimentación para los segmentos Fieldbus fue tratada en el epígrafe 2.5 del presente capítulo cuando se hizo la selección de esta.

La fuente de impedancia DF53 presenta las siguientes características:

- 340 mA de salida por segmento.
- Terminal embutido. (Ver figura 2.17).
- Indicación de falla.
- Impedancia Activa.
- Soporta cuatro segmentos.

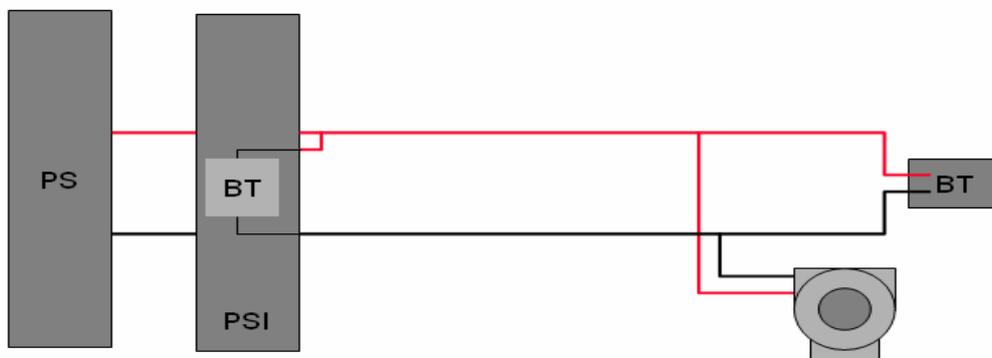


Figura 2.17 – Terminal embutido (BT) en la fuente de impedancia.

Transmisor inteligente de presión LD-302

El transmisor LD-302 pertenece a la primera generación de dispositivos Fieldbus del fabricante Smar. Este es un transmisor que puede ser usado para medir presión diferencial, absoluta, vacío, para mediciones de nivel y flujo. (Ver figura 2.18).



Figura 2.18 – Transmisor inteligente de presión LD-302.

El sensor está basado en un dispositivo capacitivo con lectura digital que brinda una operación segura y de alto nivel. La tecnología digital usada en este transmisor permite el uso de varios tipos de funciones de transferencia, lo hacen una interfase amigable entre el campo y la sala de control, sus características como la estabilidad y la precisión reducen considerablemente los costos por mantenimiento, operación y montaje.

Algunas de sus especificaciones técnicas son:

- Rango: 0-125 Pa a 0-40 MPa, (0-0.5 inH₂O a 0-5800 psi).
- Voltaje de trabajo: 9-32 Vdc.
- Consumo de corriente: 12 mA.
- Precisión: 0.075 % del rango calibrado.
- Autodiagnóstico.
- Intrínsecamente seguro.
- Bloques de función FF incluidos.

Transmisor inteligente de temperatura TT-302

El transmisor de temperatura TT-302 pertenece también a la primera generación de dispositivos Fieldbus del fabricante Smar. (Ver figura 2.19). Este es un transmisor que principalmente es utilizado para la medición de temperatura usando RTDs o termopares, pero también acepta otros sensores con resistencia o salida en mV tales como: los pirómetros, células de carga e indicadores de posición de resistencia.



Figura 2.19 – Transmisor inteligente de temperatura TT-302.

La tecnología digital usada en este transmisor posibilita un modelo único que permite el uso de diversos tipos de sensores, amplios rangos de medición, y una interfase fácil entre el campo y la sala de control. Las características que presenta como la estabilidad y la precisión entre otras, reducen considerablemente los costos por mantenimiento, operación y montaje. Además, acepta dos canales de medición, es decir, se pueden conectar dos sensores a un solo dispositivo reduciendo el costo por canal.

Algunas de sus especificaciones técnicas son:

- Voltaje de trabajo: 9-32 Vdc.
- Consumo de corriente: 12 mA.
- Precisión básica: 0.02%.
- Autodiagnóstico.
- Doble canal de medición.
- Intrínsecamente seguro.
- Bloques de función FF incluidos.
- Entrada universal que acepta diferentes termopares, RTDs, mV y Ohm.

Posicionador de válvula Fieldbus FY-302

El posicionador para válvulas neumáticas FY-302, pertenece también a la primera generación de dispositivos Fieldbus del fabricante Smar. (Ver figura 2.20). Este produce una presión de salida requerida para posicionar una válvula de control de acuerdo a la señal recibida a través de la red Fieldbus o desde el controlador PID programado internamente.



Figura 2.20 – Posicionador de válvula Fieldbus FY-302.

La tecnología Fieldbus utilizada en los dispositivos FY-302 y su fácil interface entre el campo y la sala de control entre otras características, reducen considerablemente la instalación, operación y costos por mantenimiento.

La eliminación de muchas partes mecánicas que otros posicionadores presentan, sin afectar la operación, es una gran ventaja. El autodiagnóstico continuo del posicionador alerta de manera inmediata posibles fallas de hardware o software en la válvula o en él mismo, permitiendo al personal de mantenimiento operar de forma óptima minimizando los costos.

Al igual que los otros dispositivos utilizados, el posicionador FY-302 presenta display digital LCD, lo cual es tecnología opcional.

Interface Fieldbus/USB BC302

Este accesorio usado en las redes Fieldbus es de gran importancia, ya que computadoras portátiles (laptop) podrán acceder a la red usando esta interface Fieldbus/USB, la cual facilita las operaciones de configuración y mantenimiento directamente en el campo, y no necesita de una fuente externa de alimentación. (Ver figura 2.21).



Figura 2.21 – Interface Fieldbus/USB BC302

Algunas de las características más importantes de este dispositivo son:

- 12MHz, 2MB NVRAM
- 1 USB channel - 12Mbps
- 1 Fieldbus H1 channel - 31.25Kbps

2.9 Cálculo de reservas para futuras expansiones

Un aspecto de gran importancia cuando se diseña un proyecto con tecnología Foundation Fieldbus, es la capacidad de reserva para futuras expansiones. Cada sistema debe ser suministrado con un mínimo de 10% de capacidad de reserva, en la cual se incluyen, reserva de longitud, reserva de voltaje y reserva de macrociclo [4]. En este proyecto la capacidad de reserva es excelente.

Cálculo de reserva de longitud

Cada segmento Fieldbus con cable tipo A tiene una máxima longitud de 1900m, sin uso de repetidores. En la siguiente tabla se muestra la distancia de cada bus H1 utilizado en el proyecto y la capacidad de reserva que presentan.

Canal	Longitud	Capacidad de reserva	
H11	71m	1829m	96.26%
H12	82m	1818m	95.68%
H13	99m	1801m	94.78%
H14	62m	1838m	96.73%
H21	83m	1817m	95.63%

H22	80m	1820m	95.78%
H23	116m	1784m	93.89%
H24	92m	1808m	95.15%
H31	101m	1799m	94.68%
H32	116m	1784m	93.89%
H33	95m	1805m	95%
H34	89m	1811m	95.31%
H41	210m	1690m	88.94%
H42	123m	1777m	93.52%
H43	81m	1819m	95.73%
H44	144m	1756m	92.42%

Tabla 2.4 – Capacidad de reserva de longitud.

Como se muestra en la anterior tabla, la capacidad de reserva de longitud es muy grande (88% - 96%), por lo que queda asegurada una posible expansión futura.

Cálculo de reserva de voltaje

Cada dispositivo Fieldbus tiene un rango de voltaje de trabajo de 9 – 32 Vdc, en este trabajo de diploma se ha calculado la caída de voltaje en el dispositivo más distante al DFI302 (D1), que debe ser mayor que los 9V mínimos, lo cual aparece en la siguiente tabla, además de la capacidad de reserva que representan estos voltajes.

Canal	Voltaje de D1	Capacidad de reserva	
H11	22.80V	13.8V	60%
H12	22.7V	13.7V	59.56%
H13	22.75V	13.75V	59.78%
H14	22.85V	13.85V	60.21%
H21	22.75V	13.75V	59.78%
H22	22.74V	13.74V	59.73%

H23	22.61V	13.61V	59.17%
H24	22.73V	13.73V	59.69%
H31	22.72V	13.72V	59.65%
H32	22.60V	13.6V	59.13%
H33	22.73V	13.73V	59.69%
H34	22.71V	13.71V	59.60%
H41	22.68V	13.68V	59.47%
H42	22.58V	13.58V	59.04%
H43	22.79V	13.79V	59.95%
H44	22.44V	13.44V	58.43%

Tabla 2.5 – Capacidad de reserva de voltaje.

Como se muestra en la anterior tabla, la capacidad de reserva de voltaje es aceptable (58.43% - 60.21%), por lo que queda asegurada una posible expansión futura.

Cálculo de reserva de macrociclo

Como se mostró en el epígrafe 2.6, el macrociclo es de gran importancia para lograr un buen diseño del sistema de control con la tecnología Foundation Fieldbus. Si no conocemos este en un proyecto no sabemos si la dinámica de tal proceso se compromete, por lo que es de vital importancia conocerlo. Se ha considerado para este análisis un tiempo crítico para comprobar los lazos de control igual a 1500ms.

En la siguiente tabla aparece el macrociclo de cada canal con su respectiva capacidad de reserva.

Canal	Macrociclo	Capacidad de reserva	
H11	900ms	600ms	40%
H12	828ms	672ms	44.8%
H13	1044ms	456ms	30.4%
H14	828ms	672ms	44.8%

H21	828ms	672ms	44.8%
H22	756ms	744ms	49.6%
H23	972ms	528ms	35.2%
H24	900ms	600ms	40%
H31	756ms	744ms	49.6%
H32	972ms	528ms	35.2%
H33	1116ms	384ms	25.6%
H34	756ms	744ms	49.6%
H41	1044ms	456ms	30.4%
H42	1044ms	456ms	30.4%
H43	900ms	600ms	40%
H44	900ms	600ms	40%

Tabla 2.6 – Capacidad de reserva de macrociclo.

Como se muestra en la anterior tabla, la capacidad de reserva de macrociclo es aceptable (25.6% - 49.6%), por lo que queda asegurada una posible expansión futura.

2.10 Elaboración de las Estrategias de Control de cada segmento Fieldbus a través del Syscon, perteneciente al System 302

En esta sección se abordará sobre la configuración de los lazos de control a través de las estrategias de control del Syscon perteneciente a la familia del System 302.

2.10.1 System 302

System302 es un paquete de automatización diseñado para que las empresas se mantengan en el mundo competitivo. Este paquete provee una solución de manufactura muy flexible capaz de responder rápidamente a los requerimientos de cambios del consumidor. Con este software de automatización se ha logrado un sistema basado en el estándar Foundation Fieldbus, lo cual le brinda al usuario la libertad de poder elegir a su fabricante preferido y de esta manera permitirle la compra del mejor instrumento logrando un sistema verdaderamente abierto [1]. En nuestro trabajo la arquitectura usada es similar a la típica usada por Smar. (Ver figura 2.22).

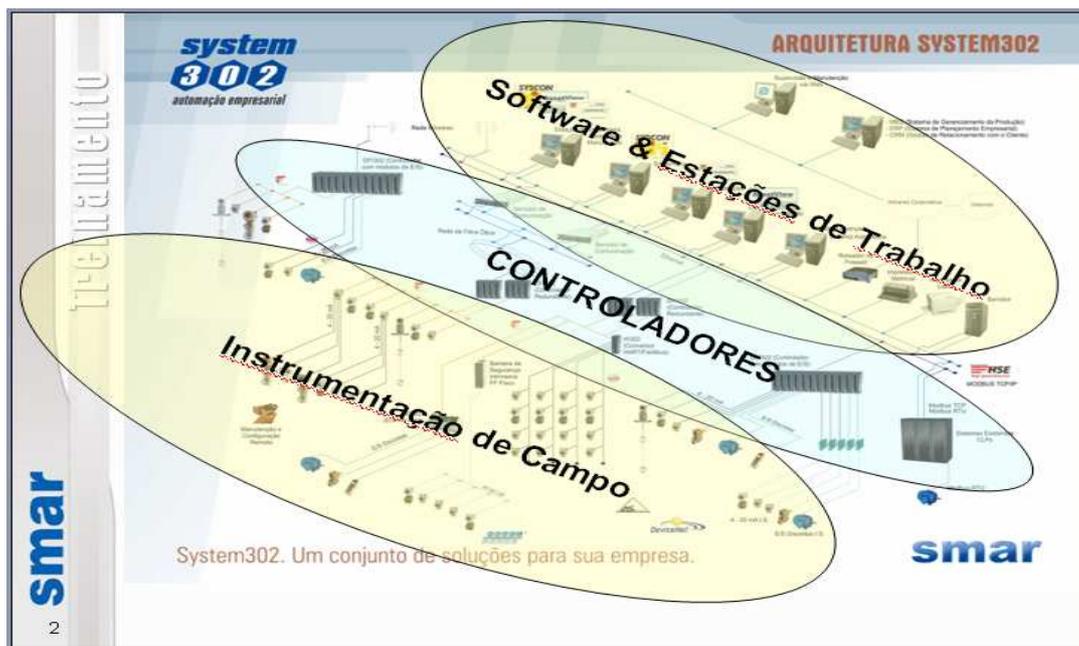


Figura 2.22 – Arquitectura del System 302 de Smar.

En la (figura 2.23) se muestra la ventana principal del System 302, en la cual se observan las diferentes herramientas de trabajo que trae incluido. Algunas de estas son: Assetview, la cual es una herramienta Web para diagnóstico continuo, mantenimiento y calibración de equipamientos de campo con protocolo Foundation Fieldbus; Fbview, que es una herramienta poderosa, pues da al usuario la capacidad de ver los mensajes que están traficando por el bus Fieldbus, analizándolos, decodificándolos y filtrándolos para capturar solo los mensajes deseados; Logicview, que se encarga de la configuración del control discreto a través del diagrama de contactos; Syscon, que es la herramienta más poderosa del System 302 y la utilizada en este proyecto, la cual configura, supervisa y opera la más reciente línea de equipamientos de Smar utilizando la nueva serie de controladores, los cuales para que se realice la comunicación son conectados a la red de alta velocidad HSE.

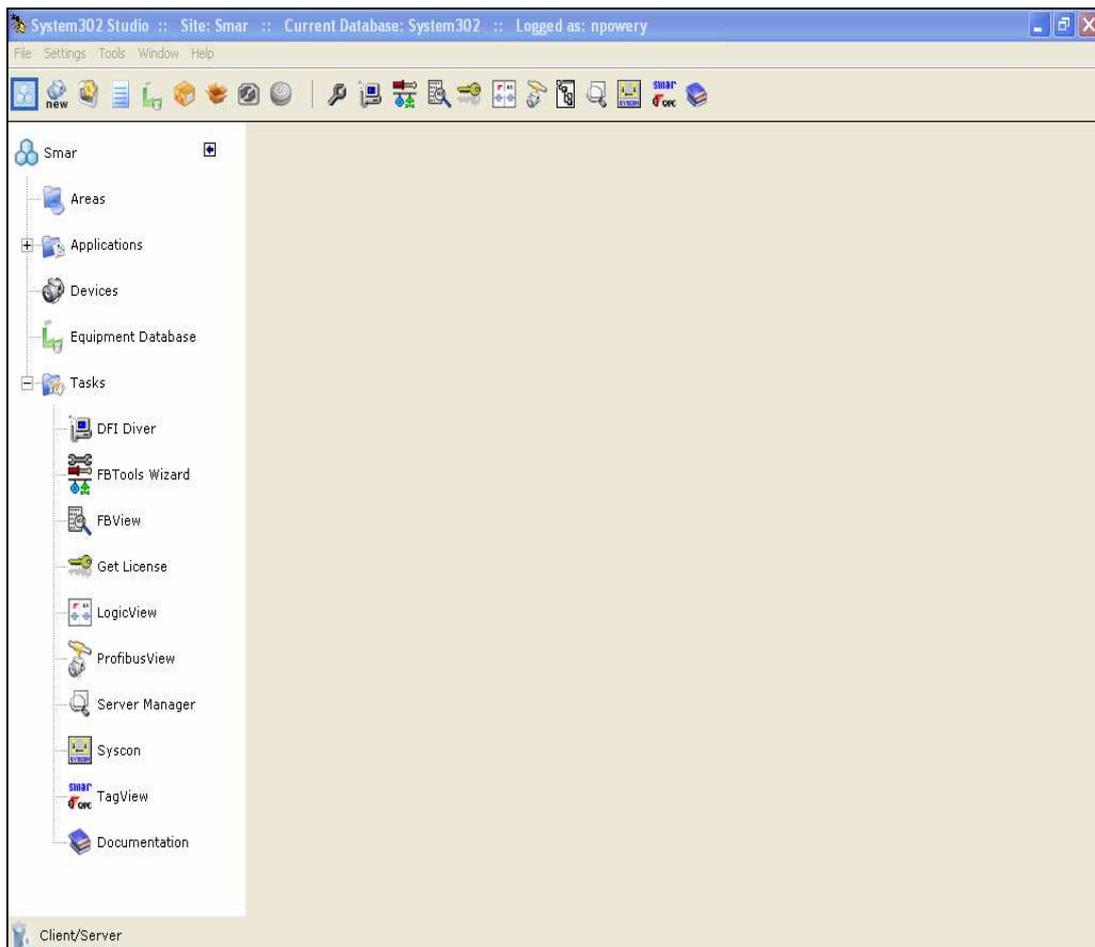


Figura 2.23 – Ventana principal del System 302.

2.10.2 Syscon

El configurador del sistema (Syscon) es una parte integral del software System 302 que trae incluido todo lo necesario para configurar los aspectos fundamentales de un proyecto Fieldbus, incluyendo hardware, estrategias de control, interfase del operador y comunicaciones [10].

En este trabajo de diploma la herramienta Syscon ha sido fundamental, ya que en él es que ha sido montado todo el proyecto y se han realizado en el las estrategias de control.

La entrada de datos y configuración es completamente gráfica y orientada a objetos. Los bloques de funciones son presentados justo como los diagramas P&ID del ISA. La etiqueta y la descripción de cada bloque de función son mostradas junto con las informaciones pertinentes de cada bloque. La configuración incluye la selección de los dispositivos, los bloques de funciones, sus enlaces y la parametrización de los mismos.

Syscon detecta, identifica y asigna direcciones a los dispositivos Fieldbus automáticamente (plug'n play) al mismo tiempo en que los dispositivos son conectados al bus y también puede informarnos si alguno de ellos fue desconectado del bus, tiene problemas de comunicación, o alguna otra falla.

Primeramente se han configurado los cuatro DFI302 con sus respectivos segmentos Fieldbus H1. (Ver Anexo 14).

Luego se han configurado dentro de estos segmentos los dispositivos seleccionados en el apéndice 2.2.1 relacionado con la asignación de los canales. (Ver Anexo 15) y (Anexo 16).

2.10.3 Estrategias de Control

Después de realizarse la distribución de los bridges DFI y de sus segmentos, y de hacerse un estudio de los bloques funcionales y saber cuales se van a usar, se realizó la configuración de las estrategias de control. Estas estrategias de control en el Syscon son llamadas módulos de control y se configuran con bastante facilidad.

Módulo de Control H11

Este módulo está compuesto por 21 bloques funcionales y tres lazos de control de flujo. (Ver Anexo 17).

Módulo de Control H12

Este módulo está compuesto por 16 bloques funcionales, dos lazos de control de flujo y uno de presión. (Ver Anexo 18).

Módulo de Control H13

Este módulo está compuesto por 19 bloques funcionales y tres lazos de control de presión. (Ver Anexo 19).

Módulo de Control H14

Este módulo está compuesto por 19 bloques funcionales y tres lazos de control de flujo. (Ver Anexo 20).

Módulo de Control H21

Este módulo está compuesto por 21 bloques funcionales y tres lazos de control de flujo. (Ver Anexo 21).

Módulo de Control H22

Este módulo está compuesto por 16 bloques funcionales, dos lazos de control de flujo y uno de presión. (Ver Anexo 22).

Módulo de Control H23

Este módulo está compuesto por 17 bloques funcionales y tres lazos de control de presión. (Ver Anexo 23).

Módulo de Control H24

Este módulo está compuesto por 21 bloques funcionales y tres lazos de control de flujo. (Ver Anexo 24).

Módulo de Control H31

Este módulo está compuesto por 18 bloques funcionales y tres lazos de control de flujo. (Ver Anexo 25).

Módulo de Control H32

Este módulo está compuesto por 21 bloques funcionales, dos lazos de control de flujo y uno de presión. (Ver Anexo 26).

Módulo de Control H33

Este módulo está compuesto por 18 bloques funcionales y tres lazos de control de presión. (Ver Anexo 27).

Módulo de Control H34

Este módulo está compuesto por 17 bloques funcionales y tres lazos de control de flujo. (Ver Anexo 28).

Módulo de Control H41

Este módulo está compuesto por 22 bloques funcionales, dos lazos de control de flujo y uno de presión. (Ver Anexo 29).

Módulo de Control H42

Este módulo está compuesto por 21 bloques funcionales, dos lazos de control de flujo y uno de presión. (Ver Anexo 30).

Módulo de Control H43

Este módulo está compuesto por 22 bloques funcionales y dos lazos de control de flujo. (Ver Anexo 31).

Módulo de Control H44

Este módulo está compuesto por 20 bloques funcionales y un lazo de control de presión. (Ver Anexo 32).

2.11 Propuesta para disminuir el macrociclo

Entre las condiciones que se establecieron para el diseño del sistema de control Fieldbus en el área 3 fue poner los bloques controladores PID en los transmisores LD-302, en vez de colocarlos en los posicionadores FY-302. La causa de esta decisión es la gran facilidad para el mantenimiento en los dispositivos del campo, aunque no esté establecido cual es la configuración más apropiada. Pero a pesar de presentar esta ventaja, tiene también una gran desventaja, que está relacionada con el macrociclo que se obtiene con esta configuración.

Como se mostró en el epígrafe 2.6.1, fórmula 2.1, el macrociclo depende del CTD y este a su vez de los links externos en cada canal.

Se ha tomado para el análisis el segmento H32, el cual tiene 972ms de macrociclo.

La siguiente figura muestra el único lazo de control de presión presente en el canal H32, el cual presenta 2 links externos.

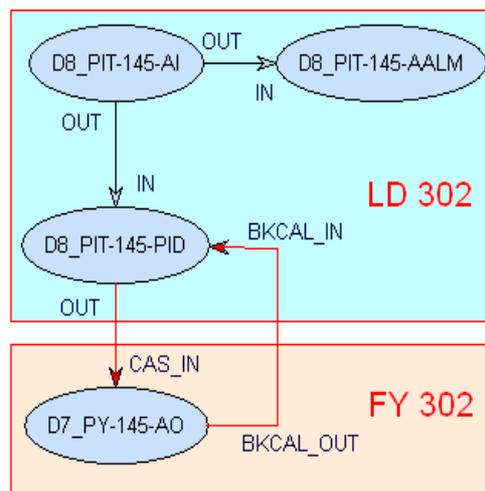


Figura 2.24 – Lazo de control de presión con dos links externos.

Si en vez de usar esta configuración, usamos al bloque controlador PID en el posicionador FY-302, tendríamos solamente 1 link externo, es decir, se reduciría la cantidad de links externos a la mitad. Esto traería consigo una disminución del tiempo del CTD, y por lo tanto del macrociclo, logrando mejor tiempo en la actualización de los datos del proceso para brindarle al usuario más comodidad. (Ver figura 2.25).

El macrociclo del canal H32 con esta configuración sería de 864ms.

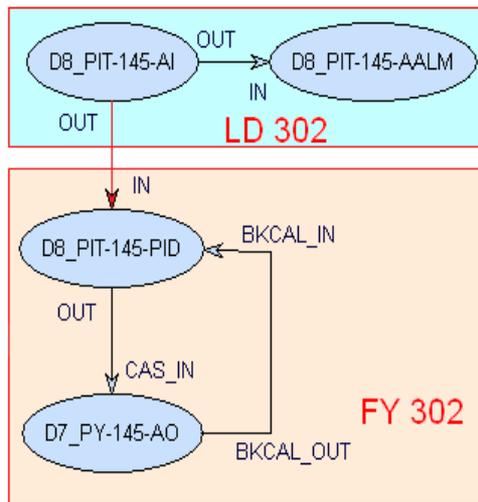


Figura 2.25 – Lazo de control de presión con 1 link externo.

La siguiente tabla muestra los macrociclos de cada canal obtenidos para las dos configuraciones, configuración A que es la aplicada en este trabajo de diploma (bloque PID dentro del LD-302), y configuración B (bloque PID dentro del FY-302).

Canal	Macrocielo Configuración A	Macrocielo Configuración B
H11	900ms	792ms
H12	828ms	720ms
H13	1044ms	864ms
H14	828ms	720ms
H21	828ms	720ms
H22	756ms	648ms
H23	972ms	828ms
H24	900ms	792ms
H31	756ms	648ms
H32	972ms	864ms
H33	1116ms	900ms
H34	756ms	648ms
H41	1044ms	900ms
H42	1044ms	900ms

H43	900ms	828ms
H44	900ms	828ms

Tabla 2.7 – Macrociclos para las diferentes configuraciones.

2.12 Conclusiones del Capítulo

Podemos observar al concluir este capítulo, que estamos viviendo una etapa de transformaciones tecnológicas en la industria del níquel cubano, donde se hace imprescindible la introducción del bus de campo Foundation Fieldbus para lograr un mayor control de procesos. Lo cual implica un incremento de la producción, la eficiencia, y la calidad.

Valoración Técnica – Económica

Cuando se diseña un proyecto, la valoración económica es un aspecto de vital importancia a tener en cuenta, ya que es muy importante evaluar los costos y principalmente los beneficios económicos que se derivarán de la implementación del proyecto, llegando a la conclusión de su factibilidad, lo cual se logra analizando si los beneficios son mayores que los costos, o sea, si la ganancia a un determinado tiempo es mayor que la inversión.

La principal ventaja que ofrece Foundation Fieldbus, y lo que lo hace más atractivo a los usuarios finales, es la reducción de costos, que en resumida cuenta lleva aparejado un ahorro considerable que proviene fundamentalmente de tres fuentes: ahorro en costo de instalación, ahorro en el costo de mantenimiento y ahorros derivados de la mejora del funcionamiento del sistema.

En todos los análisis de las altas pérdidas de amoniaco en el proceso (en el año 2008) el déficit de la instrumentación aparece como una causa importante.

En general se estima que con la aplicación del proyecto Fieldbus en el área 3 sería posible reducir las pérdidas de NH₃ en la empresa que fueron en el 2008 de 58,95 t/d como mínimo en un 8%, lo que significaría alrededor de 4,71 t/d de NH₃ que se incorporarían al proceso.

Valoración económica por concepto de las pérdidas de amoniaco.

$4,71\text{ton/d de NH}_3 \times 365\text{d/año} \times 397,7\text{dolares/ton} = 683\ 705,95\ \text{dólares/año.}$

Valoración económica por concepto incremento de la eficiencia tomando como referencia un 1,2%.

Según los análisis del departamento técnico de la empresa, con la inversión del área 3 se puede incrementar la eficiencia metalúrgica en un 1,2%.

Tomando como referencia el plan del año actual que es de 13.000, si se incrementa la eficiencia en un 1,2% significaría elevar la producción en 156 toneladas de níquel en el año, que a un precio del níquel de 10 524 dólares/t equivaldría a: $156\text{ton/año} \times 10\ 524\ \text{dólares/t} = 1\ 641\ 744\ \text{dólares/año.}$

Efecto económico de la inversión: 2.325.449,95 dólares por año.

Análisis del costo de aplicación del proyecto:

A continuación se muestra el costo estimado del proyecto de automatización para el área 3 de la planta de Lixiviación y Lavado.

Item	Descripción	Importe
1	Suministros	€ 496.478,22
1.1	Instrumentación de campo	€ 349.309,87
1.2	Controlador	€ 69.107,98
1.3	Sistema de Supervisión	€ 44.637,00

1.4	Materiales de montaje	€ 33.423,37
2	Montaje e instalación	€ 79.582,06
Sub. Total de costos directos		€ 576.060,28
3	Ingeniería	€ 84.516,38
3.1	Ingeniería SMAR	€ 62.956,08
3.2	Ingeniería Ceproníquel	€ 21.560,30
4	Ajuste y puesta en marcha del sistema	€ 5.690,11
5	Repuestos	€ 9.549,84
6	Capacitación	€ 8.415,70
7	Contingencia	€ 39.791,03
8	Puesta FOB	€ 12.733,13
9	Flete	€ 6.366,56
10	Seguro	€ 636,65
Sub. Total de costos indirectos		€ 167.699,4
Valor total de la oferta		€ 743.759,68

Tabla 2.8 – Costo estimado del proyecto.

En la siguiente tabla se muestra el resumen costo beneficio del proyecto.

No.	Descripción	Importe
1	Costo estimado del proyecto	€ 743.759,68 (\$937.137,19)
2	Beneficio estimado por la aplicación del proyecto del área 3 por año.	\$2.325.449,95

Tabla 2.9 – Resumen costo beneficio del proyecto.

Para el primer año debe de existir un beneficio substancial de \$1.388.312,76.

La relación beneficio/costo = 2,48, lo que significa el retorno por cada dólar gastado, lo cual demuestra un retorno positivo.

Es evidente que la automatización del área 3 trae consigo un alto grado de ahorro económico y un incremento considerable de la eficiencia metalúrgica, humanización del trabajo del hombre y disminución de la contaminación ambiental.

Valoración Medioambiental

Esta automatización con tecnología Foundation Fieldbus va a permitir principalmente que en el área de los turbos exista una correcta operación en los mismos, evitando que en ellos ocurra presión positiva, que es la causa de los grandes escapes de gases amoniacales al medioambiente, volviendo prácticamente irrespirable esta área de producción.

Estos gases amoniacales que se escapan al exterior además de afectar a los trabajadores de la empresa y al industrializado pueblo de Nicaro, hacen falta para que ocurra un correcto lixiviado y extracción de níquel en la planta de Lixiviación y Lavado.

En la empresa se le llama turbo positivo al turboaerador que esté operando con presión positiva, y está comprobado que expulsa al medioambiente de 0.8 a 1ton/d de NH₃ en forma gaseosa.

Causas para que un turbo se convierta en positivo:

- Mala operación de los mismos por déficit de instrumentación y por falta de información del proceso a los operadores y responsables de la planta.
- Falta de succión (presión negativa) en el interior del turbo por falta de un sistema de control adecuado.

Fieldbus ayuda a las compañías a cumplir con las cada vez más exigentes regulaciones para el medio ambiente que tan importantes son para proteger este hermoso planeta.

Valoración de expertos

Este Trabajo de Diploma reviste una gran importancia para la posterior implementación del bus de campo Foundation Fieldbus en la planta de Lixiviación y Lavado de la Empresa "Cmdte René Ramos Latour", ayudando a aumentar la producción de níquel y a mejorar las condiciones medioambientales de la Empresa y del pueblo de Nicaro. (Ver Anexo 33).

Conclusiones Generales

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en este diseño y la importancia que este reviste para la futura implementación del proyecto, arribamos a las siguientes conclusiones:

- Que será positivo y resultará beneficioso la implantación de este proyecto para el correcto funcionamiento de los turboaeradores en la planta de Lixiviación y Lavado, ya que disminuirán los paros por roturas o por interrupciones no programadas, (gracias al autodiagnóstico de los dispositivos Fieldbus) lo que aumentará de manera gradual la cantidad de níquel procesado en el área con un mayor nivel de eficiencia.
- Existirá una transmisión de datos digital, lo que permitirá al operador o tecnólogo de la planta recibirla con mayor precisión, bidireccionalmente y con menores intervalos de tiempo.

Teniendo en cuenta los argumentos anteriormente planteados se puede concluir que el objetivo principal del proyecto fue cumplido. Por último, es importante decir que con la realización de este trabajo se contribuirá notablemente a la mejora de la calidad del producto final de la planta de Lixiviación y Lavado y de la Empresa en general, además este Trabajo de Diploma servirá de guía para los trabajadores de la planta, puesto que esta tecnología al ser nueva en esta industria, necesita de un estudio profundo para aprovechar al máximo los beneficios de esta poderosa tecnología.

Recomendaciones

Después del cumplimiento de los objetivos trazados y de profundizar en los temas que este Trabajo de Diploma plantea, recomendamos:

- Continuar análisis de la configuración de los bloques funcionales.
- Analizar la configuración y la sincronización de la comunicación.
- Continuar desarrollando el diseño del sistema Foundation Fieldbus en las áreas restantes (1, 2, 4, 5, 6, 7).

Referencias Bibliográficas

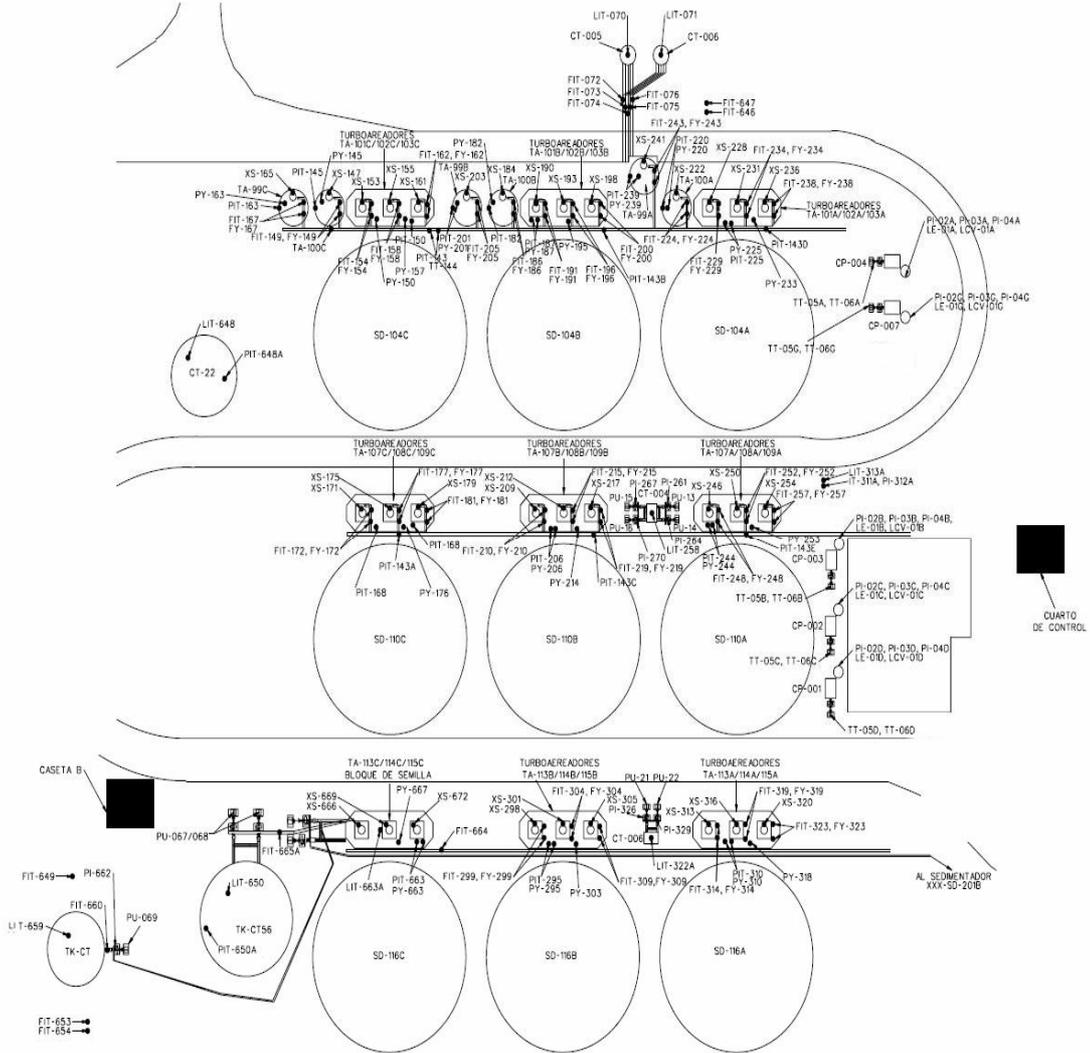
- [1]-Centro de Entrenamiento de Smar, disponible en <http://www.smar.com>
- [2]-Como Implementar Proyectos con Fieldbus. Departamento de Ingeniería de Aplicaciones Smar, noviembre de 2008.
- [3]-Foundation Fieldbus Technical Overview. "Freedom to Choose". Power to Integrate", disponible en <http://www.fieldbus.org>
- [4]-Foundation Fieldbus System Engineering Guidelines, disponible en <http://www.fieldbus.org>
- [5]-Foundation Fieldbus Application Guide 31.25 kbit/s Intrinsically Safe Systems, disponible en <http://www.fieldbus.org>
- [6]-Manual de Instrucciones de los Bloques Funcionales, disponible en <http://www.smar.com.br>
- [7]- Foundation Fieldbus Application Guide 31.25 kbit/s Wiring and Installation, disponible en <http://www.fieldbus.org>
- [8]-Fieldbus Tutorial, disponible en <http://www.smar.com.br>
- [9]-Manual de Operaciones de la planta de Lixiviación y Lavado en la Empresa Cmdte "René Ramos Latour".
- [10]-Syscon, disponible en <http://www.smar.com.br>

Bibliografía

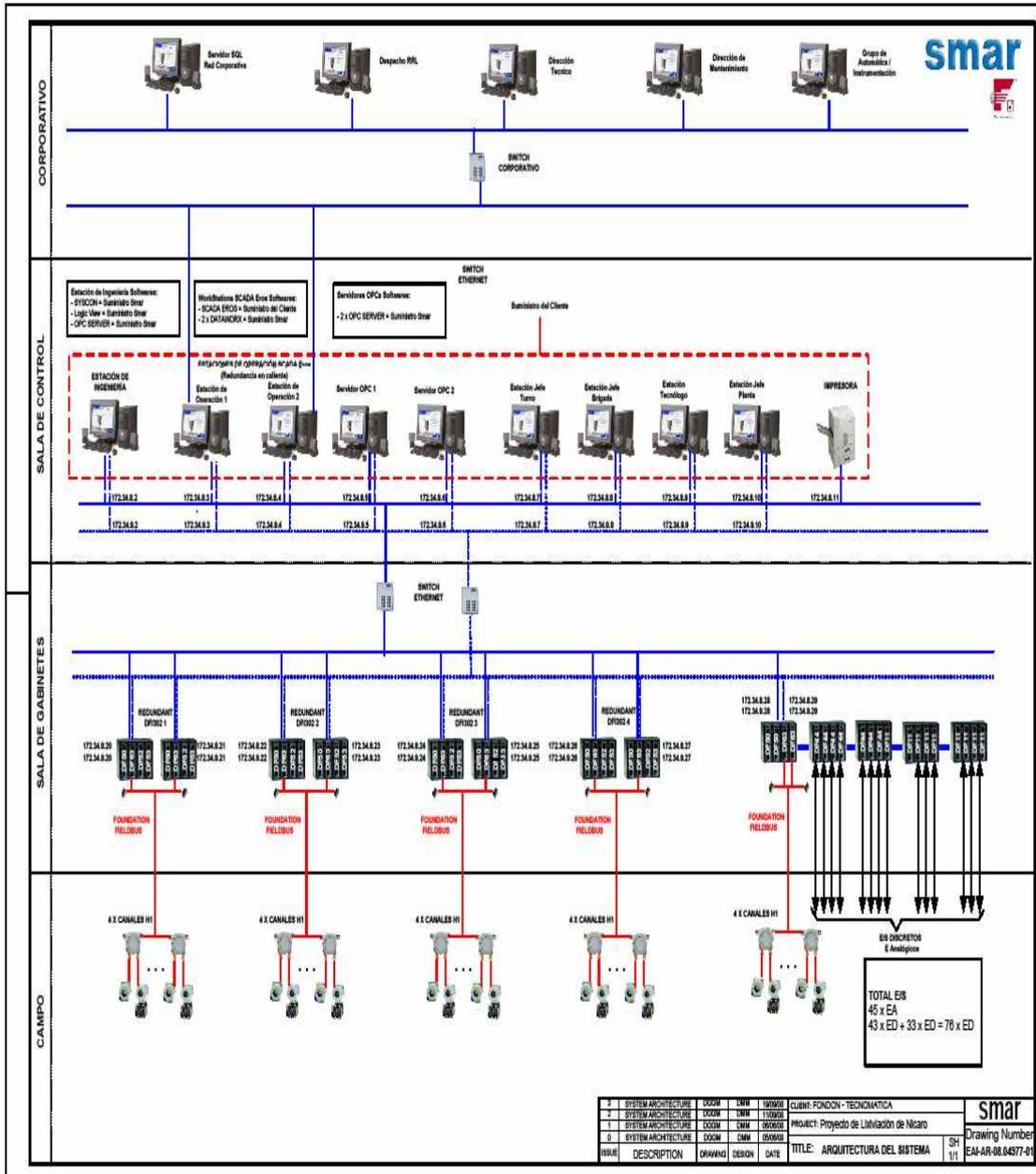
- 1- Centro de Entrenamiento de Smar, disponible en <http://www.smar.com>
- 2- ISA/SP50-1995-359M - Industrial Automation Systems - Systems Integration and Communication - Fieldbus, Part 3: Data Link Service Definition – 1995.
- 3- ISA/SP50-1995-360M - Industrial Automation Systems - Systems Integration and Communication - Fieldbus, Part 4: Data Link Protocol Specification-1995.
- 4- ISA/SP50-1993-389F - User Layer (Fieldbus) Technical Report-1993.
- 5- ISA/SP50-1994-505B - Fieldbus Specification, Part 5 : Application Layer Service Definition (Core Set)-1994
- 6- ISA/SP50-1994-508B - Fieldbus Specification, Part 6: Application Layer Protocol Specification (Core Part)-1994
- 7- ISA - S50.02 - 1992, Fieldbus Standard for use in Industrial Control Systems- Part 2: Physical Layer Specification and Service Definition.
- 8- IEC 1158-2 : 1993, Fieldbus Standard for use in Industrial Control Systems - Part 2: Physical Layer Specification and Service Definition.
- 9- ISA/SP50-1994-517A - Fieldbus Standard for Use in Industrial Control Systems, Part 7: Fieldbus Management, Clause 1: Introduction, Scope, Definitions, Reference Model-1994.
- 10- ISA/SP50-1995-518A - Fieldbus Standard for Use in Industrial Control Systems, Part 2: Physical Layer Specification and Service Definition, Amendment X: Medium Attachment Unit (MAU) Current Mode (1 Ampere),Wire Medium-1995.
- 11- Manual de Operación e Instalación del Configurador de Sistema- Syscon, disponible en <http://www.smar.com.br>
- 12- Productos y Sistemas Smar, junio 2008.

Anexos

Anexo 1. Layout de Instrumentos.



Anexo 2. Arquitectura General del Proyecto Fieldbus.



3	SYSTEM ARCHITECTURE	100M	ENR	19/09/02	CLIENTE FONDON - TECNOMATICA	Smar
2	SYSTEM ARCHITECTURE	100M	ENR	11/09/02	PROYECT: Proyecto de Limbiación de Nigro	
1	SYSTEM ARCHITECTURE	100M	ENR	09/09/02		
0	SYSTEM ARCHITECTURE	100M	ENR	05/09/02	TITLE: ARQUITECTURA DEL SISTEMA	Drawing Number EAF-AR-08.04677-01
ISSUE	DESCRIPTION	DRAWING	DESIGN	DATE		SH 1/1

Anexo 3. Asignación de los Canales Fieldbus.

DFI1							
H11		H12		H13		H14	
1	FIT-238	1	FIT-224	1	PIT-239	1	FIT-257
2	FY-238	2	FY-224	2	PY-239	2	FY-257
3	FIT-234	3	PIT-220	3	PIT-187	3	FIT-252
4	FY-234	4	PY-220	4	PY-187	4	FY-252
5	FIT-229	5	FIT-243	5	PY-195	5	FIT-248
6	FY-229	6	FY-243	6	PIT-225	6	FY-248
7	PIT-143D	7	LIT-070	7	PY-225	7	PIT-143E
8	FIT-646	8	LIT-071	8	PY-233	8	LIT-258
9	FIT-647	9		9	FIT-074	9	
10		10		10		10	
3 LAZOS		3LAZOS		3 LAZOS		3 LAZOS	

DFI2							
H21		H22		H23		H24	
1	FIT-200	1	FIT-186	1	TT-144	1	FIT-219
2	FY-200	2	FY-186	2	PIT-143	2	FY-219
3	FIT-196	3	PIT-182	3	PIT-201	3	FIT-215
4	FY-196	4	PY-182	4	PY-201	4	FY-215
5	FIT-191	5	FIT-205	5	PIT-150	5	FIT-210
6	FY-191	6	FY-205	6	PY-150	6	FY-210
7	FIT-073	7	PIT-143B	7	PY-157	7	PIT-143C
8	FIT-076	8		8	PIT-163	8	TT-05G
9		9		9	PY-163	9	TT-06G
10		10		10		10	
3 LAZOS		3 LAZOS		3 LAZOS		3LAZOS	

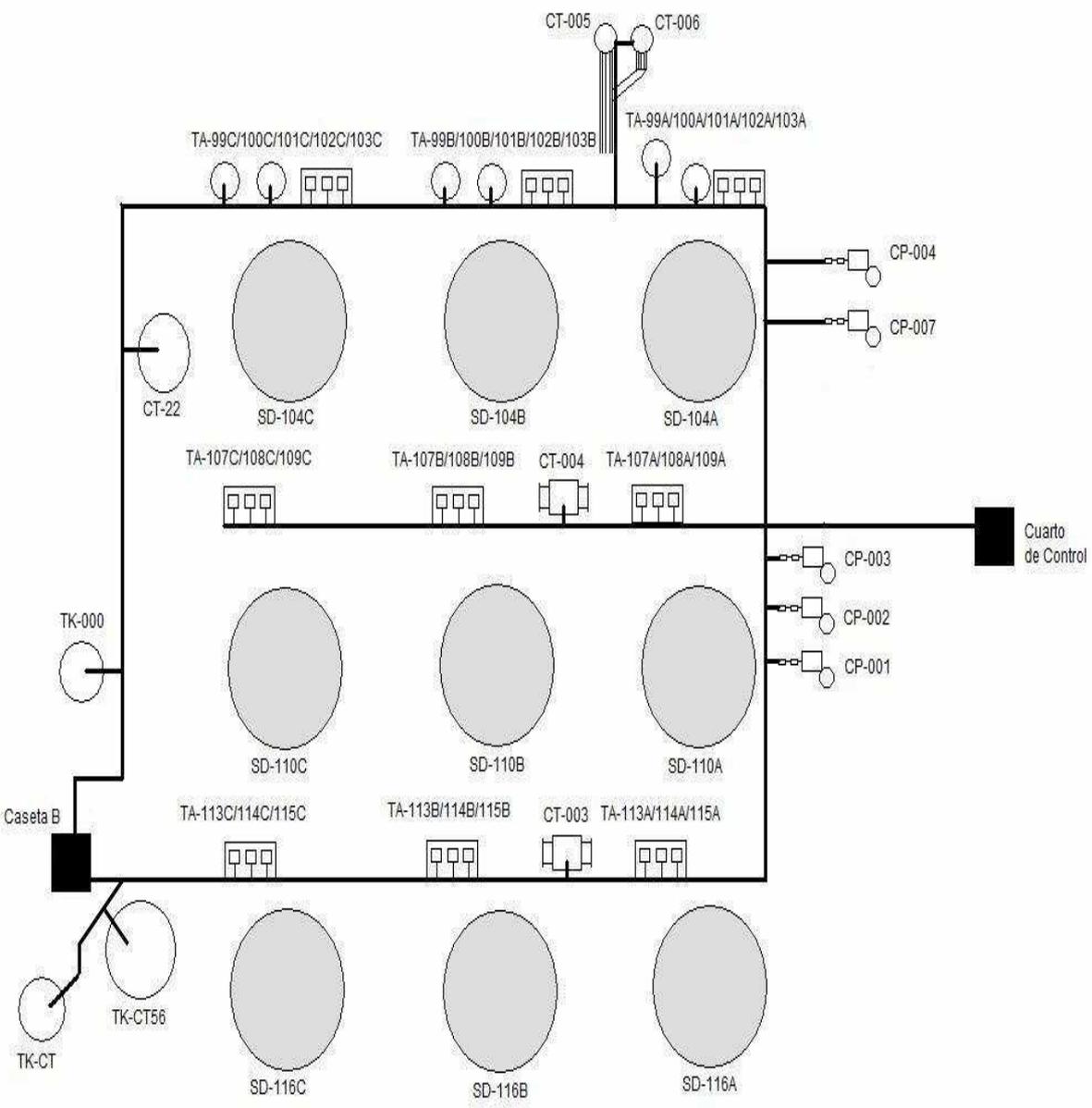
DFI3							
H31		H32		H33		H34	
1	FIT-162	1	FIT-167	1	PIT-244	1	FIT-181
2	FY-162	2	FY-167	2	PY-244	2	FY-181
3	FIT-158	3	PIT-145	3	PY-253	3	FIT-177
4	FY-158	4	PY-145	4	PIT-206	4	FY-177
5	FIT-154	5	FIT-149	5	PY-206	5	FIT-172
6	FY-154	6	FY-149	6	PY-214	6	FY-172
7	FIT-072	7	TT-05A	7	PIT-168	7	PIT-143A
8		8	TT-06A	8	PY-168	8	
9		9	LIT-648	9	PY-176	9	
10		10	PIT-648A	10		10	
3 LAZOS		3LAZOS		3 LAZOS		3 LAZOS	

DFI4							
H41		H42		H43		H44	
1	FIT-323	1	FIT-304	1	TT-05B	1	PIT-663
2	FY-323	2	FY-304	2	TT-06B	2	PY-663
3	PIT-310	3	FIT-309	3	TT-05C	3	PY-667
4	PY-310	4	FY-309	4	TT-06C	4	LIT-650
5	PY-318	5	PIT-295	5	TT-05D	5	PIT-650A
6	FIT-319	6	PY-295	6	TT-06D	6	FIT-660
7	FY-319	7	PY-303	7	FIT-299	7	LIT-659
8	LIT-313A	8	FIT-664	8	FY-299	8	FIT-649
9	LIT-322A	9	LIT-663A	9	FIT-314	9	FIT-653
10	FIT-075	10	FIT-665A	10	FY-314	10	FIT-654
3LAZOS		3 LAZOS		2 LAZOS		1LAZO	

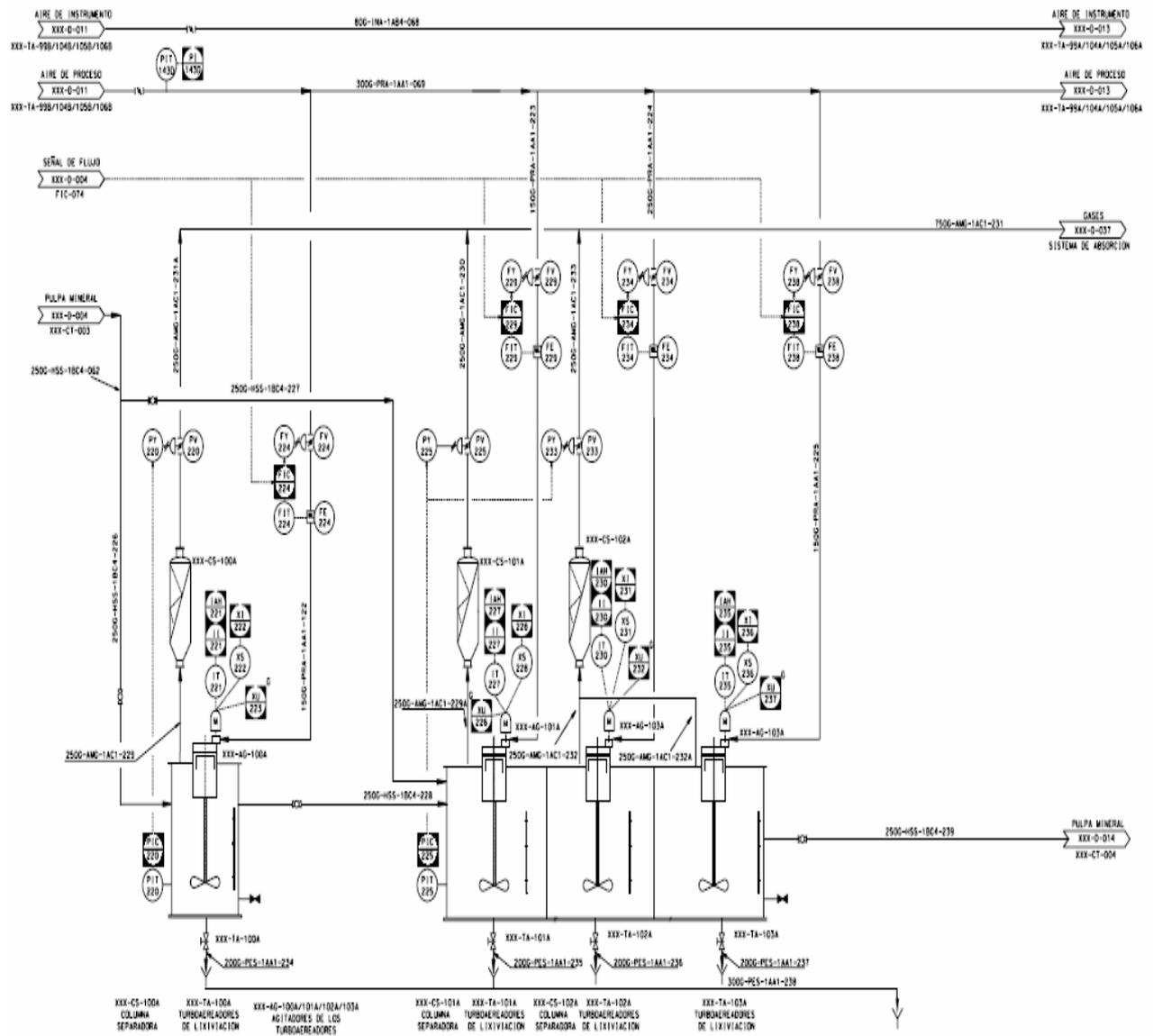
Leyenda de colores:

LD 302 - FY 302 - TT 302 -

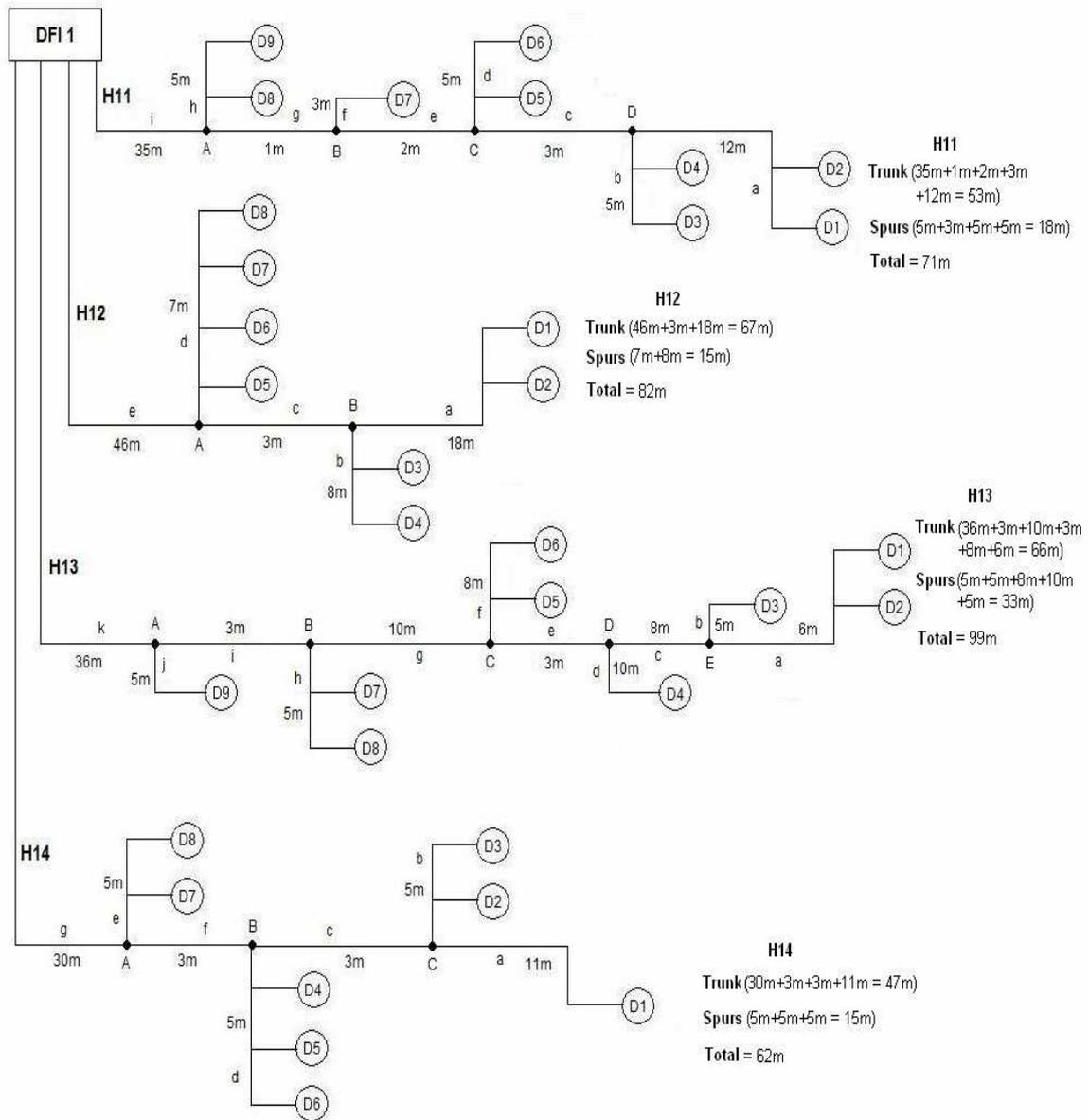
Anexo 4. Recorrido del cableado Fieldbus.



Anexo 5. Esquema de la serie TA-100A – TA-103A de Turboaeradores en la planta de Lixiviación y Lavado.



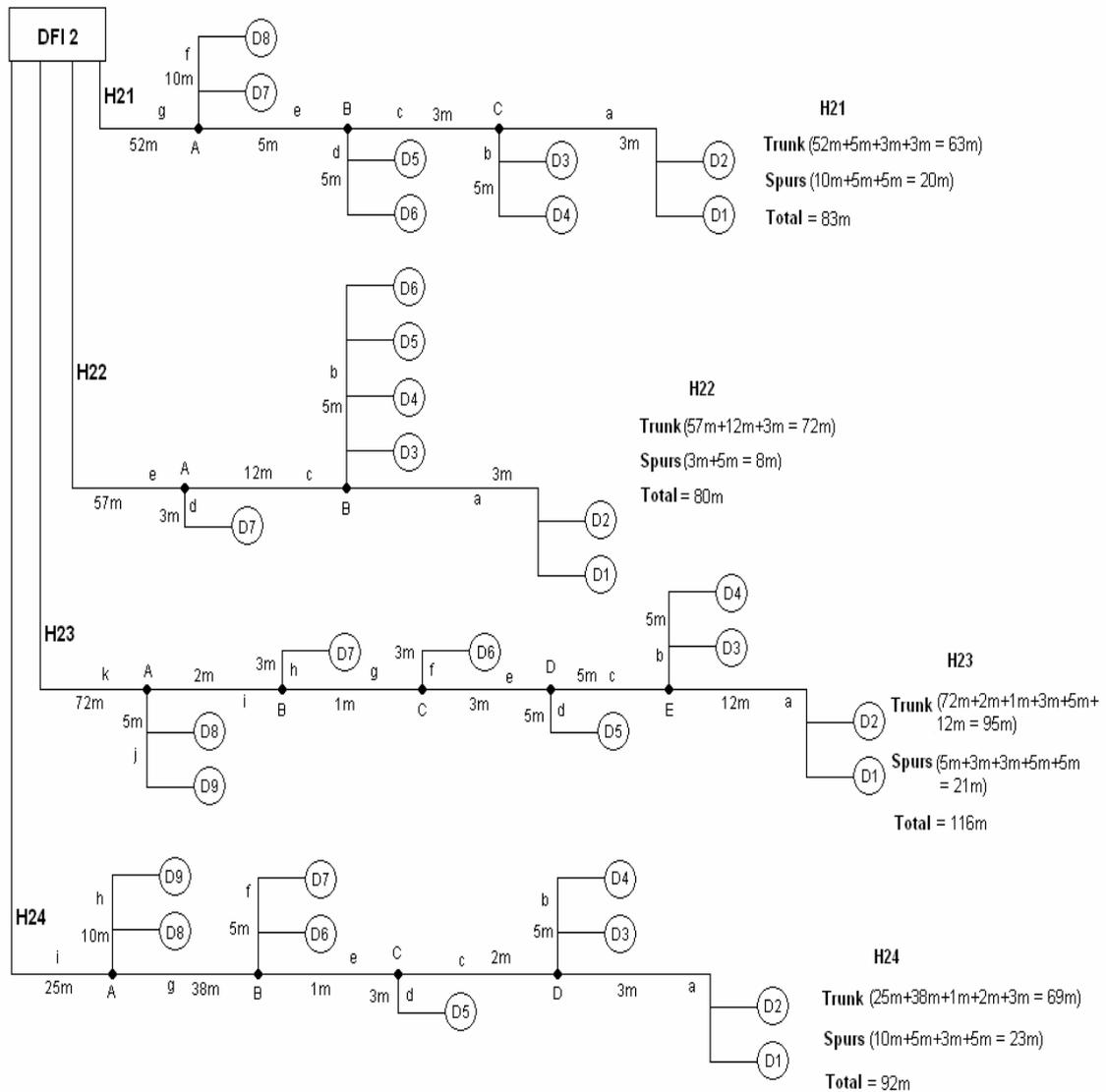
Anexo 6. Ubicación geográfica de los dispositivos y segmentos pertenecientes al DFI 1.



Anexo 7. Características de los dispositivos Fieldbus pertenecientes al DFI 1.

DFI 1	Disp.	TAG_No	Modelo	Descripción	Rango de Medición	Rango de operación	Unidad de medida	Alarmas	Bloques utilizados
H11	D1	FIT-646	LD-302	Transmisor de Flujo en línea de licor de rebose a la entrada de TK-CT56.	100-400	300-400	m ³ /h	-	AI
	D2	FIT-647	LD-302	Transmisor de Flujo en línea de licor de rebose a la entrada de TK-CT56.	100-400	300-400	m ³ /h	-	AI
	D3	FY-229	FY-302	Posicionador.					AO
	D4	FIT-229	LD-302	Transmisor de Flujo en línea de aire de proceso a Turbo TA-101A.	6-30	12-14	m ³ /min	L_5	AI, PID, AALM
	D5	FY-234	FY-302	Posicionador.					AO
	D6	FIT-234	LD-302	Transmisor de Flujo en línea de aire de proceso a Turbo TA-102A.	6-30	12-14	m ³ /min	L_5	AI, PID, AALM
	D7	PIT-143D	LD-302	Medición de la Presión en línea de aire de proceso.	0.6-1.5	0.85	bar	L_0.6 LL_0.5	AI, AALM
	D8	FY-238	FY-302	Posicionador.					AO
	D9	FIT-238	LD-302	Transmisor de Flujo en línea de aire de proceso a Turbo TA-103A.	6-30	12-14	m ³ /min	L_5	AI, PID, AALM
H12	D1	LIT-070	LD-302	Medición de Nivel en Tanque Distribuidor TK-005.	0-5	1-3	m	-	AI
	D2	LIT-071	LD-302	Medición de Nivel en Tanque Distribuidor TK-006.	0-5	1-3	m	-	AI
	D3	FY-243	FY-302	Posicionador.					AO
	D4	FIT-243	LD-302	Transmisor de Flujo en línea de aire de proceso a Turbo TA-99A.	6-30	12-14	m ³ /min	L_5	AI, PID, AALM
	D5	PY-220	FY-302	Posicionador.					AO
	D6	PIT-220	LD-302	Medición de Presión de Gases en Turbo TA-100A.	(-100-100)	-2-(-4)	mm H2O	HH_4 H_0 L_-5	AI, PID, AALM
	D7	FY-224	FY-302	Posicionador.					AO
	D8	FIT-224	LD-302	Transmisor de Flujo en línea de aire de proceso a Turbo TA-100A.	6-30	12-14	m ³ /min	L_5	AI, PID, AALM
H13	D1	PIT-187	LD-302	Medición de Presión de Gases en Turbo TA-101B.	(-100-100)	-2-(-4)	mm H2O	HH_4 H_0 L_-5	AI, PID, AALM
	D2	PY-187	FY-302	Posicionador.					SPLT, AO
	D3	PY-195	FY-302	Posicionador.					AO
	D4	FIT-074	LD-302	Transmisor de Flujo a la salida de Tanques Distribuidores. Entrada a Caja Distribuidora CT-003.	100-400	200-250	m ³ /h	L_100 LL_0	AI, AALM
	D5	PY-239	FY-302	Posicionador.					AO
	D6	PIT-239	LD-302	Medición de Presión de Gases en Turbo TA-99A.	(-100-100)	-2-(-4)	mmH ₂ O	HH_4 H_0 L_-5	AI, PID, AALM
	D7	PIT-225	LD-302	Medición de Presión de Gases en Turbo TA-101A.	(-100-100)	-2-(-4)	mmH ₂ O	HH_4 H_0 L_-5	AI, PID, AALM
	D8	PY-225	FY-302	Posicionador.					SPLT, AO
	D9	PY-233	FY-302	Posicionador.					AO
H14	D1	LIT-258	LD-302	Medición de Nivel en Caja Distribuidora CT-004	0-5	1-1.5	m	HH_1.8 H_1.5 L_1 LL_0.25	AI, AALM
	D2	FY-248	FY-302	Posicionador.					AO
	D3	FIT-248	LD-302	Transmisor de Flujo en línea de aire de proceso a Turbo TA-107A.	6-30	12-14	m ³ /min	L_5	AI, PID, AALM
	D4	FIT-252	LD-302	Transmisor de Flujo en línea de aire de proceso a Turbo TA-108A.	6-30	12-14	m ³ /min	L_5	AI, PID, AALM
	D5	FY-252	FY-302	Posicionador.					AO
	D6	PIT-143E	LD-302	Medición de Presión en línea de aire de proceso.	0.6-1.5	0.85	bar	L_0.6 LL_0.5	AI, AALM
	D7	FY-257	FY-302	Posicionador.					AO
	D8	FIT-257	LD-302	Transmisor de Flujo en línea de aire de proceso a Turbo TA-109A.	6-30	12-14	m ³ /min	L_5	AI, PID, AALM

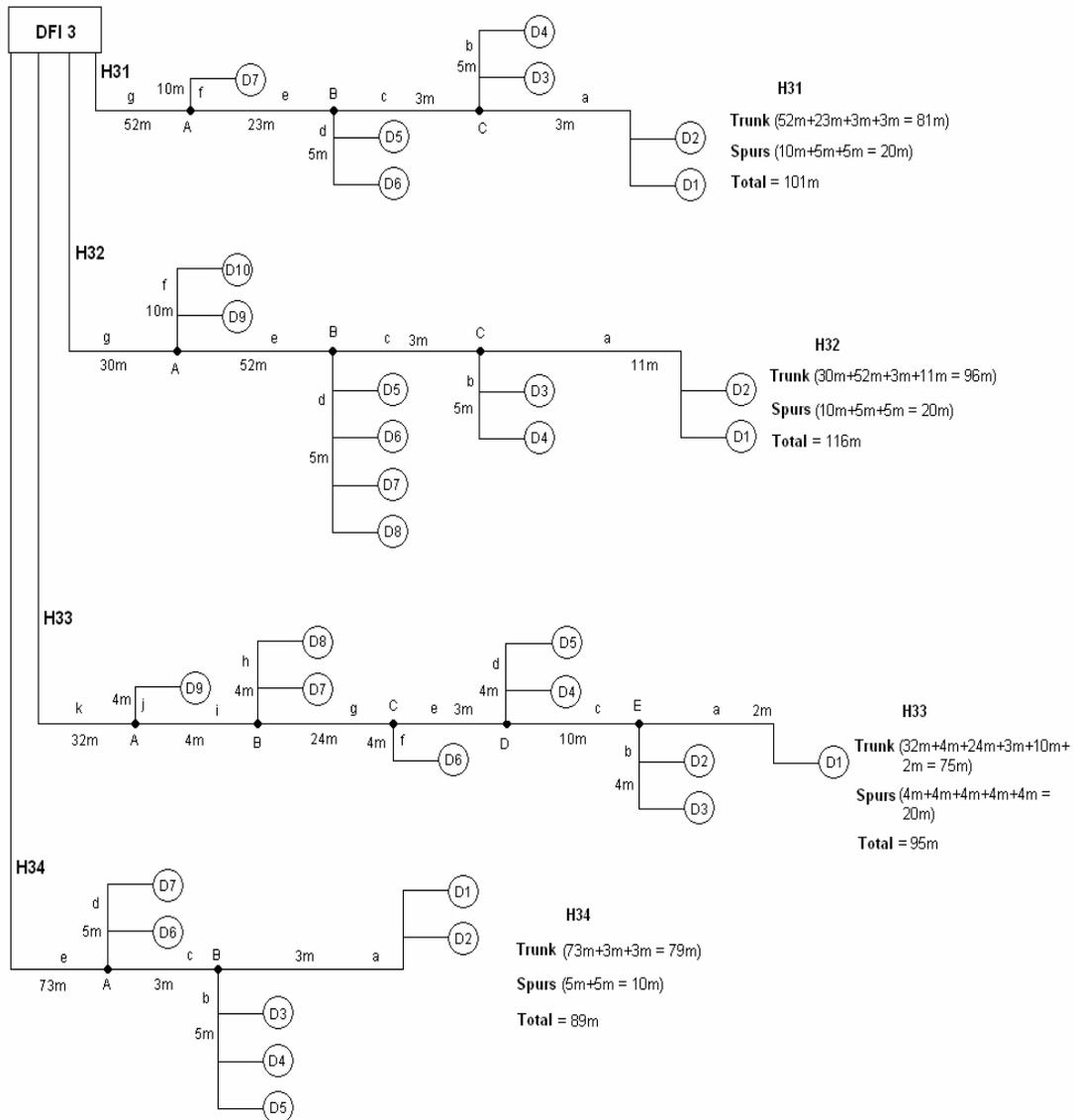
Anexo 8. Ubicación geográfica de los dispositivos y segmentos pertenecientes al DFI 2.



Anexo 9. Características de los dispositivos Fieldbus pertenecientes al DFI 2.

DFI 2	Disp.	TAG_No	Modelo	Descripción	Rango de Medición	Rango de operación	Unidad de medida	Alarmas	Bloques utilizados
H21	D1	FIT-191	LD-302	Transmisor de Flujo en línea de aire de proceso a Turbo TA-101B.	6-30	12-14	m ³ /min	L_5	AI, PID, AALM
	D2	FY-191	FY-302	Posicionador.					AO
	D3	FIT-196	LD-302	Transmisor de Flujo en línea de aire de proceso a Turbo TA-102B.	6-30	12-14	m ³ /min	L_5	AI, PID, AALM
	D4	FY-196	FY-302	Posicionador.					AO
	D5	FIT-200	LD-302	Transmisor de Flujo en línea de aire de proceso a Turbo TA-103B.	6-30	12-14	m ³ /min	L_5	AI, PID, AALM
	D6	FY-200	FY-302	Posicionador.					AO
	D7	FIT-073	LD-302	Transmisor de Flujo a la salida de Tanques Distribuidores. Entrada a Caja Distribuidora CT-002.	100-400	200-250	m ³ /h	L_100 LL_0	AI, AALM
	D8	FIT-076	LD-302	Transmisor de Flujo a la salida de Tanques Distribuidores. Entrada a Caja Distribuidora CT-007.	100-400	200-250	m ³ /h	L_100 LL_0	AI, AALM
H22	D1	FIT-205	LD-302	Transmisor de Flujo en línea de aire de proceso a Turbo TA-99B.	6-30	12-14	m ³ /min	L_5	AI, PID, AALM
	D2	FY-205	FY-302	Posicionador.					AO
	D3	PY-182	FY-302	Posicionador.					AO
	D4	PIT-182	LD-302	Medición de Presión de Gases en Turbo TA-100B.	(-100-100)	-2-(-4)	mmH ₂ O	HH_4 H_0 L_-5	AI, PID, AALM
	D5	FY-186	FY-302	Posicionador.					AO
	D6	FIT-186	LD-302	Transmisor de Flujo en línea de aire de proceso a Turbo TA-100B.	6-30	12-14	m ³ /min	L_5	AI, PID, AALM
	D7	PIT-143B	LD-302	Medición de Presión en línea de aire de proceso.	0.6-1.5	0.85	bar	L_0.6 LL_0.5	AI, AALM
H23	D1	PIT-163	LD-302	Medición de Presión de Gases en Turbo TA-99C.	(-100-100)	-2-(-4)	mm H2O	HH_4 H_0 L_-5	AI, PID, AALM
	D2	PY-163	FY-302	Posicionador.					AO
	D3	PY-150	FY-302	Posicionador.					SPLT, AO
	D4	PIT-150	LD-302	Medición de Presión de Gases en Turbo TA-101C.	(-100-100)	-2-(-4)	mm H2O	HH_4 H_0 L_-5	AI, PID, AALM
	D5	PY-157	FY-302	Posicionador.					AO
	D6	TT-144	TT-302	Transmisor de Temperatura en línea de aire de proceso.	-50-270	27-37	°C		
	D7	PIT-143	LD-302	Medición de Presión en línea de aire de proceso.	0.6-1.5	0.85	bar	L_0.6 LL_0.5	AI, AALM
	D8	PY-201	FY-302	Posicionador.					AO
	D9	PIT-201	LD-302	Medición de Presión de Gases en Turbo TA-99B.	(-100-100)	-2-(-4)	mm H2O	HH_4 H_0 L_-5	AI, PID, AALM
H24	D1	FIT-210	LD-302	Transmisor de Flujo en línea de aire de proceso a Turbo TA-107B.	6-30	12-14	m ³ /min	L_5	AI, PID, AALM
	D2	FY-210	FY-302	Posicionador.					AO
	D3	FY-215	FY-302	Posicionador.					AO
	D4	FIT-215	LD-302	Transmisor de Flujo en línea de aire de proceso a Turbo TA-108B.	6-30	12-14	m ³ /min	L_5	AI, PID, AALM
	D5	PIT-143C	LD-302	Medición de Presión en línea de aire de proceso.	0.6-1.5	0.85	bar	L_0.6 LL_0.5	AI, AALM
	D6	FY-219	FY-302	Posicionador.					AO
	D7	FIT-219	LD-302	Transmisor de Flujo en línea de aire de proceso a Turbo TA-109B.	6-30	12-14	m ³ /min	L_5	AI, PID, AALM
	D8	TT-05G	TT-302	Transmisor de Temperatura en rodamiento del Motor del Compresor CP-007.	60-80	70	°C	HH_80 H_75 L_60	AI, AALM
	D9	TT-06G	TT-302	Transmisor de Temperatura en rodamiento del Motor del Compresor CP-007.	60-80	70	°C	HH_80 H_75 L_60	AI, AALM

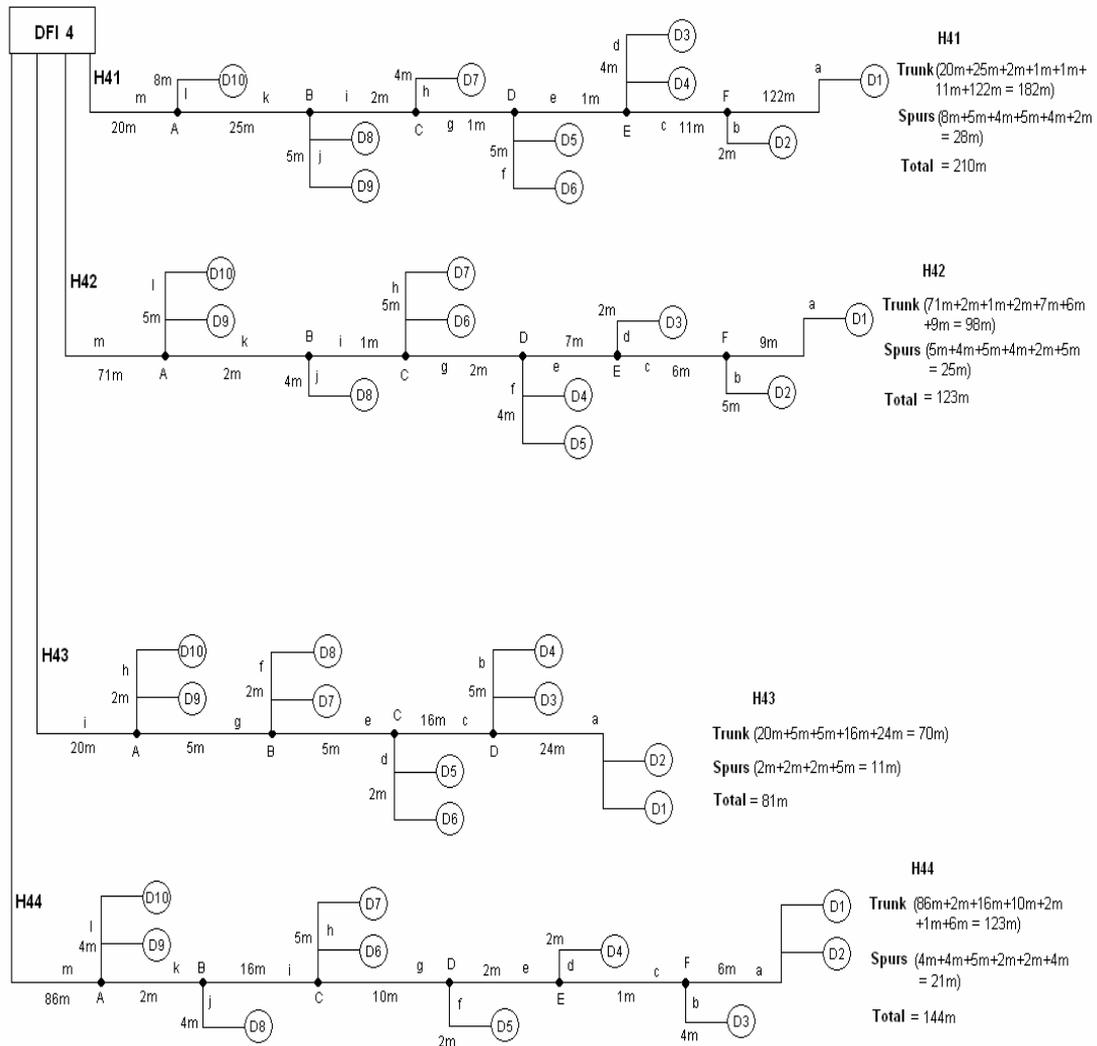
Anexo 10. Ubicación geográfica de los dispositivos y segmentos pertenecientes al DFI 3.



Anexo 11. Características de los dispositivos Fieldbus pertenecientes al DFI 3.

DFI 3	Disp.	TAG_No	Modelo	Descripción	Rango de Medición	Rango de operación	Unidad de medida	Alarmas	Bloques utilizados
H31	D1	FIT-154	LD-302	Transmisor de Flujo en línea de aire de proceso a Turbo TA-101C.	6-30	12-14	m ³ /min	L_5	AI, PID, AALM
	D2	FY-154	FY-302	Posicionador.					AO
	D3	FY-158	FY-302	Posicionador.					AO
	D4	FIT-158	LD-302	Transmisor de Flujo en línea de aire de proceso a Turbo TA-102C.	6-30	12-14	m ³ /min	L_5	AI, PID, AALM
	D5	FY-162	FY-302	Posicionador.					AO
	D6	FIT-162	LD-302	Transmisor de Flujo en línea de aire de proceso a Turbo TA-103C.	6-30	12-14	m ³ /min	L_5	AI, PID, AALM
	D7	FIT-072	LD-302	Transmisor de Flujo a la salida de Tanques Distribuidores. Entrada a Caja Distribuidora CT-001.	100-400	200-250	m ³ /h	L_100 LL_0	AI, AALM
H32	D1	PIT-648A	LD-302	Medición de Presión en Tanque de licor de rebose TK-CT22.	-50-50	2-10	mm H2O	-	AI
	D2	LIT-648	LD-302	Medición de Nivel en Tanque de licor de rebose TK-CT22.	0-8	5-6	m	HH_7.5 H_6 L_5 LL_1	AI, AALM
	D3	FY-167	FY-302	Posicionador.					AO
	D4	FIT-167	LD-302	Transmisor de Flujo en línea de aire de proceso a Turbo TA-99C.	6-30	12-14	m ³ /min	L_5	AI, PID, AALM
	D5	FY-149	FY-302	Posicionador.					AO
	D6	FIT-149	LD-302	Transmisor de Flujo en línea de aire de proceso a Turbo TA-100C.	6-30	12-14	m ³ /min	L_5	AI, PID, AALM
	D7	PY-145	FY-302	Posicionador.					AO
	D8	PIT-145	LD-302	Medición de Presión de Gases en Turbo TA-100C.	(-100-100)	-2-(-4)	mm H2O	HH_4 H_0 L_-5	AI, PID, AALM
	D9	TT-05A	TT-302	Transmisor de Temperatura en rodamiento del Motor del Compresor CP-004.	60-80	70	°C	HH_80 H_75 L_60	AI, AALM
	D10	TT-06A	TT-302	Transmisor de Temperatura en rodamiento del Motor del Compresor CP-004.	60-80	70	°C	HH_80 H_75 L_60	AI, AALM
H33	D1	PY-176	FY-302	Posicionador.					AO
	D2	PIT-168	LD-302	Medición de Presión de Gases en Turbo TA-107C.	(-100-100)	-2-(-4)	mm H2O	HH_4 H_0 L_-5	AI, PID, AALM
	D3	PY-168	FY-302	Posicionador.					SPLT, AO
	D4	PY-206	FY-302	Posicionador.					SPLT, AO
	D5	PIT-206	LD-302	Medición de Presión de Gases en Turbo TA-107B.	(-100-100)	-2-(-4)	mm H2O	HH_4 H_0 L_-5	AI, PID, AALM
	D6	PY-214	FY-302	Posicionador.					AO
	D7	PY-244	FY-302	Posicionador.					SPLT, AO
	D8	PIT-244	LD-302	Medición de Presión de Gases en Turbo TA-107A.	(-100-100)	-2-(-4)	mm H2O	HH_4 H_0 L_-5	AI, PID, AALM
	D9	PY-253	FY-302	Posicionador.					AO
H34	D1	FIT-172	LD-302	Transmisor de Flujo en línea de aire de proceso a Turbo TA-107C.	6-30	12-14	m ³ /min	L_5	AI, PID, AALM
	D2	FY-172	FY-302	Posicionador.					AO
	D3	PIT-143A	LD-302	Medición de Presión en línea de aire de proceso.	0.6-1.5	0.85	bar	L_0.6 LL_0.5	AI, AALM
	D4	FIT-177	LD-302	Transmisor de Flujo en línea de aire de proceso a Turbo TA-108C.	6-30	12-14	m ³ /min	L_5	AI, PID, AALM
	D5	FY-177	FY-302	Posicionador.					AO
	D6	FY-181	FY-302	Posicionador.					AO
	D7	FIT-181	LD-302	Transmisor de Flujo en línea de aire de proceso a Turbo TA-109C.	6-30	12-14	m ³ /min	L_5	AI, PID, AALM

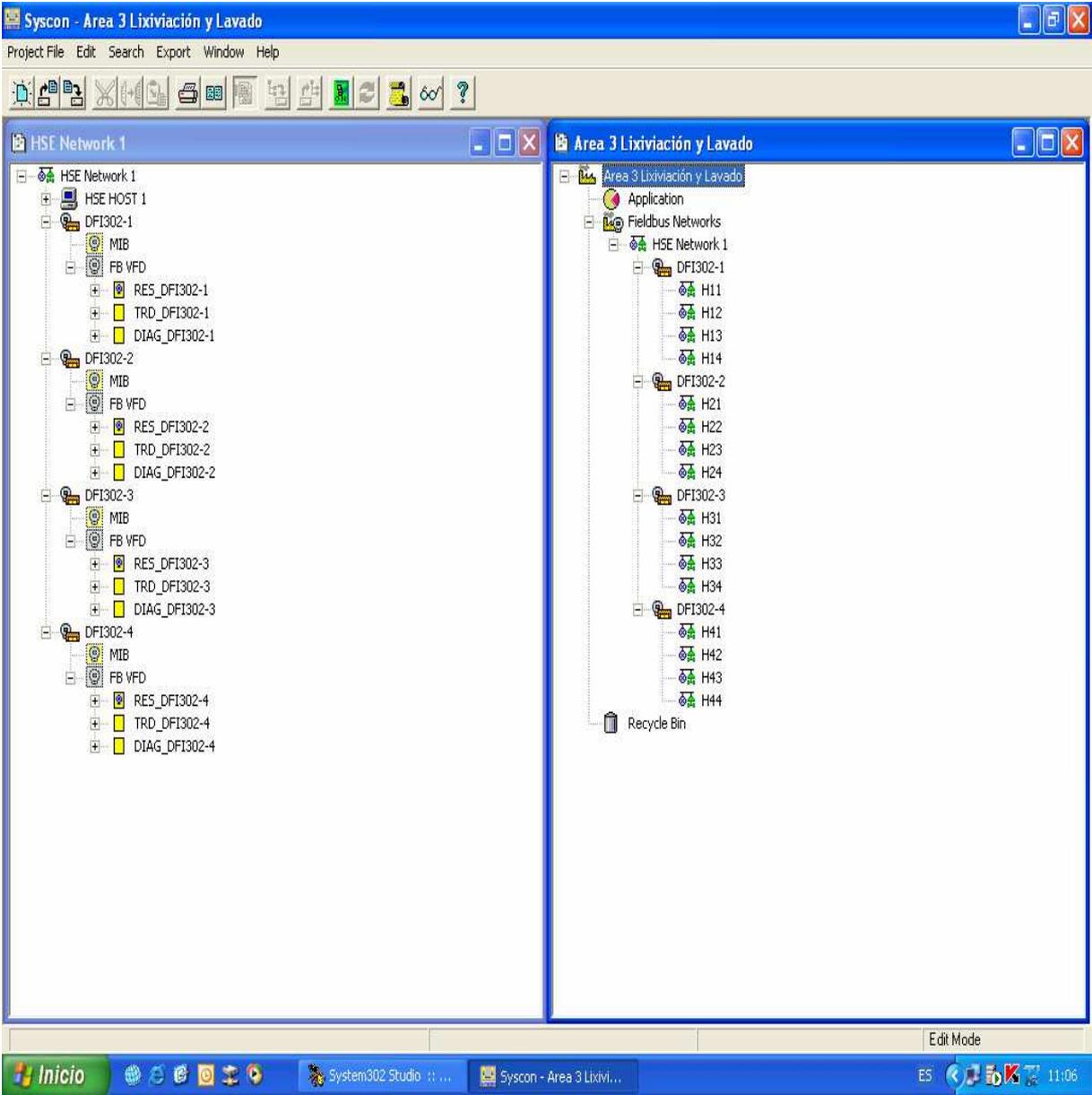
Anexo 12. Ubicación geográfica de los dispositivos y segmentos pertenecientes al DFI 4.



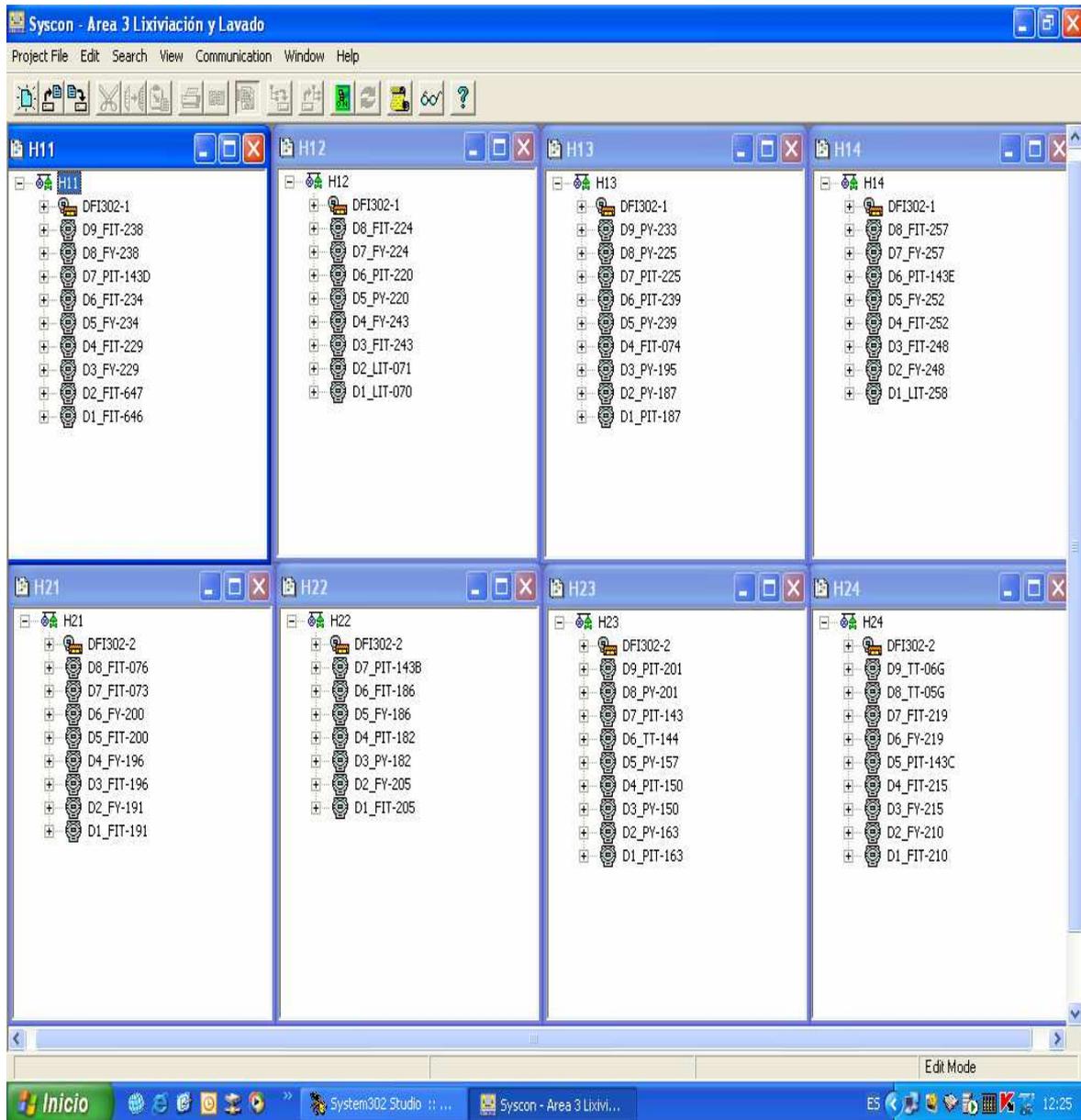
Anexo 13. Características de los dispositivos Fieldbus pertenecientes al DFI 4.

DFI 4	Disp.	TAG_No	Modelo	Descripción	Rango de Medición	Rango de operación	Unidad de medida	Alarmas	Bloques utilizados
H41	D1	FIT-075	LD-302	Transmisor de Flujo a la salida de Tanques Distribuidores. Entrada a Caja Distribuidora CT-005.	100-400	200-250	m ³ /h	L_100 LL_0	AI, AALM
	D2	LIT-322A	LD-302	Medición de Nivel en Caja Distribuidora CT-003.	0-5	1-1.5	m	HH_1.8 H_1.5 L_1 LL_0.25	AI, AALM
	D3	PIT-310	LD-302	Medición de Presión de Gases en Turbo TA-113A.	(-100-100)	-2(-4)	mm H2O	HH_4 H_0 L_5	AI, PID, AALM
	D4	PY-310	FY-302	Posicionador.					SPLT, AO
	D5	FY-319	FY-302	Posicionador.					AO
	D6	FIT-319	LD-302	Transmisor de Flujo en línea de aire de proceso a Turbo TA-114A.	6-30	12-14	m ³ /min	L_5	AI, PID, AALM
	D7	PY-318	FY-302	Posicionador.					AO
	D8	FY-323	FY-302	Posicionador.					AO
	D9	FIT-323	LD-302	Transmisor de Flujo en línea de aire de proceso a Turbo TA-115A.	6-30	12-14	m ³ /min	L_5	AI, PID, AALM
	D10	LIT-313A	LD-302	Medición de Nivel en Tanque de Gases Condensados TK-000.	0-5	1-1.5	m	-	AI
H42	D1	FIT-665A	LD-302	Transmisor de Flujo en línea de licor a la entrada de Turbo 113C.	5-100	50-60	L/min	-	AI
	D2	LIT-663A	LD-302	Medición de Nivel en TA-115C	0-6	2-2.5	m	-	AI
	D3	FIT-664	LD-302	Transmisor de Flujo en línea de pulpa a la entrada de TA-113C	5-100	50-60	L/min	-	AI
	D4	PY-295	FY-302	Posicionador.					SPLT, AO
	D5	PIT-295	LD-302	Medición de Presión de Gases en Turbo TA-113B.	(-100-100)	-2(-4)	mm H2O	HH_4 H_0 L_5	AI, PID, AALM
	D6	FY-304	FY-302	Posicionador.					AO
	D7	FIT-304	LD-302	Transmisor de Flujo en línea de aire de proceso a Turbo TA-114B.	6-30	12-14	m ³ /min	L_5	AI, PID, AALM
	D8	PY-303	FY-302	Posicionador.					AO
	D9	FY-309	FY-302	Posicionador.					AO
	D10	FIT-309	LD-302	Transmisor de Flujo en línea de aire de proceso a Turbo TA-115B.	6-30	12-14	m ³ /min	L_5	AI, PID, AALM
H43	D1	FIT-299	LD-302	Transmisor de Flujo en línea de aire de proceso a Turbo TA-113B.	6-30	12-14	m ³ /min	L_5	AI, PID, AALM
	D2	FY-299	FY-302	Posicionador.					AO
	D3	FY-314	FY-302	Posicionador.					AO
	D4	FIT-314	LD-302	Transmisor de Flujo en línea de aire de proceso a Turbo TA-113A.	6-30	12-14	m ³ /min	L_5	AI, PID, AALM
	D5	TT-05D	TT-302	Transmisor de Temperatura en rodamiento del Motor del Compresor CP 001.	60-80	70	°C	HH_80 H_75 L_60	AI, AALM
	D6	TT-06D	TT-302	Transmisor de Temperatura en rodamiento del Motor del Compresor CP 001.	60-80	70	°C	HH_80 H_75 L_60	AI, AALM
	D7	TT-06C	TT-302	Transmisor de Temperatura en rodamiento del Motor del Compresor CP 003.	60-80	70	°C	HH_80 H_75 L_60	AI, AALM
	D8	TT-05C	TT-302	Transmisor de Temperatura en rodamiento del Motor del Compresor CP 003.	60-80	70	°C	HH_80 H_75 L_60	AI, AALM
	D9	TT-06B	TT-302	Transmisor de Temperatura en rodamiento del Motor del Compresor CP 002.	60-80	70	°C	HH_80 H_75 L_60	AI, AALM
	D10	TT-05D	TT-302	Transmisor de Temperatura en rodamiento del Motor del Compresor CP 002.	60-80	70	°C	HH_80 H_75 L_60	AI, AALM
H44	D1	FIT-654	LD-302	Transmisor de Flujo en línea de licor a Pta. de Recuperación de NH ₃ .	100-400	200-300	m ³ /h	-	AI
	D2	FIT-653	LD-302	Transmisor de Flujo en línea de licor a Pta. de Recuperación de NH ₃ .	100-400	200-300	m ³ /h	-	AI
	D3	FIT-649	LD-302	Transmisor de Flujo en línea de licor a la salida de TK-CT56.	100-400	300-400	m ³ /h	-	AI
	D4	LIT-659	LD-302	Medición de Nivel en el Tanque de Sulfito de Sodio TK CT	0-6	2-2.5	m	HH_4.8 H_2.5 L_2 LL_0.5	AI, AALM
	D5	FIT-660	LD-302	Transmisor de Flujo en línea de Sulfito de Sodio.	5-100	50-60	L/min	L_5	AI, AALM
	D6	PIT-650A	LD-302	Medición de Presión en Tanque de licor TK-CT56	2-10	4-8	bar	-	AI
	D7	LIT-650	LD-302	Medición de Nivel en Tanque de licor de reboso TK-CT56	0-6	4-4.5	m	HH_4.8 H_4.5 L_4 LL_2	AI, AALM
	D8	PY-667	FY-302	Posicionador.					AO
	D9	PY-663	FY-302	Posicionador.					SPLT, AO
	D10	PIT-663	LD-302	Medición de Presión de Gases en Turbo TA-113C.	(-100-100)	-2(-4)	mm H2O	HH_4 H_0 L_5	AI, PID, AALM

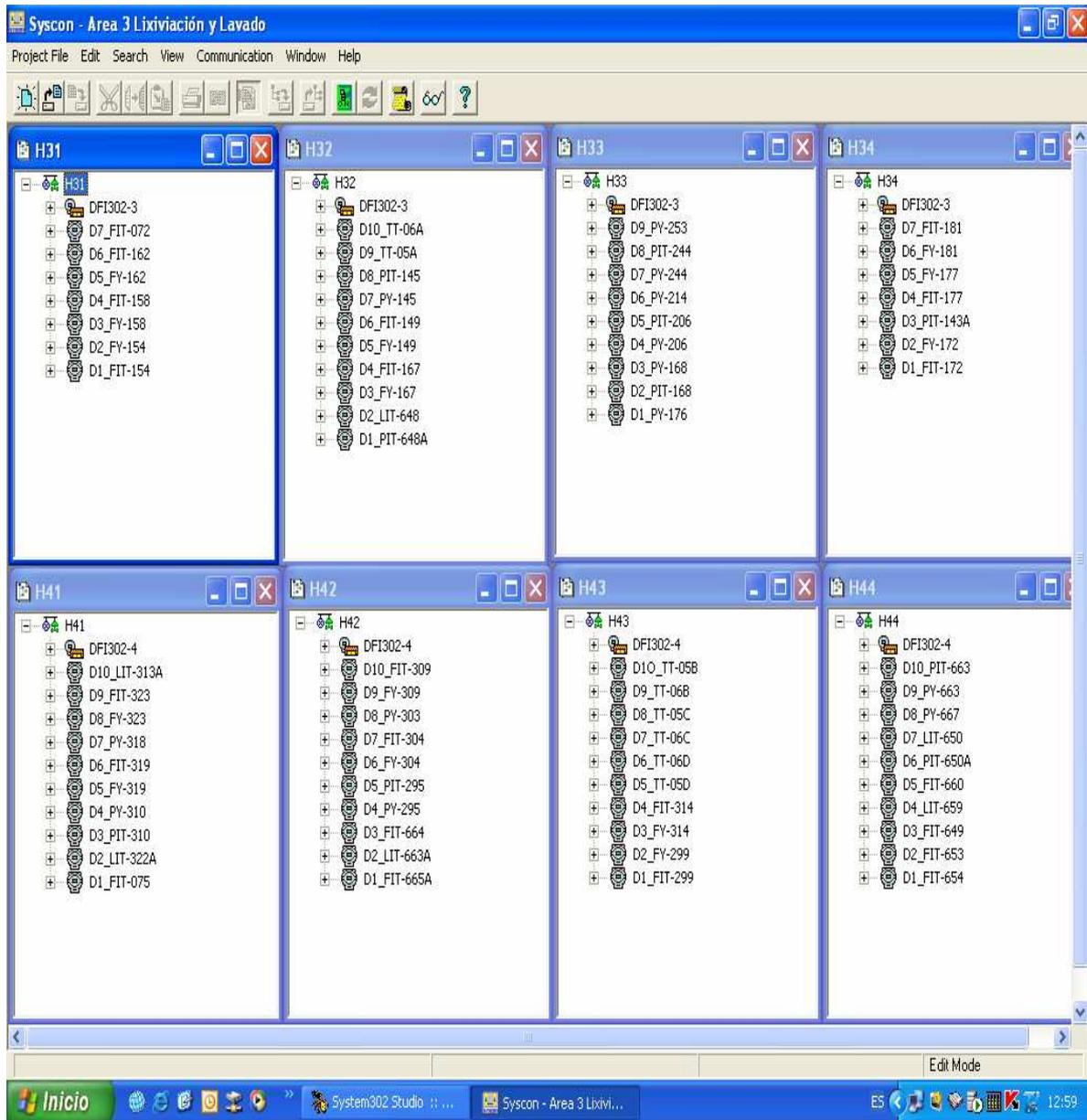
Anexo 14. Configuración en el Syscon de los cuatro DFI302 con sus respectivos canales.



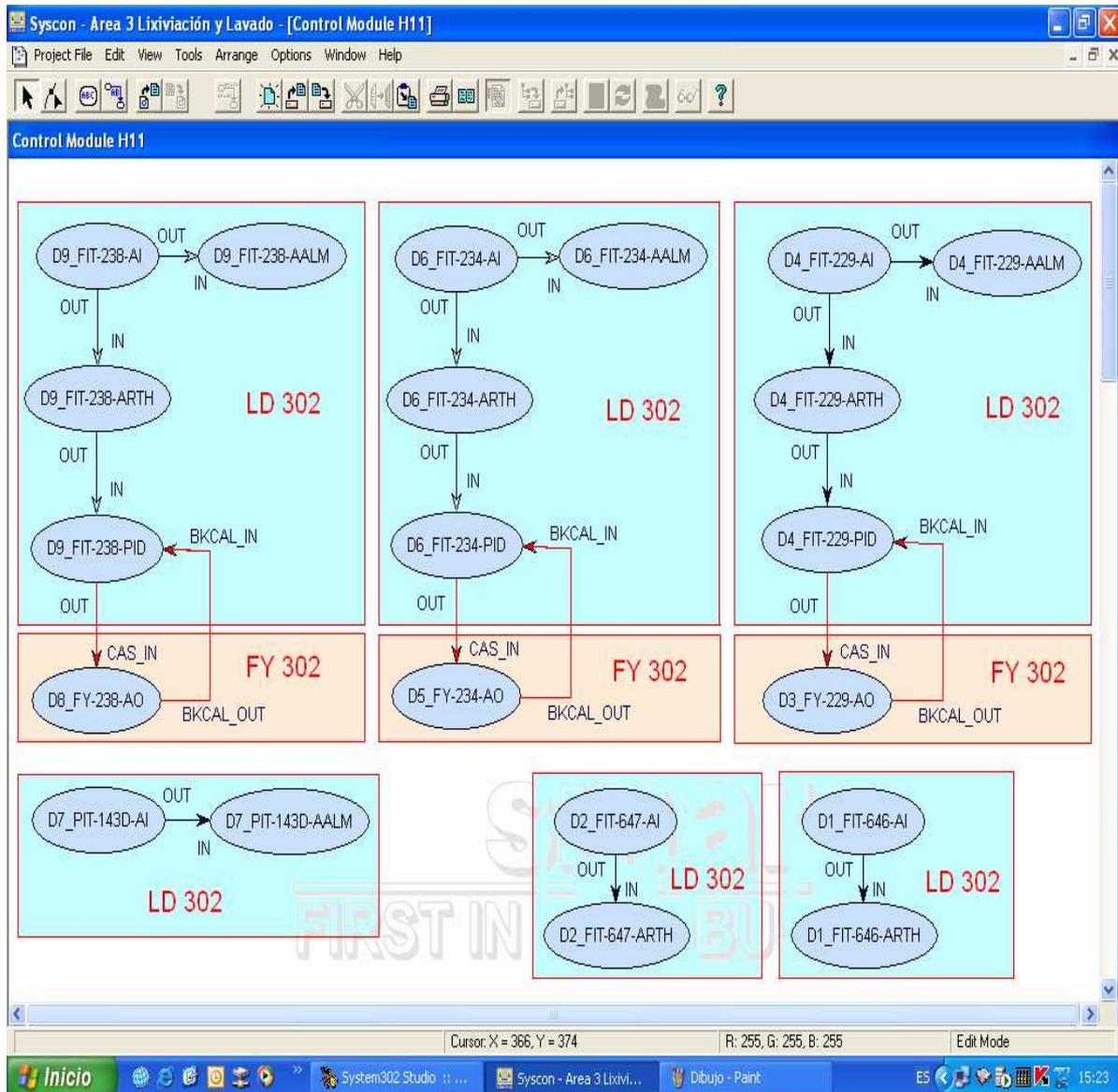
Anexo 15. Configuración de los segmentos del DFI 1 y DFI 2.



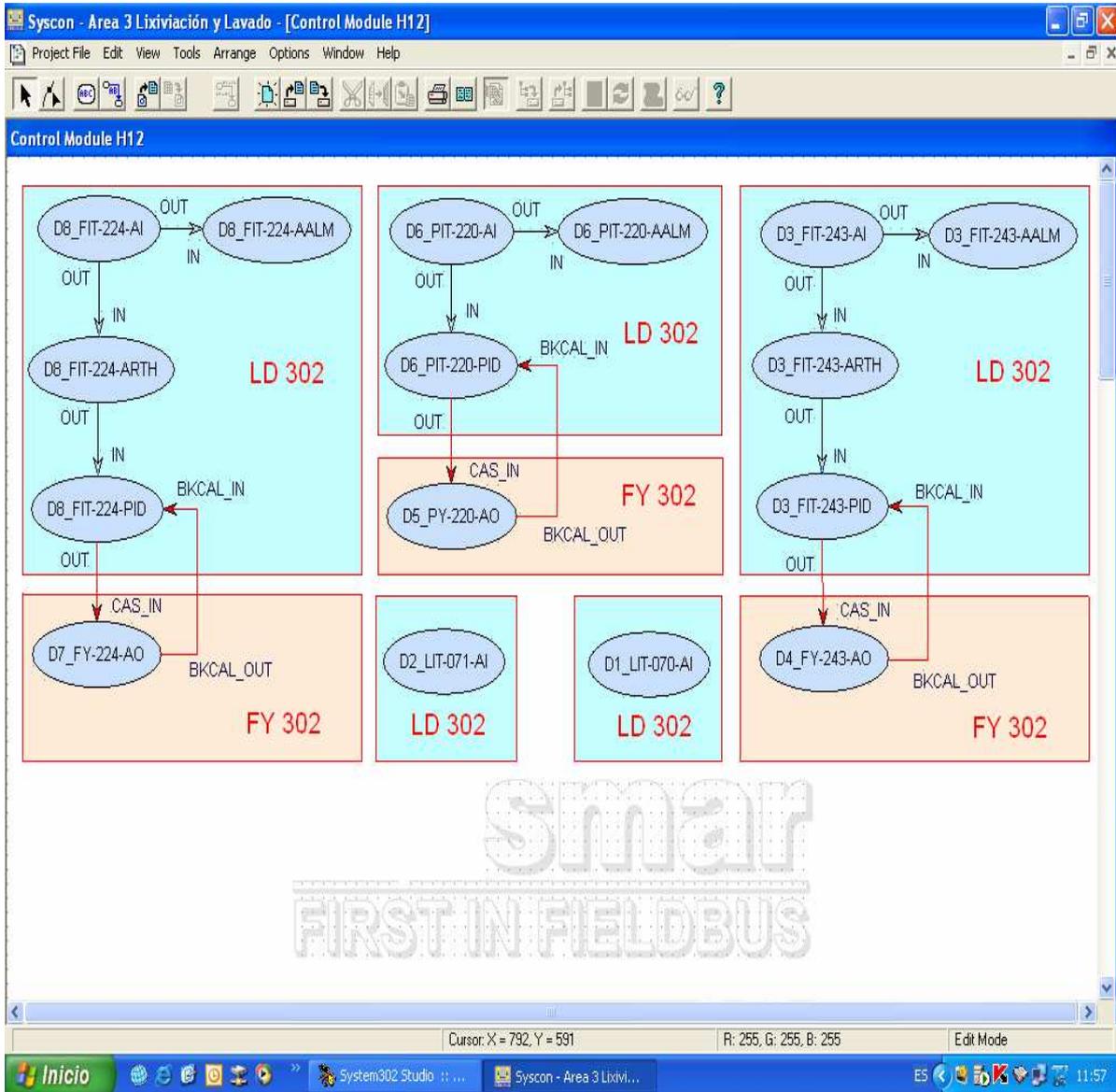
Anexo 16. Configuración de los segmentos del DFI 3 y DFI 4.



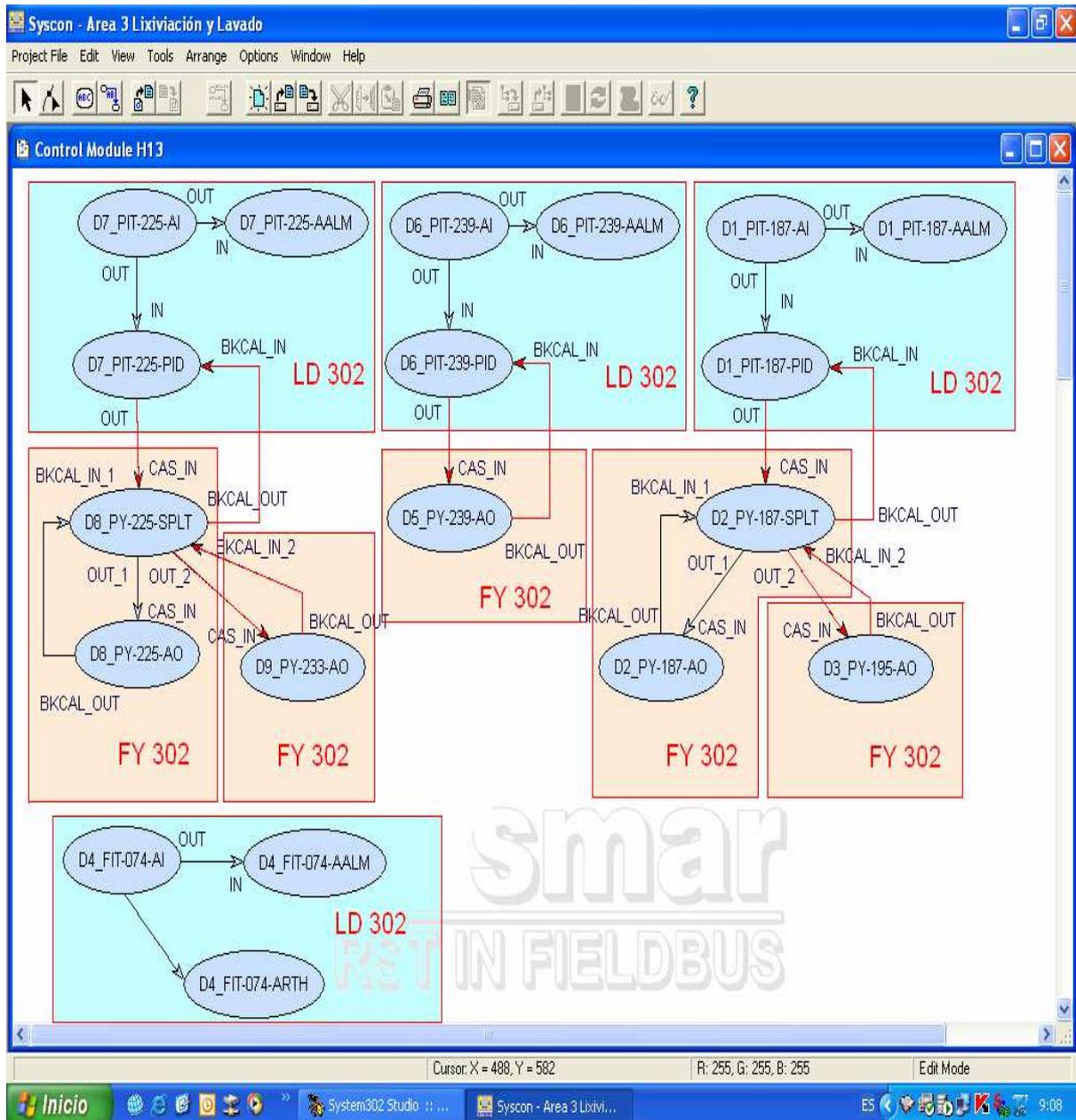
Anexo 17. Módulo de Control H11.



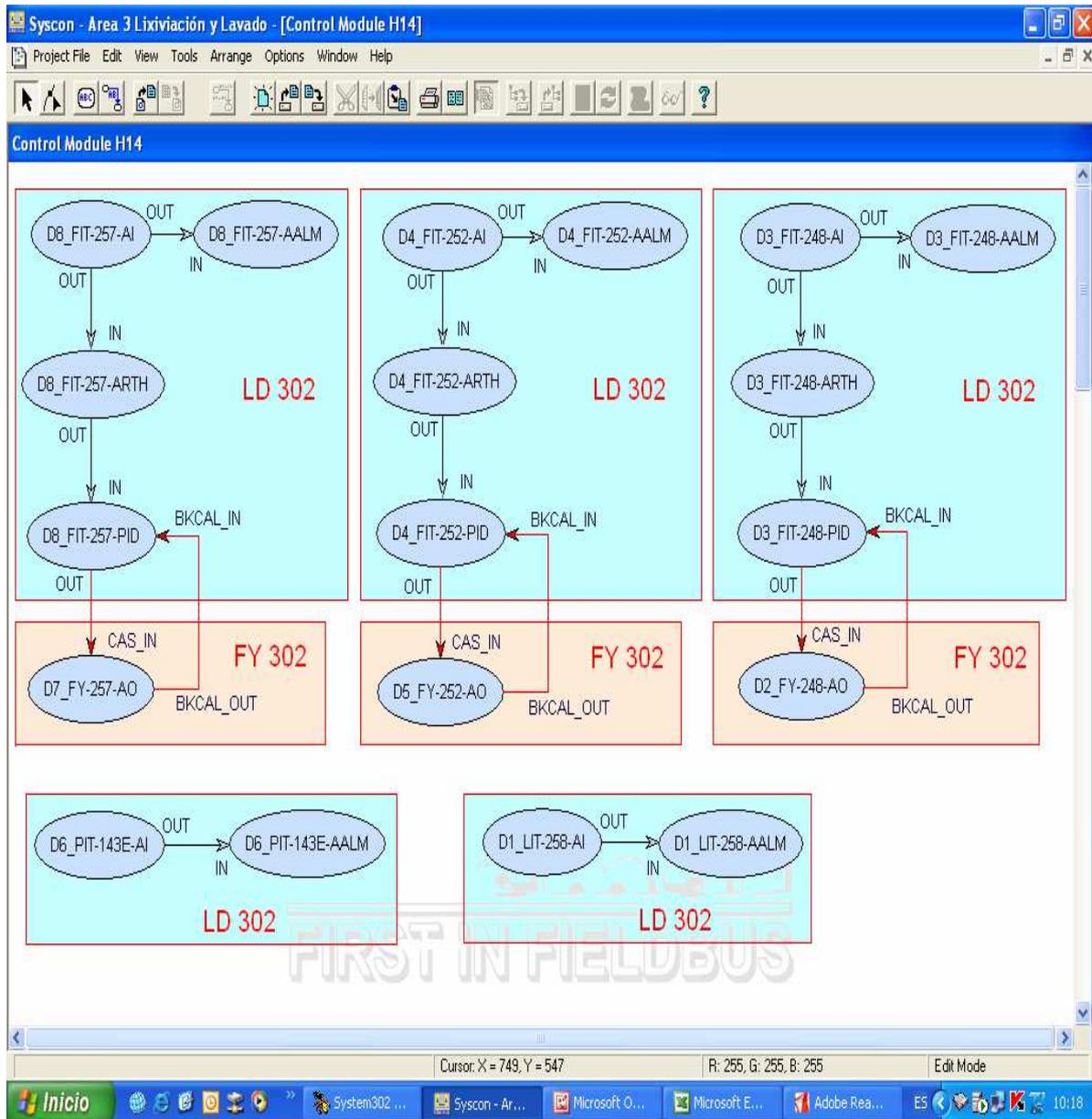
Anexo 18. Módulo de Control H12.



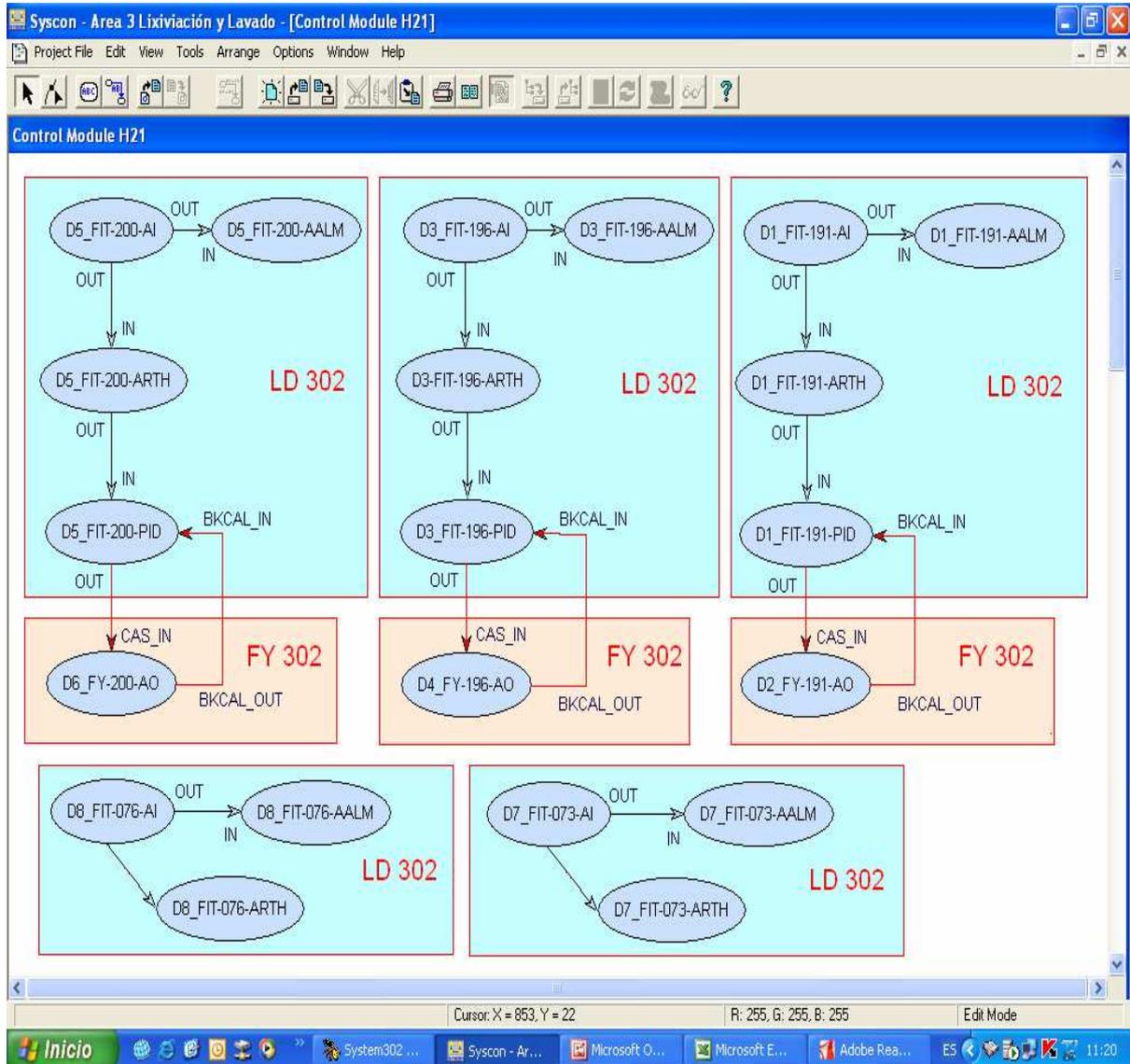
Anexo 19. Módulo de Control H13.



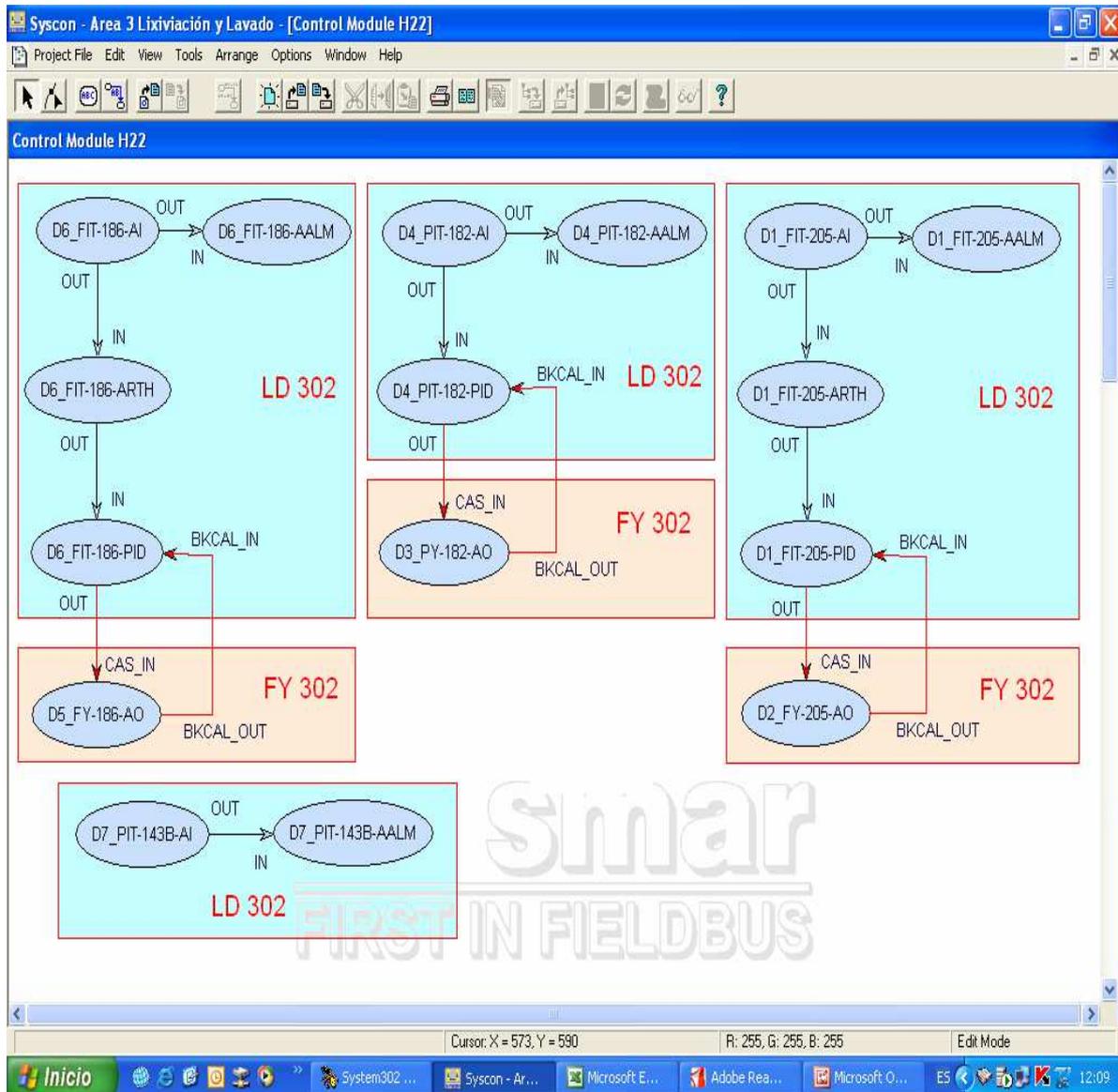
Anexo 20. Módulo de Control H14.



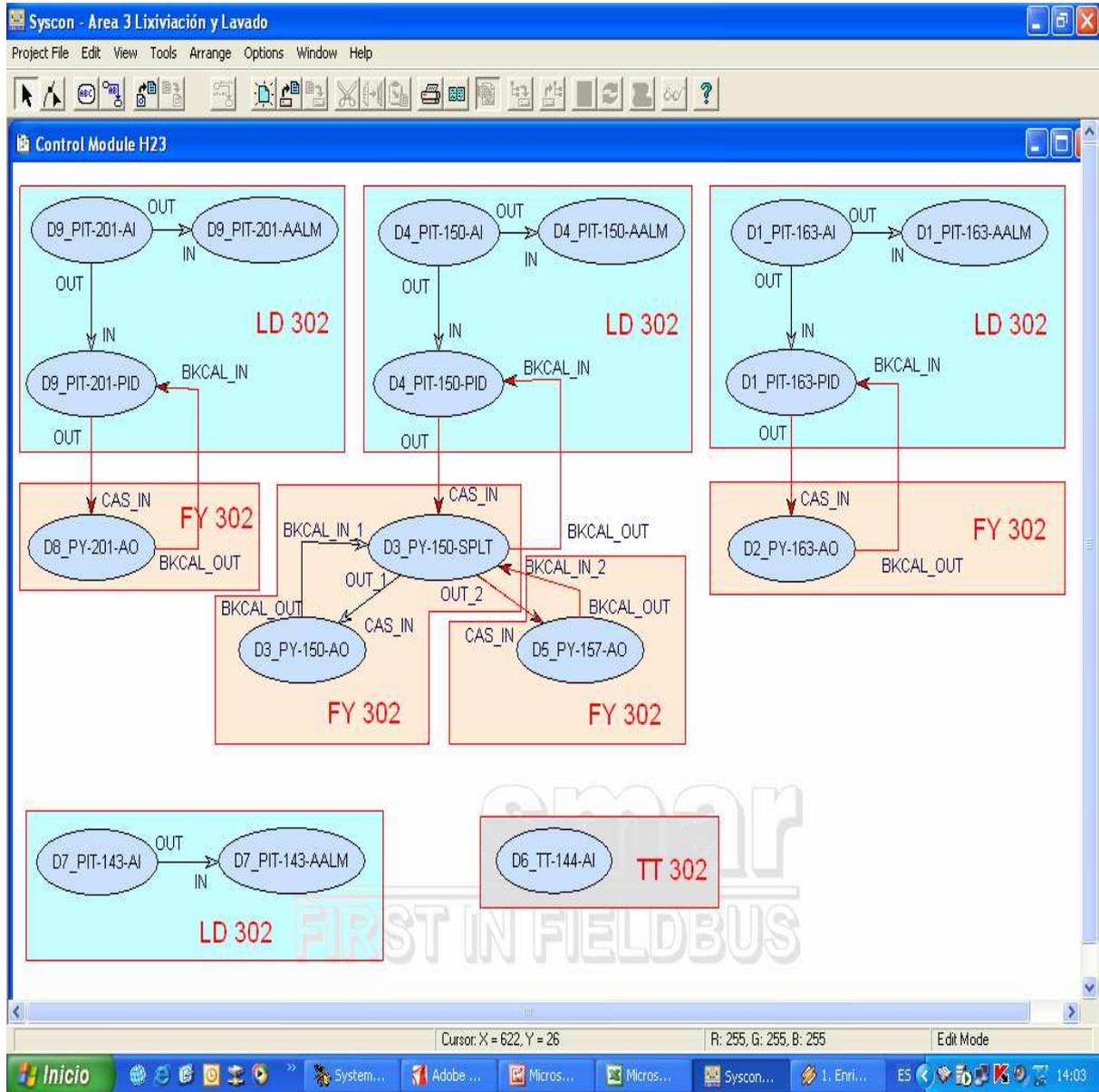
Anexo 21. Módulo de Control H21.



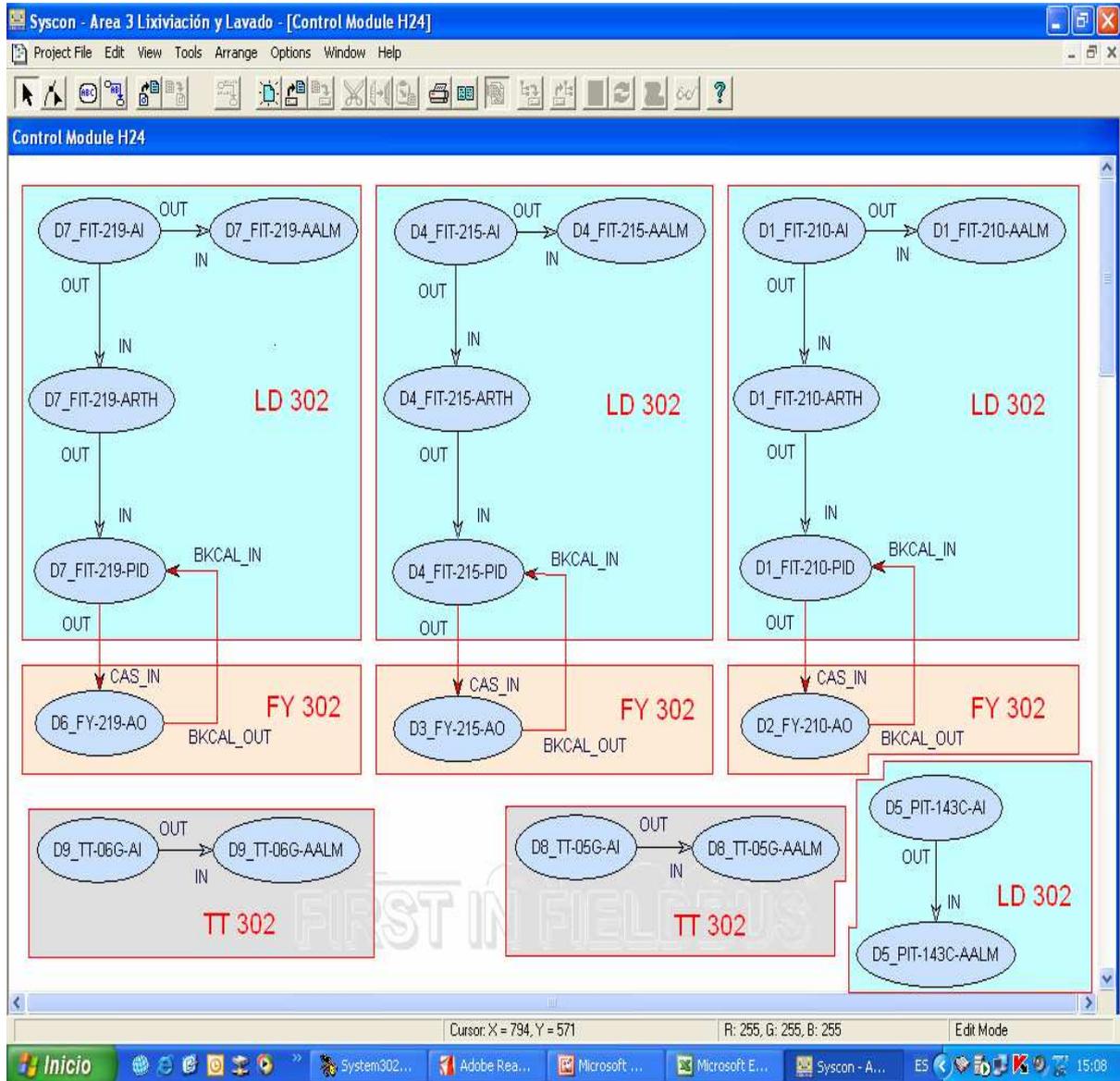
Anexo 22. Módulo de Control H22.



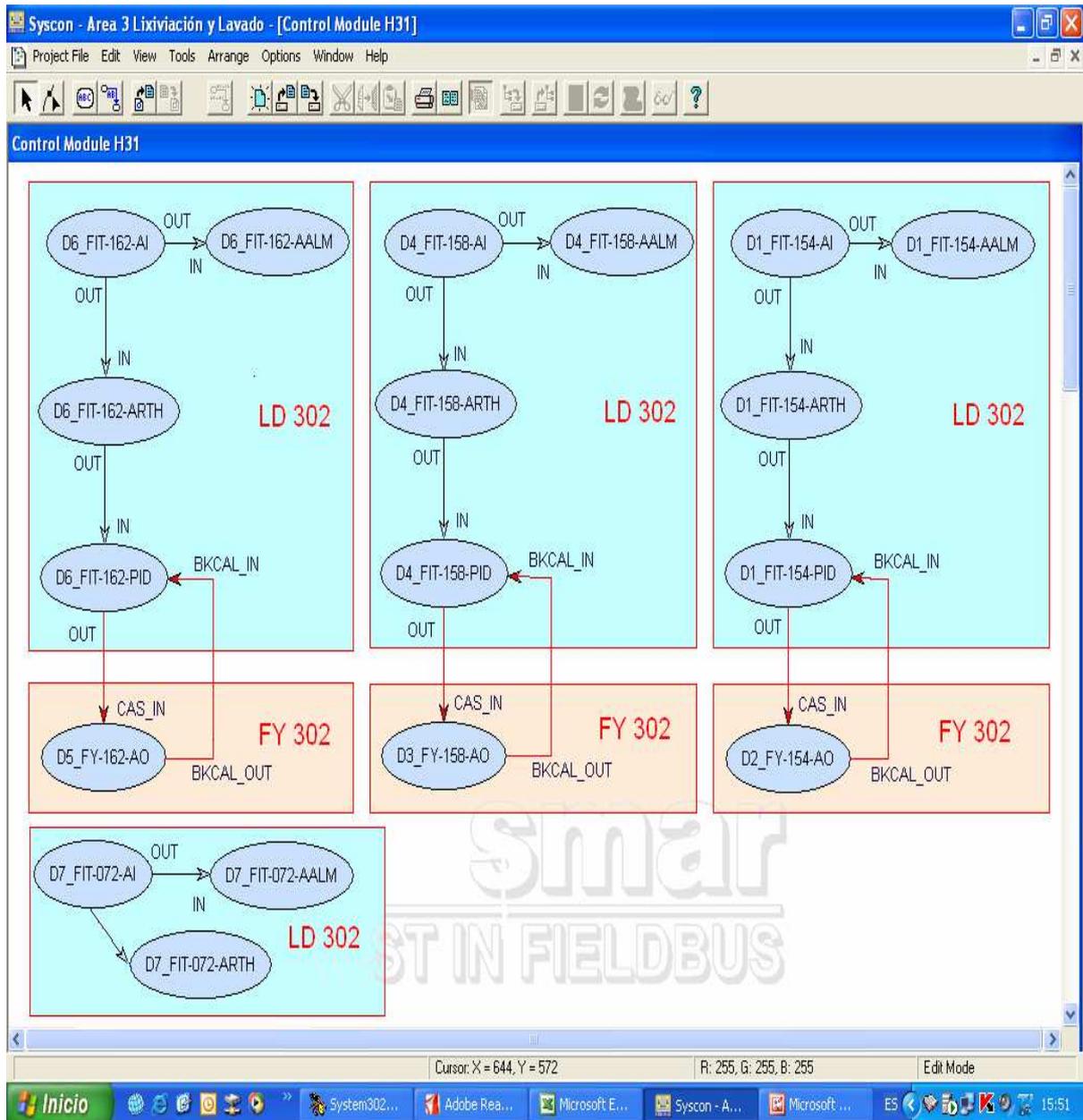
Anexo 23. Módulo de Control H23.



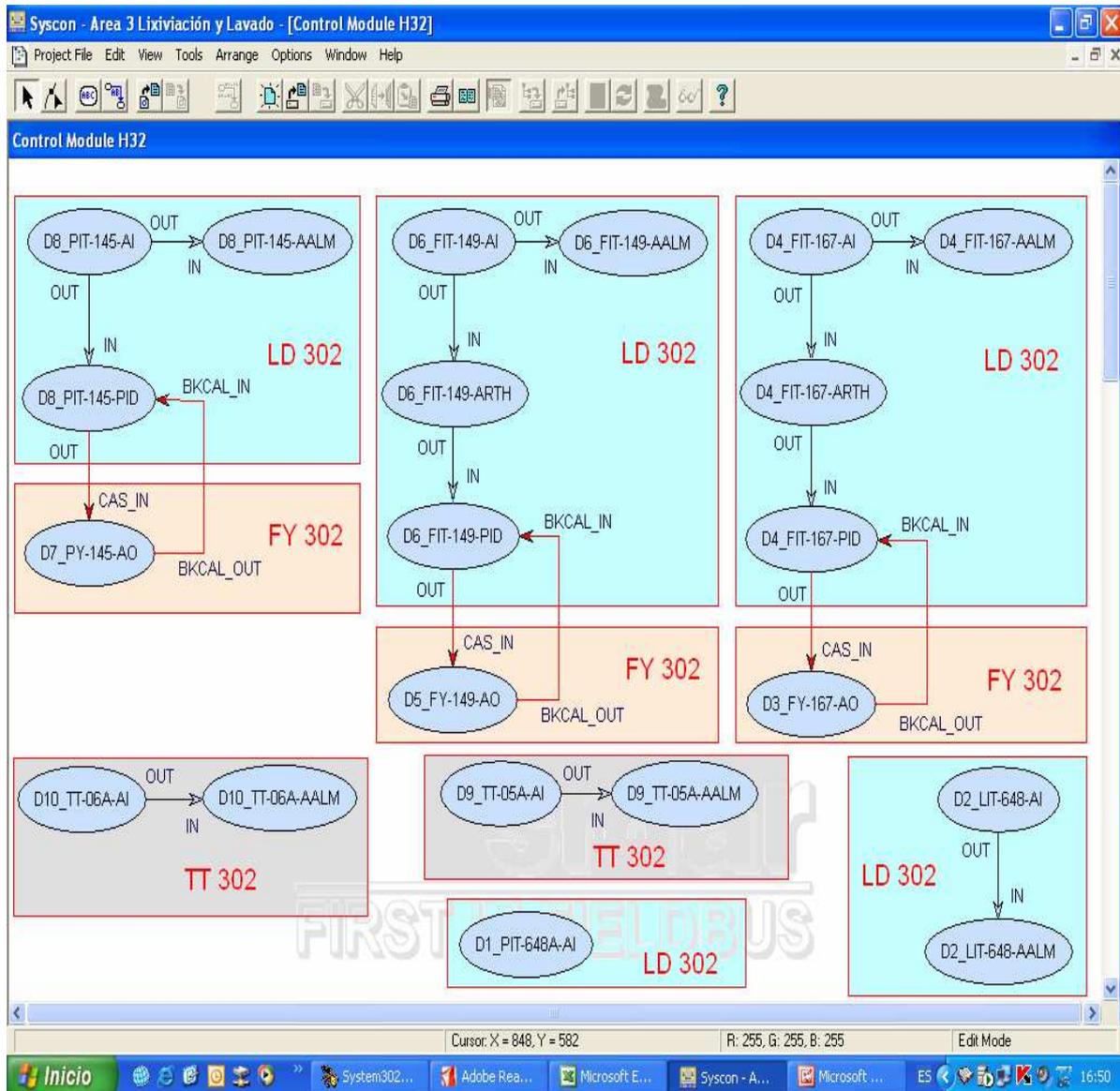
Anexo 24. Módulo de Control H24.



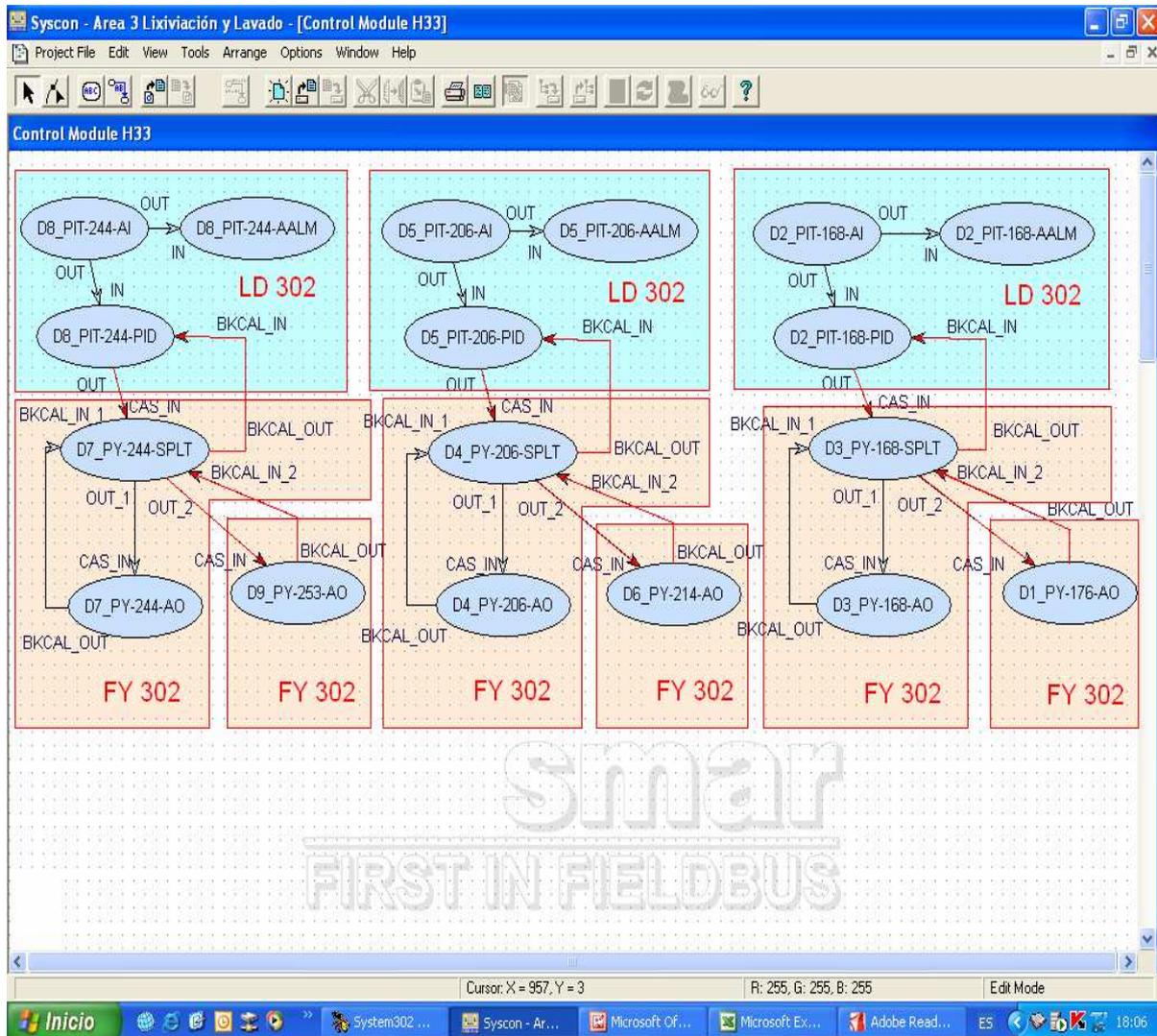
Anexo 25. Módulo de Control H31.



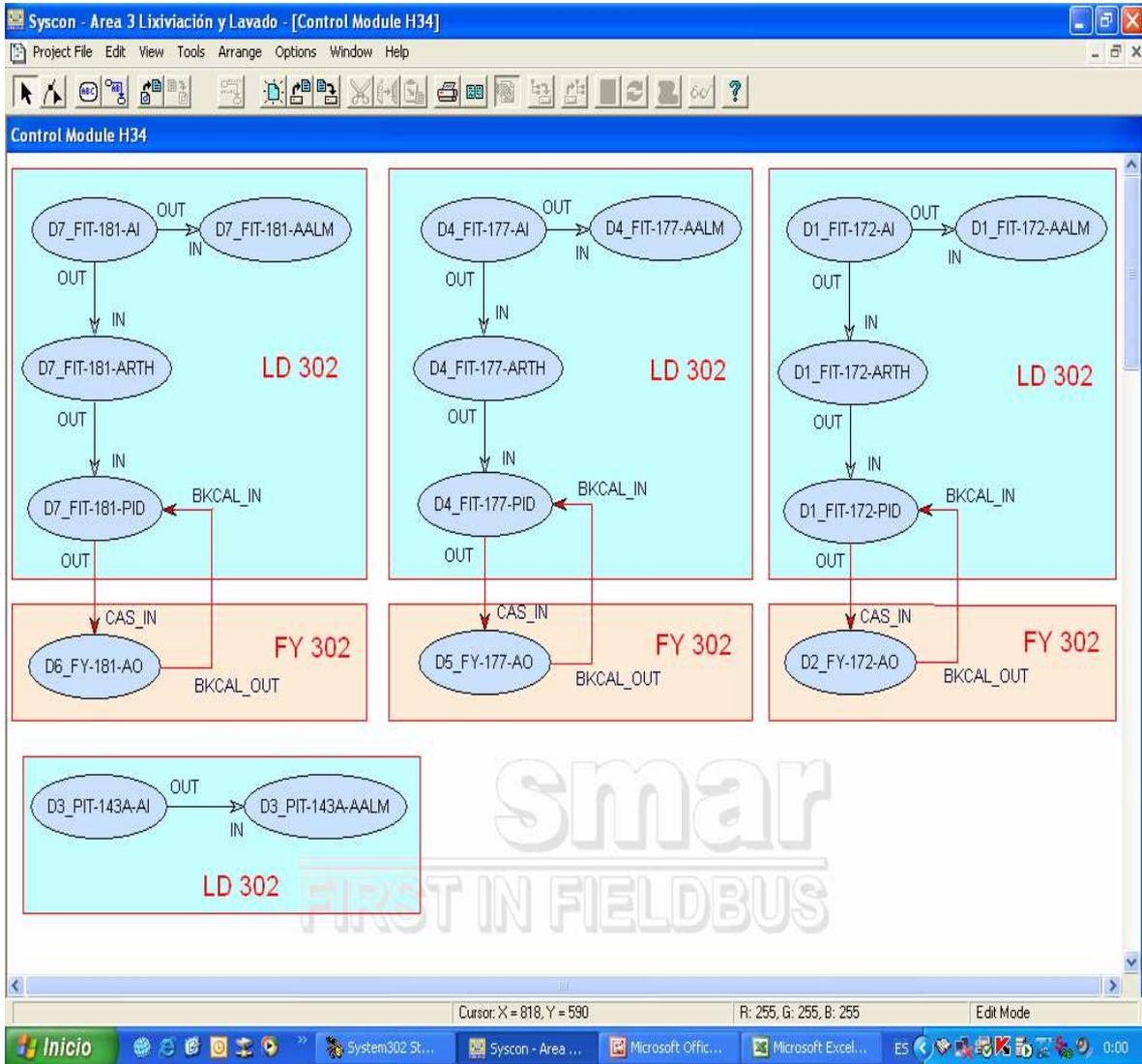
Anexo 26. Módulo de Control H32.



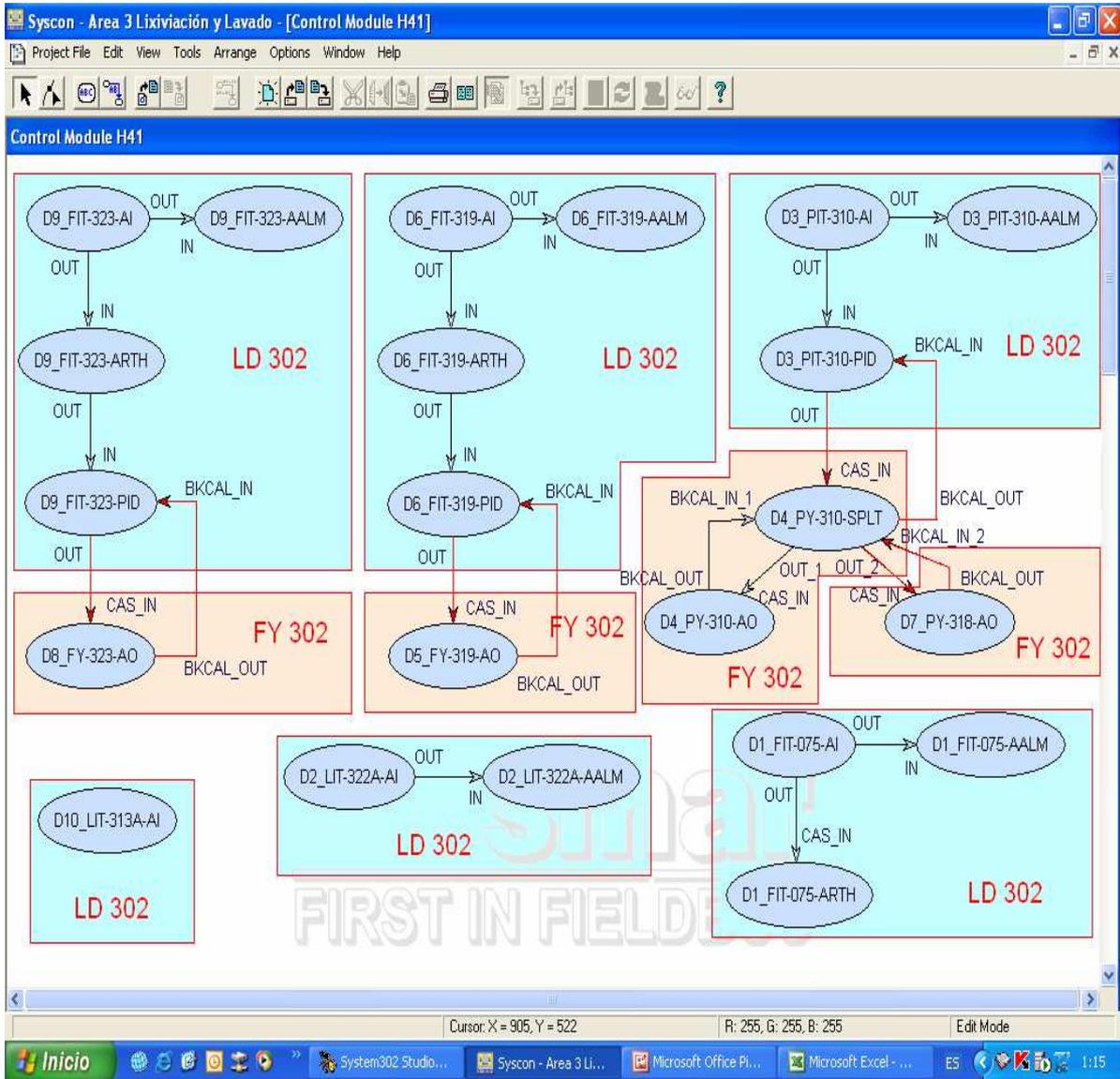
Anexo 27. Módulo de Control H33.



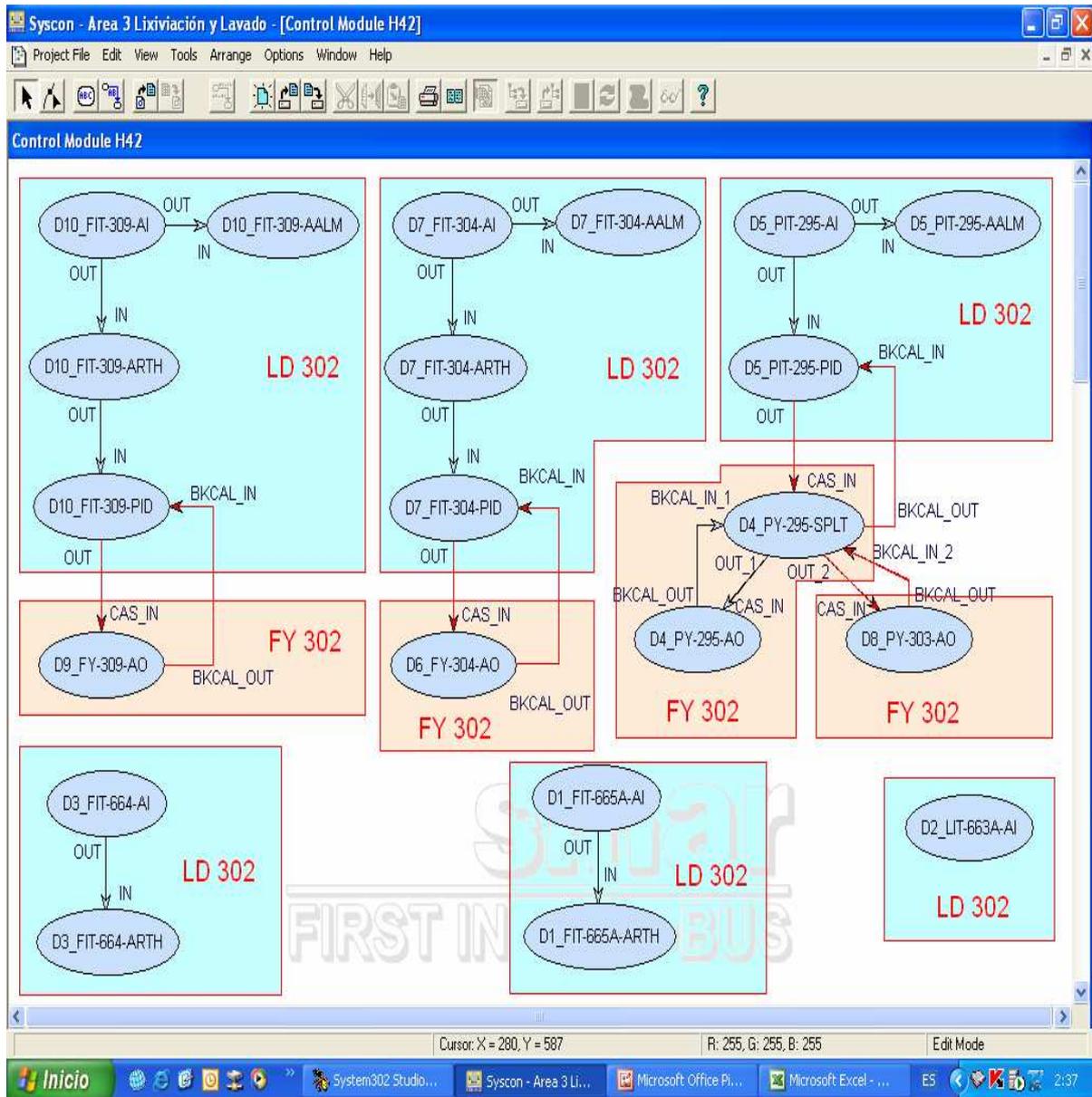
Anexo 28. Módulo de Control H34.



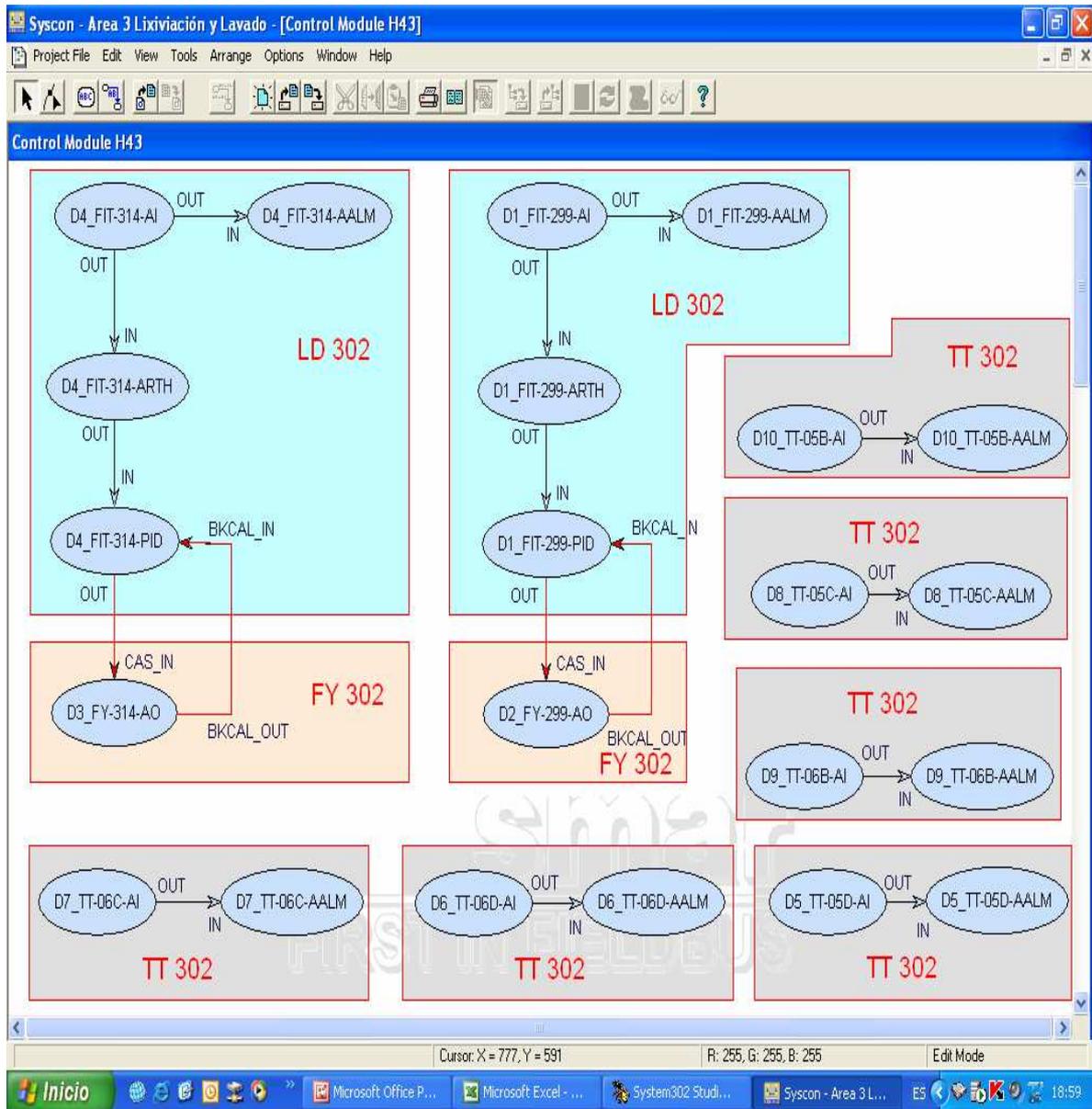
Anexo 29. Módulo de Control H41.



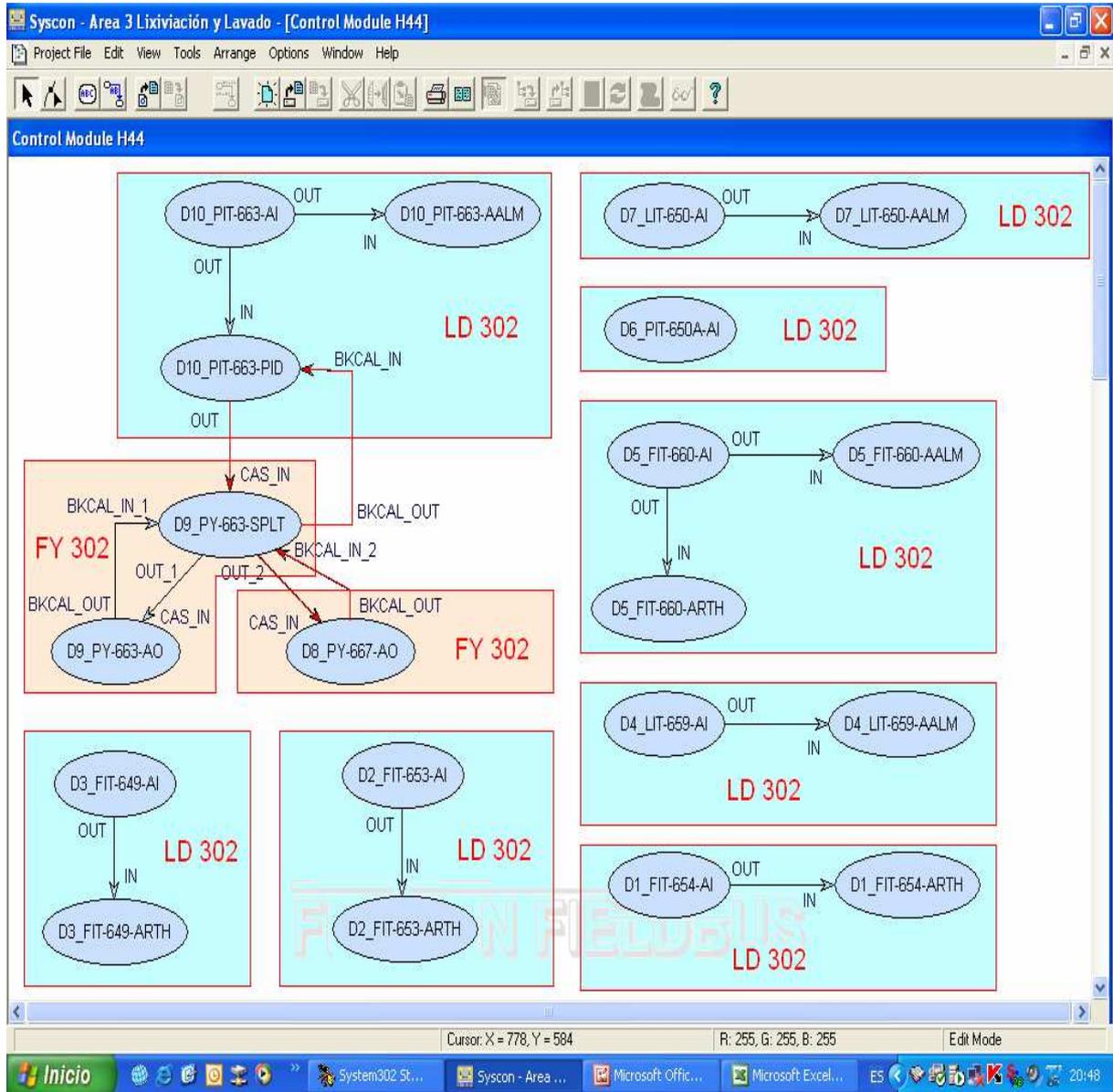
Anexo 30. Módulo de Control H42.



Anexo 31. Módulo de Control H43.



Anexo 32. Módulo de Control H44.



Anexo 33. Valoración de expertos.

Criterio de Experto

Nombre: Ing. Victor Manuel Peña Sosa

Empresa: “Cmdte René Ramos Latour”

Título de la Tesis: Aplicación de la Tecnología Fieldbus Foundation en la Planta de Lixiviación.

Este trabajo ha constituido un proceso de acumulación y búsqueda de información teórica, la cual ha sido complementada de manera inteligente con el conocimiento práctico de los obreros de la planta, cuyo fruto ha sido lograr el diseño de un Sistema de Control basado en buses de campo aplicando la tecnología FieldBus Foundation para ser aplicado en el área No 3 de la planta de Lixiviación. Durante todo el proceso de diseño, los obreros de mantenimiento han logrado un bagaje teórico de la tecnología, el cual juega un papel fundamental en una empresa de producción continua como la nuestra, donde el conocimiento de las tecnologías constituye un arma de incalculable valor que se pone en manos de nuestros técnicos y obreros para ser aplicados en el incremento de la producción y en el logro de una mayor eficiencia en el proceso productivo.

Por demás se ha demostrado las posibilidades de ahorro y las bondades de esta tecnología comparada con la tecnología de 4 a 20 mA instalada en este momento. En la cual se hace posible el mantenimiento preventivo de los diferentes elementos usados en el sistema de control.



Ing. Victor Manuel Peña Sosa.
Especialista Principal Automática RRL.