

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA,  
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

**PROYECTO DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERÍA**

**ESTUDIO PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA RED  
FIELDBUS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE CRUDO  
NPF DE REPSOL YPF**

**JAIME ROBERTO SILVA ALTAMIRANO**

**SANGOLQUÍ – ECUADOR**

**2008**

**ESTUDIO PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA RED  
FIELDBUS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE CRUDO  
NPF DE REPSOL YPF**

### **CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el Sr. Jaime Roberto Silva Altamirano desarrolló y finalizó el proyecto en su totalidad, como requerimiento parcial a la obtención del título de INGENIERO ELECTRÓNICO, bajo nuestra dirección.

---

**Ing. Pablo Sevilla**  
**DIRECTOR**

---

**Ing. Rodolfo Gordillo**  
**CODIRECTOR**

## RESUMEN

Este estudio pretende dejar criterios claros para la optimización de una red Foundation Fieldbus a través del estudio técnico realizado en la planta de tratamiento de crudo NPF de Repsol YPF, donde principalmente se plantean acciones correctivas que permitirán tener una red totalmente operativa.

Mediante la investigación realizada se verifica que la instalación se encuentra dentro de las normas por lo cual es necesario un estudio más profundo, a través de las respectivas pruebas técnicas realizadas con los módulos FBT así como de los análisis FMEA y FMEDA, los cuales permiten determinar las fallas potenciales que afectan a la red, tomando en consideración, las que presentan mayor riesgo en la planta.

Una vez determinado las fallas sobre la red se realiza la respectiva propuesta técnica donde principalmente se plantea la adquisición de nuevos transmisores sustituyendo a los que se encuentran en mal estado así como la compra de nuevas barreras con mayor capacidad de energía, tomando siempre en cuenta que dicha capacidad se encuentre dentro de los límites para la instalación en áreas peligrosas. De igual manera se recomienda la actualización del firmware en todos los equipos a través de los archivos que provee el mismo fabricante.

Finalmente al tener presente los equipos que son necesarios para sustituir a los anteriores, se presenta el respectivo presupuesto referencial para llevar a cabo el proyecto de optimización.

## **DEDICATORIA**

Al lograr una meta planteada desde hace mucho tiempo en mi vida, dedico a mis Padres Efrén y Nancy, a mis hermanos Mauro, Elizabeth y Susana, y a mis amigos todo el esfuerzo reflejado en este proyecto, ya que sin su apoyo constante y sin su guía no lo hubiese alcanzado.

JAIME

## AGRADECIMIENTO

En primer lugar a Dios, por regalarme estos años vida para culminar mi carrera con éxito.

De igual manera, mi eterna gratitud para quienes me apoyaron en todo momento, de manera especial a mis Padres por continuamente darme ese aliento que a veces me faltaba, por saber escuchar mis problemas y por siempre estar ahí cuando más lo necesitaba.

A mis hermanos por brindarme todos sus conocimientos y experiencias, y por siempre estar pendientes de mí.

A mis amigos, por sus consejos que en verdad son muy valiosos, y han sido testigos de mis triunfos y fracasos.

A mis colaboradores de proyecto Ing. Rodolfo Gordillo e Ing. Pablo Sevilla por dar las pautas necesarias para hacer un trabajo digno de nuestra prestigiosa universidad

Al Gerente de Recursos Humanos de Repsol YPF por abrirme las puertas en su distinguida empresa.

A todas las personas que me apoyaron en el bloque 16, en especial el Ing. Franklin Vásquez y el Ing. Víctor Vargas por brindarme su confianza y ayudarme con toda la información necesaria para realizar el proyecto

Y a mí querida Universidad de la cual me llevo las mejores enseñanzas

## PRÓLOGO

En grandes industrias como la petrolera se tienen instaladas redes industriales las cuales permiten controlar la operación de la planta a través de diferentes sistemas. Mediante estas redes industriales se monitorean variables físicas a través de transductores y transmisores que son de suma importancia para la operación de la planta. Por tal razón, su conocimiento teórico y práctico son vitales para el perfil del futuro profesional con especialización en Automatización y Control, puesto que está en capacidad de resolver problemas para este tipo de aplicaciones a través de sus conocimientos matemáticos, científicos, tecnológicos e instrumentales produciendo soluciones acordes al desarrollo tecnológico.

En particular, el estudio que se presenta determina las acciones que se deben tomar para obtener una red totalmente operativa como en este caso la red Foundation Fieldbus de la planta de tratamiento de crudo NPF de Repsol YPF, para de esta manera, permitir los cálculos matemáticos de variables que son muy importantes en la operación del proceso como son la presión de llegada de los wellpads del NPF y crudo del SPF, los niveles de los tanques de crudo, los niveles de tanques de agua y diesel de la planta, así como el sistema de calentamiento de crudo, obteniendo lecturas instantáneas de sus valores.

De esta manera, con la optimización de la red industrial, se puede contar con un sistema de control y monitoreo centralizado de todos los procesos de manejo, brindando confiabilidad en el desarrollo del proceso, previniendo y solucionando situaciones que pueden tornarse peligrosas.

Es así que, el profesional mediante sus conocimientos integra tecnologías de última generación para la optimización de procesos productivos con creatividad y cumpliendo normas internacionales para la documentación y presentación de sus diseños.

Una red Foundation Fieldbus al ser una comunicación digital bidireccional que integra dispositivos de control inteligentes tiene grandes ventajas en lo que se refiere a reducción de cableado y rapidez de comunicación, lo cual conlleva a una reducción de costos de instalación y un mayor de manejo de información. De esta manera representa una red industrial de altas prestaciones que es capaz de facilitar el proceso, por tal razón este estudio pretende resolver los problemas en esta red puesto que hasta el momento se encuentra prácticamente inoperable, produciendo un desperdicio de tecnología y recursos económicos.

En el estudio presentado, el Capítulo 1 es una introducción al proyecto realizado donde básicamente se detallan subtemas como antecedentes, justificación y alcance del proyecto así como los objetivos que son de gran importancia en el desarrollo. El Capítulo 2 describe una red Foundation Fieldbus con sus respectivos estándares y normativas de instalación; aquí se mencionan datos importantes como el tipo de cable, topología, cantidad de nodos, velocidad, distancia y el control de acceso al medio además de los equipos de prueba denominados módulos FBT que son necesarios para monitorear el estado de la red. En el Capítulo 3 se presentan los diferentes elementos que se encuentran instalados en la red así como su integración con PlantScape Process para visualizar los datos través del sistema SCADA, además de los respectivos planos de toda la red que sirven de apoyo para tener la ubicación de ésta en la planta. En el Capítulo 4 se realizan las pruebas respectivas para determinar las fallas que afectan a la red y la verificación de normativa; en este se presentan los datos obtenidos a través de los módulos FBT así como los análisis FMEA y FMEDA realizados sobre la red los mismos que son de gran importancia para determinar las acciones correctivas que se deben tomar. Una vez hecho todo el análisis se realiza la propuesta técnica la cual se presenta en el Capítulo 5 donde principalmente se plantean las acciones correctivas, los nuevos equipos que se deben adquirir y el presupuesto referencial para llevar a cabo el proyecto. Finalmente, las conclusiones y recomendaciones obtenidas a lo largo de la realización del estudio se presentan en el Capítulo 6.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>XIII</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>XV</b>
<b>GLOSARIO DE TÉRMINOS Y LISTA DE ACRÓNIMOS Y ABREVIACIONES</b>	<b>XVII</b>
LISTA DE ACRÓNIMOS Y ABREVIACIONES.....	XVII
GLOSARIO DE TÉRMINOS .....	XIX

### CAPÍTULO 1

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1. ANTECEDENTES .....	1
1.2. JUSTIFICACIÓN .....	4
1.3. ALCANCE .....	5
1.4. OBJETIVOS .....	6
1.4.1. <i>General</i> .....	6
1.4.2. <i>Específicos</i> .....	6

### CAPÍTULO 2

<b>FOUNDATION FIELDBUS (FF).....</b>	<b>7</b>
2.1. INTRODUCCIÓN A LAS REDES INDUSTRIALES.....	7
2.1.1. <i>Componentes de las Redes Industriales</i> .....	8
2.1.2. <i>Topologías</i> .....	9
2.1.3. <i>Medio Físico</i> .....	11
2.1.4. <i>Control de Acceso al Medio Físico</i> .....	11
2.1.4.1. Control de Acceso por Paso de Testigo (Token Passing).....	12
2.1.4.2. Control de acceso por contienda (CSMA/CD, IEEE 802.3).....	12
2.1.5. <i>Modelos de Comunicación</i> .....	13
2.2. FIELDBUS FOUNDATION .....	14
2.3. FOUNDATION FIELDBUS .....	15
2.4. DESCRIPCIÓN DE FOUNDATION FIELDBUS (FF).....	16
2.5. ESTÁNDARES DEFINIDOS POR FOUNDATION FIELDBUS.....	18
2.5.1. <i>H1</i> .....	18
2.5.2. <i>H2</i> .....	19
2.5.3. <i>HSE</i> .....	19
2.6. DESCRIPCIÓN DEL PROTOCOLO H1 .....	19
2.6.1. <i>Capa Física</i> .....	21
2.6.2. <i>Pila de Comunicaciones</i> .....	21
2.6.2.1. Fieldbus Access Sublayer (FAS).....	23
2.6.2.2. Fieldbus Message Specification (FMS).....	24
2.7. TOPOLOGÍAS EN FIELDBUS .....	26
2.8. SEGURIDAD INTRÍNSECA (I.S.) .....	28

2.9.	NORMATIVAS.....	28
2.9.1.	<i>Arquitectura Básica</i> .....	29
2.9.2.	<i>Consideraciones para el Segmento</i> .....	29
2.9.3.	<i>Tipo de Cable</i> .....	30
2.9.4.	<i>Longitud del Spur</i> .....	31
2.9.5.	<i>Longitud Máxima de la Red</i> .....	32
2.9.6.	<i>Número de Dispositivos sobre la Red</i> .....	32
2.9.7.	<i>Terminadores Fieldbus</i> .....	33
2.9.8.	<i>Fuentes de Alimentación</i> .....	34
2.9.9.	<i>Barreras I.S.</i> .....	34
2.9.10.	<i>Requisitos en Áreas Peligrosas</i> .....	35
2.10.	EQUIPOS DE PRUEBAS .....	37

## CAPÍTULO 3

### SITUACIÓN ACTUAL EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE CRUDO NPF...39

3.1.	OPERACIÓN DEL SISTEMA SCADA PLANTScape R.400.....	39
3.1.1.	<i>Características Principales de PlantScape</i> .....	40
3.1.2.	<i>Herramientas de Configuración de PlantScape</i> .....	40
3.2.	INTEGRACIÓN DE FIELDBUS CON PLANTScape PROCESS .....	41
3.3.	DISTRIBUCIÓN DE LA RED FIELDBUS EN LA PLANTA.....	42
3.4.	ZONA RACK REMOTOS.....	42
3.5.	PLANOS CONTROL CABINET LOCATION PLANT .....	43
3.6.	PLANOS DE ARQUITECTURA .....	43
3.7.	PLANOS PSP ELECTRICAL TERMINATION DIAGRAMS .....	44
3.8.	PLANOS INSTRUMENT LOOP DIAGRAM .....	44
3.9.	TRANSMISORES FIELDBUS INSTALADOS .....	45
3.10.	ELEMENTOS DE LA RED .....	46
3.10.1.	<i>Módulo de Interface Fieldbus (FIM)</i> .....	46
3.10.2.	<i>Panel de Terminación Remota (RTP)</i> .....	47
3.10.3.	<i>Cable Fieldbus</i> .....	48
3.10.4.	<i>Concentradores</i> .....	49
3.10.4.1.	<i>FCS-TI-PL (Isolated Terminating Block)</i> .....	49
3.10.4.2.	<i>FCS-E-PL (Expander Block)</i> .....	49
3.10.4.3.	<i>FCS-S-PL (Spur Block)</i> .....	50
3.10.5.	<i>Barreras IS</i> .....	51
3.11.	INTERFAZ VISUAL EN EL SCADA DE LOS TRANSMISORES FIELDBUS.....	52

## CAPÍTULO 4

### ANÁLISIS TÉCNICO DE LA RED .....58

4.1.	VERIFICACIÓN DE NORMATIVA .....	58
4.1.1.	<i>Tipo de Cable</i> .....	58
4.1.2.	<i>Longitud de los Spurs</i> .....	58
4.1.3.	<i>Longitud de la Red</i> .....	58

4.1.4.	<i>Número de Dispositivos sobre la Red</i> .....	61
4.1.5.	<i>Terminadores</i> .....	61
4.2.	<b>ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (FMEA)</b> .....	61
4.2.1.	<i>Descripción del FMEA</i> .....	62
4.2.2.	<i>Elaboración del FMEA</i> .....	62
4.3.	<b>MODO DE FALLA, EFECTOS Y ANÁLISIS DE DIAGNÓSTICOS (FMEDA)</b> .....	65
4.3.1.	<i>Estándar IEC 61508</i> .....	66
4.3.2.	<i>Factor de Alcance</i> .....	66
4.3.3.	<i>Técnicas de Diagnóstico</i> .....	67
4.3.4.	<i>Elaboración del FMEDA</i> .....	67
4.4.	<b>PRUEBAS TÉCNICAS</b> .....	69
4.4.1.	<i>Medición de Voltaje y Corriente</i> .....	69
4.4.2.	<i>Probador FBT-4</i> .....	70
4.4.3.	<i>Monitor FBT-3</i> .....	71
4.5.	<b>BANCO DE PRUEBAS</b> .....	74
4.5.1.	<i>Comunicación</i> .....	75
4.5.2.	<i>Creación y Configuración de un CPM</i> .....	78
4.5.3.	<i>Configuración de los Módulo I/O</i> .....	81
4.5.4.	<i>Componentes del Sistema de Control</i> .....	84
4.5.5.	<i>Configuración de Componentes Fieldbus en el Sistema de Control</i> .....	85
4.5.5.1.	<i>Módulo de Interface Fieldbus (FIM)</i> .....	86
4.5.5.2.	<i>Archivos de Descripción del Dispositivo (DD) Fieldbus</i> .....	87
4.6.	<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS</b> .....	88
4.6.1.	<i>Análisis de Voltaje y Corriente</i> .....	88
4.6.2.	<i>Análisis de las mediciones del FBT-4</i> .....	92
4.6.3.	<i>Análisis de las mediciones del FBT-3</i> .....	93
4.6.4.	<i>Análisis del Banco de Pruebas</i> .....	95

## CAPÍTULO 5

<b>PROPUESTA TÉCNICA</b> .....	<b>97</b>	
5.1.	<b>ACCIONES CORRECTIVAS</b> .....	97
5.1.1.	<i>En base a la recolección de datos</i> .....	97
5.1.1.1.	<i>Voltaje</i> .....	98
5.1.1.2.	<i>Nivel de Señal</i> .....	99
5.1.1.3.	<i>Ruido</i> .....	99
5.1.1.4.	<i>Retransmisiones</i> .....	100
5.1.2.	<i>En base al proceso</i> .....	100
5.1.3.	<i>En base a los análisis FMEA y FMEDA</i> .....	101
5.1.3.1.	<i>Cambio de Barrera</i> .....	105
5.1.3.2.	<i>Análisis de Áreas Peligrosas</i> .....	108
5.1.3.3.	<i>Actualización del Firmware</i> .....	109
5.2.	<b>DIAGRAMAS TÉCNICOS</b> .....	110
5.3.	<b>EQUIPOS Y PRESUPUESTO REFERENCIAL</b> .....	110

## CAPÍTULO 6

<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	<b>113</b>
6.1.    CONCLUSIONES.....	113
6.2.    RECOMENDACIONES .....	116
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>117</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>119</b>
ANEXO 1	
DIAGRAMA DE ARQUITECTURA DE PLANTScape PROCESS	
ANEXO 2	
PLANOS PSP ELECTRICAL TERMINATION DIAGRAMS	
ANEXO 3	
RUTA FIELDBUS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE CRUDO NPF	
ANEXO 4	
PLANOS DE ARQUITECTURA	
ANEXO 5	
ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (FMEA) DE LA RED FIELDBUS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE CRUDO NPF	
ANEXO 6	
MODOS DE FALLA, EFECTOS Y ANÁLISIS DE DIAGNÓSTICOS (FMEDA) DE LA RED FIELDBUS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE CRUDO NPF	
ANEXO 7	
DIAGRAMAS TÉCNICOS PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA RED FIELDBUS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE CRUDO NPF	
ANEXO 8	
PRESUPUESTO REFERENCIAL	
ANEXO 9	
TABLA DE ARANCELES PARA INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA	
ANEXO 10	
REPORTE FOTOGRÁFICO	

## ÍNDICE DE TABLAS

### CAPÍTULO 1

### CAPÍTULO 2

TABLA 2. 1. TIPOS DE CABLE PARA REDES FIELDBUS.....	30
TABLA 2. 2. LONGITUDES DE LOS SPURS DE ACUERDO AL NÚMERO DE DISPOSITIVOS....	31
TABLA 2. 3. PARÁMETROS DE ENERGÍA EN ÁREAS PELIGROSAS .....	35

### CAPÍTULO 3

TABLA 3. 1. TRANSMISORES FIELDBUS INSTALADOS EN LA PLANTA .....	46
TABLA 3. 2. CARACTERÍSTICAS DEL CABLE BELDEN DATABAS 3076F.....	48
TABLA 3. 3. TRANSMISORES FIELDBUS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE CRUDO NPF .....	53

### CAPÍTULO 4

TABLA 4. 1. LONGITUD DE SEGMENTOS EN LA ZONA 1.....	59
TABLA 4. 2. LONGITUD DE SEGMENTOS EN LA ZONA 5.....	60
TABLA 4. 3. LONGITUD DEL SEGMENTO EN LA ZONA 6.....	61
TABLA 4. 4. ESCALA DE LA SEVERIDAD EN FMEA.....	64
TABLA 4. 5. ESCALA DE OCURRENCIA EN FMEA .....	65
TABLA 4. 6. MEDIDAS DE VOLTAJE Y CORRIENTE EN EL BUS (SEGMENTO 4, ZONA 1) ...	69
TABLA 4. 7. CONSUMO DE TRANSMISORES (SEGMENTO 4, ZONA 1) .....	70
TABLA 4. 8. DATOS TOMADOS CON EL PROBADOR FBT-4 EN LA CAJA DE INTERCONEXIÓN JB1401BB .....	71
TABLA 4. 9. DATOS TOMADOS CON EL MONITOR FBT-3 EN LA CAJA DE INTERCONEXIÓN JB1401BB .....	73
TABLA 4. 10. DATOS TOMADOS CON EL MONITOR FBT-3 EN LA CAJA DE INTERCONEXIÓN JB1405AB1 .....	73
TABLA 4. 11. DATOS TOMADOS CON EL MONITOR FBT-3 EN LA CAJA DE INTERCONEXIÓN JB1405AB2 .....	74
TABLA 4. 12. DATOS TOMADOS CON EL MONITOR FBT-3 EN LA CAJA DE INTERCONEXIÓN JB1405AA .....	74
TABLA 4. 13. MEDICIONES REALIZADAS CON EL PROBADOR FBT-4 SOBRE EL TRANSMISOR TT-0008-3.....	94
TABLA 4. 14. MEDICIONES REALIZADAS CON EL MONITOR FBT-3 SOBRE EL TRANSMISOR TT-0008-3.....	94
TABLA 4. 15. SEÑALES A LAS QUE PERTENECEN LOS CABLES DESCONECTADOS DE LA RED .....	95
TABLA 4. 16. INTERPRETACIÓN DE LOS MENSAJES DEL DISPLAY DEL MÓDULO FIM .....	96
TABLA 4. 17. TRANSMISORES QUE SE ENCUENTRAN EN MAL ESTADO.....	96

**CAPÍTULO 5**

TABLA 5. 1. ACCIONES CORRECTIVAS RESPECTO A LA OPERACIÓN DE LA RED FIELDBUS .....	101
TABLA 5. 2. ACCIONES CORRECTIVAS RESPECTO A LOS COMPONENTES DE LA RED FIELDBUS .....	104
TABLA 5. 3. CONCENTRACIÓN DE GASES EN LAS DIFERENTES ZONAS DE LA PLANTA .....	109
TABLA 5. 4. EQUIPOS Y TRANSMISORES A SER REEMPLAZADOS .....	111

## ÍNDICE DE FIGURAS

### CAPÍTULO 1

### CAPÍTULO 2

FIGURA 2. 1. TOPOLOGÍA EN ESTRELLA .....	9
FIGURA 2. 2. TOPOLOGÍA EN ANILLO.....	10
FIGURA 2. 3. TOPOLOGÍA EN BUS .....	10
FIGURA 2. 4. MODELO OSI .....	13
FIGURA 2. 5. MODELO FIELDBUS.....	20
FIGURA 2. 6. TOPOLOGÍA EN DAISY CHAIN .....	26
FIGURA 2. 7. TOPOLOGÍA EN BUS .....	27
FIGURA 2. 8. TOPOLOGÍA EN ÁRBOL .....	27
FIGURA 2. 9. ARQUITECTURA DE UNA RED FIELDBUS .....	29
FIGURA 2. 10. ARQUITECTURA DE UNA RED FIELDBUS CON REPETIDOR Y BARRERA IS .	30
FIGURA 2. 11. CABLE TIPO A PARA REDES FIELDBUS .....	31
FIGURA 2. 12. LONGITUD MÁXIMA DE UNA RED FIELDBUS CON REPETIDORES .....	32
FIGURA 2. 13. TIPOS DE TERMINADORES FIELDBUS A) TERMINADOR MTL B) TERMINADOR RELCOM .....	34
FIGURA 2. 14. ARQUITECTURA DE UNA RED FIELDBUS PROPUESTA POR RELCOM .....	36
FIGURA 2. 15. FIELDBUS MONITOR FBT-3 .....	37
FIGURA 2. 16. FIELDBUS POWER AND SIGNAL PROBE FBT-4 .....	38
FIGURA 2. 17. FIELDBUS WIRING VALIDATOR FBT-5 .....	38

### CAPÍTULO 3

FIGURA 3. 1. ESTACIONES DE MONITOREO .....	39
FIGURA 3. 2. ZONAS DE RACK REMOTOS .....	43
FIGURA 3. 3. MÓDULO DE INTERFACE FIELDBUS (FIM).....	47
FIGURA 3. 4. PANEL DE TERMINACIÓN REMOTA (RTP).....	48
FIGURA 3. 5. CONEXIÓN DE CONCENTRADORES RELCOM .....	50
FIGURA 3. 6. AISLADOR GALVÁNICO MTL 4053 .....	51
FIGURA 3. 7. DIAGRAMA DE CONEXIÓN DEL MTL 4053 AL RTP TC-FFRP02 .....	52
FIGURA 3. 8. ETAPA DE RECIBIDORES (R-1183, R-1187, R-1189).....	54
FIGURA 3. 9. INTERCAMBIADORES DE CALOR (E-1060B, E-1060A).....	54
FIGURA 3. 10. BOTAS DE DEGSIFICACIÓN (V-1107A, V-1107B).....	55
FIGURA 3. 11. TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE AGUA (T-1118A, T-1118B).....	55
FIGURA 3. 12. TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE CRUDO (T-1108A, T-1108B) .....	56
FIGURA 3. 13. ETAPA DE LANZADORES (LT-1186, LT-1188) .....	56
FIGURA 3. 14. TANQUES DE DIESEL (T-1080A, T-1080B) .....	57

**CAPÍTULO 4**

FIGURA 4. 1. CONFIGURACIÓN DE DRIVERS EN RSLINX .....	75
FIGURA 4. 2. MÓDULOS CONECTADOS AL CHASIS DEL PLC .....	76
FIGURA 4. 3. PANTALLA INICIAL DE NETWORK TOOLS.....	76
FIGURA 4. 4. ACTUALIZACIÓN DEL FIRMWARE EN LOS MÓDULOS .....	77
FIGURA 4. 5. INGRESO DEL NÚMERO DE SLOTS DEL CHASIS .....	77
FIGURA 4. 6. VENTANA DE PARÁMETROS DE CONFIGURACIÓN DEL CPM .....	78
FIGURA 4. 7. SELECCIÓN DEL DRIVER EN IO TOOLS.....	79
FIGURA 4. 8. CONFIGURACIÓN DE PARÁMETROS DEL CPM .....	80
FIGURA 4. 9. AMBIENTE DE EJECUCIÓN DE CONTROL (CEE) .....	81
FIGURA 4. 10. SELECCIÓN DE MÓDULOS PARA EL CEE.....	82
FIGURA 4. 11. SELECCIÓN DE MÓDULOS A TRAVÉS DE LA LIBRERÍA .....	82
FIGURA 4. 12. ASIGNACIÓN DE LOS MÓDULOS I/O AL CEE.....	83
FIGURA 4. 13. CONFIGURACIÓN DE PARÁMETROS DE LOS MÓDULO I/O .....	84
FIGURA 4. 14. ERRORES DETECTADOS AL CARGAR EL CPM AL PLC .....	85
FIGURA 4. 15. VENTANA DE MONITOREO DEL PLC EN LÍNEA.....	85
FIGURA 4. 16. CONFIGURACIÓN DE PARÁMETROS DEL FIM .....	86
FIGURA 4. 17. VISUALIZACIÓN DE DISPOSITIVOS FIELDBUS EN MAL ESTADO .....	88
FIGURA 4. 18. VOLTAJE DEL BUS DE ACUERDO AL NÚMERO DE DISPOSITIVOS CONECTADOS .....	89
FIGURA 4. 19. CORRIENTE EN EL BUS DE ACUERDO AL NÚMERO DE DISPOSITIVOS CONECTADOS .....	90
FIGURA 4. 20. CIRCUITO EQUIVALENTE DE LA RED PARA LA CONEXIÓN DE UN TRANSMISOR .....	91
FIGURA 4. 21. CIRCUITO EQUIVALENTE DE LA RED PARA LA CONEXIÓN DE CUATRO TRANSMISORES.....	91

**CAPÍTULO 5**

FIGURA 5. 1. CIRCUITO EQUIVALENTE DE LA RED CON BARRERA DE MAYOR CAPACIDAD	106
FIGURA 5. 2. CONEXIÓN DE BARRERA MTL5995 A DISPOSITIVOS FIELDBUS.....	107

## GLOSARIO DE TÉRMINOS Y LISTA DE ACRÓNIMOS Y ABREVIACIONES

### LISTA DE ACRÓNIMOS Y ABREVIACIONES

AV	Application Version	Versión de Aplicación
BV	Boot Version	Versión Boot
CD	Collision Detect	Detección de Colisión
CEE	Control Execution Environment	Ambiente de Ejecución de Control
CF	Capability File	Archivo de Capacidad
CNI	Interface Control Net	Interfaz con Controlnet
CPM	Control Process Module	Módulo del Procesador De Control
CSMA	Carrier Sense Multiple Access	Acceso Múltiple por Detección de Portadora
DD	Device Description	Descripción del Dispositivo
DLL	Data Link Layer	Capa de Enlace de Datos
FAS	Fieldbus Access Sublayer	Subcapa de Acceso Al Bus
FCS	Fieldbus Connection System	Sistema de Conexión Fieldbus
FF	Foundation Fieldbus	Foundation Fieldbus
FIM	Fieldbus Interface Module	Módulo de Interface Fieldbus
FISCO	Fieldbus IS Concept	Concepto De Seguridad Intrínseca Fieldbus
FLM	Fieldbus Library Manager	Directivo De Librería Fieldbus
FMEA	Failure Modes And Effect Analysis	Análisis de Modos Y Efectos de Falla
FMEDA	Failure Modes, Effects And Diagnostics Analysis	Modos de Falla, Efectos Y Análisis de Diagnósticos
FMS	Fieldbus Message Specification	Especificación de Mensaje Fieldbus
HART	Highway Addressable Remote Transducer	Transductor Remoto Direccional
HSE	High Speed Ethernet	Ethernet de Alta Velocidad

IEC	International Electrotechnical Commission	Comisión Electrotécnica Internacional
IS	Intrinsically Safe	Seguridad Instrínseca
ISA	Instrumentation, Systems, And Automation Society	Sociedad de Instrumentación, Sistemas Y Automatización
LAN	Local Area Network	Red de Área Local
LAS	Link Active Scheduler	Programa de Enlace Activo
LED	Light Emitting Diode	Diodo de Emisión de Luz
MAC	Media Access Control address	Dirección de Control de Acceso al Medio
NaN	Not a Number	No existe Número
NPF	Northern Production Facility	Facilidad de Producción del Norte
NPR	Risk Priority Number	Número Prioritario de Riesgo
OD	Object Dictionary	Diccionario De Objeto
OSI	Open Systems Interconnection	Interconexión de Sistemas Abiertos
PLC	Programmable Logic Controller	Controlador Lógico Programable
Profibus	Process Field Bus	Bus De Campo En Proceso
RTP	Remote Termination Panel	Panel de Terminación Remota
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition	Control de Supervisión Y Adquisición de Datos
VCR	Virtual Communication Relationship	Relación de Comunicación Virtual
VFD	Virtual Field Device	Dispositivo de Campo Virtual
WAN	Wide Area Network	Red de Área Extendida

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

**Área Peligrosa:** Zona donde existe alta presencia de gases o líquidos inflamables que pueden ocasionar una explosión.

**Barrera:** Un dispositivo utilizado para mantener el voltaje y la corriente sobre el cable a un nivel inferior del que puede encender una atmósfera.

**Caja de Interconexión:** Cajas diseñada exclusivamente para instalar en su interior, concentradores dentro de áreas peligrosas.

**ControlNet:** Es un protocolo abierto de redes industriales utilizado en aplicaciones de automatización industrial. Define una capa física basada en cable coaxial RG-6 con conectores BNC.

**Daisy Chain:** Este término se utiliza para describir el tipo de topología donde los dispositivos se conectan a lo largo del segmento

**Dispositivo:** Un sensor, actuador o equipo de control que se conecta a la red Fieldbus.

**End User Council (EUC):** Se creó en el año 2003 para agregar y aumentar la opinión de los usuarios finales en la comunidad de redes de almacenamiento. Los miembros EUC representan y provienen de las empresas líderes en el uso innovador de almacenamiento y tecnología de redes. A través de una colaboración entre los consumidores finales y proveedores para promover el desarrollo de redes de almacenamiento y soluciones de tecnología, miembros de la EUC se benefician mediante el intercambio de ideas al participar en una serie de programas diseñados para ofrecer información en profundidad sobre las actuales y futuras tecnologías.

**Ethernet:** Estándar conocido también como IEEE 802.3 para redes de área local (LAN) el cual define las características de cableado, señales y los formatos del control de acceso al medio (MAC).

**Explosion Proof (Ex):** Es el método más común de protección en el cual las cajas que contienen equipo eléctrico se diseñan de manera que estén completamente selladas; esto se lo hace para el caso en el que se produzca una chispa en su interior, para que la llama generada no llegue hasta la atmósfera pudiendo provocar una explosión al contener gas explosivo.

**Fieldbus:** Una red de área local para el control de procesos definida por el estándar ISA S50.02

**Firmware:** Programa que es grabado en una memoria ROM y establece la lógica de más bajo nivel que controla los circuitos electrónicos de un dispositivo. Se considera parte del hardware por estar integrado en la electrónica del dispositivo, y parte del software al proporcionar la lógica y estar programado por algún tipo de lenguaje de programación.

**Fuente de Alimentación:** Dispositivo que convierte la corriente de la red de distribución de la energía eléctrica en otro tipo de corriente eléctrica dependiendo el tipo de aplicación.

**LAS:** El dispositivo responsable de controlar la operación de una red Fieldbus.

**Macro ciclo:** Es una ocurrencia del programa de enlace completo para cada dispositivo.

**Manchester:** Es un método de codificación usado para enviar datos digitales sobre una red Fieldbus.

**Nodo:** Es un elemento activo en una red.

**Rack Remoto:** Estructura de metal resistente donde se colocan los equipos controladores.

**Segmento:** Parte del cableado de una red Fieldbus el cual tiene terminadores a sus extremos.

**Sistema Plug and Play:** Conocido también como PnP es una tecnología que permite a un dispositivo de hardware conectarse y ser usado sin la necesidad de configurarlo.

**Slot:** Ranura utilizada para dar soporte de conexión a los diferente módulos del controlador.

**Wellpad:** Lugar donde se encuentran los diferentes pozos petroleros de los cuales se extrae el crudo.

# CAPÍTULO 1

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. ANTECEDENTES

Repsol YPF es una empresa internacional integrada de petróleo y gas, con actividades en más de 30 países siendo líder en España y Argentina. Es una de las empresas petroleras más grandes del mundo y la mayor compañía privada energética en Latinoamérica en término de activos.

El objetivo de Repsol YPF en sus actividades de exploración y producción de petróleo así como de gas natural, es el crecimiento rentable y diversificado. Las bases de esta estrategia son:

- El crecimiento en producción y reservas.
- La diversificación geográfica de la actividad.
- La excelencia operativa manteniéndose como un operador de bajo coste y la rentabilidad con un incremento de los márgenes unitarios medios.

Desde sus inicios la explotación en el bloque 16 ha sido un modelo de desarrollo sustentable y responsable por el tratamiento respetuoso de su entorno y la implementación de estrictas normas de seguridad.

Repsol YPF cuenta con un sistema PlantScope Scada, con 9 estaciones de monitoreo ubicadas en Pompeya (1), Shushufindi (2), NPF (3), SPF (3) y en Lago Agrio (1).

La planta de tratamiento de crudo NPF posee un sistema electrónico de Control con PlantScape Process y controladores C200 de Honeywell. El sistema de control agrupa las señales de control de la planta en 6 racks remotos, que se conectan mediante una red ControlNet hacia el Controlador C-200 localizado en el Cuarto de control.

En 3 racks remotos, están instalados los módulos que son interfase entre la red fieldbus con los controladores C200 de Honeywell. Estos módulos reciben y envían la información desde el controlador hasta los dispositivos ubicados en el campo para su respectivo control y monitoreo. Todo este conjunto de elementos interconectados conforman la Red Fieldbus existente.

La red se implementó en el año 2002 por medio de la empresa INCOPRO (Servicios de Instrumentación y Control de Procesos S.A.), la misma que fue contratada por REPSOL YPF para tener un control y monitoreo de ciertos procesos, pero hasta la presente fecha, el funcionamiento de esta red no ha sido satisfactoria por lo que se requiere hacer modificaciones.

Cabe también mencionar que se ha realizado la entrega al Departamento de Eléctrica y Electrónica el proyecto de grado “Diseño e Implementación de una Red Industrial Foundation Fieldbus en la Planta de Procesamiento de Crudo de Repsol - YPF”, con el auspicio de la empresa **INCOPRO**.

Al momento se tiene muchos problemas con la red para la adquisición de datos. Por este motivo, se tienen señales deshabilitadas y muchas otras que deben estar permanentemente reseteando, por lo cual, no se las visualiza en el sistema. A continuación se detallan el grupo de señales con problemas en los diferentes procesos:

### **Recibidores**

**R-1187:** TT\_0008\_2 (Temperatura de crudo de CAPIRON).

PT\_0003\_2 (Presión en el receptor R-1187)

**R-1189:** TT\_0008\_3 (Temperatura de crudo de Tivacuno a NPF).  
PT\_0003\_3 (Presión en el recibidor R11-89)

### **Intercambiadores de calor**

**E1060 A/B:** PT\_5221 (Presión del crudo desde E-160)  
TIC\_5204 (Temperatura de los intercambiadores E1060 A/B)  
TT\_5222 (Temperatura de crudo del SPF)

### **Botas de desgasificación**

**V-1107A:** PT\_0402A (Presión de la bota V-1107A).

**V-1107B:** PT\_0402B (Presión de la bota V-1107B).

### **Tanques de crudo**

**T-1108A:** TIC\_0506A (Temperatura del tanque T-1108A).  
LT\_0504A (Nivel de crudo del tanque T-1108A)

**T-1108B:** TIC\_0506B (Temperatura del tanque T-1108B).  
LT\_0504B (Nivel del crudo del tanque T-1108B)

### **Tanques de agua**

**T-1118A:** LT\_1305A (Nivel de agua en el tanque T-1118A).

**T-1118B:** LT\_1305B (Nivel de agua en el tanque T-1118B).

### **Lanzadores**

**LT\_1186:** TT\_1434A (Temperatura de agua a Capiron)  
PT\_1416 (Presión de agua a Capiron)

**LT\_1188:** TT\_1434B (Temperatura de agua a Tivacuno)  
PIC\_1424 (Presión de agua a Tivacuno)

## **Tanques de diesel**

**T\_1080A:** LT\_2605A (Nivel de Diesel del tanque T\_1080A)

**T\_1080B:** LT\_2605BA (Nivel de Diesel del tanque T\_1080B)

**L\_1182:** TT\_2724 (Temperatura de Diesel a SPF)

PIC\_2704 (Presión de Diesel a SPF)

## **1.2. JUSTIFICACIÓN**

Por medio de la red Fieldbus instalada en la planta de tratamiento de crudo NPF se monitorean variables físicas a través de transmisores que son de suma importancia para la operación de la planta, los mismos que permiten obtener la siguiente información:

- La presión de llegada de los wellpads del NPF y crudo del SPF, para monitorear que la presión sea la adecuada en los recipientes que son la parte inicial del proceso de tratamiento.
- La temperatura de llegada a la planta del fluido desde los wellpads y crudo del SPF, para mantener una temperatura adecuada en los recipientes, ya que posteriormente se envía el crudo a los intercambiadores de calor.
- Los niveles de los tanques de crudo, los cuales son importantes debido a que son datos para conocer la producción diaria.
- Los niveles de tanques de agua y diesel de la planta, porque si estos llegan a fallar, se podría producir derrames y afectar de esta manera al medio ambiente.
- El sistema de calentamiento de crudo para mantener una temperatura adecuada en los tanques.

Además, por la tecnología brindada, facilita los cálculos matemáticos de todas las variables anteriormente mencionadas, teniendo lecturas instantáneas de sus valores, siendo estos muy importantes para la operación.

De esta manera, al optimizar la red, se puede contar con un sistema de control y monitoreo centralizado de todos los procesos de manejo, brindando confiabilidad en el desarrollo del proceso, previniendo y solucionando situaciones que pueden tornarse peligrosas.

Finalmente, al tener una red industrial de altas prestaciones y capaz de facilitar el proceso, se justifica la realización de este estudio ya que se encuentra prácticamente inoperable, produciendo un desperdicio de tecnología y recursos económicos.

### **1.3. ALCANCE**

Se plantea como alcance fundamental del presente proyecto realizar un estudio técnico sobre la red, ejecutando todas las pruebas técnicas que esta demande por medio del equipamiento facilitado por la empresa (Módulos FBT), así como también la verificación en el cumplimiento de normativa para de esta forma establecer las causas que provocan su fallo, mediante los análisis FMEA y FMEDA.

De igual forma se establece, una vez culminado el estudio, detallar todas las acciones correctivas a seguir para que la red a futuro sea totalmente operativa.

Finalmente, de ser necesario, y el estudio arroje la exigencia de sustituir o adquirir algún nuevo equipo, se planifica también realizar un mercadeo de proveedores detallando la lista de materiales requeridos así como también la inversión representativa.

## **1.4. OBJETIVOS**

### **1.4.1. General**

Realizar el estudio para la optimización de la Red Fieldbus de la planta de tratamiento de crudo NPF de Repsol YPF.

### **1.4.2. Específicos**

- Recopilar toda la información requerida en cuanto a normativa y pruebas técnicas que se realizan sobre una red fieldbus implementada.
- Ejecutar el estudio técnico del sistema fundamentado en la información recopilada.
- Determinar todas y cada una de las fallas que generan problemas en el funcionamiento de la red mediante la ejecución de los protocolos de prueba y los análisis FMEA y FMEDA de acuerdo a los estándares de ingeniería pertinentes.
- Detallar las acciones correctivas que permitan obtener un sistema totalmente operativo.
- Determinar, de ser necesario, proveedores de equipos que deban ser adquiridos o sustituidos y a la vez elaborar el presupuesto referencial.

## **CAPÍTULO 2**

### **FOUNDATION FIELDBUS (FF)**

#### **2.1. INTRODUCCIÓN A LAS REDES INDUSTRIALES**

Cuando existen dispositivos autómatas interconectados entre sí se puede decir que se trata de una red industrial. Existen tres tipos de redes industriales las cuales se las agrupa de la siguiente manera:

- Buses de campo
- Redes de Área Local (LAN)
- Redes de Área Extendida (WAN)

Los buses de campo son aquellos que permiten la integración de equipos para la medición y control de variables de proceso, por esta razón, este capítulo se centra principalmente en los denominados buses de campo.

Un bus de campo es un sistema de transmisión de información (datos) que simplifica la instalación y operación de equipos que se utilizan en la industria para procesos de producción.

Además, el bus de campo permite reemplazar las conexiones punto a punto entre los elementos de campo y el equipo de control a través del lazo de corriente de 4-20mA. Generalmente son redes digitales bidireccionales, las cuales transmiten secuencialmente las variables por medio de un cable de comunicaciones llamado bus, donde se conectan dispositivos de campo como PLC's, actuadores, sensores y equipos de supervisión.

Los buses de campo más utilizados en el área de control y automatización de procesos son:

- Hart (*Highway Addressable Remote Transducer*)
- Profibus (*Process Field Bus*)
- Foundation Fieldbus (*FF*)

Otros protocolos que son ampliamente usados pero de menor alcance son: Modbus y DeviceNet.

### 2.1.1. Componentes de las Redes Industriales

En grandes redes industriales son necesarios ciertos componentes para conectar el conjunto de nodos a la red, como son los que se detallan a continuación:

**Repeater (Repetidor):** El repetidor es un dispositivo que amplifica las señales eléctricas para que viajen grandes distancias entre nodos. Además permite conectar un gran número de nodos a la red, con la capacidad de adaptarlos a diferentes medios físicos como cable coaxial o fibra óptica.

**Bridge (Puente):** Un puente permite la conexión entre dos diferentes secciones de red con distintas características eléctricas y protocolos.

**Switch (Conmutador):** Es igual que el puente pero redirecciona más rápido mediante exploración parcial de los paquetes, con ciertas capacidades de enrutado.

**Hub (Concentrador):** Existe dos tipos; concentrador pasivo el cual une varios nodos formando un segmento de red, y concentrador activo el cual añade capacidades similares a los repetidores. Los concentradores más modernos incluyen capacidad de almacenamiento temporal, filtrado, etc.

**Gateway (Pasarela):** De manera similar que el puente, suministra interoperabilidad entre buses y diferentes tipos de protocolos. Permite conectar redes con distintos protocolos de comunicación.

**Router (Encaminador):** Redirecciona paquetes de información a nivel de protocolo y no a nivel físico, es decir, es un enrutado lógico.

**Proxy (Caché):** Almacena información que requieren los nodos remotos en un buffer local al que se puede acceder de una manera eficiente.

### 2.1.2. Topologías

Las redes industriales consisten en un conjunto de dispositivos; como una red industrial puede interconectar muchos elementos se debe considerar la topología de red, la cual es una configuración geométrica de las conexiones entre sus componentes. Las topologías más comunes son:

**Redes en Estrella:** En este tipo de topología un nodo central controla todas las comunicaciones, como se muestra en la Figura 2.1.

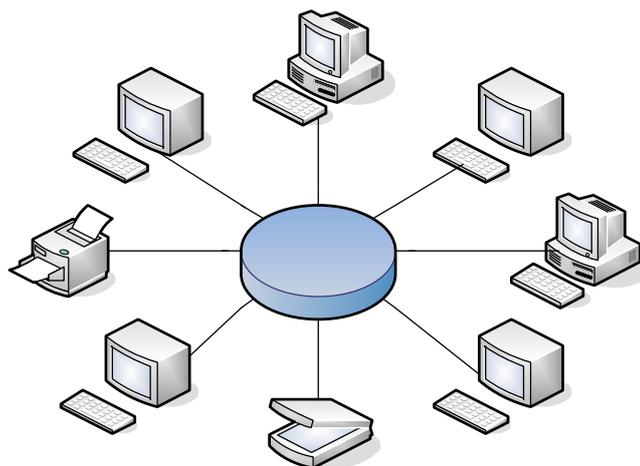
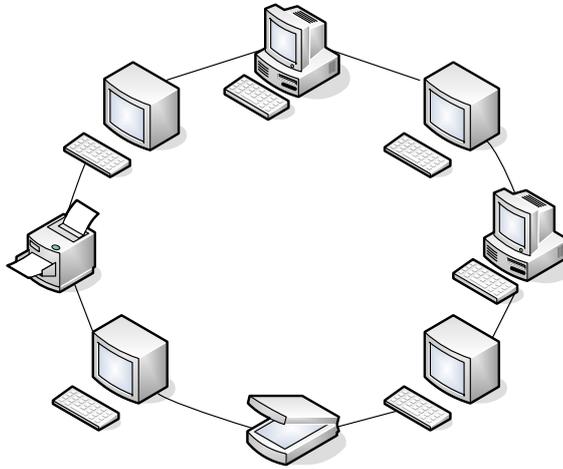


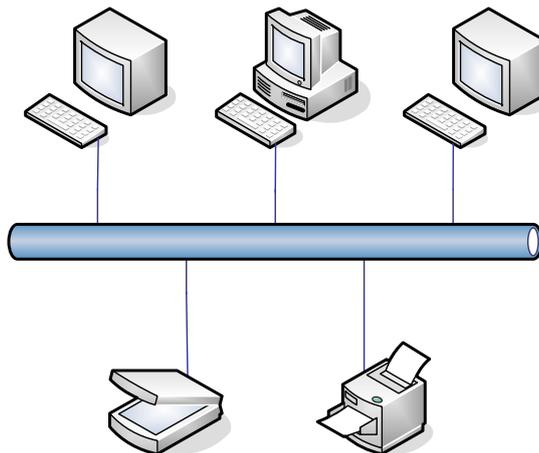
Figura 2. 1. Topología en Estrella

**Redes en Anillo:** Cada nodo se interconecta con el siguiente y el anterior formando un ciclo cerrado, además pueden tener control centralizado o distribuido, como se muestra en la Figura 2.2.



**Figura 2. 2. Topología en Anillo**

**Redes en Bus:** Cada nodo se interconecta con el siguiente y el anterior pero en este caso no forman un ciclo cerrado, como se muestra en la Figura 2.3.



**Figura 2. 3. Topología en Bus**

### 2.1.3. Medio Físico

Es el elemento sobre el cual se envían las señales eléctricas, las mismas que permiten realizar la transmisión de información en la red. A continuación se describen algunos tipos, de los más usados en las redes industriales:

**Cable Coaxial:** Está formado por un conductor central rodeado de una capa de material aislante, rodeada a su vez por una malla de hilos conductores cubierta por un material aislante y protector.

Es bastante inmune a ruidos e interferencias y tiene aplicaciones en Ethernet, con velocidades de hasta 10 Mbps. Además es sensible mecánicamente y requiere terminadores.

**Par trenzado:** Está formado por dos conductores; cada uno con su propio aislante trenzados entre sí. El cable se forma por un grupo de pares trenzados, normalmente cuatro y recubiertos por un material aislante. Es sensible al ruido, por tal razón puede ir apantallado (rodeado de pantalla de material conductor, recubierta a su vez por un aislante) para disminuir esta influencia. El cable permite velocidades de 1 a 100 Mbps.

**Fibra Óptica:** Es una delgada hebra de vidrio o silicio fundido que conduce la luz emitida por una fuente ya sea del tipo LED o láser. Es bastante inmune a interferencias electromagnéticas y permite velocidades de hasta 100 Mbps; se utiliza comúnmente para interconectar LANs, adicionalmente utiliza conectores complicados y costosos.

### 2.1.4. Control de Acceso al Medio Físico

El control de acceso al medio se lo hace mediante técnicas para recoger y depositar datos en la red física. Las principales técnicas de control de acceso son:

Determinísticas: Por paso de testigo (aplicaciones industriales).

Estocásticas: Por contienda (aplicaciones de oficina).

#### **2.1.4.1. Control de Acceso por Paso de Testigo (Token Passing).**

El control de acceso por paso de testigo se aplica a redes en anillo (recomendación IEEE 802.4) y redes en bus (Recomendación IEEE 802.5).

**Paso de testigo en Anillo:** Cada nodo debe esperar a ser seleccionado para poder utilizar el medio físico, por tal razón debe poseer el control de un testigo (paquete de datos predefinido) y liberarlo cuando haya terminado. Esta técnica es eficiente cuando hay gran cantidad de datos, puesto que la coordinación entre nodos requiere poco esfuerzo; además proporciona reparto equitativo del acceso al medio evitando las interferencias entre estaciones.

**Paso de Testigo en Bus (Recomendación IEEE 802.4):** Se lo realiza de la misma manera que el paso de testigo en anillo, pero al existir un anillo lógico, debe reestructurar las direcciones lógicas en caso de incremento o decremento de nodos conectados al bus. Los mensajes no pasan de uno a otro, sino que están simultáneamente disponibles en todo el bus, es decir, el testigo debe contener la dirección lógica del destino.

#### **2.1.4.2. Control de acceso por contienda (CSMA/CD, IEEE 802.3).**

En esta técnica cada nodo usa el medio físico cuando lo desee mediante CSMA (Acceso Múltiple por detección de portadora), y los conflictos que aparecen se resuelven en el momento en el que ocurren mediante CD (Detección de Colisión).

**CSMA (Carrier Sense Multiple Access):** Cada nodo mira el medio físico cuando quiere usarlo, si esta disponible lo usa caso contrario espera hasta que sea liberado.

El problema se presenta cuando la velocidad de transmisión es finita, es decir, cuando más de un nodo puede ver libre el medio físico y usarlo al mismo tiempo. Este problema se lo detecta cuando no se recibe respuesta ante la transmisión (grandes retardos).

**CD (Collision Detect):** Cada nodo es capaz de detectar cuando se ha producido una colisión durante su transmisión. En ese caso espera un tiempo aleatorio y vuelve a intentar tomar posesión del medio.

### 2.1.5. Modelos de Comunicación

A continuación se hace una breve descripción de los principales modelos de comunicación:

**Modelo OSI:** El modelo OSI define un contexto sobre el que se puede describir un protocolo, especificando cómo dividir y denominar las tareas que deben ser realizadas. Propone 7 capas como se puede ver en la Figura 2.4.

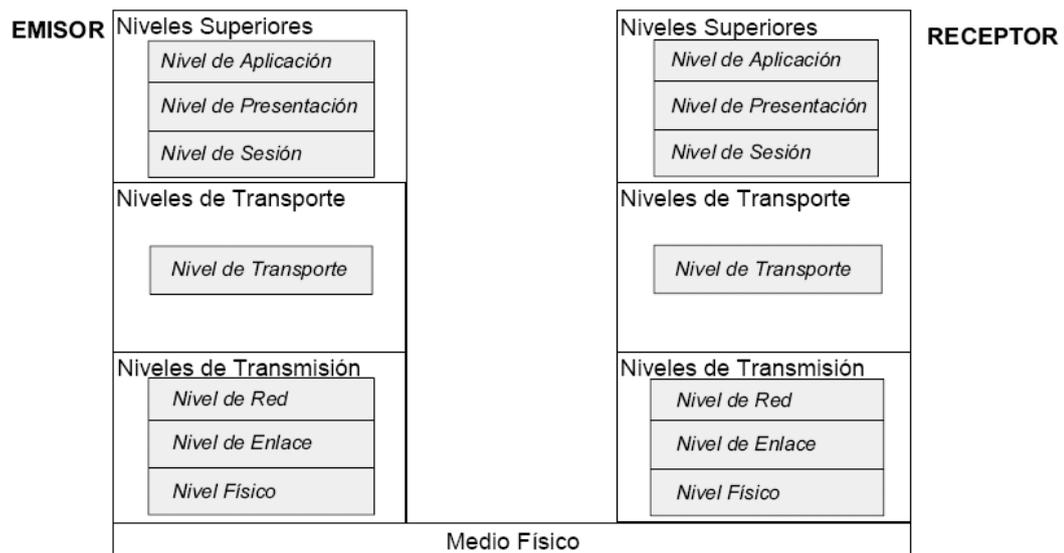


Figura 2. 4. Modelo OSI

1. Capa física compuesta por el medio de transmisión y las normas eléctricas y mecánicas.
2. Capa de enlace responsable de ensamblar y enviar una trama de datos de un sistema hasta otro.
3. Capa de red encargada del enrutamiento de mensajes.
4. Capa de transporte realiza la gestión de las comunicaciones entre dos sistemas.
5. Capa de sesión controla las comunicaciones entre usuarios.
6. Capa de presentación se encarga de la representación de los datos (incluyendo la encriptación)
7. Capa de aplicación ofrece los servicios completos a los programas del usuario.

**Modelo MAP/TOP:** Es un modelo que se usa para aplicaciones en entornos de fabricación y de oficinas. Una versión de MAP (EPA) se usa para la industria de control de procesos.

## 2.2. FIELDBUS FOUNDATION

*Fieldbus Foundation* se creó como una organización independiente y sin fines de lucro para desarrollar un bus de campo internacional, abierto e interoperable. La organización se basa en los siguientes principios:

- La tecnología de FF debe ser abierta y cualquier compañía puede disponer de ella.

- La tecnología de FF debe estar basada en el trabajo del IEC (*International Electrotechnical Commission*) y del ISA (*Instrumentation, Systems, and Automation Society*).
- Los miembros de *Fieldbus Foundation* apoyan a los comités nacionales e internacionales de estandarización y trabajan con ellos.

En el año de 1996, “FF contaba con 185 compañías asociadas de entre las más importantes a nivel global (representaban el 90% de la fabricación mundial de productos de instrumentación y control). Uno de los principales métodos de organización y decisión son los consejos de usuarios finales, que repartidos por todo el mundo, revisan las actividades de la fundación y se aseguran de que las especificaciones cumplan las necesidades del mercado”<sup>1</sup>.

### 2.3. FOUNDATION FIELDBUS

*Foundation Fieldbus* es una arquitectura abierta para la integración total de la información. Se trata de un sistema de comunicaciones completamente digital, serie y bidireccional. Actualmente están definidas dos versiones:

- H1 (31.25Kbps) interconecta equipamiento de campo como sensores, actuadores e I/O<sup>2</sup>. En el mercado ocupa un nicho similar al de *Profibus PA*: mientras que *PA* está mucho más extendido en Europa, *H1* tiene su origen y su área de mayor distribución en América y Asia.
- HSE (100Mbps/1Gbps) provee integración de controladores de alta velocidad (como PLCs), redes *H1*, servidores de datos, y estaciones de trabajo.

---

<sup>1</sup> Fuente: FERNÁNDEZ, Jose, *Foundation Fieldbus y su adaptación a la alta velocidad: HSE*, Curso 2004-2005

<sup>2</sup> I/O (Entrada/Salida)

*Foundation Fieldbus* está diseñado para aplicaciones críticas donde es esencial la transferencia correcta de los datos. Además, al ser abierto, no es propiedad de ninguna compañía ni está controlado por el cuerpo regulador de ninguna nación, sino que depende directamente de las decisiones tomadas por sus propios usuarios a través de los *End User Councils*, repartidos alrededor del mundo.

## 2.4. DESCRIPCIÓN DE FOUNDATION FIELDBUS (FF)

*FF* en lugar de estar pensado como un medio de transmisión de datos como en los otros protocolos de comunicaciones, está diseñado para resolver aplicaciones de control de procesos.

La característica más importante de *FF* es que la estrategia de control se define mediante bloques funcionales, los mismos que tienen una representación directa en el hardware del sistema, es decir, funciones como entradas y salidas analógicas (AI y AO)<sup>3</sup> o bloques PID<sup>4</sup> pueden ser realizadas por el propio dispositivo de campo. Con esto, la estrategia de control se puede distribuir a través de los dispositivos ya que además de implementar bloques funcionales en sus microprocesadores, también pueden comunicarse de forma directa con otro dispositivo a través del bus.

La distribución del control en los dispositivos de campo puede reducir las necesidades del equipo controlador y de entrada/salida. Además, aumenta la fiabilidad del sistema ya que el control puede continuar aunque los sistemas centrales sufran una avería siempre que el bus esté alimentado. Se definen tres tipos de bloques:

---

<sup>3</sup> Analog Input (sensor) y Analog Output (actuador)

<sup>4</sup> Proporcional-Integral-Derivativo

**Bloques de recursos:** (*Resource Block*) Cada dispositivo contiene un bloque de recursos, el cual especifica sus características como el nombre, fabricante, o número de serie. Además, sirve para configurar parámetros que afectan al dispositivo en su conjunto.

**Bloques de transductor:** (*Transducer Block*) Permite configurar los sistemas de I/O de cada uno de los dispositivos. Además, contiene información como la calibración o el tipo de sensor.

**Bloques funcionales:** (*Function Block*) Establecen la estrategia de control, por lo tanto, realizan todas las operaciones del sistema como cálculos numéricos, efectúan el procesamiento de control necesario para el sistema y cumplen con la acción de adquirir un valor o accionar un actuador.

Una vez que se configuran los bloques, es necesario configurar el lazo de control mediante la creación de enlaces entre los parámetros de entrada y salida de los bloques funcionales. Estos enlaces pueden ser locales (si los bloques unidos están en el mismo dispositivo) o remotos (si cada bloque está en un dispositivo distinto), donde toda la información comunicada a través de ese enlace viajará por el bus desde un dispositivo a otro.

FF al ser un protocolo abierto permite que cualquier fabricante pueda ofrecer dispositivos compatibles que funcionen correctamente con elementos de otros fabricantes. Para que el cliente final pueda estar seguro de la interoperabilidad de un dispositivo, *FF* ofrece una serie de programas de certificación para que los fabricantes puedan comprobar sus productos y garantizar su calidad.

Los bloques funcionales permiten configurar y programar todas las funciones que se pueden realizar en un sistema *FF*, por lo cual el diseño de todo el sistema es homogéneo. Además poseen un diseño consistente orientado a bloques, que permite la distribución de las funciones a través de dispositivos de múltiples fabricantes de una forma perfectamente integrada.

Los dispositivos *FF* comparten además un sentido del tiempo común mediante la ejecución sincronizada de cada bloque funcional con los demás, independientemente de los retardos por interconexiones.

Para asegurar que las herramientas de diseño puedan ser genéricas y permitir su adaptación a los nuevos dispositivos que salen al mercado, cada dispositivo se suministra con su descripción completa en dos tipos de archivos, con los cuales cualquier sistema de control o herramienta de diseño estándar puede configurar y comunicarse con un dispositivo. Estos archivos son:

**Capability File (CF):** Describe en el sistema de control los recursos con los que cuenta el dispositivo, como número de bloques funcionales y sus tipos.

**Device Description File (DD):** Describe las entradas, salidas y funciones de cada bloque funcional contenido en un dispositivo.

## 2.5. ESTÁNDARES DEFINIDOS POR FOUNDATION FIELDBUS

### 2.5.1. H1

El protocolo H1 está basado en el estándar IEC 61158-2 y el estándar ISA S50.02; la información se transfiere utilizando codificación Manchester a una velocidad de 31.25Kbps.

La tensión mínima aceptable en el bus para que los dispositivos alimentados a través del mismo puedan funcionar correctamente es de 9V. La fuente de alimentación se conecta al bus en paralelo igual que cualquier otro dispositivo. Además, para no interferir con las señales de datos enviadas, debe contener un filtro que bloquee la frecuencia de 31.25Kbps y sus armónicos.

Mediante cajas de interconexión se pueden conseguir topologías como árboles, estrellas o combinaciones con la utilización de varios tipos de cable dependiendo la longitud máxima del segmento. (Ver Capítulo 2.9).

### 2.5.2. H2

En las primeras etapas del desarrollo de *FF* se consideró el desarrollo de una versión ligada aún al campo pero de una velocidad intermedia entre *H1* y *HSE*. Dicha versión se denominaría *H2* y tendría una velocidad de entre 1Mbps y 2.5Mbps. Sin embargo, debido a la gran popularidad que consiguieron las soluciones basadas en Ethernet a aplicaciones industriales, se optó por desechar *H2* siendo absorbida por *HSE*, por lo que actualmente *H2* y *HSE* se consideran sinónimos.

### 2.5.3. HSE

*HSE* se basa en tecnología Ethernet, por lo tanto hay versiones de *HSE* a 100Mbps y a 1Gbps, tanto para par trenzado como para fibra óptica. Los componentes necesarios son de uso común y por tanto se encuentran disponibles a muy bajo costo. Por esta razón, para la construcción de una red se pueden utilizar dispositivos comerciales (como *hubs* o *switches* de oficina).

La estructura lógica de una red *HSE* está pensada para ser combinada sin solución de continuidad con redes *H1*, y por tanto los protocolos involucrados y los métodos de funcionamiento son muy similares en ambas. Además, varias de las capas OSI son similares en ambos sistemas.

## 2.6. DESCRIPCIÓN DEL PROTOCOLO H1

La tecnología de *Foundation Fieldbus H1* se puede descomponer en tres partes principales:

- La capa física.
- La pila de comunicaciones.
- La aplicación de usuario.

Partiendo del modelo OSI, la capa física corresponde a la capa 1 (nivel físico) y La pila de comunicaciones está compuesta por las siguientes capas:

- *Fieldbus Message Specification (FMS)*, la misma que corresponde a la capa 7 de OSI.
- *Fieldbus Access Sublayer (FAS)*, que corresponde también a la capa 7 de OSI, por debajo de FMS.
- *Data Link Layer (DLL)*, corresponde a la capa 2 de OSI.

H1 define además una última capa que no está definida por OSI, la cual se encuentra por encima de la capa 7 y se la denomina capa de usuario como se puede ver en la Figura 2.5. En esta se especifica el modelo de aplicación de usuario, describiendo estructura y funcionamiento de los bloques funcionales.

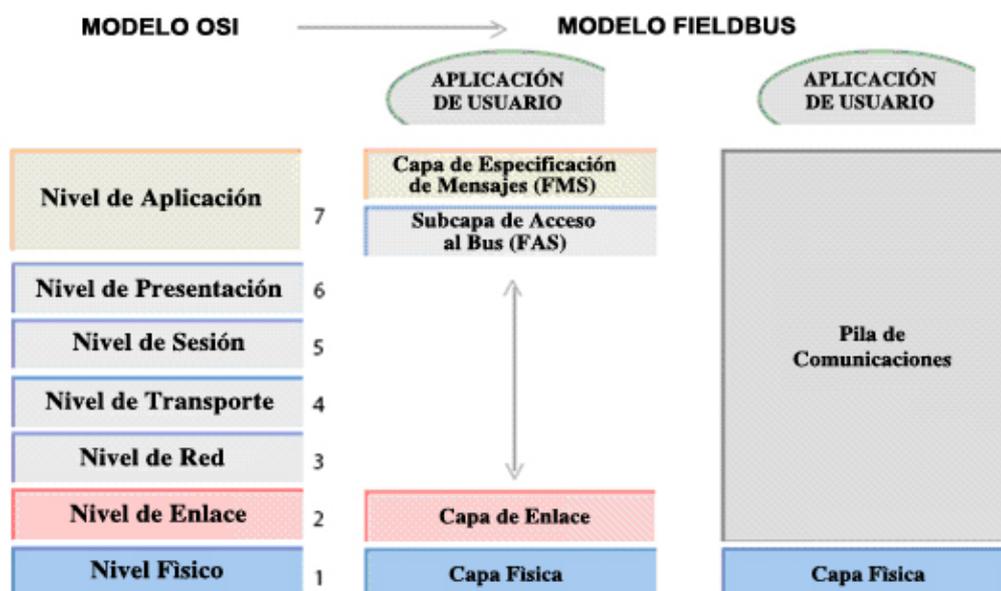


Figura 2. 5. Modelo FIELDBUS

### 2.6.1. Capa Física

La capa física está definida por estándares aprobados por la IEC y la ISA, donde las señales *H1* se codifican usando la técnica *Manchester Bifase-L*, por lo que se puede considerar serie síncrono pese a no incluir una señal de reloj independiente.

El dispositivo transmisor envía 10mA a 31.25kbps sobre una carga equivalente de  $50\Omega$  para crear una tensión de 1Vpp modulada sobre la componente continua de alimentación. Las especificaciones del bus se explican mas adelante.

En caso de que se requiera que por el bus solamente se transmita la información, se necesita una fuente de energía alternativa para alimentar a los dispositivos. Además, mediante la utilización de cajas de interconexión se admite topologías híbridas las cuales permiten la incorporación de derivaciones.

*H1* también soporta buses de campo intrínsecamente seguros (*IS*) con dispositivos alimentados por bus. Para permitirlo, se introduce una barrera *IS* entre la fuente de alimentación en el área segura y el dispositivo *IS* en la zona peligrosa. *H1* está basado en *FISCO*<sup>5</sup>, por lo tanto en la instalación, se deben cumplir con todas las normas y observar que los valores obtenidos se encuentren dentro de los valores admisibles, como por ejemplo en lo referente a la inductancia y la capacidad del bus, o a la potencia máxima disponible para los dispositivos.

### 2.6.2. Pila de Comunicaciones

Los dispositivos FF pueden asumir funciones de control mediante una comunicación distribuida, la cual permite que:

---

<sup>5</sup> “*Fieldbus I.S. Concept*”, es un modelo de diseño de buses de campo para zonas IS basado en reglas empíricas”

- Se realice el intercambio de datos entre dispositivos.
- Los lazos de control tengan un rendimiento estable, ya que todos los dispositivos son servidos a tiempo.
- El comportamiento sea determinista evitando las colisiones.

Todo esto se lo hace mediante un sistema por paso de testigo con un controlador principal denominado *LAS (Link Active Scheduler)*. La función de *LAS* puede ser asumida por un dispositivo de campo normal o por un dispositivo especializado.

Un dispositivo con capacidad para convertirse en un *LAS* se denomina *Link Master*, y los que no se denominan *Basic Devices*. De esta manera, en un bus pueden estar presentes *varios Link Masters* para que en caso de fallar el *LAS* activo otro pueda reemplazarlo.

El *LAS* controla y temporiza las comunicaciones en el bus utilizando varios testigos y comandos que envía de forma rotativa a todos los dispositivos. También se encarga de autodetectar los dispositivos recién conectados o los que están fallando, configurando así un sistema plug and play.

Todas las tareas con grandes dependencias temporales se realizan manteniendo una agenda estricta de transmisiones; esta planificación debe ser creada por el operador al configurar el sistema *FF*.

*FF* ofrece servicios de comunicaciones con transmisión de datos programada (planificada de antemano de forma periódica) y no programada (asíncrona, transmitida bajo demanda). Las tareas periódicas con una gran dependencia del tiempo, como la comunicación de una variable para un bucle de control, se realizan de forma programada, mientras que las transmisiones de diagnóstico, configuración, etc. se realizan de forma no programada.

El *LAS* transmite periódicamente un paquete de sincronización (*TD: Time Distribution*), para que todos los dispositivos tengan exactamente la misma hora. Así en una transmisión programada, el instante en que se inicia y la duración de la misma están preestablecidos de forma precisa.

Estas planificaciones se repiten cíclicamente en lo que se denominan macrociclos. Cada tarea periódica (no sólo las transmisiones, sino también el momento de ejecución de cada bloque funcional) está programada para un instante determinado dentro del macrociclo donde no puede haber más de una simultáneamente que implique acceso al bus, ya que para evitar colisiones, un dispositivo sólo puede transmitir cuando el *LAS* le cede el control del bus mediante un paquete testigo.

Durante todo el tiempo en que el bus está desocupado, ya sea porque los dispositivos están en espera o porque están realizando otras tareas, el *LAS* arbitra el uso del bus para transmisiones no programadas.

Al final de cada transmisión, el *LAS* comprueba si queda tiempo para hacer algo antes de la siguiente transmisión programada, y en caso de que así sea elige entre ceder el testigo a alguien para comprobar si tiene información no programada por transmitir ó entre enviar un paquete de sincronización.

#### **2.6.2.1. Fieldbus Access Sublayer (FAS).**

La Subcapa de Acceso al Bus (*FAS*) proporciona una interfaz entre *FMS* y la capa de enlace (*DLL*), ofreciendo servicios de control y manejo de *relaciones virtuales*.

Las Relaciones de Comunicación Virtual (*Virtual Communication Relationships, VCR*) describen diferentes tipos de procesos de comunicación, y permiten que las operaciones asociadas sean procesadas más rápidamente.

Las VCR asignan un código de conexión corto a la dirección completa de una conexión, simplificando el funcionamiento de las capas superiores y reduciendo la cantidad de información a transmitir por el bus, además de controlar el funcionamiento de dicha relación virtual y gestionar parte del comportamiento redundante de la red. La capa de acceso al bus (*FAS*) soporta tres tipos de *VCRs*:

**Publisher/Subscriber:** (Publicador/Suscriptor) Se utiliza para transmisiones de uno a muchos datos que varían con el tiempo, de modo que cada dato transmitido sustituye el anterior pudiendo ser comunicaciones periódicas o no programadas. Generalmente los dispositivos de campo utilizan este tipo para transmitir (publicador) o recibir (suscriptor) los parámetros de I/O de sus bloques funcionales.

**Client/Server:** (Cliente/Servidor) Se emplea para transmisiones encoladas no programadas de uno a uno, es decir, que se envían todos los datos en el orden en que fueron solicitando su emisión (en el tipo *Publisher/Subscriber* cada dato nuevo sustituye al anterior, por lo que éste se elimina). El modo cliente/servidor suele ser utilizado por el operador para tareas de configuración, alarmas, y transmisiones varias a los dispositivos.

**Report Distribution:** (Notificación de eventos) Se utiliza para transmisiones encoladas no programadas de uno a muchos. Suele utilizarse también para transmitir alarmas y notificaciones a las consolas de los operadores.

#### **2.6.2.2. Fieldbus Message Specification (FMS).**

Los servicios de la capa FMS permiten a las aplicaciones de usuario y a los dispositivos enviar mensajes a través del bus de campo utilizando un conjunto de formatos mensaje estándar.

Los tipos de datos que pueden ser comunicados sobre el bus de campo se asignan a ciertos servicios de comunicaciones.

Para una asignación uniforme, se emplean descripciones de objeto, las mismas que contienen definiciones de todos los formatos de mensaje estándar y también incluyen datos específicos de aplicación. Para cada tipo de objeto hay servicios de comunicaciones predefinidos.

Las descripciones de objeto se recopilan en un diccionario de objetos (*Object Dictionary*, OD), y la descripción de cada objeto se identifica por su índice dentro del diccionario:

- El índice 0 describe la estructura del propio diccionario.
- Los índices entre 1 y 255 describen tipos de datos básicos (entero, cadena, punto flotante, etc.).
- Las descripciones de objetos de las aplicaciones del usuario pueden empezar en cualquier índice a partir del 255.

El FMS define además los Dispositivos de Campo Virtual (*Virtual Field Devices*, VFD), que permiten utilizar remotamente los datos locales de cualquier dispositivo descritos en el diccionario de objetos; un dispositivo tiene al menos dos VFDs.

**Network Management:** (Gestión de red) Permite configurar la pila de comunicaciones del dispositivo. Da acceso a la base de información de gestión de red (NMIB, *Network Management Information Base*), y también a la base de información de gestión del sistema (SMIB, *System Management Information Base*). La NMIB incluye las VCR del dispositivo, variables dinámicas, estadísticas, y la programación del LAS si el dispositivo es un *Link Master*. Los datos de la SMIB incluyen la etiqueta, la dirección del dispositivo y las programaciones horarias de ejecución de sus bloques funcionales.

**User Application:** (Aplicación de usuario) Da acceso a todas las funciones del dispositivo, como sus sensores, actuadores, etc. También permite configurar el funcionamiento del hardware, cargar información de calibración, etc.

## 2.7. TOPOLOGÍAS EN FIELDBUS

Existen varios tipos de topologías para conectar los dispositivos en una red fieldbus como son:

- Topología en Daisy-chain (en paralelo).
- Topología en Bus, mediante conexión de spurs.
- Topología en Árbol, donde los dispositivos se conectan en un segmento de red a través de bloques de interconexión.

**Topología en Daisy Chain:** El cableado se lo hace de dispositivo a dispositivo en paralelo a lo largo de un segmento del bus. El cable se conecta a los terminales de cada dispositivo de campo como se muestra en la Figura 2.6.

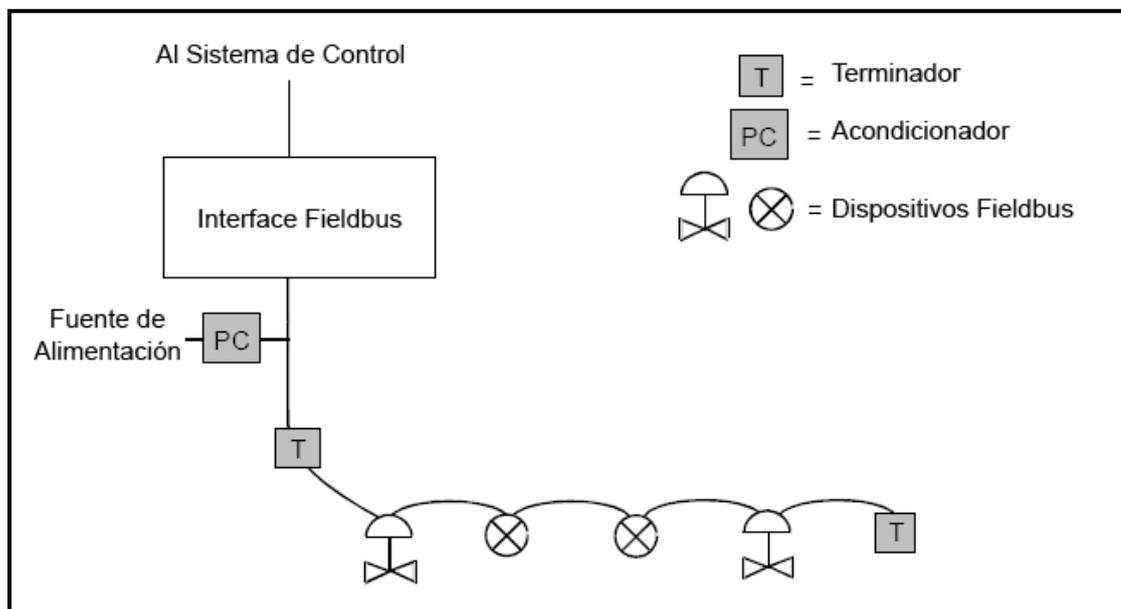


Figura 2. 6. Topología en Daisy Chain

**Topología en Bus con Spurs:** En este tipo de conexión, los dispositivos se conectan al bus mediante spurs como se muestra en la Figura 2.7, el cual puede tener longitudes desde 1 hasta 120m.

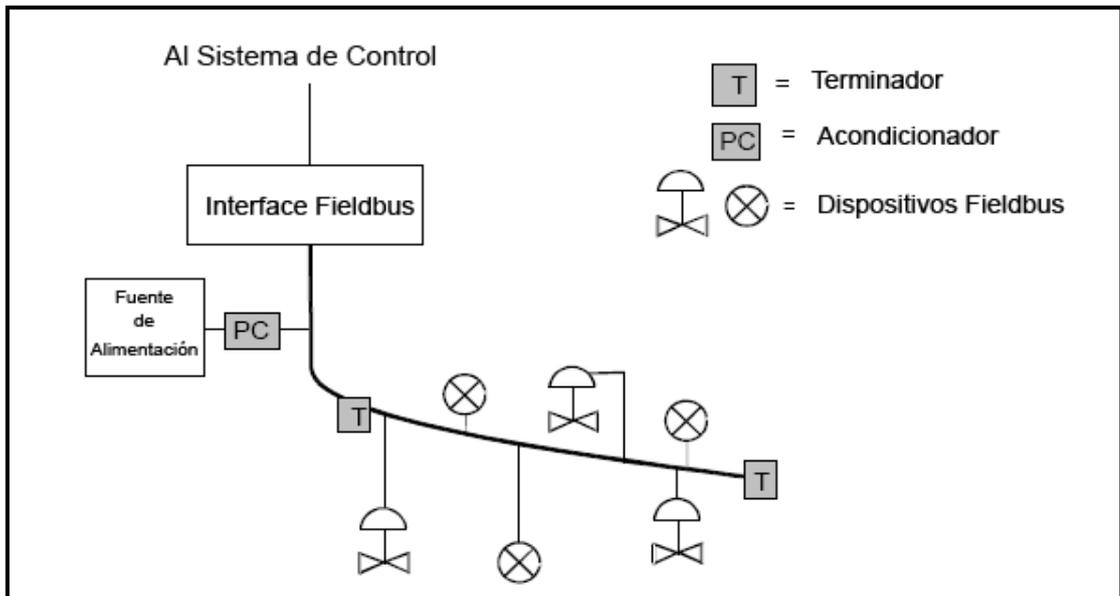


Figura 2. 7. Topología en Bus

**Topología en Árbol:** Los dispositivos se conectan a un segmento del fieldbus mediante un cable spur a un bloque de interconexión como se puede ver en la Figura 2.8. Este tipo de topología se usa cuando los dispositivos en el segmento se encuentran distantes.

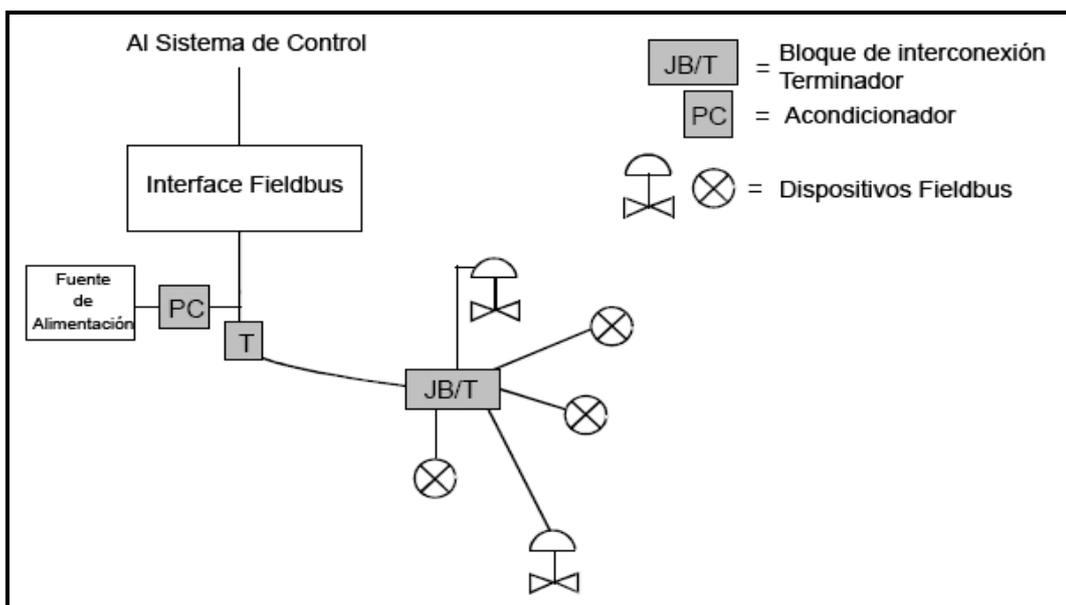


Figura 2. 8. Topología en Árbol

## 2.8. SEGURIDAD INTRÍNSECA (I.S.)

La técnica más popular para la protección de sistemas de instrumentación es la seguridad intrínseca (IS). Los diseños IS permiten la seguridad limitando la energía disponible en la zona peligrosa a niveles por debajo del punto en que se podría iniciar una explosión, por chispa o superficie caliente, durante condiciones normales o de fallo.

Esta técnica se viene utilizando desde hace mucho tiempo, y la mayoría de los estándares mundiales coinciden de forma muy aproximada en los límites seguros y en las curvas de ignición basadas en tensiones de circuito abierto y corrientes de cortocircuito. Estas limitaciones obligan a conectar un número muy reducido de dispositivos a cada segmento del bus.

La otra gran opción es FISCO (*Fieldbus Intrinsically-Safe Concept*), que intenta aumentar la capacidad del diseño IS basándose en pruebas empíricas para admitir más corriente de la permitida por las curvas de ignición convencionales.

En ambos casos se limita también la capacidad e inductancia máximas del cable (y por tanto su longitud máxima). En una red FF, la única alternativa para las comunicaciones en zonas peligrosas es la utilización de buses H1.

## 2.9. NORMATIVAS

De acuerdo a los estándares IEC 61158-2 e ISA S50.02 existen consideraciones para instalar una red fieldbus en base a ciertos parámetros<sup>6</sup> que se detallan a continuación:

---

<sup>6</sup> Fuente: <http://www.fieldbus.org>, Using FOUNDATION™ Fieldbus  
<http://www.honeywell.com>, OpenField™ Fieldbus Network Basics

### 2.9.1. Arquitectura Básica

En la Figura 2.9 se muestra la arquitectura básica de una red Fieldbus.

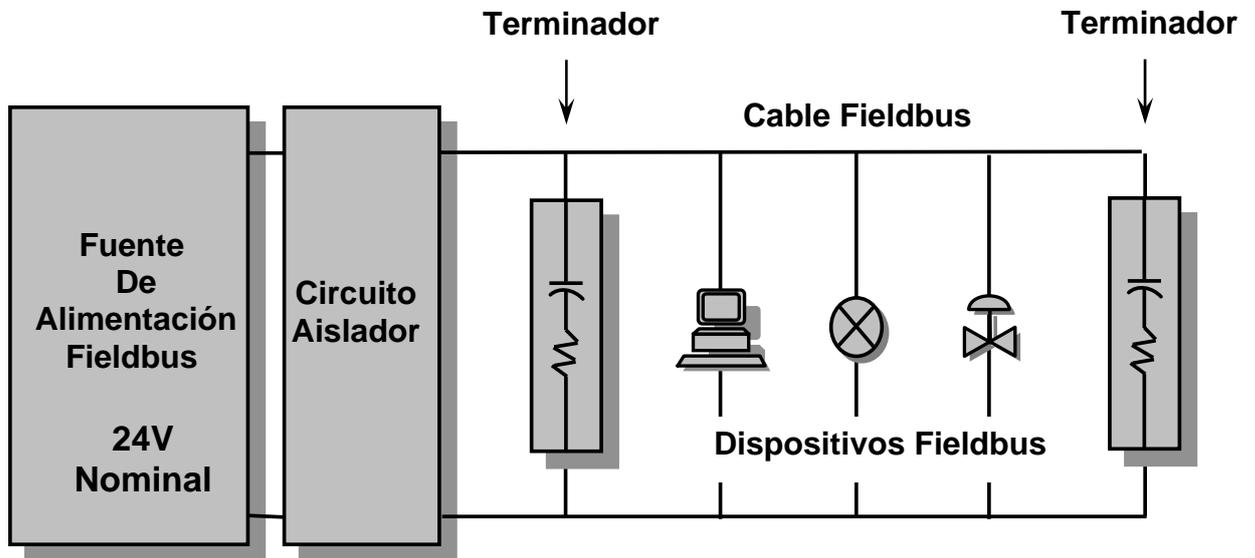


Figura 2. 9. Arquitectura de una Red Fieldbus

### 2.9.2. Consideraciones para el Segmento

Un segmento es un cable par con exactamente 2 terminadores como se puede ver en la Figura 2.10, el cual debe cumplir las siguientes consideraciones:

- Debe tener solamente una fuente de alimentación.
- Cada dispositivo del segmento debe recibir al menos 9V.
- Un segmento puede tener una barrera I.S, pero debe ubicarse a una distancia menor o igual a 100m de un terminador. La barrera limita la corriente, por lo tanto limita el número de dispositivos que pueden conectarse al bus.
- Pueden conectarse algunos segmentos en una red, pero deben estar enlazados mediante repetidores.

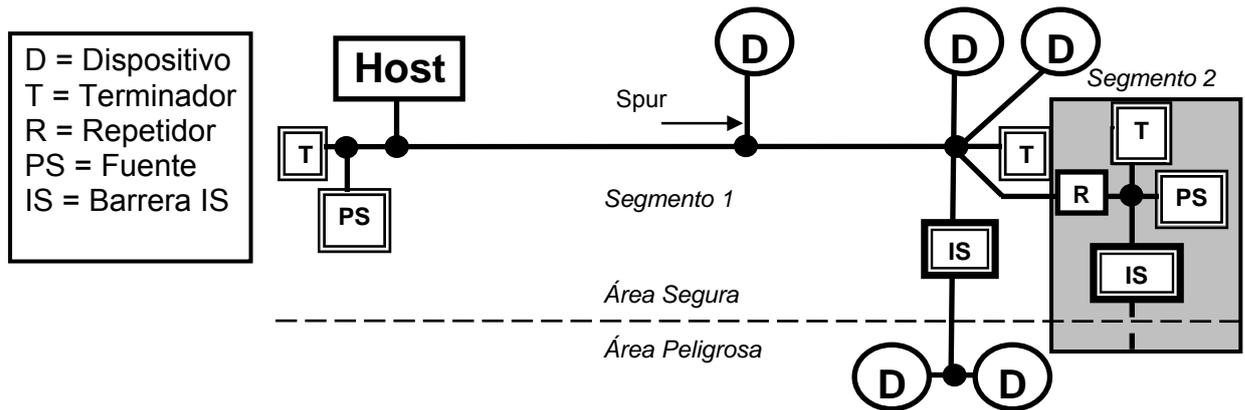


Figura 2. 10. Arquitectura de una Red Fieldbus con repetidor y barrera IS

### 2.9.3. Tipo de Cable

Se admiten varios tipos de cable dependiendo la longitud máxima del segmento *H1*. La Figura 2.11 muestra el mejor cable que se utiliza para Fieldbus, y en la Tabla 2.1 se indica los diferentes tipos de cable permitidos por la norma de acuerdo a la longitud total.

Tabla 2. 1. Tipos de Cable para Redes Fieldbus

Tipo	Descripción del Cable	Tamaño	Longitud Total
A	Par trenzado apantallado	#18 AWG	1900 m
B	Multi-par trenzado apantallado	#22 AWG	1200 m
C	Par trenzado sin apantallar	#22 AWG	400 m
D	Multi-núcleo apantallado	#16 AWG	200 m

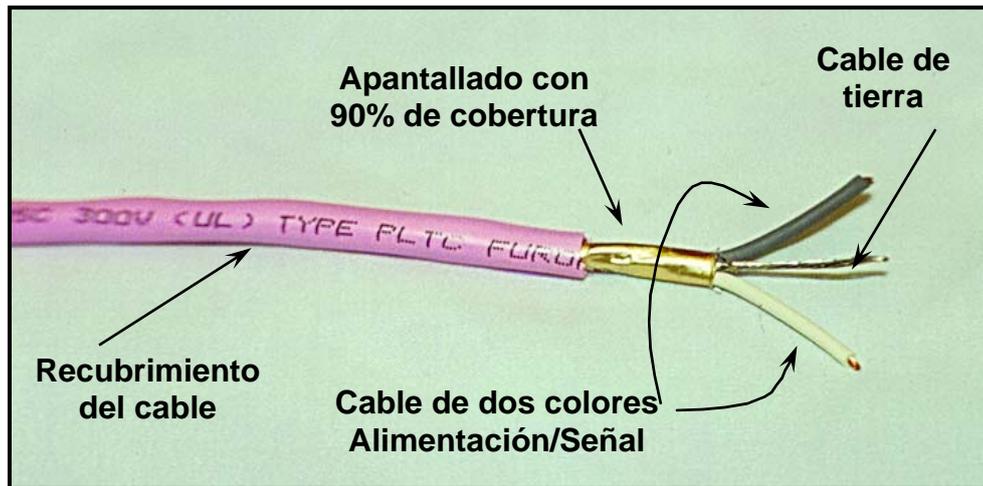


Figura 2. 11. Cable Tipo A para Redes Fieldbus

#### 2.9.4. Longitud del Spur

A las ramificaciones que salen del segmento se las conoce como SPURS, como se puede ver en la Figura 2.10. Existe un límite de longitud recomendado de acuerdo al número de dispositivos conectados al SPUR Y al número total de dispositivos conectados sobre el segmento. La Tabla 2.2 presenta lo antes mencionado.

Tabla 2. 2. Longitudes de los Spurs de acuerdo al número de dispositivos

Total de dispositivos sobre el segmento	Dispositivos por Spur			
	1	2	3	4
25 - 32	1 m	1 m	1 m	1 m
19 - 24	30 m	1 m	1 m	1 m
15 - 18	60 m	30 m	1 m	1 m
13 - 14	90 m	60 m	30 m	1 m
2 - 12	120 m	90 m	60 m	1 m

### 2.9.5. Longitud Máxima de la Red

En una red Fieldbus se puede usar máximo 4 repetidores entre dos dispositivos. La distancia máxima entre dos dispositivos con el mejor cable contemplado y utilizando 4 repetidores es de 9500 m como se muestra en la Figura 2.12. Además, en caso de utilizar repetidores, se debe tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- Los repetidores retardan los mensajes entre segmentos.
- Los repetidores pueden ser útiles en aplicaciones I.S. para crear una red de varios dispositivos.

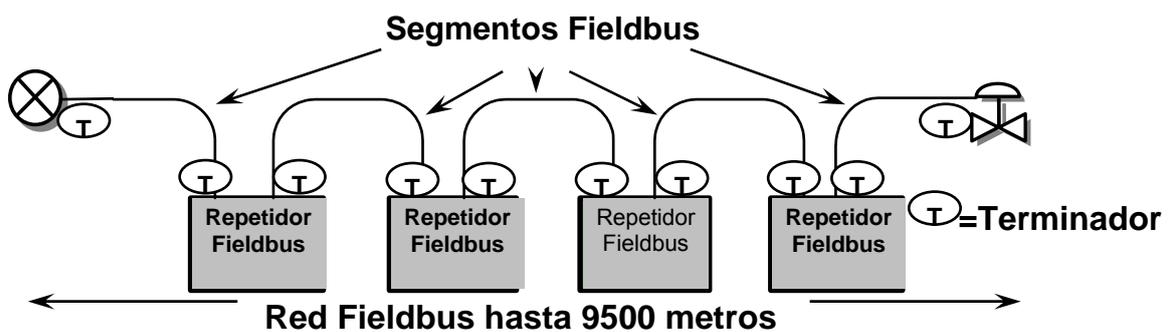


Figura 2. 12. Longitud Máxima de una Red Fieldbus con repetidores

### 2.9.6. Número de Dispositivos sobre la Red

El número de dispositivos que se pueden conectar en una red fieldbus depende de ciertos factores como los siguientes:

**Ancho de Banda:** Una red puede llevar aproximadamente 50 mensajes/seg. De esta manera se puede tener conectado 5 dispositivos que transmitan 10 mensajes/seg, o 200 dispositivos que transmitan 1 mensaje/4seg.

**Segmentos:** Una red puede tener 1 o más segmentos, cada uno con 1900 m y 32 dispositivos, hasta un máximo de 240 dispositivos con repetidores.

**Fuente de Alimentación:** La fuente debe tener la suficiente capacidad para alimentar el segmento, ya que los dispositivos consumen diferente cantidad de energía.

**Barreras I.S:** Las barreras presentan limitación de corriente aproximadamente de unos 100 mA. Con el uso de las barreras el número de dispositivos que se pueden conectar al segmento se reduce.

**Cable:** Un cable con alta resistencia reduce el voltaje, por lo tanto reduce también el número de dispositivos que se pueden conectar a la red.

#### 2.9.7. Terminadores Fieldbus

Un terminador es una impedancia que se coloca en los extremos de un segmento para evitar la reflexión de la señal; por lo tanto, en una red Fieldbus, es necesario de 2 terminadores en cada segmento. Los terminadores constan de una resistencia de  $100 \Omega$  y un capacitor de  $1\mu\text{F}$  conectados en serie. Existen algunos tipos de terminadores disponibles en el mercado, como por ejemplo los que se muestran en la Figura 2.13.



Figura 2. 13. Tipos de Terminadores Fieldbus a) Terminador MTL b) Terminador RELCOM

### 2.9.8. Fuentes de Alimentación

Existen 4 tipos de fuentes de alimentación que se pueden conectar en una red como son las siguientes:

- Fuente de Alimentación sin seguridad intrínseca.
- Fuente Acondicionadora sin seguridad intrínseca.
- Fuente de Alimentación Fieldbus sin seguridad intrínseca, destinada para alimentar una barrera I.S.
- Fuente de Alimentación Fieldbus con seguridad intrínseca

Además, la salida de voltaje máxima de una fuente sin I.S. es de 32 Vdc, y para una fuente I.S., el voltaje depende del tipo de barrera.

### 2.9.9. Barreras I.S.

Cualquier segmento Fieldbus puede ser usado con una barrera IS o con un aislador galvánico.

Una Barrera con Seguridad Intrínseca (IS) limita la energía que se puede proporcionar a la red, por lo tanto, limita la conexión de por segmento. Estas barreras son indispensables para trabajos en áreas peligrosas.

### 2.9.10. Requisitos en Áreas Peligrosas

Para una red Fieldbus (cableado y todos sus componentes) que debe ser implementada en un área peligrosa existen algunos requisitos que se deben tomar en cuenta en la instalación<sup>7</sup>, como son los siguientes:

- La energía eléctrica suministrada a los dispositivos debe ser muy baja. La Tabla 2.3 muestra los requisitos que deben cumplir los equipos en las áreas peligrosas. La alimentación y las señales que se transmiten de un área segura a través de una barrera IS, se mantienen dentro de los límites requeridos cuando llegan a un área peligrosa.

Tabla 2. 3. Parámetros de energía en Áreas Peligrosas

<b>GRUPOS DE GASES</b>			
<b>Norteamérica</b>	A,B	C	D
<b>IEC</b>	IIC	IIB	IIA
<b>PARÁMETROS</b>			
<b>V máx</b>	22 V	22 V	22 V
<b>I máx</b>	224 mA	575 mA	781 mA
<b>Ci</b>	0 µF	0 µF	0 µF
<b>Li</b>	0 µH	0 µH	0 µH

<sup>7</sup> Fuente: <http://www.relcominc.com/pdf/instructions/500-274%20FCS-M1-9801.pdf>, Instructions for the use of Fieldbus Wiring Blocks in Hazardous Areas

- Todos los dispositivos que se encuentren en el área peligrosa deben ser intrínsecamente seguros (IS), es decir, que los dispositivos no deben proveer la energía de una forma que se pueda producir una explosión o de igual manera almacenar la energía suministrada para luego liberarla.
- El sistema en conjunto debe ser certificado para ser IS, de esta manera se puede asegurar que no se almacene energía por la combinación de todos los dispositivos que se encuentran en la red, pudiendo convertirse en una potencial fuente de explosión.

Relcom Inc. especialista en diseñar equipos que cumplan con estos requerimientos, propone lo siguiente al momento de utilizar sus equipos en la instalación de una red Fieldbus en un área peligrosa:

- Se debe hacer la instalación de la red como se muestra en la Figura 2.14.
- El área segura por lo general es el cuarto de control (control room) y el área peligrosa normalmente es el campo o el área de producción. El equipo en el área segura no necesita ser IS, ya que contiene entre otros equipos de control, la fuente de alimentación y el acondicionador que provee energía al cableado de la red.

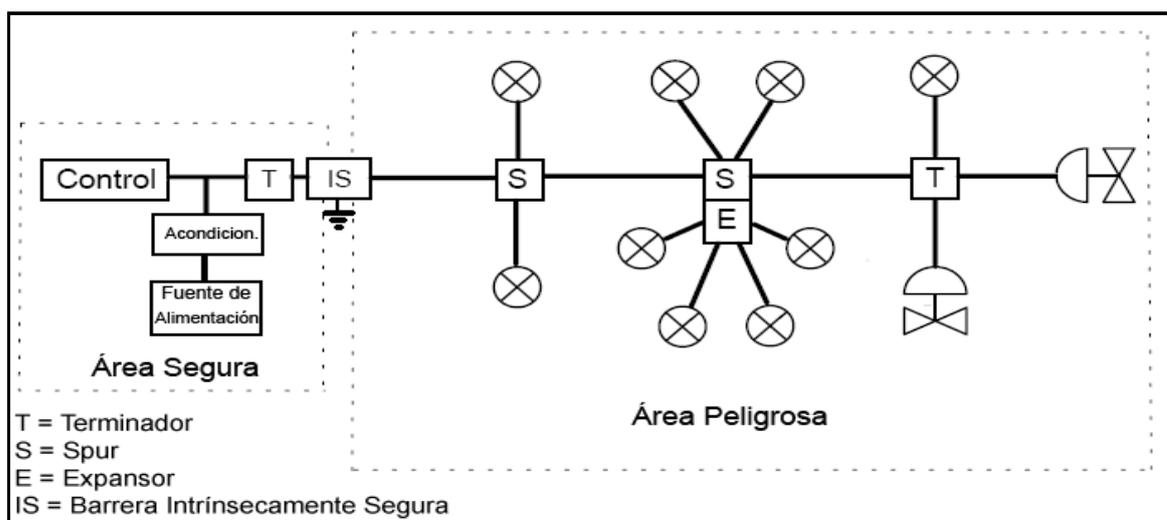


Figura 2. 14. Arquitectura de una Red Fieldbus propuesta por RELCOM

- El cableado de la red para ir del área segura a la peligrosa, debe pasar por una barrera IS.

## 2.10. EQUIPOS DE PRUEBAS

Existen equipos de prueba desarrollados específicamente para redes fieldbus, los cuales permiten monitorear el estado de la red cuando esta ya está operativa o en etapa de instalación. La compañía Relcom Inc. ofrece algunos tipos de probadores que son de suma importancia, como los que se detalla a continuación:

**Fieldbus Monitor FBT-3:** La Figura 2.15 muestra un monitor que se usa para examinar una red Fieldbus sin interferir con su operación. Este probador es muy importante para el personal de mantenimiento, ya que se puede verificar el funcionamiento de la red para solucionar cualquier problema que se presente en ella. Además, permite monitorear parámetros importantes como: Voltaje DC, ruido, intensidad de la señal, número de dispositivos conectados al segmento, etc.



Figura 2. 15. Fieldbus Monitor FBT-3

**Fieldbus Power and Signal Probe FBT-4:** La Figura 2.16 muestra este tipo de probador, el cual mediante LEDs permite conocer si el bus está energizado con la polaridad correcta, y si está presente el tráfico de datos.

Una vez que se conecta a la red, inmediatamente permite conocer si el bus es capaz de soportar un dispositivo en el punto de medición. De la misma manera que el Monitor FBT-3, no interfiere con la operación de la red.



Figura 2. 16. Fieldbus Power and Signal Probe FBT-4

**Fieldbus Wiring Validator FBT-5:** La Figura 2.17 muestra este probador de cable Fieldbus, el cual provee de un voltaje DC y señales Fieldbus al cable. Este tipo de probador al usarlo conjuntamente con el Monitor FBT-3 permite comprobar que el cable se encuentre en perfectas condiciones, además de conocer si hay algún corto circuito en el mismo.



Figura 2. 17. Fieldbus Wiring Validator FBT-5

## CAPÍTULO 3

### SITUACIÓN ACTUAL EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE CRUDO NPF

#### 3.1. OPERACIÓN DEL SISTEMA SCADA PLANTSCAPE R.400

Repsol YPF cuenta con un sistema PlantScape Scada, con 9 estaciones de monitoreo ubicadas en Pompeya (1), Shushufindi (2), NPF (3), SPF (3) y en Lago Agrio (1), como se puede ver en la Figura 3.1. Este sistema Plantscape trabaja bajo el Release 400, con licencias de PlantScape Process para dos estaciones estáticas y una rotativa en cada localidad.



Figura 3. 1. Estaciones de Monitoreo

PlantScape es un software diseñado para satisfacer las diferentes necesidades de Control de Procesos y Aplicaciones SCADA que se requieren en diferentes industrias, como en este caso la petrolera. Además puede trabajar con sistemas de control a gran o pequeña escala, dependiendo de las necesidades particulares de cada proceso.

PlantScape se presenta en tres configuraciones básicas: PlantScape Vista, PlantScape SCADA y PlantScape Process.

### 3.1.1. Características Principales de PlantScape

PlantScape permite recolectar datos de una gran variedad de controladores y mostrarlos en pantalla en cualquier localidad como los siguientes:

- Eventos y datos históricos del proceso.
- Gráficos de tendencia en tiempo real o de datos históricos.
- Monitoreo y control de puntos de campo en forma individual.
- Manejo de reportes.

### 3.1.2. Herramientas de Configuración de PlantScape

PlantScape ofrece algunas herramientas básicas para un mejor manejo del software, las cuales se detallan a continuación:

**Quick Builder:** es una herramienta para configurar o modificar información de conexiones de equipos y puntos en la base de datos del servidor. Permite configurar estaciones, controladores y datos que se leen desde el PLC.

**Display Builder:** Es una herramienta gráfica que puede hacer referencia de todos los puntos del sistema. Se lo usa para diseñar pantallas personalizadas para estaciones de operación.

**Control Builder:** Permite configurar dispositivos de hardware como módulos I/O, estrategias de control continuo y secuencial en el Controlador C-200 de Honeywell. Posee además librerías de bloques de control que permiten programar la lógica de operación.

**Estación:** Presenta una ventana en la cual se puede ver los datos del proceso que se encuentran en el servidor para mantener un control y supervisión. Tiene 300 pantallas preconfiguradas que muestran información del sistema, tales como alarmas, tendencias y detalles de puntos.

**Servidor:** Actualiza la información en una base de datos de tiempo real; con esto, las estaciones de PlantScape recuperan esta información a través de la red. Maneja todas las funciones que permiten a PlantScape el monitoreo y el control de los procesos de una planta, incluyendo el monitoreo de la calidad de las comunicaciones en los canales que conectan los controladores con el servidor.

**Nivel de Acceso:** Para controlar el acceso al sistema, PlantScape cuenta con varios niveles de seguridad que son:

- OPER (Operador)
- ENGR (Ingeniero)
- SUPV (Supervisor)
- MNGR (Administrador)

### 3.2. INTEGRACIÓN DE FIELDBUS CON PLANTScape PROCESS

La red Fieldbus se encuentra integrada al sistema PlantScape Process para hacer el respectivo monitoreo. La integración está hecha mediante los Módulos de Interface Fieldbus (FIM), los mismos que actúan como gateways para integrar Foundation Fieldbus hacia una red de nivel superior como en este caso ControlNet (Ver Anexo 1). Además en cada FIM se incluye un Panel de Terminación Remota (RTP), en el que están conectadas dos redes Fieldbus H1.

### **3.3. DISTRIBUCIÓN DE LA RED FIELDBUS EN LA PLANTA**

El sistema de control agrupa las señales de control de la planta en seis racks remotos, que se conectan mediante una red ControlNet hacia el Controlador C-200 localizado en el Control Room (Ver Anexo 1).

La red ControlNet, los Procesadores y los Servidores con los que interactúa el operador son redundantes, por lo tanto, si por alguna razón uno de ellos falla, existe otro sistema de respaldo que pasa a tomar el control.

En tres racks remotos (LP-J1301, LP-J1305 y LP-J1306) están instalados los denominados Módulos de Interface Fieldbus (FIM), los cuales reciben y envían la información desde el controlador hasta los dispositivos ubicados en el campo para su respectivo monitoreo alimentados a través del RTP (Ver Anexo 2).

### **3.4. ZONA RACK REMOTOS**

La Figura 3.2 muestra las diferentes zonas ubicadas en la planta de tratamiento de crudo NPF. Con estas zonas es posible ubicar fácilmente los racks remotos con los controladores C200 así como las cajas de interconexión donde se encuentran algunos concentradores.

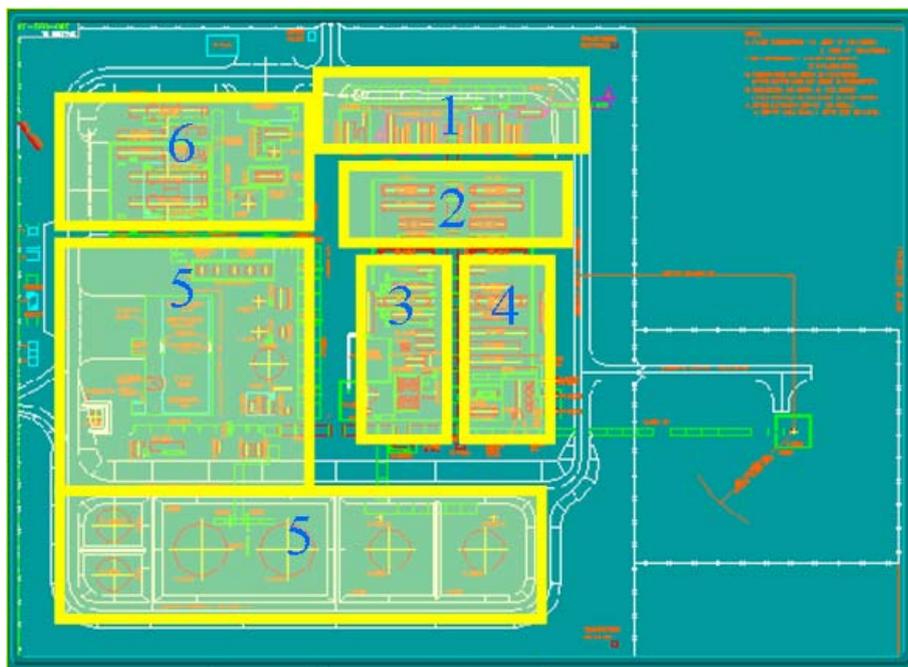


Figura 3. 2. Zonas de Rack Remotos

### 3.5. PLANOS CONTROL CABINET LOCATION PLANT

A partir de estos planos se pueden obtener datos importantes como la longitud del cableado de la red mediante el seguimiento de las rutas, así como las canalizaciones de los cables de control (Ver Anexo 3). De estos documentos, el plano de interés es el siguiente:

- Ruta Fieldbus en la Planta de Tratamiento de crudo NPF (Plano N° 100-070-1504).

En el próximo capítulo se hace el respectivo análisis a partir de esta información.

### 3.6. PLANOS DE ARQUITECTURA

A partir de los diagramas de arquitectura se puede obtener información sobre el número de instrumentos y el tipo de elementos instalados en dicha red (Ver Anexo 4). Los planos de interés en este caso son los siguientes:

- Diagrama del cableado desde el Rack LP-J1301 (Plano N° 100-070-2010 Pertenece a la Zona 1).
- Diagrama del cableado desde el Rack LP-J1305. (Plano N° 100-070-2011 Pertenece a la Zona 5).
- Diagrama del cableado desde el Rack LP-J1306. (Plano N° 100-070-2014 Pertenece a la Zona 6).

En el próximo capítulo se hace el respectivo análisis a partir de esta información.

### **3.7. PLANOS PSP ELECTRICAL TERMINATION DIAGRAMS**

En estos planos se encuentran las respectivas conexiones dentro de los racks remotos, así como de las cajas de uniones en las diferentes zonas (Ver Anexo 2). Los planos de interés en este caso son los siguientes:

- Conexiones dentro del Rack LP-J1301 (Plano N° 100-070-5341).
- Conexiones dentro del Rack LP-J1305 (Plano N° 100-070-5345).
- Conexiones dentro del Rack LP-J1306 (Plano N° 100-070-5346).
- Conexiones en las cajas de uniones ubicadas en la Zona 1 (Plano N° 100-070-5361A).
- Conexiones en las cajas de uniones ubicadas en la Zona 5 (Plano N° 100-070-5361B/C).
- Conexiones en la caja de unión ubicada en la Zona 6 (Plano N° 100-070-5361D).

### **3.8. PLANOS INSTRUMENT LOOP DIAGRAM**

En estos planos se encuentran los diferentes lazos de control de las variables físicas que son monitoreadas a través de los diferentes transmisores. Los planos de interés en este caso son los siguientes:

- Lazos de Control 402-A/504-A/506-A (Plano N° 100-070-0212).
- Lazos de Control 402-B/504-B/506-B/4804 (Plano N° 100-070-0212-1).
- Lazos de Control de Temperatura 8-4/2724/624/8-1 (Plano N° 100-070-0221).
- Lazos de Control de Nivel 2605 A/B (Plano N° 100-070-0222).
- Lazos de Control de Presión 94304-1/1320 (Plano N° 100-070-0223).
- Lazos de Control TT 8-2/PT 3-2/ TT 1434-A/PT 1416 (Plano N° 100-070-0224).
- Lazos de Control PT 3-3/TT 8-3/ TT 1434-B/PT 1424 (Plano N° 100-070-0225).
- Lazos de Control PT-5221/TT-5222/TT-5204/PDT-3109 (Plano N° 100-070-0226-1).
- Lazos de Control de Nivel 1305 A/B (Plano N° 100-070-0227).
- Lazos de Control de Nivel 4214/4324 (Plano N° 100-070-0228).
- Lazos de Control de Presión 4012 (Plano N° 100-070-0228).

### **3.9. TRANSMISORES FIELDBUS INSTALADOS**

Todos los transmisores conectados a la red son de marca Honeywell, y permiten obtener la información a través de los sensores que captan las diferentes señales físicas transformándolas en señales eléctricas. Los transmisores cumplen con ciertos requerimientos, características técnicas, e identificación para su correcta operación en la planta. En la Tabla 3.1, se presenta las características básicas y los modelos de los transmisores instalados.

Tabla 3. 1. Transmisores Fieldbus instalados en la Planta

TRANSMISORES DE LA SERIE ST3000 FF			
Variable	Presión	Temperatura	Nivel
Marca	Honeywell	Honeywell	Honeywell
Modelo	STG97L	STT35F	STF932
Descripción	Transmisor de Presión	Transmisor de Temperatura	Transmisor de Presión
Rango	0 – 3000 psi	RTD: -50 a 150 °C T/C: 780 a 1800 °C	0 - 100 psi
Voltaje	10.8 - 42.4 Vdc	9 - 35 Vdc	10.8 - 42.4 Vdc
Corriente	~ 20 mA	~ 20 mA	~ 20 mA
Resistencia de Carga	0 - 1440 Ohms	Depende del número y el tipo de dispositivos conectados al bus	0 - 1440 Ohms

### 3.10. ELEMENTOS DE LA RED

La red Fieldbus está compuesta de algunos elementos que cumplen una función específica, los cuales se detallan a continuación:

#### 3.10.1. Módulo de Interface Fieldbus (FIM)

El Módulo de Interface Fieldbus (FIM) es el puente entre el control de PlantScape y las funciones de control Fieldbus. Este soporta dos tipos de **VCRs** como son Publicador/Suscriptor y Cliente/Servidor para comunicarse con los bloques funcionales Fieldbus.

Los FIM de la red, modelo TC-FFIF01 (Ver Figura 3.3), es un módulo doble que se encuentra conectado al chasis del controlador C200 en los distintos racks remotos (Ver Anexo 1, Plano 100-070-2012).

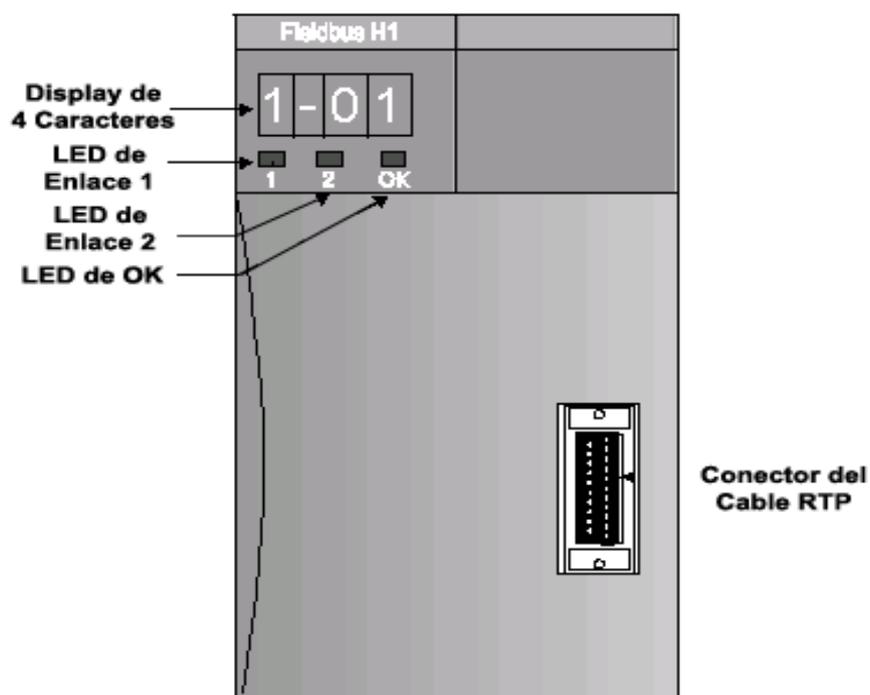


Figura 3. 3. Módulo de Interface Fieldbus (FIM)

### 3.10.2. Panel de Terminación Remota (RTP)

El Panel de Terminación Remota (RTP) instalado en los diferentes racks es el modelo TC-FFRP02 como se muestra en la Figura 3.4, y está aprobado como Intrínsecamente Seguro (IS) para uso en áreas peligrosas.

A través del RTP, el mismo que se está montado sobre un riel DIN, se encuentran conectados dos segmentos H1, donde los dispositivos reciben y envían la información a este panel que se conecta al módulo FIM a través de un Cable RTP (Modelo: TC-FFC025, Longitud = 2.5 m). Este tiene una entrada donde llegan 24 Vdc de una fuente externa de alimentación (Marca: SOLA, Modelo: SDN 10-24-100) para proveer energía a los dispositivos de campo sobre el enlace H1 (Ver Planos PSP Electrical Termination Diagrams). Además, este RTP provee un aislamiento galvánico entre el cable de campo y el mismo RTP.

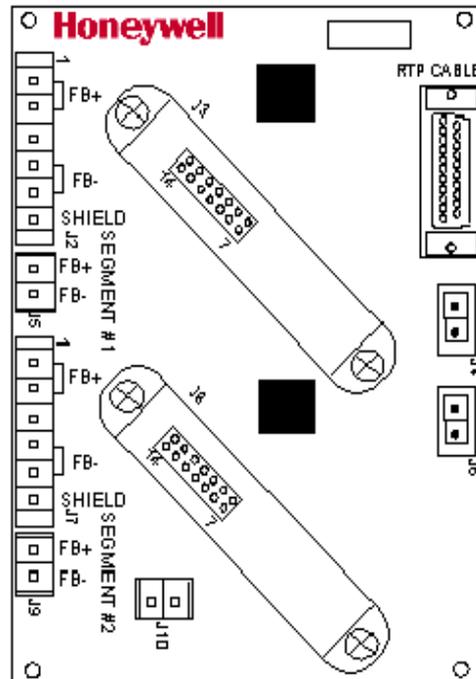


Figura 3. 4. Panel de Terminación Remota (RTP)

### 3.10.3. Cable Fieldbus

El cable instalado en la red (BELDEN – Databus 3076F) es par trenzado #18 AWG, con 7 filamentos de cobre y aislamiento de polietileno. Los colores del cable par son azul y naranja. Además, tiene una chaqueta PVC de color naranja del tipo PLTC – 300 V recomendable para uso en áreas peligrosas Clase 1 División 2. La Tabla 3.2 presenta las características más importantes del tipo de cable instalado en la red.

Tabla 3. 2. Características del cable BELDEN Databas 3076F

	Parámetros	Condiciones
<b>Impedancia Característica</b>	100 $\Omega$	31.25 kHz
<b>Resistencia en cada cable</b>	7.32 $\Omega$ /1000 ft.	
<b>Atenuación</b>	0.914 dB/1000 ft.	39 kHz

### **3.10.4. Concentradores**

En las cajas de interconexión de la planta se encuentran bloques terminales (concentradores) denominados Sistema de Conexión Fieldbus (Fieldbus Connection System, FCS), los mismos que son diseñados para áreas a nivel industrial que pueden ser peligrosas debido a que en la atmósfera en esas áreas puede contener gases o algún tipo de polvo que se encienda provocando una explosión. Por tal razón, estos bloques tienen seguridad intrínseca (IS) para minimizar el riesgo. Los bloques están instalados sobre un riel DIN de 35 mm. y son los siguientes:

#### **3.10.4.1. FCS-TI-PL (Isolated Terminating Block).**

Es usado como un terminador al final del segmento, el cual interconecta cuatro pares de cables: el que viene del rack remoto donde se encuentra la tarjeta RTP, y la señal de otros tres transmisores. Tiene incorporado además un supresor de alta energía que ayuda a proteger a los dispositivos de los relámpagos que puedan caer cerca de la instalación.

Esta serie contiene además un supresor de picos de voltaje que se pueden presentar en la red. En todas las cajas de interconexión el terminador se encuentra expandido con los bloques de la serie FCS-E para aumentar el número de dispositivos conectados, como se muestra en la Figura 3.5.

#### **3.10.4.2. FCS-E-PL (Expander Block).**

Es usado para aumentar el número de transmisores conectados a la red, puesto que provee cuatro puntos adicionales de conexión. En la red, estos bloques se encuentran conectados al final del segmento junto a los terminadores como se muestra en la Figura 3.5.

### 3.10.4.3. FCS-S-PL (Spur Block).

Es usado para conectar dispositivos desde cualquier parte del segmento (Ver Figura 3.5). De la misma manera que los otros dos bloques, permite la conexión de cuatro pares de cables: el que viene de la tarjeta RTP, el que sale hasta el terminador, y la conexión de dos dispositivos adicionales. Además, el límite máximo de conexión de Spurs se encuentra limitado por el estándar ISA S50.02 (Ver Capítulo 2.9).

Cuando se incorpora un Spur, se pueden retirar los dispositivos que se encuentren a éste sin influir en los otros o en la integridad del segmento. Este bloque también puede ser expandido usando los bloques de la serie FCS-E para permitir cuatro puntos adicionales de conexión, además posee un supresor de picos de voltaje, ya que estos pueden dañar a los dispositivos.

Todos estos concentradores tienen incorporado un LED que indica si el bus está energizado.

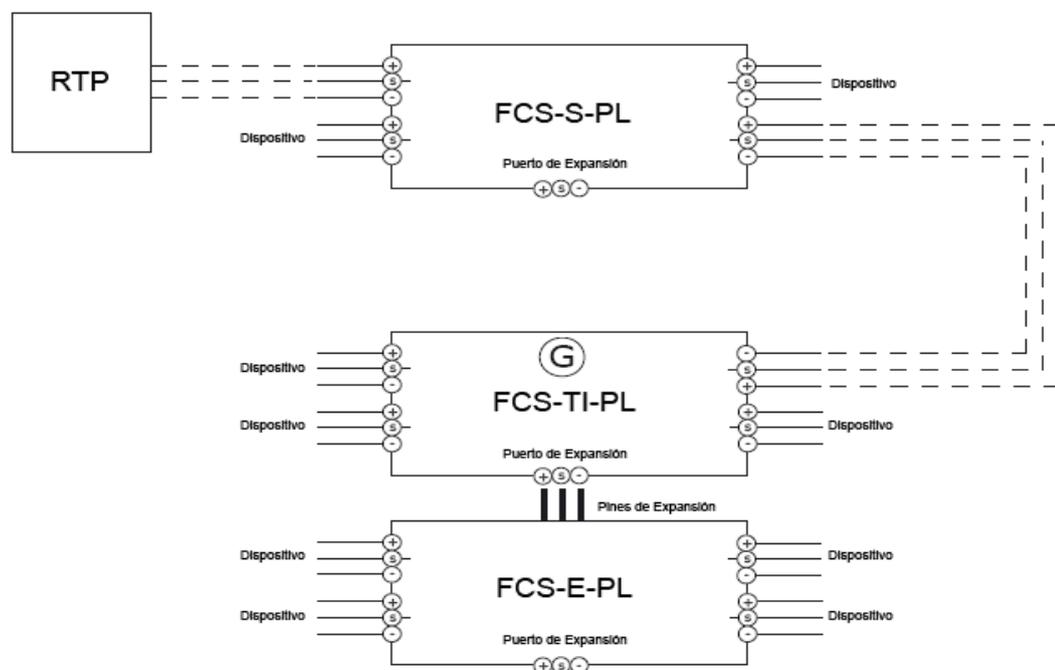


Figura 3. 5. Conexión de Concentradores RELCOM

### 3.10.5. Barreras IS

Anteriormente se habló que el RTP (Panel de Terminación Remota) provee un aislamiento galvánico entre el cable de campo y el mismo panel. Este aislamiento lo hace a través de barreras IS (MTL 4053). La MTL 4053 es diseñada para trasladar las redes fieldbus H1 dentro de áreas peligrosas ( $V_{\text{máx}} = 18.4\text{V}$ ,  $I_{\text{máx}} = 80\text{mA}$ ).

Para instalaciones en las cuales la longitud del bus en el área segura es pequeña, tiene un terminador interno que se lo activa enlazando los pines 9 y 10; el RTP se encarga de enlazar estos pines mediante un jumper como se muestra en la Figura 3.7.

La Figura 3.6 muestra el tipo de barreras que se encuentran incorporadas en los RTP de la red, y la Figura 3.7 muestra el diagrama de conexiones de la barrera al RTP.

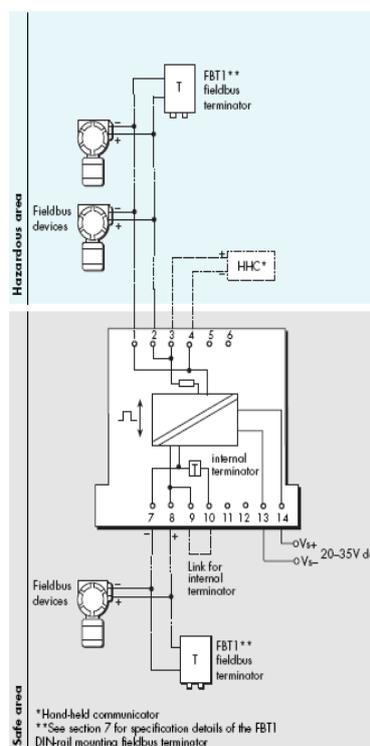


Figura 3. 6. Aislador Galvánico MTL 4053

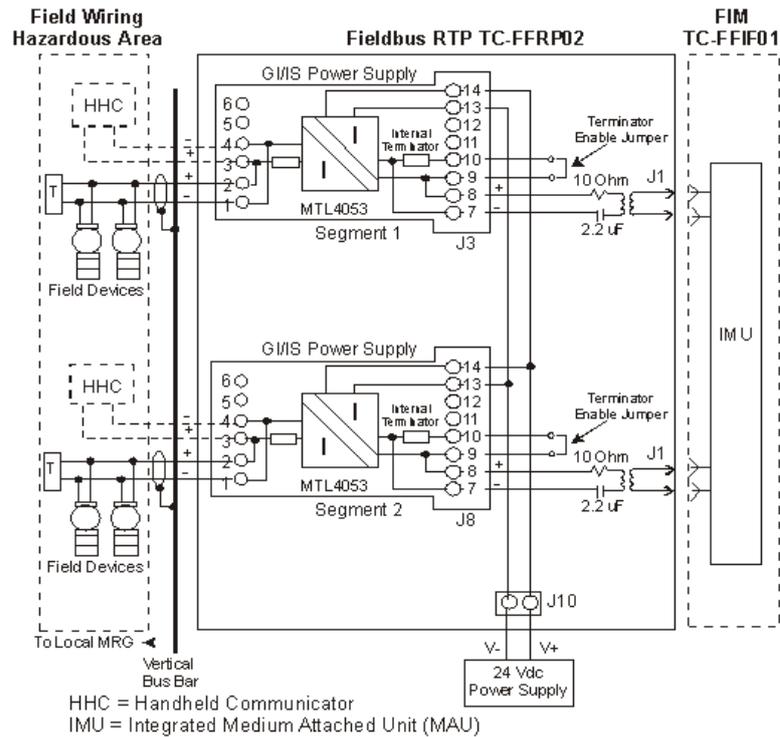


Figura 3. 7. Diagrama de Conexión del MTL 4053 al RTP TC-FFRP02

### 3.11. INTERFAZ VISUAL EN EL SCADA DE LOS TRANSMISORES FIELDBUS

En el SCADA existen diferentes pantallas donde se puede realizar el respectivo control y monitoreo del proceso. La red Fieldbus cubre solamente una parte del proceso y como se puede ver en las figuras que se muestran a continuación, no se tiene acceso a la información que envían algunos transmisores.

La palabra **NaN** que aparecen en las pantallas, indica que no llega ninguna señal del transmisor. La Tabla 3.3 presenta los diferentes transmisores fieldbus con problemas, su identificación, y su ubicación en la planta. Adicionalmente en cada figura se enmarcan las señales con problemas.

**Tabla 3. 3. Transmisores Fieldbus en la Planta de Tratamiento de Crudo NPF**

DESCRIPCIÓN	TRANSMISOR	UBICACIÓN EN LA PLANTA	FIGURA
Temperatura de crudo de CAPIRON	TT-0008-2	R-1187	3.8
Presión en el recibidor R-1187	PT-0003-2		
Temperatura del crudo de Tivacuno a NPF	TT-0008-3	R-1189	3.8
Presión en el recibidor R11-89	PT-0003-3		
Presión del crudo desde E-160	PT-5221	E1060 A/B	3.9
Temperatura de los intercambiadores E1060 A/B	TT-5204		
Temperatura de crudo del SPF	TT-5222		
Presión de la bota V-1107A	PT-0402A	V-1107A	3.10
Presión de la bota V-1107B	PT-0402B	V-1107B	3.10
Nivel de agua en el tanque T-1118A	LT-1305A	T-1118A	3.11
Nivel de agua en el tanque T-1118B	LT-1305B	T-1118B	3.11
Temperatura del tanque T-1108A	TT-0506A	T-1108A	3.12
Nivel de crudo del tanque T-1108A	LT-0504A		
Temperatura del tanque T-1108B	TT-0506B	T-1108B	3.12
Nivel del crudo del tanque T-1108B	LT-0504B		
Temperatura de agua a Capiron	TT-1434A	LT-1186	3.13
Presión de agua a Capiron	PT-1416		
Temperatura de agua a Tivacuno	TT-1434B	LT-1188	3.13
Presión de agua a Tivacuno	PT-1424		
Nivel de Diesel del tanque T_1080A	LT-2605A	T-1080A	3.14
Nivel de Diesel del tanque T_1080B	LT-2605B	T-1080B	3.14
Temperatura de Diesel a SPF	TT-2724	L-1182	3.14
Presión de Diesel a SPF	PT-2704		

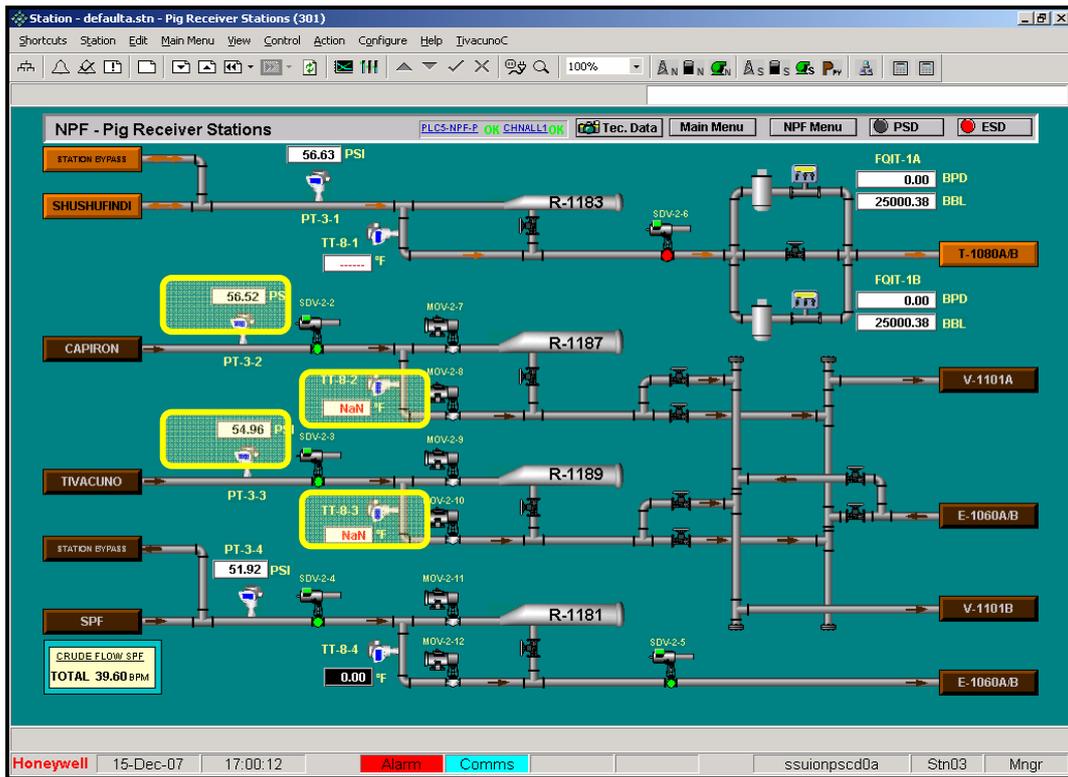


Figura 3. 8. Etapa de Recibidores (R-1183, R-1187, R-1189)

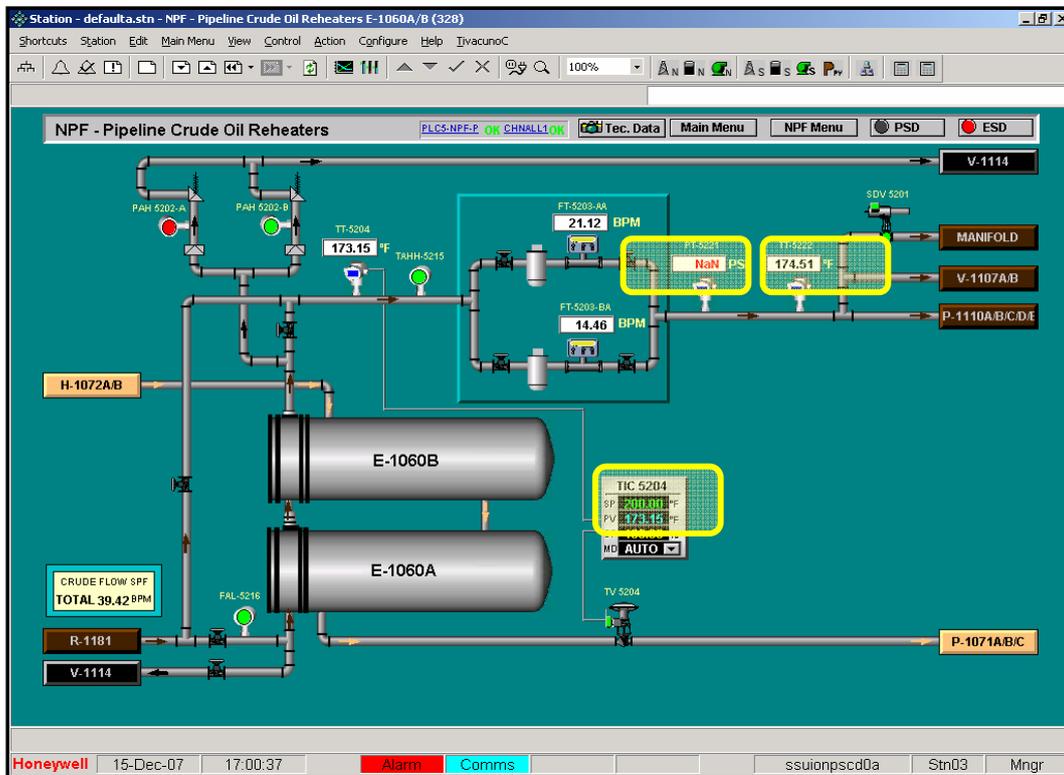


Figura 3. 9. Intercambiadores de Calor (E-1060B, E-1060A)

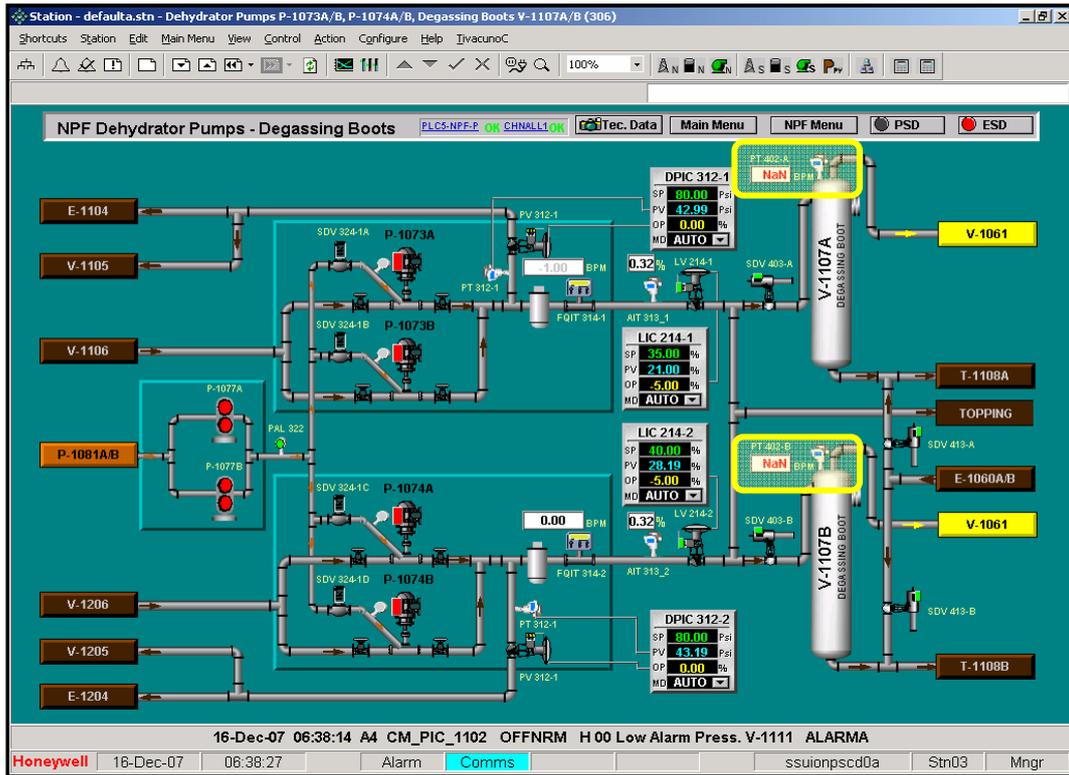


Figura 3. 10. Botas de Degasificación (V-1107A, V-1107B)

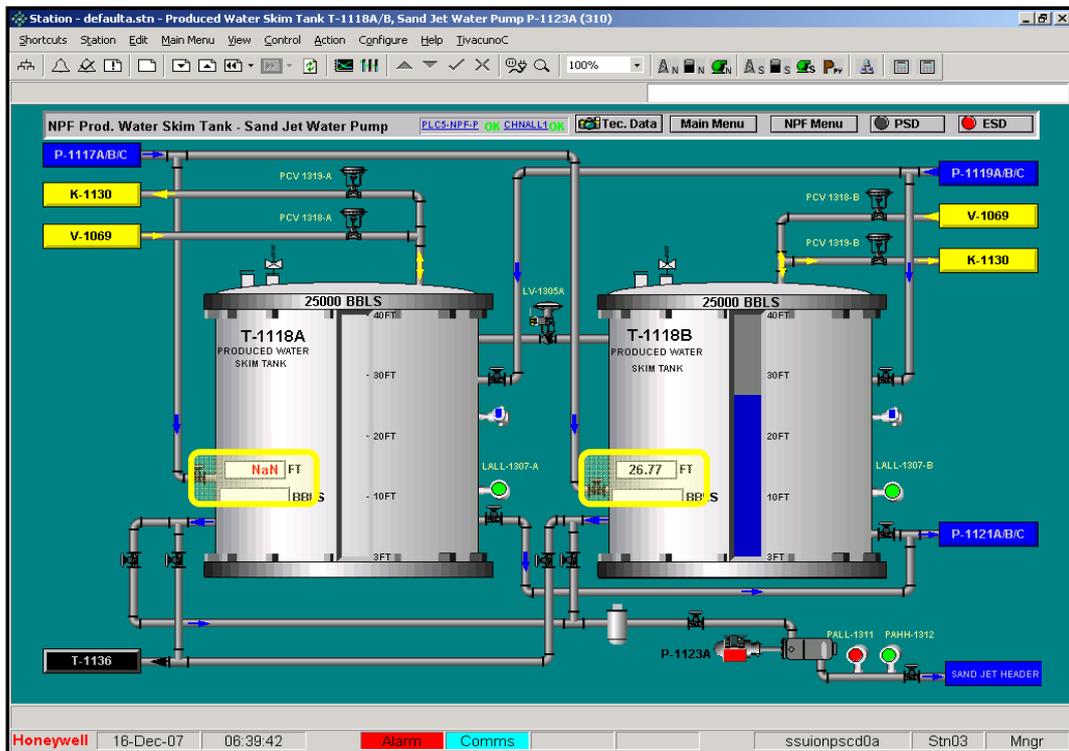


Figura 3. 11. Tanques de Almacenamiento de Agua (T-1118A, T-1118B)

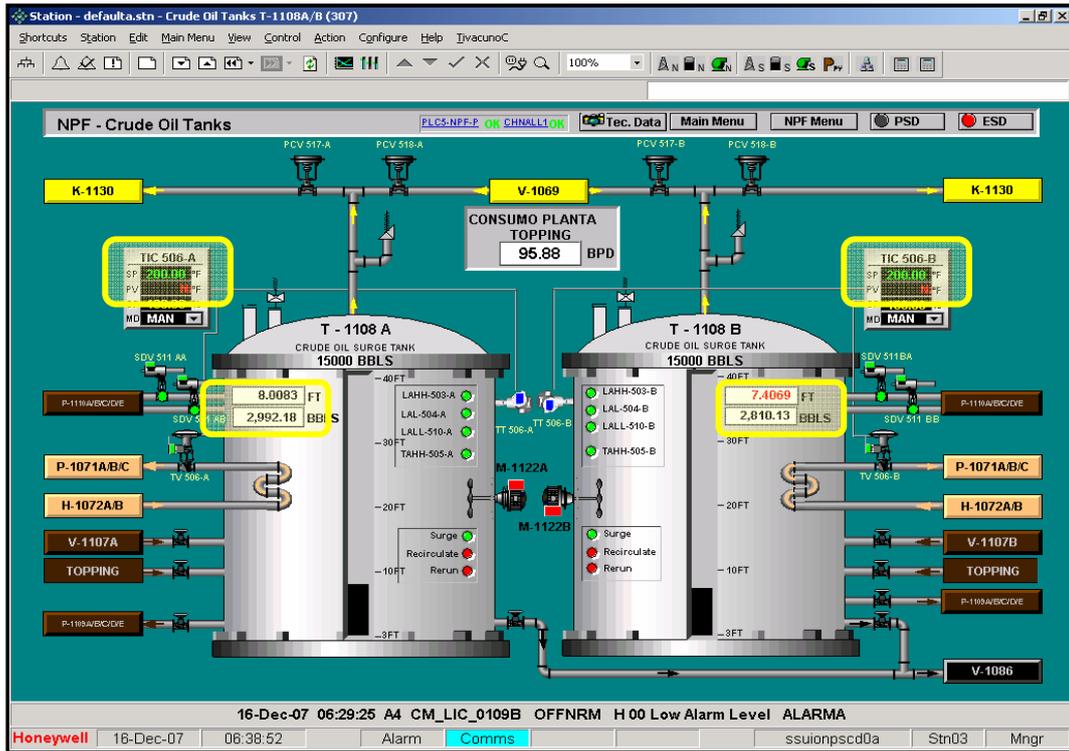


Figura 3. 12. Tanques de Almacenamiento de Crudo (T-1108A, T-1108B)

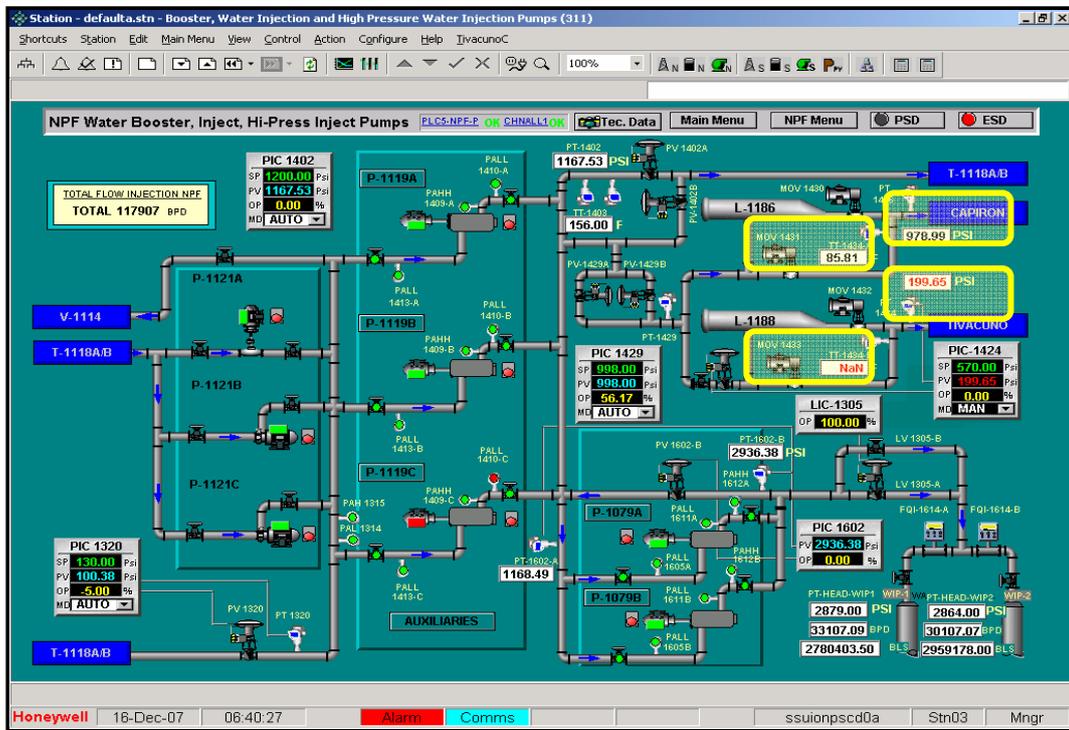


Figura 3. 13. Etapa de Lanzadores (LT-1186, LT-1188)

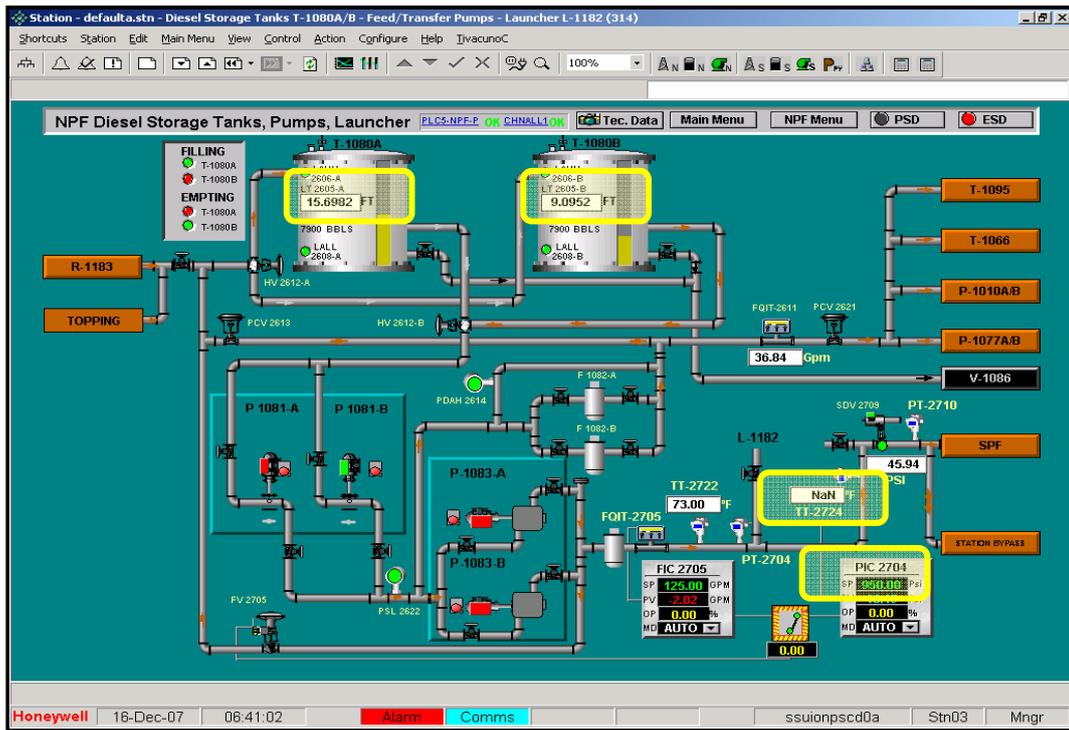


Figura 3. 14. Tanques de Diesel (T-1080A, T-1080B)

## **CAPÍTULO 4**

### **ANÁLISIS TÉCNICO DE LA RED**

#### **4.1. VERIFICACIÓN DE NORMATIVA**

Para comprobar que la instalación de la red Fieldbus se encuentre dentro de la normativa, se necesita la información que se detalla a continuación:

##### **4.1.1. Tipo de Cable**

El tipo de cable instalado en la red es el par trenzado apantallado #18 AWG, por lo tanto, entra en la categoría tipo A como el mejor cable usado para redes fieldbus.

##### **4.1.2. Longitud de los Spurs**

De todos los segmentos de red, solamente en la zona 5 existen spurs, y su longitud se puede observar en la Tabla 4.2. El valor máximo de los spurs es de 35.12 m por lo tanto se encontraría dentro de la norma ya que la distancia máxima permitida es de 120m (Ver Tabla 2.2), sin embargo esto no se aplica completamente en instalaciones IS puesto que la energía en áreas peligrosas es muy reducida.

##### **4.1.3. Longitud de la Red**

La longitud en el segmento de una red fieldbus es limitada, por lo tanto es necesario conocer la longitud del cable que se encuentra en la planta. Las Tablas 4.1, 4.2 y 4.3 presentan las longitudes entre los diferentes racks remotos y cajas de interconexiones, así como la suma total en cada segmento de red.

La longitud más extensa incluido spurs se encuentra en el segmento 1 de la Zona 5 con 267.53m. Este dato posteriormente permite conocer la máxima caída de voltaje que puede existir en la red debido a la resistencia del cable.

**Tabla 4. 1. Longitud de Segmentos en la Zona 1**

<b>ZONA 1</b>				
	<b>Desde</b>	<b>Hasta</b>	<b>Longitud (ft.)</b>	<b>Longitud (m)</b>
<b>Segmento 1</b>	LP-J1301	JB1401AA	199,47	60,80
	JB1401AA	TT-5222	8,04	2,45
	JB1401AA	PT-5221	4,30	1,31
	JB1401AA	TT-5204	17,03	5,19
<b>Total</b>			<b>228,84</b>	<b>69,75</b>
<b>Segmento 2</b>	LP-J1301	JB1401AB	79,60	24,26
	JB1401AB	TT-0008-4	63,73	19,43
	JB1401AB	TT-2724	58,95	17,97
	JB1401AB	TT-0008-1	57,80	17,62
	JB1401AB	TT-0624	32,19	9,81
<b>Total</b>			<b>292,27</b>	<b>89,08</b>
<b>Segmento 3</b>	LP-J1301	JB1401BA	72,47	22,09
	JB1401BA	TT-0008-2	39,85	12,15
	JB1401BA	PT-0003-2	46,74	14,25
	JB1401BA	TT-1434-A	41,67	12,70
	JB1401BA	PT-1416	49,68	15,14
<b>Total</b>			<b>250,41</b>	<b>76,33</b>
<b>Segmento 4</b>	LP-J1301	JB1401BB	119,64	36,47
	JB1401BB	PT-0003-3	49,17	14,99
	JB1401BB	TT-0008-3	41,44	12,63
	JB1401BB	TT-1434-B	39,25	11,96
	JB1401BB	PT-1424	46,22	14,09
<b>Total</b>			<b>295,72</b>	<b>90,14</b>

Tabla 4. 2. Longitud de Segmentos en la Zona 5

<b>ZONA 5</b>					
	<b>Desde</b>	<b>Hasta</b>	<b>Longitud (ft.)</b>	<b>Longitud (m)</b>	
<b>Segmento 1</b>	Spur	LP-J1305	JB1405AB1	245,27	74,76
		JB1405AB1	PT-4804	115,24	<b>35,12</b>
		JB1405AB1	JB1405AB2	255,11	77,76
		JB1405AB2	PT-0402-B	59,92	18,27
		JB1405AB2	LT-0504-B	66,35	20,22
		JB1405AB2	TT-0506-B	135,84	41,40
<b>Total</b>			<b>877,73</b>	<b>267,53</b>	
<b>Segmento 2</b>		LP-J1305	JB1405AB1	239,44	72,98
		JB1405AB1	JB1405AA	171,20	52,18
		JB1405AA	PT-0402-A	13,58	4,14
		JB1405AA	LT-0504-A	71,72	21,86
		JB1405AA	TT-0506-A	143,97	43,88
<b>Total</b>			<b>639,91</b>	<b>195,04</b>	
<b>Segmento 3</b>	Spur	LP-J1305	JB1405BB1	99,62	30,36
		JB1405BB1	PT-94304-1	79,92	<b>24,36</b>
	Spur	JB1405BB1	PT-1320	24,57	<b>7,49</b>
		JB1405BB1	JB1405BB2	133,36	40,65
		JB1405BB2	LT-1305-B	124,86	38,06
		JB1405BB2	LT-1305-A	114,04	34,76
<b>Total</b>			<b>576,38</b>	<b>175,68</b>	
<b>Segmento 4</b>	Spur	LP-J1305	PT-2704	90,35	<b>27,54</b>
		LP-J1305	JB1405BA	199,93	60,94
		JB1405BA	LT-2605-B	59,11	18,02
		JB1405BA	LT-2605-A	53,10	16,19
<b>Total</b>			<b>402,49</b>	<b>122,68</b>	

Tabla 4. 3. Longitud del Segmento en la Zona 6

ZONA 6				
	Desde	Hasta	Longitud (ft.)	Longitud (m)
Segmento 1	LP-J1306	JB1406AA	185,18	56,44
	JB1406AA	LT-4214	71,59	21,82
	JB1406AA	PT-4012	142,04	43,30
	JB1406AA	LT-4324	69,31	21,13
Total			468,12	142,68

#### 4.1.4. Número de Dispositivos sobre la Red

En el capítulo 2 se explicó que el número de dispositivos que pueden conectarse al segmento depende de ciertos factores como ancho de banda, tipo de cable, fuente de alimentación, tipo de barrera, etc. En la red fieldbus de la planta existe un máximo de cuatro dispositivos por cada segmento, lo cual con las pruebas respectivas que se detallan más adelante, se verifica si éste número es adecuado para el correcto funcionamiento de la red.

#### 4.1.5. Terminadores

En cada segmento de la red se encuentran instalados terminadores que cumplen con todas las especificaciones para áreas peligrosas. Estos además se encuentran conectados junto con bloques expansores para conectar más dispositivos, los mismos que también se encuentran dentro de las normas.

## 4.2. ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (FMEA)

Los FMEA se los viene realizando desde 1970 con el desarrollo del estándar MIL STD 1629/1629A, pero en esa época su uso era limitado en aplicaciones industriales donde el costo de falla era alto.

### 4.2.1. Descripción del FMEA

Un Análisis de Modos y Efectos de Falla (FMEA) es un análisis estructurado de calidad de un sistema, subsistema, proceso, diseño, o función para identificar los modos de fallas potenciales, sus causas y sus efectos sobre la operación.

Los beneficios del análisis se refleja en la calidad para evaluar la seguridad de un sistema determinando los modos de falla inaceptables, así como al identificar los diseños de mejoras potenciales con actividades en los planes de mantenimiento entendiendo la operación del sistema en presencia de estas fallas.

Aunque el método FMEA generalmente ha sido utilizado por las industrias automotrices, éste se puede aplicar en la detección de fallas potenciales en productos y procesos de cualquier clase de empresa, ya sea que estos se encuentren en operación o en fase de proyecto, así como también es aplicable para sistemas administrativos y de servicios.

Los Modos de de Falla, Efectos y Análisis de Criticidad (FMECA) fueron introducidos para hacer un mejor uso de los resultados FMEA con el aumento de una medida de criticidad.

### 4.2.2. Elaboración del FMEA

Existen una serie de publicaciones para los formatos del reporte de los modos y efectos de falla. Algunos de los principales estándares para este tipo de análisis se incluyen en SAE J1739 (*Society of Automotive Engineers*), AIAG FMEA-3 (Automotive Industry Action Group) y MIL-STD-1629A (*Military Standard*), sin embargo plantean un modelo el cual dependiendo del análisis se lo puede modificar según el requerimiento del proceso. Para la elaboración del FMEA de la red (Ver Anexo 5) se utilizó el formato de SAE J1739<sup>8</sup>, el cual se compone de diferentes columnas las mismas que se deben llenar con la siguiente información:

---

<sup>8</sup> Fuente: <http://www.fmea-fmecca.com/process-fmea-sae-j1739.xls>

1. El número de FMEA para propósitos de seguimiento.
2. Nombre y número del componente del proceso bajo análisis.
3. Responsabilidad del proceso: Nombre, Departamento.
4. Preparado por: Nombre, Compañía del Ingeniero responsable del FMEA.
5. Fecha inicial y de finalización del FMEA
6. **Proceso o Función:** Se escribe el proceso u operación y una simple descripción del mismo, indicando el propósito del proceso a ser analizado. Si el proceso involucra numerosas operaciones con diferentes fallas potenciales, se recomienda enlistar las operaciones como procesos separados.
7. **Modos de Falla Potencial:** La falla potencial está definida como la manera en la cual el proceso puede potencialmente fallar cumpliendo con los requerimientos especificados. Sin embargo se debe asumir que la parte o el material que entra en la etapa en cuestión está bien. Posteriormente se hace una lista de cada modo de falla potencial para una operación específica en términos de una característica del componente o proceso.  
Se supone que la falla puede ocurrir pero no necesariamente ocurre, por lo tanto se debe indicar una descripción de la falla contestando la siguiente pregunta: ¿Cómo puede fallar el proceso si cumple con los requerimientos?  
Como punto de partida es recomendable preguntar a las personas que se sienten afectadas por dicha falla.
8. **Efectos Potenciales de la Falla:** Se definen como los efectos del modo de falla que se presentan en el proceso. Se deben considerar los efectos reportados por las personas involucradas en la operación.  
Los efectos se deben establecer en términos del desempeño de la operación o del proceso.

**9. Severidad:** Es una evaluación de la seriedad de la falla potencial la cual se aplica solamente al efecto. Como recomendación la severidad debe ser estimada dentro de una escala de 1 al 10, donde 1 significa muy poca severidad y 10 una alta severidad, sin embargo el responsable de realizar el FMEA define esta escala a su mejor criterio, por tal razón la escala para la severidad en el análisis de la red se muestra en la Tabla 4.4.

**Tabla 4. 4. Escala de la Severidad en FMEA**

<b>Efecto</b>	<b>Criterio: Severidad del Efecto</b>	<b>Rango</b>
Peligroso	Puede dañar el equipo o una parte del proceso. Aplica cuando un modo de falla potencial afecta a la operación segura del proceso.	5
Alto	Interrupción importante en la producción. Se puede desperdiciar el 100 % en la producción. La red no es operable	4
Moderado	Interrupción menor en la producción. Se puede desperdiciar una parte de la producción. La red es operable aunque no funcionan algunos elementos	3
Bajo	Interrupción menor en la producción. Se puede tener que retrabajar en una parte de la producción.	2
Ninguno	No tiene efecto	1

**10. Causas Potenciales de la Falla:** Se define como la manera en que la falla puede ocurrir, descrita en términos de algo que puede ser corregido o puede ser controlado. Se hace una lista de todas las posibles causas de falla asignables a cada modo de falla potencial. Si se identifica que una causa impacta directamente un modo de falla, entonces esta parte del FMEA está completa.

**11. Ocurrencia:** La ocurrencia es la frecuencia con la que se presenta la causa de falla. Se estima la ocurrencia probable dentro de una escala de 1 a 10. El 1 indica poca ocurrencia, el 5 una mediana ocurrencia y el 10 una alta ocurrencia, en base a esto se pondera de 1 a 10, pero de igual manera que en el caso de la severidad, la ponderación queda a criterio del responsable del FMEA, por tal razón la escala de la ocurrencia se muestra en la tabla 4.5

Tabla 4. 5. Escala de Ocurrencia en FMEA

Probabilidad de Falla	Tasa de falla posible	Rango
Muy alta: la falla es casi inevitable	> 0.5	5
Alta: Se asocia con procesos similares a los previos que han fallado con frecuencia.	0.33	4
Moderada: Se asocia con procesos similares a los previos que han fallado ocasionalmente.	0.125	3
Baja: fallas aisladas asociadas con procesos similares.	0.05	2
Remota: La falla es muy poco probable. Nunca se han asociado fallas con procesos casi idénticos.	< 0.03	1

**12. NPR:** El número prioritario de riesgo (NPR) es el producto de los rangos de severidad y ocurrencia ( $NPR = Sev \times Ocu$ ). Este valor se emplea para identificar los riesgos más serios y de esta manera buscar acciones correctivas. Cuando los modos de falla han sido ordenados por el NPR, las acciones correctivas deberán dirigirse primero a los problemas y puntos de mayor grado. La intención de cualquier acción recomendada es reducir los grados de ocurrencia y severidad. Si no se recomienda ninguna acción para una causa específica, se debe indicar así.

#### 4.3. MODO DE FALLA, EFECTOS Y ANÁLISIS DE DIAGNÓSTICOS (FMEDA)

Los Modos de Falla, Efectos y Análisis de Diagnósticos (FMEDA) son una técnica que se desarrollo en los años 80. El FMEDA añade dos puntos adicionales a la información del proceso de análisis FMEA. El primer punto adicional es el dato cuantitativo de la falla para todos los componentes analizados. El segundo punto de información que se adiciona al FMEDA, es la habilidad del sistema para detectar fallas a través de diagnósticos que se los realizan en línea. Esto es crucial para alcanzar y mantener la seguridad de los sistemas.

El término FMEDA empezó a publicar sus métodos a finales de los 90, sin embargo las técnicas FMEDA han sido mejoradas desde el año 2000 con el trabajo de preparación del IEC 61508. Los nuevos cambios mejoraron a la técnica completamente y fueron los siguientes:

- Nuevas Definiciones de Modo de Falla por la IEC 61508
- Modos de Falla Funcional
- Utilización de Componentes Mecánicos

#### **4.3.1. Estándar IEC 61508**

El estándar IEC 61508 reconoce oficialmente la técnica FMEDA para lograr la suficiente seguridad en una aplicación. Dentro del campo de seguridad funcional, se definen los modos de falla para facilitar el desarrollo del FMEDA e interpretar sus resultados.

Existen resultados cuantitativos importantes que pueden ser fácilmente derivados del FMEDA para manejar la evolución del proceso. Por tal razón, actualmente se sigue trabajando en avances para el estándar IEC 61508.

#### **4.3.2. Factor de Alcance**

Un parámetro importante en la evaluación cuantitativa de la red es la capacidad de diagnóstico de los elementos que intervienen en el análisis. Esto se mide por un parámetro conocido como el Factor de Alcance (C), el cual tiene un rango de valores que todavía sigue en debate entre algunos investigadores. Sin embargo, dentro de los límites este factor se puede calcular conociendo cuáles modos de falla son detectados por diagnósticos.

El Factor de Alcance se define como la probabilidad de que una falla será detectada dado que una falla ha ocurrido, por tal razón, en el análisis de la red es necesario distinguir el factor de alcance para fallas seguras del factor de alcance para fallas peligrosas.

#### 4.3.3. Técnicas de Diagnóstico

Para la detección de las fallas se utiliza una técnica conocida como referencia. Los diagnósticos de referencia se los puede hacer utilizando los módulos FBT o a través del mismo SCADA.

Con los diagnósticos de referencia se pueden tomar medidas importantes de la red como voltajes, corrientes, tráfico de datos, etc., los mismos que se utilizan para diagnosticar las fallas con mayor precisión. La notación  $C^P$  se utiliza para designar el factor de alcance peligroso, y la notación  $C^S$  para designar el factor de alcance seguro.

#### 4.3.4. Elaboración del FMEDA

El formato para el FMEDA de la red (Ver Anexo 6) al ser una extensión del estándar MIL STD 1629A, (FMEA) tiene columnas adicionales que dan la siguiente información:

**1. Detección (D):** Se indica si la falla es detectable mediante diagnósticos. El número "1" indica que es detectable mientras que el número "0" indica que el modo de falla no es detectable.

**2. Modo de Falla Numérico (MF):** El número "1" indica que el modo de falla es seguro mientras que un "0" indica que el modo de falla es peligroso.

**3. Tasa de Falla Segura Detectada (SD):** Este número se calcula usando los valores previos de la tabla. Se obtiene multiplicando la tasa de falla (ocurrencia) por el número del modo de falla y el número de detección, como se muestra en la Ecuación 1.

$$SD = TF \times MF \times D \quad \text{Ec. (1)}$$

**4. Tasa de Falla Segura No Detectada (SND):** Este número se calcula multiplicando la tasa de falla por el número de modo de falla y por uno menos el número de detección, como se muestra en la Ecuación 2.

$$SND = TF \times MF \times (1 - D) \quad \text{Ec. (2)}$$

**5. Tasa de Falla Peligrosa Detectada (PD):** Este número se obtiene multiplicando la tasa de falla por uno menos el número de modo de falla y por la detección, como se muestra en la Ecuación 3.

$$PD = TF \times (1 - MF) \times D \quad \text{Ec. (3)}$$

**6. Tasa de Falla Peligrosa No Detectada (PND):** Este número se obtiene multiplicando la tasa de falla por uno menos el número de modo falla y por uno menos el número de detección, como se muestra en la Ecuación 4.

$$PND = TF \times (1 - MF) \times (1 - D) \quad \text{Ec. (4)}$$

**7. Factor de Alcance:** El cálculo del factor de alcance seguro se lo hace tomando la suma total de las tasas de fallas seguras detectadas y dividiendo para el total de fallas seguras, como se muestra en la Ecuación 5. El cálculo del factor de alcance peligroso se lo hace tomando la suma total de las tasas de fallas peligrosas detectadas y dividiendo para el total de fallas peligrosas, como se muestra en la Ecuación 6.

$$C^S = \frac{\sum SD}{\sum SD + \sum SND} \quad \text{Ec. (5)}$$

$$C^P = \frac{\sum PD}{\sum PD + \sum PND} \quad \text{Ec. (6)}$$

#### 4.4. PRUEBAS TÉCNICAS

Para determinar las acciones correctivas que permitirán el funcionamiento óptimo de la red, se necesita hacer las respectivas pruebas para en base a esto ejecutarlas. Por tal razón, las pruebas realizadas se muestran a continuación:

##### 4.4.1. Medición de Voltaje y Corriente

Las mediciones se las realizaron en el segmento 4 de la Zona 1 perteneciente al rack LP-J1301 y en la caja de interconexión JB1401BB. Los datos tomados se muestran en la Tabla 4.6 y Tabla 4.7. Estas mediciones se las obtuvieron a través de un Multímetro True RMS Marca FLUKE 87 III, que para un mejor análisis se conectaron los transmisores uno por uno para observar el comportamiento de la red.

Tabla 4. 6. Medidas de Voltaje y Corriente en el Bus (Segmento 4, Zona 1)

TRANSMISORES CONECTADOS					
	Sin Carga	Transmisor 1	Transmisor 1 y 2	Transmisor 1, 2 y 3	Transmisor 1,2,3 y 4
Medición en la Salida MTL (Rack LP-J1301)	18.4 V	16.28 V	14.12 V	12.07 V	10.3 V
Medición en el Terminador (JB1401BB)	16.8 V	15.6 V	13.25 V	11.75 V	9.94 V
Corriente en el bus	3.20 mA	22.85 mA	40.83 mA	59.9 mA	73.2 mA
Transmisores		1. PT-0003-3	2. TT-1434-B	3. TT-0008-3	4. PT-1424

Tabla 4. 7. Consumo de Transmisores (Segmento 4, Zona 1)

CONSUMO DE TRANSMISORES					
	Sin Carga	PT-0003-3	TT-1434-B	TT-0008-3	PT-1424
<b>Corriente de Consumo</b>	3.20 mA	22.85 mA	21.85 mA	25.66 mA	21.42 mA
<b>Voltaje</b>	16.8 V	14.52 V	15.76 V	13.92 V	15.77 V

#### 4.4.2. Probador FBT-4

El probador posee tres LEDs los mismos que indican el estado de la red. A continuación se explica la información que se puede obtener de cada uno:

**Signal:** El LED se enciende solamente si el dato supera los 150 mV pico-pico, mas no permite obtener información acerca de la validez de este. Permite además conocer si hay actividad en el bus cuando el LED parpadea, por lo tanto se maneja directamente con la trama de datos.

**Voltage:** Indica si el voltaje DC en la red se encuentra por sobre los 9.0 Vdc.

**Reversed:** Indica si la polaridad se encuentra invertida, ya sea por mala conexión del probador o por el cable en la red.

La Tabla 4.8 presenta las mediciones tomadas con el probador FBT-4 en la caja de interconexión JB1401BB, conectado a su vez el Multímetro True RMS Marca FLUKE 87 III en serie para monitorear la corriente en el bus. De igual manera se fueron conectando los transmisores uno por uno para observar el comportamiento de la red.

Tabla 4. 8. Datos tomados con el probador FBT-4 en la caja de interconexión JB1401BB

TRANSMISORES CONECTADOS					
	Sin Carga	Transmisor 1	Transmisor 1 y 2	Transmisor 1, 2 y 3	Transmisor 1,2,3 y 4
Reversed	-	-	-	-	-
Voltage	+	+	+	+	-
Signal	-	~	~	~	~
Corriente	18.32 mA	36.82 mA	55.1 mA	69.3 mA	82.1 mA
Transmisores		1. PT-0003-3	2. TT-1434-B	3. TT-0008-3	4. PT-1424
LED	- Apagado		+ Encendido		~ Parpadeante

#### 4.4.3. Monitor FBT-3

El monitor FBT-3 se usó para examinar la red puesto que permite obtener datos importantes sin interferir con la operación de la misma. Además se pudieron examinar ciertos parámetros los cuales se seleccionan con el botón SELECT.

El monitor muestra un valor y puede indicar además la palabra "OK" junto a él, asegurando que el valor de la medida está en un rango aceptable. Para el monitoreo de la red, se utilizó este módulo con la versión 1.05 del cual se obtuvieron los datos que se presentan en la Tabla 4.9. A continuación se explica la información que indica el monitor:

**VOLTS:** Muestra el valor del voltaje DC sobre la red. La medida debe encontrarse por sobre los 9 V, que es el voltaje mínimo requerido por un dispositivo fieldbus.

**LAS:** Si hay alguna actividad sobre la red el Programa de Enlace Activo (LAS) envía Tramas de Pruebas al Nodo. El probador mide el nivel de señal de la trama el cual se encuentra en Milivoltios, y por tanto este valor debe encontrarse por sobre los 150 mV.

**Device:** Si hay dispositivos Fieldbus activos sobre la red, el probador los cuenta. Si la cuenta se mantiene igual desde que fue seleccionada la función "Device", el display muestra la palabra "OK". Si se retira un dispositivo de la red, el display muestra un signo menos "-", y al contrario si se añade un dispositivo nuevo, el display muestra el signo mas "+".

**Low:** Muestra el nivel de la señal del dispositivo cuando es bajo. Si las medidas se encuentran por sobre los 150 mV, el nivel es bueno. La dirección del dispositivo se muestra junto a la palabra LOW.

**Noise Av:** El ruido sobre la red se mide en el período de bajo entre tramas. El valor obtenido es el valor promedio de 10 mediciones. Por lo tanto, las medidas deben encontrarse por debajo de los 75 mV.

**Noise Pk:** Muestra el ruido pico desde que se inició la función. De la misma manera, las medidas por debajo de los 75 mV están correctas.

**New:** Si un dispositivo nuevo se añade a la red, este debe responder a la trama de pruebas al nodo enviado por el LAS. Entonces, el monitor mide el nivel de señal de la respuesta del nuevo dispositivo. De igual manera, las medidas deben encontrarse por sobre los 150 mV.

Tabla 4. 9. Datos tomados con el monitor FBT-3 en la caja de interconexión JB1401BB

<b>TRANSMISORES CONECTADOS</b>					
	<b>Sin Carga</b>	<b>Transmisor 1</b>	<b>Transmisor 1 y 2</b>	<b>Transmisor 1, 2 y 3</b>	<b>Transmisor 1,2,3 y 4</b>
<b>Volts</b>	15.7	13.4	10.1	8.7	7.1
<b>LAS</b>	---	825	845	741	292
<b>Device</b>	0	1	2	2	2 + 1
<b>Low</b>	--/---	14/780	14 / 773	14/689	43/770
<b>Noise AV</b>	0	11	11	11	11
<b>Noise PK</b>	88	693	11	44	495
<b>New</b>	--/---	455	864	864	156
<b>Invert</b>	--	--	--	--	--
<b>Corriente</b>	13.78mA	32.63 mA	50.8 mA	65.7 mA	80.2 mA
<b>Transmisores</b>		1. PT-0003-3	2. TT-1434-B	3. TT-0008-3	4. PT-1424

Los mismos datos se tomaron en el segmento 1 de la Zona 5 pero con todos los transmisores conectados. Los datos obtenidos se muestran en la Tabla 4.10, 4.11 y 4.12.

Tabla 4. 10. Datos tomados con el monitor FBT-3 en la caja de interconexión JB1405AB1

<b>JB1405AB1</b>					
	<b>JB1405AAF</b>	<b>JB1405AA1F</b>	<b>JB1405AB1F</b>	<b>PT4804F</b>	<b>JB1405AB2F</b>
<b>Volts</b>	13.1	15.7	17.2	13.2	10.2
<b>LAS</b>	955	999	999	734	578
<b>Device</b>	3	1	1	2	3
<b>Low</b>	15/565	10/999	10/26	10/663	15/123
<b>Noise AV</b>	11	11	0	11	11
<b>Noise PK</b>	11	11	693	11	11
<b>New</b>	276	238	274	845	264
<b>Invert</b>	--	--	--	--	--

Tabla 4. 11. Datos tomados con el monitor FBT-3 en la caja de interconexión JB1405AB2

<b>JB1405AB2</b>				
	<b>JB1405AB2F</b>	<b>LT504BF</b>	<b>TT506BF</b>	<b>PT402BF</b>
<b>Volts</b>	9.8	9.3	8.8	9.2
<b>LAS</b>	929	598	642	766
<b>Device</b>	3	3	3	3
<b>Low</b>	15/682	15/45	15/67	15/622
<b>Noise AV</b>	11	11	11	11
<b>Noise PK</b>	11	11	11	11
<b>New</b>	346	937	298	387
<b>Invert</b>	--	--	--	--

Tabla 4. 12. Datos tomados con el monitor FBT-3 en la caja de interconexión JB1405AA

<b>JB1405AA</b>				
	<b>JB1405AAF</b>	<b>PT402AF</b>	<b>LT504AF</b>	<b>TT506AF</b>
<b>Volts</b>	11.6	-	11.3	10.6
<b>LAS</b>	734	-	630	624
<b>Device</b>	2	-	2	2
<b>Low</b>	10/643	-	10/624	10/539
<b>Noise AV</b>	11	-	11	11
<b>Noise PK</b>	11	-	11	132
<b>New</b>	398	-	451	634
<b>Invert</b>	--	--	--	--

#### 4.5. BANCO DE PRUEBAS

Para un mejor análisis de la red, se instaló un banco de pruebas el cual consta de un Controlador C200 con sus respectivos módulos de I/O y FIM, además de una red Fieldbus exactamente igual a la instalada en el campo para de esta manera comprobar el funcionamiento de los transmisores.

### 4.5.1. Comunicación

Una vez instalado el controlador, para lograr la comunicación entre el PC y el PLC se conecta el módulo ControlNet del PLC a la tarjeta ControlNet del PC. Posteriormente se usa un software llamado **RSLinx** proporcionado por **Rockwell Software**, en el cual se realiza el siguiente procedimiento:

1. En RSLinx, se hace click en Communications, Configure Drivers y se selecciona el tipo de driver a usar. Para ControlNet, se utiliza el AB\_PCIC y se verifica que el Status sea Running, caso contrario se lo hace correr con el botón Start como se muestra en la Figura 4.1.

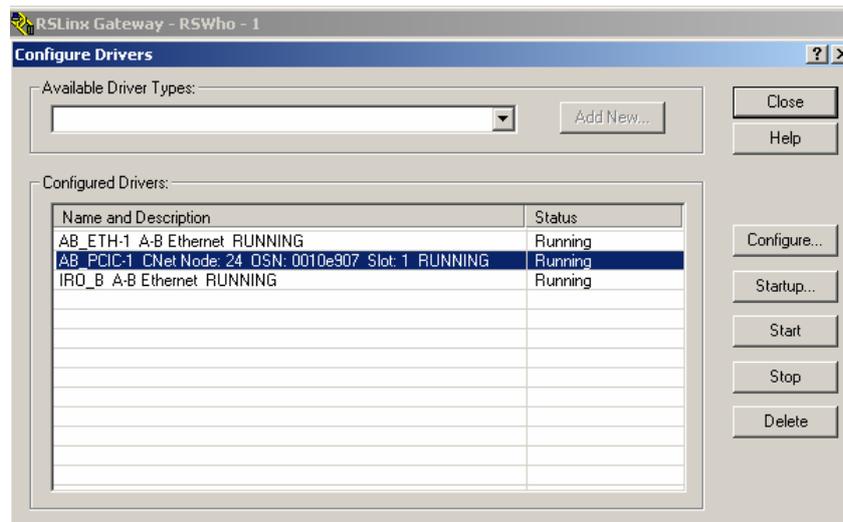


Figura 4. 1. Configuración de Drivers en RSLinx

2. Hacer click en Communications, RSWho y verificar que en la pantalla aparezcan todos los módulos que se tengan conectados al chasis del PLC como se muestra en la Figura 4.2. En esta pantalla se muestra además el tipo de módulo que está conectado junto con el Slot que ocupa dentro del chasis.

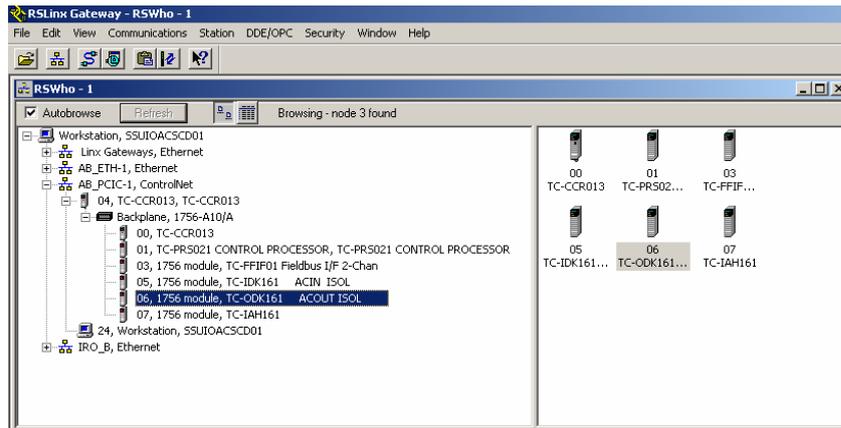


Figura 4. 2. Módulos conectados al chasis del PLC

3. Hecha la comunicación con RSLinx, se utiliza otra herramienta proporcionada por PlantScape denominada **Network Tools**. En esta se hace click en resume como se muestra en la Figura 4.3 y se espera un tiempo determinado hasta que la PC realice el pooling (reconocimiento de todas las tarjetas externas).

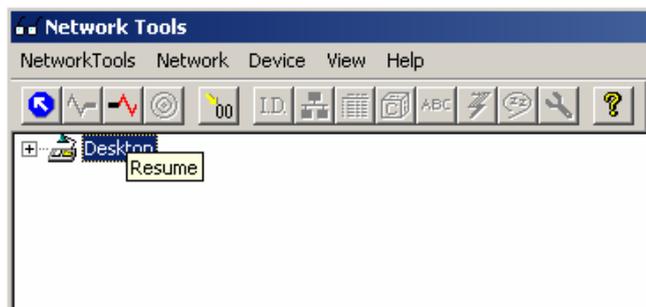


Figura 4. 3. Pantalla Inicial de Network Tools

4. Una vez hecho el reconocimiento, se verifica que el firmware esté actualizado en todos los módulos para que no se provoque algún error posterior por la comunicación. En el caso de que no se cumpla lo anterior, la versión en el módulo aparece en rojo. Para cargar el nuevo firmware, con el botón derecho del mouse se hace click en el módulo que se quiere cargar, y se selecciona update firmware from file como se muestra en la Figura 4.4. Estos archivos los provee honeywell el momento de adquirir el equipo.

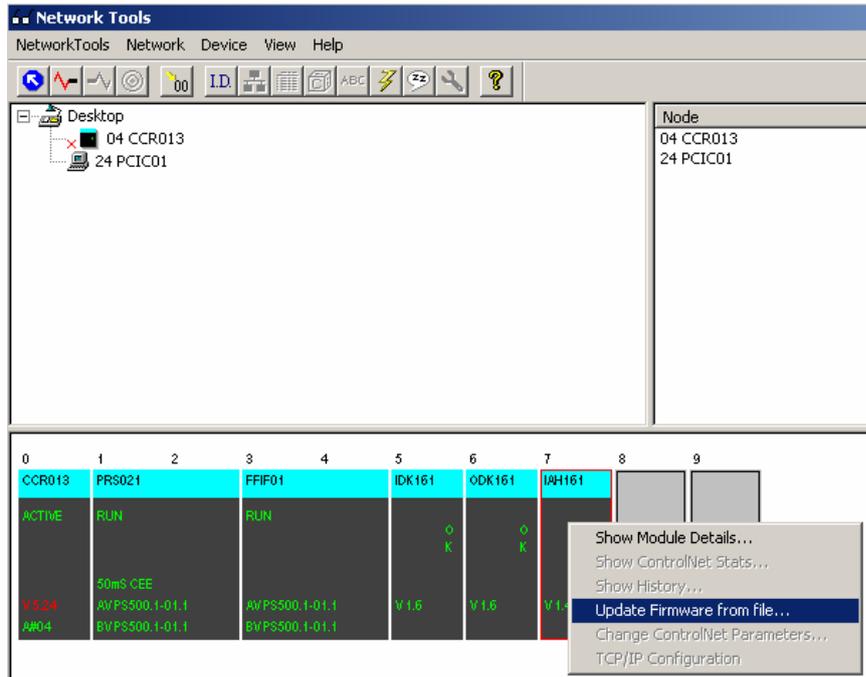


Figura 4. 4. Actualización del Firmware en los módulos

3. Hacer click en settings e ingresar el número de slots del chasis como se muestra en la Figura 4.5. En este cuadro se puede ver también la dirección MAC asignada por la PC. Esta dirección es la que se asigna a la tarjeta CNI (Interface ControlNet) en el chasis.

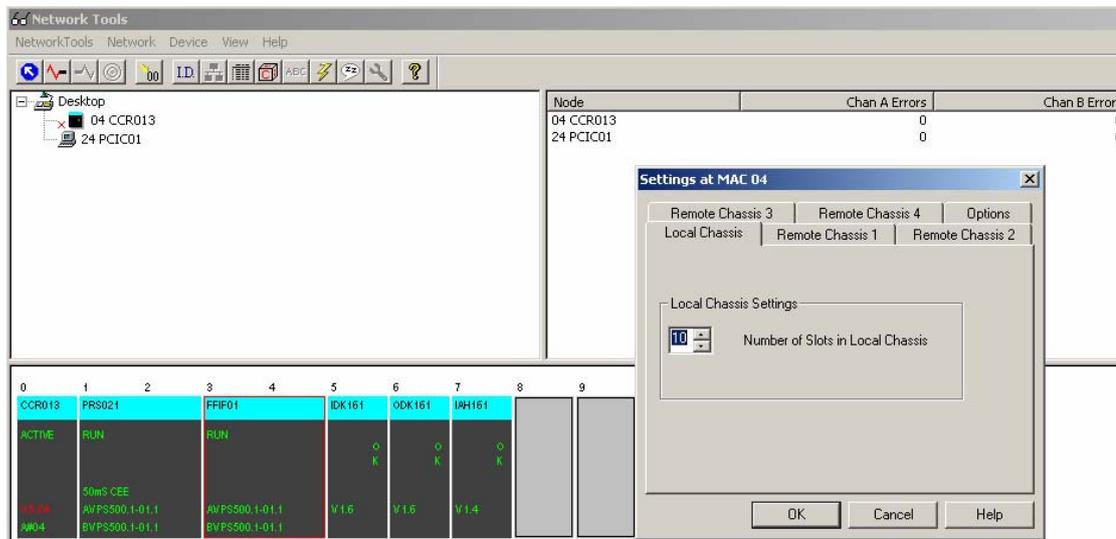


Figura 4. 5. Ingreso del número de slots del chasis

### 4.5.2. Creación y Configuración de un CPM

Para realizar las pruebas respectivas de los transmisores se utiliza una herramienta de configuración de PlantScape denominada **ControlBuilder** como se explicó en el capítulo 3, el cual permite configurar los dispositivos en el controlador C200 de Honeywell. En este primeramente se crea un nuevo Módulo del Procesador de Control (CPM) el cual automáticamente genera un Ambiente de Ejecución de Control (CEE) que representa el procesador C200 y permite realizar todo el trabajo a través de los bloques funcionales para aplicaciones de control. El procedimiento es el siguiente:

1. Click en File, New, Controllers, CPM200 – Control Processor Module para realizar la respectiva configuración de sus parámetros como se muestra en la Figura 4.6.

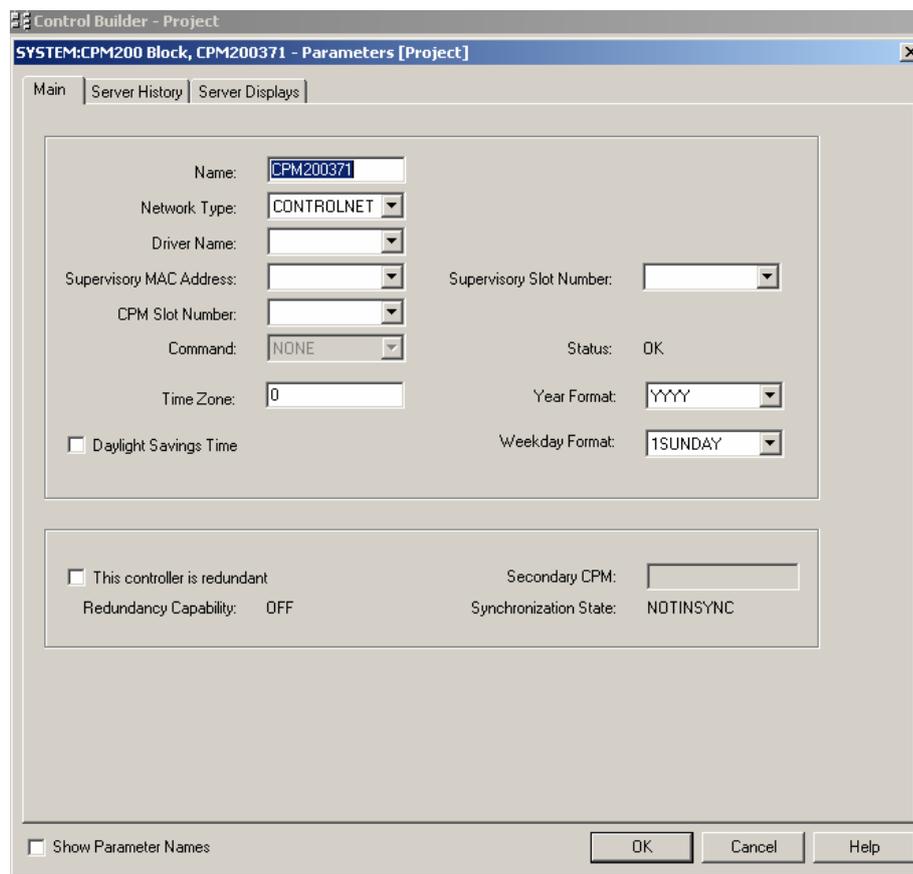


Figura 4. 6. Ventana de Parámetros de Configuración del CPM

2. En el campo de Name, se escoge un nombre para poder identificar el procesador. Este nombre no puede exceder de los 16 caracteres.

3. En Network Type se selecciona ControlNet.

4. En Driver Name se selecciona AB\_PCIC\_1. En caso de no aparecer ninguna opción, se debe continuar con el paso 4.1, caso contrario con el paso 5.

4.1. Ingresar a IO Tools a través de PlantScape Engineering Tools como se muestra en la Figura 4.7.

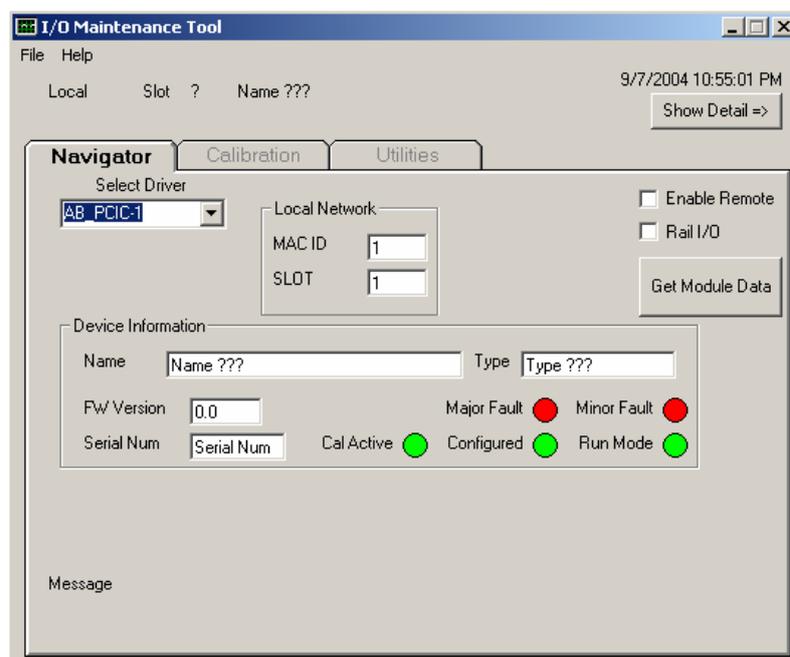


Figura 4. 7. Selección del Driver en IO Tools

4.2. En la pestaña Navigator, en el campo de Select Driver, se escoge AB\_PCIC-1 y se hace click en el botón Get Module Data.

5. En Supervisory MAC Address, se escoge la dirección asignada al CNI. Esta dirección como ya se explico anteriormente en la comunicación se la obtiene de Network Tools. Para este caso se escoge 04 que es la dirección MAC asignada por la PC.
6. En el campo de Supervisory Slot Number, se selecciona el Slot en el que se encuentra ubicado el módulo CNI en el chasis. **Tomar en consideración que la numeración empieza desde 0.**
7. En CPM Slot Number, se escoge el Slot donde se encuentra ubicado el módulo del procesador. Puesto que el módulo ocupa dos slots, hay que asignarle el de su izquierda.
8. Los demás espacios se los deja por default, ya que no se los utiliza en la aplicación. Tal es el caso como el check box del controlador redundante donde se lo deja sin activar puesto que no se lo está utilizando. Con esto se concluye la configuración de parámetros como se muestra en la Figura 4.8.

SYSTEM:CPM200 Block, CPM200375 - Parameters [Project]

Main | Server History | Server Displays

Name: CPM200375  
Network Type: CONTROLNET  
Driver Name: AB\_PCIC-1  
Supervisory MAC Address: 04  
Supervisory Slot Number: 00  
CPM Slot Number: 01  
Command: NONE  
Status: OK  
Time Zone: 0  
Year Format: YYYY  
Weekday Format: 1SUNDAY  
 Daylight Savings Time

This controller is redundant  
Redundancy Capability: OFF  
Secondary CPM:   
Synchronization State: NOTINSYNC

Show Parameter Names

OK Cancel Help

Figura 4. 8. Configuración de Parámetros del CPM

10. Una vez creado el CPM, automáticamente se genera el CEE como se muestra en la Figura 4.9, entonces se debe proceder a configurar sus parámetros haciendo click derecho en el bloque CEE. Debido a la aplicación, es recomendable dejar los valores asignados por default.

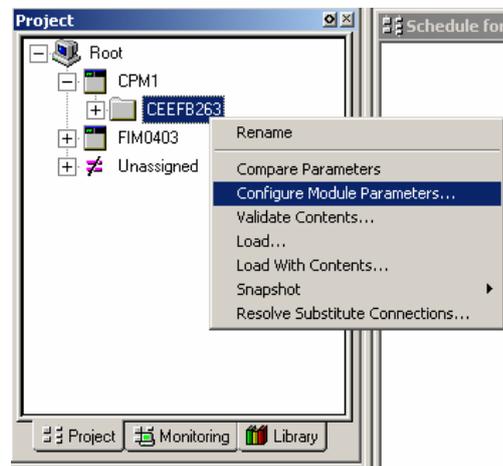


Figura 4. 9. Ambiente de Ejecución de Control (CEE)

#### 4.5.3. Configuración de los Módulo I/O

Para agregar los módulos que se encuentran conectados en el chasis al CEE, se lo puede hacer de dos formas:

- Haciendo click en New, I/O Modules, IOMODULE, y en el módulo que se va a configurar como se muestra en la Figura 4.10.

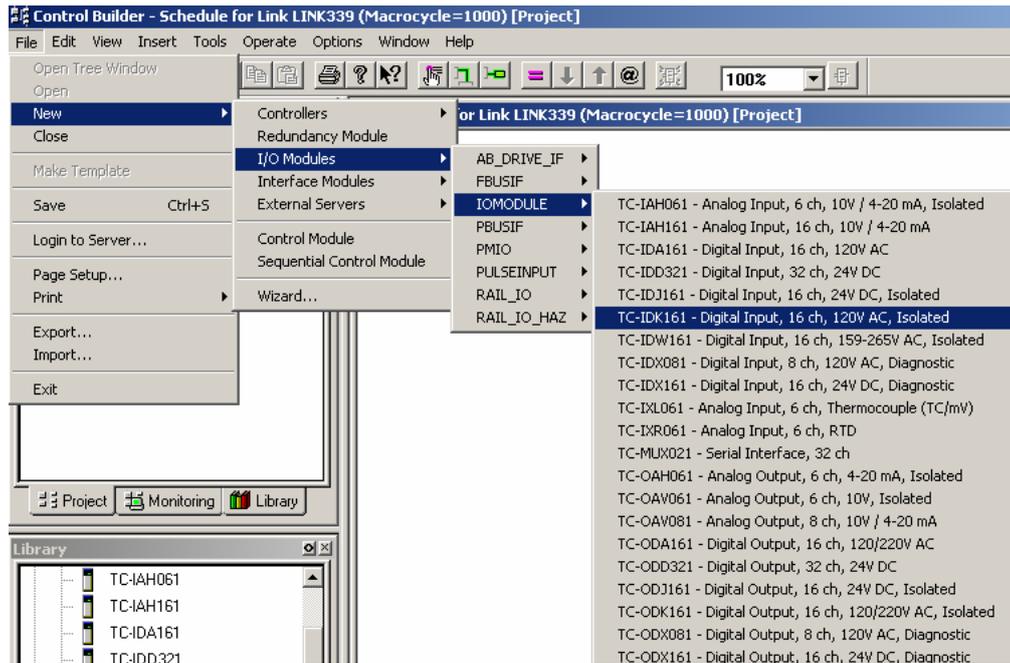


Figura 4. 10. Selección de Módulos para el CEE

- Utilizando la librería del Control Builder, seleccionando el I/O Module y arrastrándolo hasta la ventana de proyecto como se muestra en la Figura 4.11.

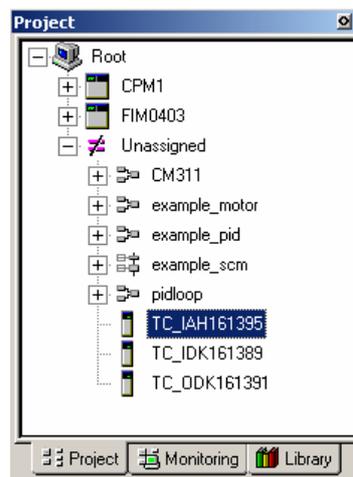
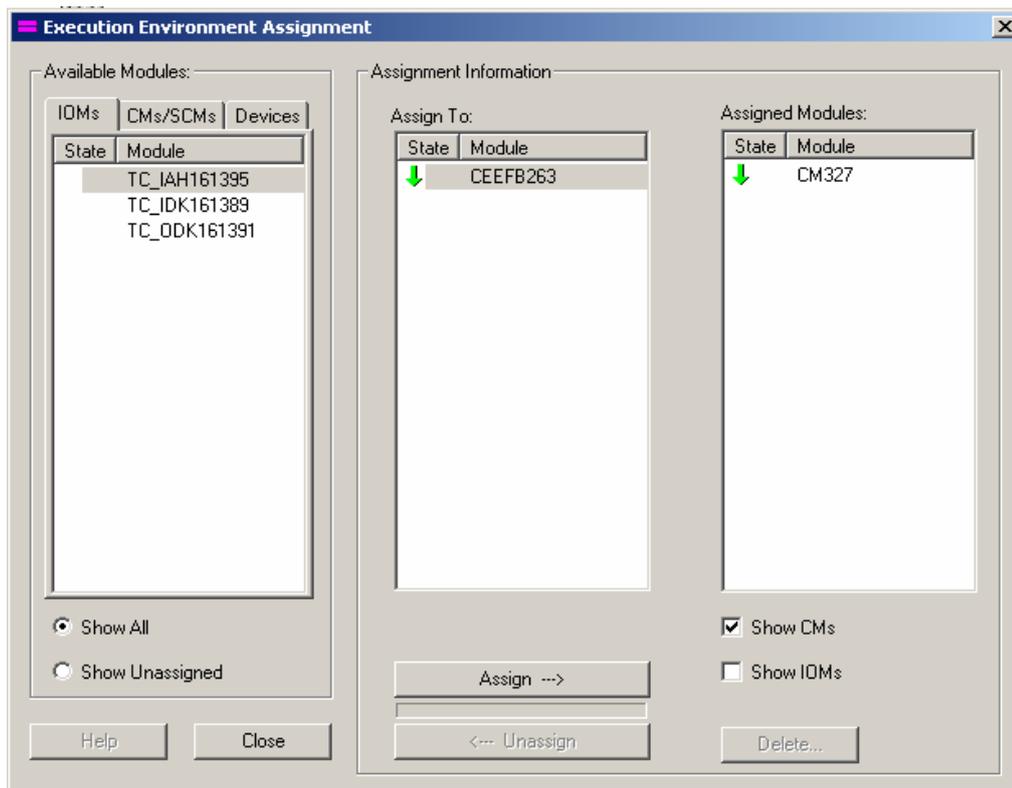


Figura 4. 11. Selección de Módulos a través de la librería

Una vez que se agregan los módulos, estos se ubican en la parte de no asignados, por tal razón para agregarles al CEE se realiza lo siguiente:

1. Hacer click en  , seleccionar el módulo que se quiere agregar, seleccionar el CEE en la ventana de Assign to: y hacer click en el botón Assign como se muestra en la Figura 4.12.



**Figura 4. 12. Asignación de los Módulos I/O al CEE**

2. Hacer doble click en el módulo que se quiere configurar. En el campo de IOM Slot Number se selecciona el Slot donde se encuentra ubicado el módulo de I/O a modificar. Puesto que no se posee un chasis remoto, en Remote IO chasis se deja el valor de 0 que tiene por default. En ControlNet Module Slot Number se escribe el número del Slot en donde se encuentra ubicado el módulo de CNI en el chasis. La Figura 4.13 muestra lo anteriormente mencionado.

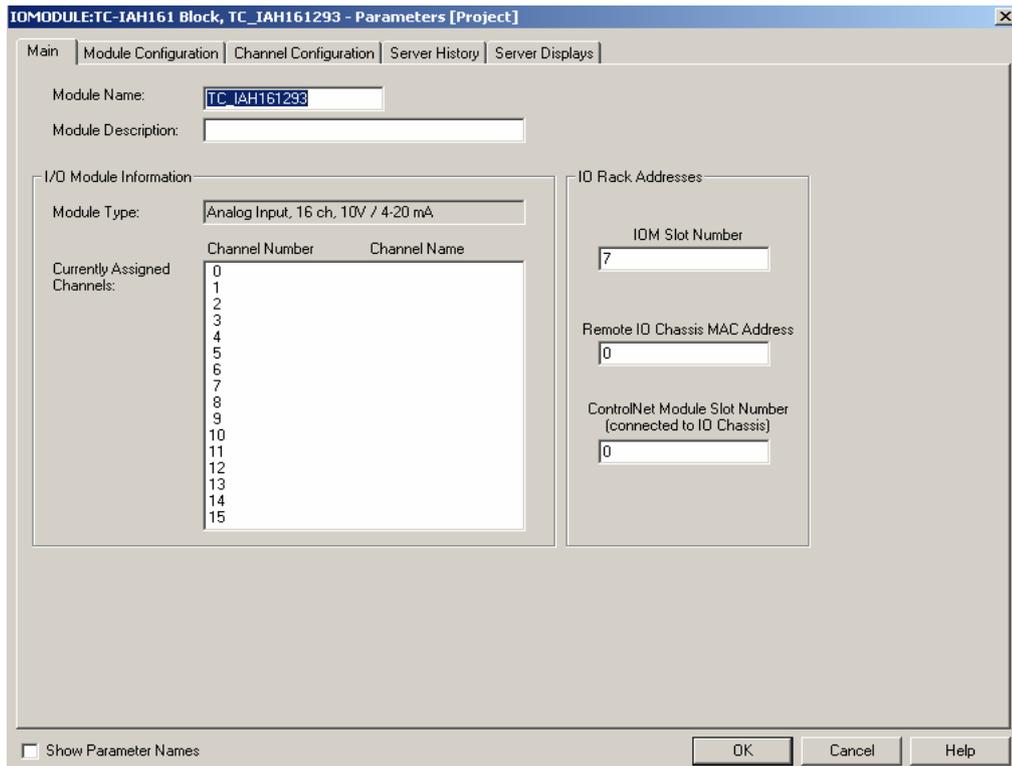


Figura 4. 13. Configuración de Parámetros de los Módulo I/O

#### 4.5.4. Componentes del Sistema de Control

Para cargar el CPM junto con el CEE es necesario seguir el siguiente procedimiento:

1. Hacer click en el bloque CPM, y luego en Tools, Load. También se lo puede hacer con el botón rápido de load .
2. Hay ocasiones en las que en el momento de descarga al PLC se presentan algunos errores como se muestra en la Figura 4.14, para lo cual se debe cancelar y arreglar estos errores. Cabe mencionar que cada mensaje incluye un código de error entre paréntesis. Lo aconsejable es buscar acerca de ese código en el documento de apoyo denominado **Knowledge Builder**, proporcionado por PlantScape.

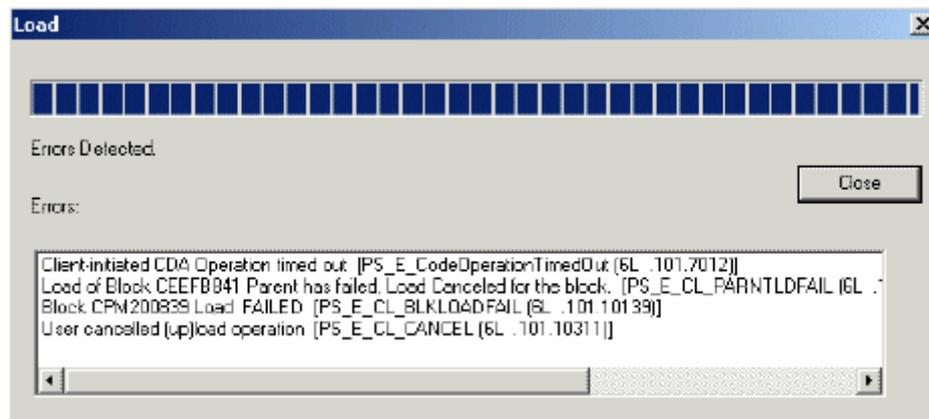


Figura 4. 14. Errores detectados al cargar el CPM al PLC

3. Si la descarga no tiene errores, los íconos de CPM, CCE así como los de sus módulos aparecen en la pestaña de Monitoring. Cuando los íconos están verdes, significa que están activos. De esta manera se puede trabajar con el PLC en línea como se muestra en la Figura 4.15

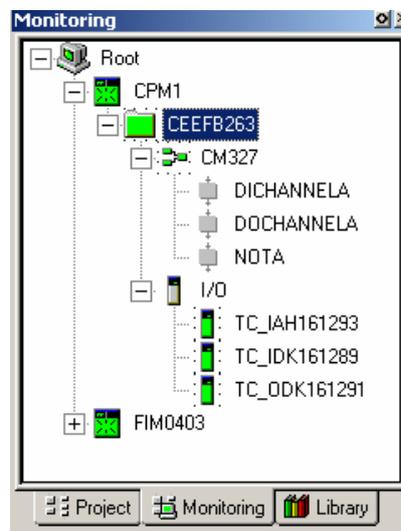


Figura 4. 15. Ventana de Monitoreo del PLC en línea

#### 4.5.5. Configuración de Componentes Fieldbus en el Sistema de Control

El Control Builder incluye una herramienta denominada *Fieldbus Library Manager*, la cual tiene la capacidad de crear templates para los dispositivos fieldbus a través de los archivos de Descripción del Dispositivo (DD).

Cada dispositivo fieldbus tiene una template definido para ver y definir los atributos configurables de sus principales funciones.

#### 4.5.5.1. Módulo de Interface Fieldbus (FIM).

Para crear un nuevo bloque del Módulo de Interface Fieldbus (FIM) a un proyecto del Control Builder se realiza el siguiente procedimiento:

1. Hacer Click en New, Interface Modules, FIM-Fieldbus Interface Module como se muestra en la Figura 4.16.

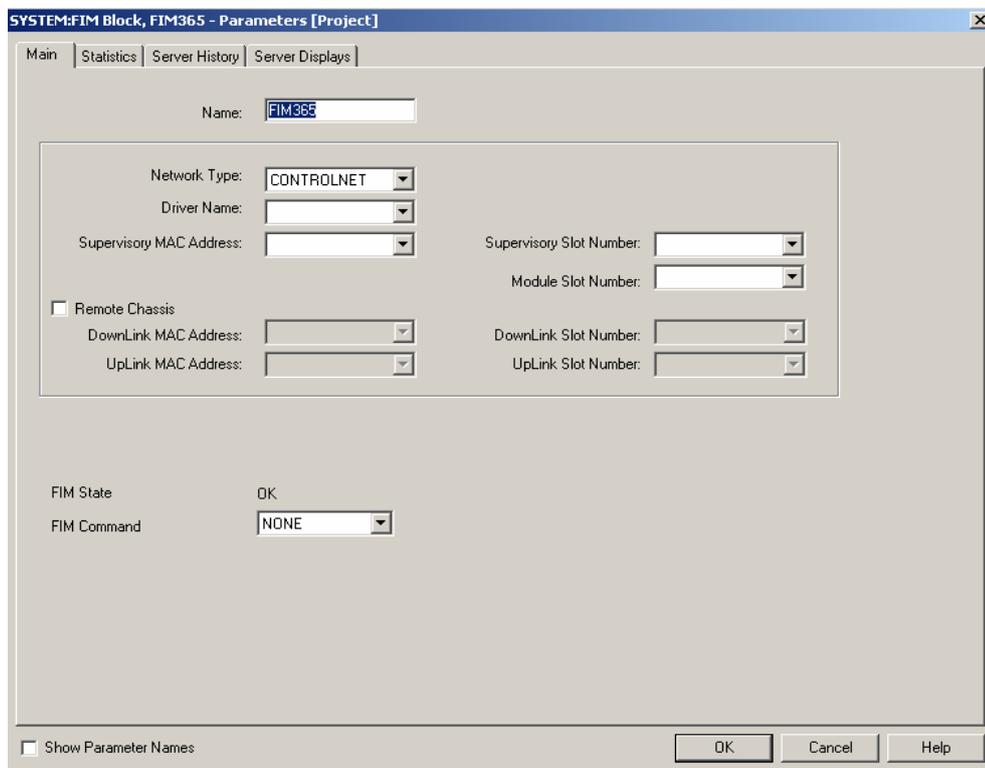


Figura 4. 16. Configuración de Parámetros del FIM

2. En el campo de Name, se escoge un nombre para poder identificar al módulo de interface. Este nombre no puede exceder de los 16 caracteres.

3. En Network Type se selecciona ControlNet.
4. En Driver Name se selecciona AB PCIC\_1.
5. En Supervisory MAC Address se escoge la dirección asignada al CNI. Para este caso 04 que es la dirección MAC asignada por la PC.
6. En Supervisory Slot Number se selecciona el Slot en el que se encuentra ubicado el módulo CNI en el chasis.
7. En CPM Slot Number se escoge el Slot donde se encuentra ubicado el módulo del procesador.
8. Los demás espacios se los deja por default, ya que no se los utiliza en la aplicación.

#### **4.5.5.2. Archivos de Descripción del Dispositivo (DD) Fieldbus.**

Para el reconocimiento de los dispositivos fieldbus se necesita los archivos DD dados por el fabricante, los mismos que tienen la siguiente extensión:

- \*.FFO es el DD binario
- \*.SYM es el archivo simbólico del dispositivo
- \*.CFF es el archivo de la capacidad del dispositivo

Con estos archivos se crean plantillas mediante la herramienta de ingeniería denominada Fieldbus Library Manager (FLM). Estas plantillas se graban en una base de datos de la cual el Control Builder tiene acceso a través de su librería.

Cuando se conectan los dispositivos fieldbus a la red, el LAS se encarga de autodetectar los dispositivos recién conectados o los que están fallando, configurando así un sistema plug and play.

Cuando los dispositivos presentan alguna falla, en la pantalla de visualización aparecen con un signo de interrogación como se muestra en la Figura 4.17.

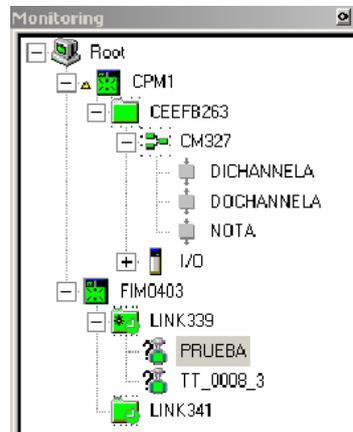


Figura 4. 17. Visualización de Dispositivos Fieldbus en mal estado

## 4.6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Una vez realizadas todas las pruebas, a partir de los datos obtenidos y de los equipos utilizados así como el software de apoyo, se presenta el respectivo análisis que permite determinar las fallas de la red para posteriormente detallar las acciones correctivas las mismas que se deben tomar en consideración para tener una red totalmente operativa.

### 4.6.1. Análisis de Voltaje y Corriente

De las mediciones obtenidas se puede observar que un problema muy crítico es la caída de voltaje en la red, lo cual afecta principalmente a los transmisores que funcionan con un mínimo de 9Vdc. A partir de la Tabla 4.4 se puede apreciar que el voltaje disminuye aproximadamente 2Vdc cuando se conecta un transmisor. De igual manera de la Tabla 4.5 al sacar un promedio del consumo de corriente de cada transmisor se obtiene un valor de 22.945 mA.

La Figura 4.18 muestra la gráfica de disminución de voltaje de acuerdo al número de dispositivos conectados. Como se puede ver la variación es prácticamente lineal, por lo tanto se puede hacer una estimación del voltaje presente en el bus con determinado número de dispositivos.

De la misma manera, la Figura 4.19 muestra la corriente de acuerdo al número de dispositivos conectados al bus. Al conectar cuatro dispositivos el consumo de corriente es de 73.2 mA, lo cual implica que es el número máximo que se pueden conectar a la red, puesto que la capacidad del aislador galvánico MTL 4053 es de 80mA.



Figura 4. 18. Voltaje del Bus de acuerdo al número de dispositivos conectados



Figura 4. 19. Corriente en el Bus de acuerdo al número de dispositivos conectados

Un dato muy importante fue el valor de 3.20 mA obtenido cuando no estaba conectado ningún transmisor, el mismo que afecta en cierto porcentaje a la caída de voltaje puesto que la red instalada se encuentra en un área IS donde los valores de voltaje y corriente son mínimos. Por lo tanto, este valor da a conocer que los concentradores consumen aproximadamente 1.5 mA cada uno (FCS-TI, FCS-E) el cual es considerable por la pequeña capacidad del MTL 4053.

Cabe destacar que al realizar las mediciones con el Multímetro True RMS FLUKE 87 III no es posible medir la existencia del tráfico de datos, el cual permite saber si los dispositivos están funcionando correctamente, por tal razón se necesitan equipos diseñados para este propósito como los módulos FBT.

Para determinar las razones por las cuales el voltaje disminuye se realizó el circuito equivalente de la red con todos los componentes conectados como se muestra en la Figura 4.3 y 4.4. Como se puede ver, la Barrera MTL 4053 incluye el voltaje de salida de 18.4 V con su impedancia de 105Ω.

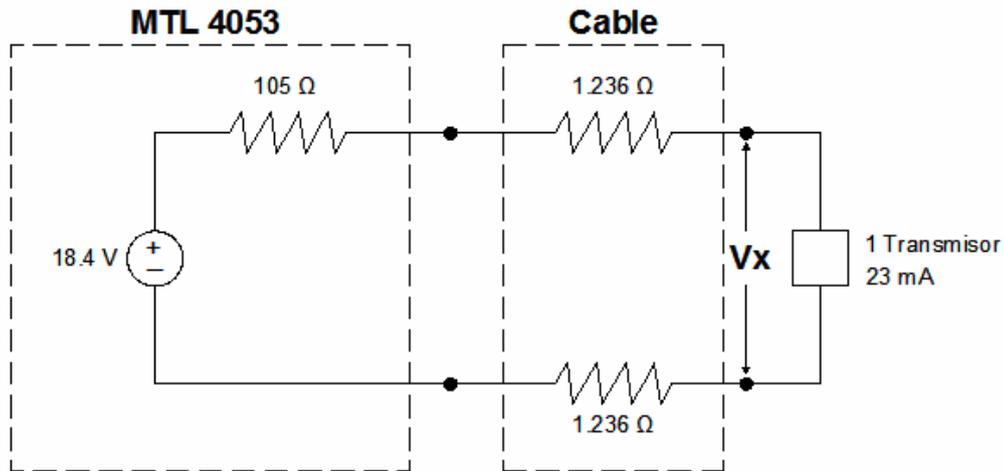


Figura 4. 20. Circuito equivalente de la red para la conexión de un transmisor

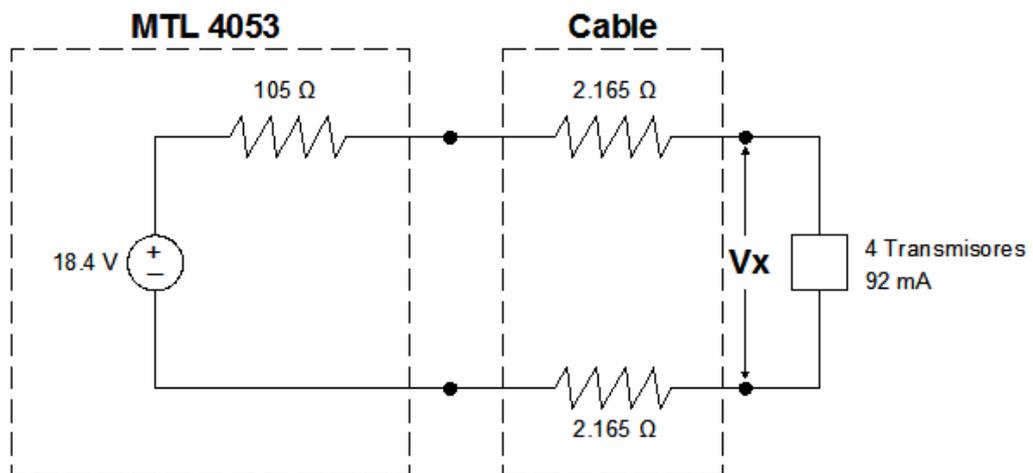


Figura 4. 21. Circuito equivalente de la red para la conexión de cuatro transmisores

La resistencia del cable se puede calcular de acuerdo a sus características técnicas (Ver Tabla 3.2) y a los datos de la Tabla 4.1

- Para la conexión de un transmisor:

Resistencia en cada cable =  $7.32 \Omega/1000 \text{ ft.}$

Longitud (Rack LP-J1301 hasta Transmisor PT-0003-0) = 168.81 ft.

Resistencia del cable en la red =  $1.236 \Omega$

- Para la conexión de cuatro transmisores:  
 Longitud Segmento 4 Zona 1 = 295.72 ft.  
 Resistencia del cable en la red = 2.165  $\Omega$

De acuerdo a la ley de Ohm se tiene que  $V = I \times R$ . De esta manera se puede calcular el voltaje que cae sobre los dispositivos.

Según las especificaciones, los transmisores consumen aproximadamente 20 mA, pero de los datos obtenidos el consumo promedio es de 23 mA, por lo tanto se obtiene lo siguiente:

- Para la conexión de un transmisor  

$$V_x = 18.4 \text{ V} - (23 \text{ mA}) \times ((105 + 1.236 \times 2) \Omega)$$

$$V_x = 18.4 - (0.023) \times (107.472) \text{ [V]}$$

$$V_x = 15.92 \text{ [V]}$$
- Para la conexión de cuatro transmisores  

$$V_x = 18.4 \text{ V} - (4 \times 23 \text{ mA}) \times ((105 + 2.165 \times 2) \Omega)$$

$$V_x = 18.4 - (0.092) \times (109.33) \text{ [V]}$$

$$V_x = 8.431 \text{ [V]}$$

Al conectar cuatro transmisores se puede observar que el valor obtenido es inferior al voltaje mínimo para que los transmisores operen correctamente, lo cual está limitado por la capacidad de la barrera MTL 4053 al tener una impedancia demasiado alta. Por tal razón, se puede decir que la máxima cantidad de transmisores que se pueden conectar a la red para que funcione correctamente está limitada a tres dispositivos por segmento.

#### 4.6.2. Análisis de las mediciones del FBT-4

De estos datos se puede observar que el módulo consume aproximadamente unos 15 mA.

Además, al conectar el transmisor de presión, el LED de voltaje se apagó, lo cual indica que no se pueden conectar más dispositivos al bus por no haber la suficiente cantidad de voltaje para hacerlo. En este caso puesto que el LAS puede ser asumido por cualquier dispositivo, existe tráfico de datos pero no se puede asegurar que todos los transmisores se encuentren en perfecto estado.

#### 4.6.3. Análisis de las mediciones del FBT-3

De estos datos se puede observar el módulo FBT-3 consume aproximadamente 10 mA, y representa un equipo importante, puesto que al conectarlo se cayó la red. Esto se ve reflejado en la medida de voltaje al conectar los dos últimos transmisores, ya que el voltaje mínimo requerido por un transmisor es de 9 V.

Al conectar el equipo sin tener conectado ningún transmisor, no apareció ningún valor en el LAS, lo cual está correcto puesto que no se está enviando ningún tipo de información por el bus. Posteriormente cuando se conectaron los demás dispositivos, el LAS existía pero tampoco se puede saber el daño de algún dispositivo. Con esto se concluye que el LAS, se lo puede medir directamente con la señal **SIGNAL** del módulo FBT-4.

Al conectar el transmisor de temperatura TT-0008-3, el equipo no lo reconoció como dispositivo, como se puede ver en la Tabla 4.7. De aquí hubo la necesidad de probar el dispositivo individualmente con lo que se comprobó que estaba dañado. Esto se lo puede observar en los datos de la Tabla 4.13 y Tabla 4.14, que muestran la avería del transmisor.

Tabla 4. 13. Mediciones realizadas con el probador FBT-4 sobre el Transmisor TT-0008-3

TRANSMISOR TT-0008-3			
Reversed	-	LED	- Apagado
Voltage	+		+ Encendido
Signal	-		~ Parpadeante

Tabla 4. 14. Mediciones realizadas con el monitor FBT-3 sobre el Transmisor TT-0008-3

TRANSMISOR TT-0008-3	
Volts	14.2
LAS	---
Device	0 - 2
Low	--/---
Noise AV	0
Noise PK	77
New FB	--/---
Invert	--

Con este equipo se pudo comprobar que el transmisor TT-0008-3 se encontraba en mal estado, pese a que también consume energía en el bus.

De los datos tomados en el segmento 1 de la Zona 5 en la caja de interconexión JB1405AA, el cable que va al transmisor PT402AF se encontraba desconectado, por esta razón no se muestra ningún dato de éste en la Tabla 4.10. Además al observar esto, fue necesario revisar todas las cajas de interconexión de la red con lo cual los cables que se encontraban desconectados pertenecían a las señales que se muestran en la Tabla 4.15.

**Tabla 4. 15. Señales a las que pertenecen los cables desconectados de la red**

<b>Caja de interconexión</b>	<b>Señales (cables desconectados)</b>
JB1401AA	TT-5204
JB1401BA	TT-1434A
JB1401AB	TT-2724
JB1405AA	PT-0402A
JB1405AB2	TT-0506B
	PT-0402B

#### 4.6.4. Análisis del Banco de Pruebas

La implementación del banco de pruebas permitió determinar otras fallas que afectan al funcionamiento de la red. La primera tiene que ver principalmente a la comunicación con el FIM del controlador C200 y la segunda al funcionamiento de los transmisores.

En lo que se refiere a la comunicación, el firmware de los módulos FIM se encontraba desactualizado en el rack LP - J1301. Esto se lo puede observar ya sea a través de software mediante **Network Tools**, o directamente en el hardware ya que posee un display con cuatro caracteres y tres LEDs de dos colores al frente del panel. La Tabla 4.16 presenta la interpretación de los mensajes que pueden aparecer en el display del módulo FIM.

**Tabla 4. 16. Interpretación de los mensajes del display del módulo FIM**

LED de enlace 1 o 2	Display de 4 caracteres	Síntoma
Apagado o Parpadeante Rojo	X- - -	Apagado
Parpadeante Verde	X - FW	Cargando firmware
Parpadeante Rojo	X - FE	Error al cargar firmware
	X - CE	Error de inicialización de la comunicación
Parpadeante Verde o Apagado	X - CI	Iniciando comunicación con los dispositivos fieldbus
	X - YY	Comunicación con dispositivos fieldbus

En lo que se refiere al estado de los dispositivos, mediante el monitoreo a través de la herramienta de configuración **Control Builder** es posible determinar los transmisores que se encuentran en mal estado. Con esto se probaron todos los transmisores de la red en el banco de pruebas para determinar los que presentaban falla. La Tabla 4.17 muestra los diferentes transmisores que no funcionaron correctamente.

**Tabla 4. 17. Transmisores que se encuentran en mal estado**

Transmisores en mal estado	Ubicación en la planta
TT-5222	E1060 A/B
TT-0008-2	R-1187
TT-0008-3	R-1189
PT-0402A	V-1107A
PT-0402B	V-1107B

Una vez determinado los transmisores que presentan falla, se analizó la posibilidad de repararlos pero debido a su complejidad en el circuito y a la manera de llegar a este puesto que es prácticamente una caja negra al estar completamente sellado, se pudo concluir que la mejor solución es adquirir nuevos transmisores.

## **CAPÍTULO 5**

### **PROPUESTA TÉCNICA**

#### **5.1. ACCIONES CORRECTIVAS**

Para determinar las acciones correctivas se tomó como base el análisis de resultados de las pruebas técnicas y el proceso, así como el análisis FMEA y FMEDA de la red. A continuación se detallan las diferentes acciones que se deben tomar para tener una red totalmente operativa.

##### **5.1.1. En base a la recolección de datos**

Con los equipos de pruebas se puede realizar una gran cantidad de mediciones para identificar el problema en la red. Las más importantes son las siguientes:

- Voltaje
- Nivel de Señal
- Ruido
- Retransmisiones

La forma más fácil de tomar los datos anteriormente mencionados es la utilización del módulo FBT-3. Por lo tanto, antes de realizar las mediciones, es necesario identificar si el problema es de un solo dispositivo, de múltiples dispositivos, o de todos los dispositivos conectados a la red.

Si un dispositivo presenta un problema, los datos se los debe tomar solamente desde el dispositivo. Si el problema es en múltiples dispositivos, la medición se la debe realizar en varios puntos de la red, principalmente en el rack donde se encuentra instalada la RTP o al final del segmento de la red.

#### **5.1.1.1. Voltaje.**

Un dispositivo con voltaje inadecuado puede tener diferentes comportamientos. Los posibles síntomas para que suceda esto son las retransmisiones, la adición de nuevos dispositivos, así como el retirar dispositivos ya instalados en la red.

El voltaje DC sobre la red varía dependiendo de la fuente de alimentación instalada y del punto donde se realiza la medición, además se debe tomar en cuenta que la resistencia del cable, terminadores y bloques de interconexión producen caída de voltaje. Por lo tanto se debe asegurar que el voltaje no sea menor a los 9 Vdc o mayor a los 32 Vdc que es el rango de operación de los dispositivos fieldbus.

Por todo esto cabe recalcar que de la caja de interconexión JB1405AB2 perteneciente al segmento 1 de la Zona 5 se reparte la energía a tres dispositivos. Uno de ellos sale del terminador, y los otros dos del bloque de expansión, por lo tanto se debe retirar el bloque FCS-E-PL ya que también produce una pequeña caída de voltaje, y conectar los dos dispositivos que salen de él al terminador puesto que el bloque FCS-TI-PL provee cuatro puntos de conexión.

De la misma manera sucede en las cajas de interconexión JB1405AA perteneciente al segmento 2, JB1405BB2 perteneciente al segmento 3 y JB1405BA perteneciente al segmento 4, todas de la Zona 5. De la caja JB1405AA la energía se reparte a tres dispositivos y de las cajas JB1405BB2 y JB1405BA a dos dispositivos. En este caso, se debe retirar los bloques de expansión puesto que no son necesarios.

### 5.1.1.2. Nivel de Señal.

El nivel de señal de un dispositivo indica la capacidad de éste para comunicarse con otros dispositivos. Si el bus tiene demasiado ruido, los demás dispositivos no lo pueden reconocer.

En la caja de interconexión JB1405BB1, se encuentran instalados un bloque terminador y uno de expansión. En este caso se debe retirar los dos, puesto que está provocando una reducción en el nivel de la señal al poseer el segmento tres terminadores. En este caso es necesario instalar un bloque spur de la serie FCS-S-PL, para evitar este problema.

En la caja de interconexión JB1405AB1 se encuentra instalado un bloque Spur innecesario. La señal que llega a este bloque se la envía a la caja JB1405AA sin repartirla a ningún dispositivo. Esto se lo puede hacer enviando el cable directamente del rack LP-J1305 a la caja JB1405AA.

### 5.1.1.3. Ruido.

El ruido puede interferir con la señal en el bus provocando que se la comunicación se interrumpa o se pierda. El ruido aparece principalmente cuando no se realiza una buena conexión a tierra, o cuando el cable de la red fieldbus se encuentra cerca de otros cables (especialmente los cables de alta tensión).

El ruido pico indica que hay un nivel elevado de ruido detectado por el probador. El elevado valor pico con bajo valor promedio indica que la red está experimentando impulsos de ruido. Las causas más comunes de estos impulsos son el instalar la red cerca de equipos de alta potencia que tienen un control on/off (por ejemplo soldadoras, bombas, motores, etc.) así como tener cables sueltos o flojos en a red. Como el cableado de la red no se encuentra cerca de equipos de alta potencia el ruido es mínimo por lo cual no interfiere con la operación eficiente de la misma.

#### **5.1.1.4. Retransmisiones.**

Los dispositivos Foundation Fieldbus se comunican uno a la vez sobre el bus enviando mensajes desde uno hacia otro. Algunos mensajes enviados desde un dispositivo (fuente) a otro (destino) requieren una respuesta del dispositivo destino. Si este último no envía una respuesta, la fuente envía el mensaje nuevamente. Por lo tanto, las retransmisiones se refieren a los mensajes que deben ser enviados nuevamente.

Las retransmisiones son un buen indicador del comportamiento de la red. Además se pueden producir con diferentes problemas potenciales en la capa física, incluyendo un elevado nivel de ruido en el bus, un bajo nivel de señal, y un bajo nivel de voltaje sobre el bus.

El módulo FBT-3 indica las retransmisiones en la función DEVICE. Cuando ocurre una retransmisión, el dispositivo desaparece de la lista de “dispositivos” que tiene internamente el probador FBT-3. Esto causa que el total de elementos se muestre en la pantalla DEVICE por un momento hasta que se normalice. Cuando se añade uno nuevo, aparece un símbolo + o – en la pantalla y luego desaparece.

#### **5.1.2. En base al proceso**

De acuerdo al proceso, en la etapa de los lanzadores se encuentran instalados transmisores de temperatura. En estos lanzadores se envía el agua que proviene de la separación nuevamente a los wellpads, que mediante bombas vuelven a inyectar el agua en los pozos. Por tal razón, no es necesario conocer la temperatura ya que ese dato no aporta en el proceso y no realiza ningún tipo de control. De esta manera, convendría retirar los transmisores TT-1434A y TT-1434B instalados en los lanzadores LT-1186 y LT-1188 e instarlos donde existían transmisores de temperatura con avería como son los TT-0008-2 y TT-0008-3 que se encuentran en los recibidores R-1187 y R-1189.

Al realizar esto se puede retirar el bloque de expansión de la caja de interconexión JB1401BB perteneciente al segmento 4 de la Zona 1 ya que permanecerían solamente dos dispositivos.

### 5.1.3. En base a los análisis FMEA y FMEDA

Con los análisis realizados, las Tablas 5.1 y 5.2 muestran las acciones correctivas con su respectivo NPR, para de esta manera, como ya se explico anteriormente dirigirse a los problemas que tienen un mayor grado de ocurrencia y severidad. En este caso no se consideró el primer análisis FMEA con respecto a las señales, puesto que su acción correctiva que es la optimización de la red es la misma para cada función.

**Tabla 5. 1. Acciones Correctivas respecto a la operación de la Red Fieldbus**

<b>NPR</b>	<b>Causas</b>	<b>Modos de Falla</b>	<b>Acciones Correctivas</b>
15	Dispositivo Fieldbus en mal estado	Alto nivel de ruido	Inspeccionar el cable y las conexiones en la red
15	Componentes de la capa física en mal estado (fuente de alimentación, terminadores, bloques de interconexión)		Apretar bien los tornillos de los conectores en todos los terminales
10	Segmento no se encuentra aislado de tierra		Verificar si el segmento está energizado por una sola fuente de alimentación aislada
5	El cable se encuentra localizado cerca de un cable que produce ruido		Tomar medidas del ruido en multiples puntos sobre la red para identificar el ruido mas alto y localizarlo
5	La terminación en el cable está floja		Desconectar los dispositivos uno por uno y observar si el ruido desaparece. Reemplazar los terminadores, fuente de alimentación, y bloques de interconexión
3	Conexón de un spur al segmento	Errores de Comunicación en un dispositivo	Usar el módulo FBT-3 para determinar si existen altos niveles de ruido, así como asegurarse que el voltaje sobre el dispositivo sea >9 Vdc.
12	No hay suficiente energía en el dispositivo		Inspeccionar el cableado y las conexiones del bloque de interconexión a los dispositivos observando cables sueltos o flojos
9	Dispositivo en mal estado		Poner el dispositivo sobre un spur diferente y reemplazar el dispositivo.
3	Ruido sobre el spur		

5	Cable en mal estado	Errores de comunicación en múltiples dispositivos	Determinar si la red está afectada en su totalidad o solamente en una sección. Usar el módulo FBT-3 para determinar si existen altos niveles de ruido, así como asegurarse que el voltaje sobre el bus sea >9 Vdc.
20	No hay suficiente energía en el dispositivo		Reemplazar los terminadores, fuente de alimentación, y bloques de interconexión
5	Ruido sobre el bus		
3	Mala conexión de un spur al dispositivo	Bajo nivel de señal en un dispositivo	Comprobar que el voltaje en el dispositivo sea >9 Vdc.
12	No hay suficiente energía en el dispositivo		Inspeccionar el cableado y la conexión del bloque de interconexión al dispositivo observando cables sueltos o flojos
9	Dispositivo en mal estado		Verificar que la longitud total del cable (longitud de segmento + longitud de todos los spurs) no exceda los 1900m y que la longitud de cada spur no exceda los 120m.
6	Conector del bloque de interconexión en mal estado		Poner el dispositivo sobre un spur diferente y reemplazar el dispositivo.
5	Existen muchos terminadores	Bajo nivel de señal en todos los dispositivos	Verificar que en la red se encuentren instalados solamente 2 terminadores por segmento.
5	Cable en mal estado		Comprobar que el voltaje de la fuente de alimentación y de los dispositivos más lejanos sea > 9 Vdc
20	No hay suficiente energía en los dispositivos		Observar que los LEDs en los bloques de interconexión se encuentren encendidos.
15	Componentes de la capa física en mal estado (fuente de alimentación, terminadores, bloques de interconexión)		Inspeccionar el cableado y las conexiones (fuente de alimentación, acondicionador, terminadores, etc.) observando cables sueltos o flojos.
			Reemplazar los componentes que se encuentran en mal estado (fuente de alimentación, acondicionador, terminadores, bloques de interconexión).
9	La resistencia del cable o de los conectores es muy alta.	Alto nivel de señal en un dispositivo	Inspeccionar el cableado observando cables sueltos o flojos.
9	Dispositivo en mal estado		Reemplazar el dispositivo.
9	Bloques de interconexión o Barreras fieldbus con alta resistencia		Alto nivel de señal puede ser monitoreado en un dispositivo que se encuentra conectado a una barrera fieldbus o a un spur de un bloque de interconexión con protección de corto circuito

5	Falla en los terminador	Alto nivel de señal en todos los dispositivos	Verificar que se encuentren instalados solamente 2 terminadores ( Tomar en cuenta que algunas fuentes/acondicionadores tienen instalados terminadores internos que son automáticos o se los puede activar con un switch).
5	Terminador conectado de manera incorrecta		Reemplazar los terminadores defectuosos o los productos que los contengan.
10	Falla en la fuente de alimentación		Reemplazar la fuente de alimentación
3	Mala conexión de un spur al dispositivo	Bajo voltaje DC en un dispositivo	Observar que los LEDs en los bloques de interconexión se encuentren encendidos.
12	No hay suficiente energía en el dispositivo		Inspeccionar el cableado y la conexión del bloque de interconexión al dispositivo observando cables sueltos o flojos
9	Dispositivo en mal estado		Poner el dispositivo sobre un spur diferente y reemplazar el dispositivo.
6	Conector del bloque de interconexión en mal estado		Verificar que la longitud del spur no exceda los 120m
3	Cable demasiado largo		Verificar que la longitud del cable entre el dispositivo con problema y cualquier otro dispositivo no exceda los 1900m Usar un calculador del segmento fieldbus para comprobar si el diseño está correcto Reemplazar el dispositivo.
5	Cable en mal estado	Bajo voltaje DC en toda la red	Observar que los LEDs en los bloques de interconexión se encuentren encendidos.
20	No hay suficiente energía en los dispositivos		Inspeccionar el cableado y las conexiones (fuente de alimentación, acondicionador, terminadores, etc.) observando cables sueltos o flojos.
15	Componentes de la capa física en mal estado (fuente de alimentación, terminadores, bloques de interconexión)		Desconectar un dispositivo a la vez mientras se monitorea el voltaje del bus.
5	Cable demasiado largo		Reemplazar los componentes que se encuentran en mal estado (fuente de alimentación, acondicionador, terminadores, bloques de interconexión).
			Verificar que la longitud del cable entre el dispositivo con problema y cualquier otro dispositivo no exceda los 1900m

3	Mala conexión de un spur al dispositivo	En el bus no se lo reconoce al dispositivo (no hay comunicación)	Comprobar que el voltaje en el dispositivo sea >9 Vdc.
12	No hay suficiente energía en el dispositivo		Inspeccionar el cableado y las conexiones (fuente de alimentación, acondicionador, terminadores, etc.) observando cables sueltos o flojos.
9	Dispositivo en mal estado		Poner el dispositivo sobre un spur diferente y reemplazar el dispositivo.
6	Conector del bloque de interconexión en mal estado		Verificar que exista bajo nivel de ruido
3	Ruido excesivo		

**Tabla 5. 2. Acciones correctivas respecto a los componentes de la Red Fieldbus**

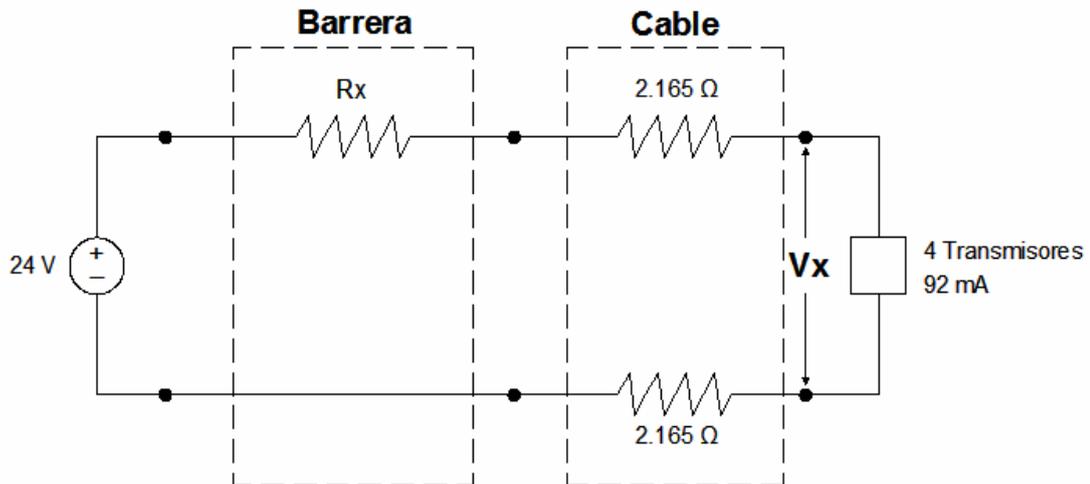
<b>NPR</b>	<b>Causas</b>	<b>Modos de Falla</b>	<b>Componente</b>	<b>Acciones Correctivas</b>
4	Mala conexión	Corto Circuito	Fuente de Alimentación	Apretar bien los tornillos de los conectores en todos los terminales
				Inspeccionar el cableado y las conexiones en la fuente de alimentación observando cables sueltos o flojos, para proceder a conectarlos bien.
8	Falla del operador al revisar el controlador	No se encuentra actualizado el firmware	Módulo de Interface Fieldbus (FIM)	Cargar el firmware actualizado en todos los módulos FIM de los diferentes racks remotos
4	Mala conexión	Corto Circuito	Panel de Terminación Remota (RTP)	Apretar bien los tornillos de los conectores en todos los terminales
				Inspeccionar el cableado y las conexiones en el RTP observando cables sueltos o flojos, para proceder a conectarlos bien.
4	Longitud del cable muy larga	Caída de voltaje en el bus	Cable Fieldbus	Verificar que la longitud del spur no exceda los 120m
				Verificar que la longitud del cable entre el dispositivo con problema y cualquier otro dispositivo no exceda los 1900m
4	Mala conexión	Corto Circuito	Bloques de Interconexión (Concentradores)	Apretar bien los tornillos de los conectores en todos los terminales
				Inspeccionar el cableado y las conexiones en los concentradores observando cables sueltos o flojos, para proceder a conectarlos bien.
4	Existen más de dos terminadores o solo uno conectado al segmento	Bajo nivel de señal		Comprobar que solamente existan dos terminadores en el segmento. Si están instalados mas de dos terminadores retirar los que no se encuentran al final del segmento. Tomar en consideración que la barrera IS tiene un terminador interno que está activado mediante la tarjeta RTP

12	No provee la suficiente cantidad de energía para alimentar el segmento	El número de dispositivos conectados a la red es mayor a lo permitido	Barrera IS	Reemplazar la Barrera IS por una que tenga mayor capacidad
				Retirar los dispositivos que no sean necesarios de acuerdo al proceso
2	El dispositivo no está energizado	Daño por manejo del equipo	Dispositivos Fieldbus	Inspeccionar el cableado y las conexiones dentro de dispositivo observando cables sueltos o flojos, para proceder a conectarlos bien.
2	Polaridad incorrecta en los terminales del dispositivo			Comprobar la polaridad correcta al dispositivo, y cambiar los terminales de ser necesario:  Cable Fieldbus + a SIGNAL + Cable Fieldbus - a SIGNAL -
12	Insuficiente corriente al dispositivo			Bajo nivel de señal

Una vez detalladas todas las acciones correctivas, a continuación se presenta la forma de cubrir la falta de energía y la forma correcta de cargar el firmware en los módulos FIM que son los problemas de mayor riesgo.

#### 5.1.3.1. Cambio de Barrera.

Para proveer la cantidad suficiente de energía a los segmentos que poseen cuatro dispositivos se debe instalar una barrera de mayor capacidad, para lo cual se necesita hacer el cálculo de la impedancia máxima que debe tener ésta en base al circuito equivalente de la red que se muestra en la Figura 5.1.



**Figura 5. 1. Circuito equivalente de la red con barrera de mayor capacidad**

La resistencia máxima que puede haber en el circuito para que funcione correctamente con cuatro transmisores conectados es:

$$R_{\text{lazo}} = V_{\text{fuente}} / I_{\text{promedio}}$$

$$R_{\text{lazo}} = 24 \text{ V} / 0.092 \text{ A}$$

$$R_{\text{lazo}} = 260.87 \text{ } [\Omega]$$

Puesto que los parámetros de energía en área peligrosa son limitados (Ver Tabla 2.3) se consideró como voltaje de operación  $V_x$  los 22 [V] que es el máximo permitido. Con esto la resistencia debido a componentes es:

$$R_{\text{dispositivo}} = 22\text{V} / 0.092 \text{ A}$$

$$R_{\text{dispositivo}} = 239.130 \text{ } [\Omega]$$

La resistencia del cable debido a la presencia de cuatro transmisores es de  $2.165 \Omega$ , por lo tanto la resistencia máxima que puede tener la barrera es:

$$R_{\text{Barrera}} = 260.87 - 239.130 - (2.165 \times 2) [\Omega]$$

$$R_{\text{Barrera}} = 260.87 - 239.130 - (2.165 \times 2) [\Omega]$$

$$R_{\text{Barrera}} = 17.35 [\Omega]$$

Con la investigación adecuada se obtuvo información de una barrera que cumple con estas condiciones como es la **MTL 5995** la cual tiene una impedancia máxima de  $2 \Omega$ , con un voltaje de operación de 19 V y una corriente máxima de 350 mA. Esta barrera cumple con los requerimientos de Foundation Fieldbus, además tiene un terminador el cual se lo puede habilitar mediante un switch cuando la barrera se encuentra al final del segmento como se muestra en la Figura 5.2.

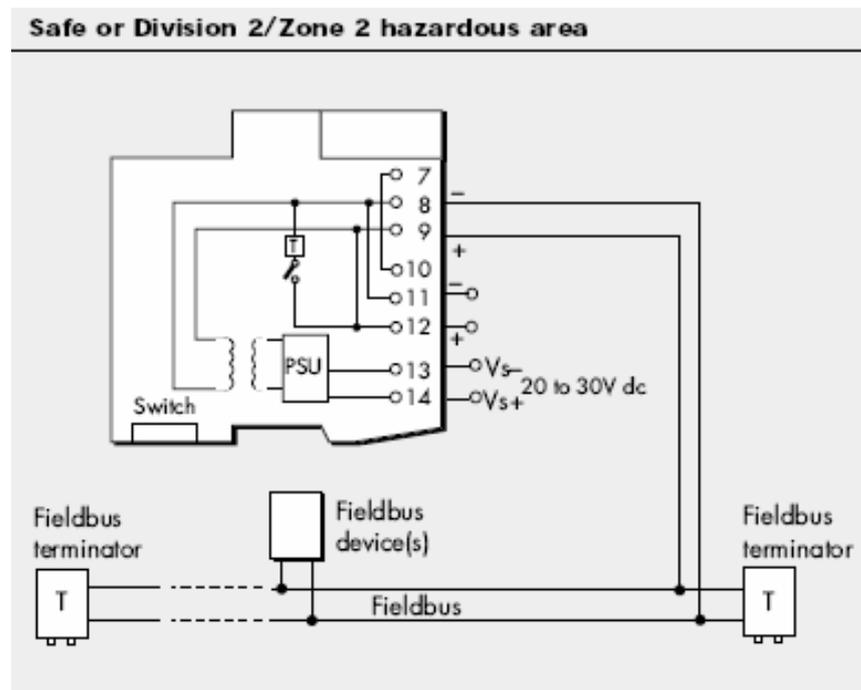


Figura 5. 2. Conexión de Barrera MTL5995 a dispositivos fieldbus

A pesar de que el valor de corriente es alto, este no excede al permitido por la norma en áreas peligrosas como se explica a continuación.

### 5.1.3.2. Análisis de Áreas Peligrosas.

En las áreas donde no pueda evitarse que se generen mezclas explosivas de material inflamable y aire mediante la aplicación de medidas de protección básica contra explosiones, se deben tomar acciones especiales para evitar el surgimiento de fuentes de ignición. Por ello, los requerimientos de construcción e instalación se aplican a todos los equipos eléctricos en áreas de alto riesgo dentro de la planta.

De acuerdo a estos requerimientos de construcción, la planta consta con dispositivos, cajas de interconexión y racks remotos Explosion Proof (A prueba de Explosión), los cuales pueden resistir la presión generada durante una detonación interna de una mezcla explosiva, evitando así la propagación de la explosión a las atmósferas explosivas que rodean las cajas.

En base a los Estándares Europeos así como las Recomendaciones IEC, las zonas en donde se encuentra instalada la Red Fieldbus corresponden al **Grupo IIA** puesto que tiene equipo eléctrico en áreas de riesgo, ante la presencia de Metano, Propano y Diesel respectivamente donde su concentración varía de acuerdo a la temperatura.

Para medir el grado de explosión en las diferentes zonas, se utilizó un monitor que permite medir la concentración de Metano y Propano en el medio. Este instrumento Marca: Scott, Modelo: Scout SCT096-2540 permitió obtener los datos que se muestran en la Tabla 5.3. De acuerdo a estos valores se pudo determinar que no hay mucho riesgo de explosión en ciertas zonas de la planta por lo cual los valores de energía pueden aumentar.

Tabla 5. 3. Concentración de gases en las diferentes zonas de la planta

Tipo de Gas	Zona	Descripción	Condición	Con. %	Límites de Inflamabilidad %Vol	
					Inf.	Sup.
Metano	1	Lanzadores y Recibidores	Normal	0	5.3	15
			Cuando se recibe o se envía PIG <sup>9</sup>	4 - 6		
	5	Tanques de Agua	Normal	0		
			Temperatura alta	0		
		Tanques de Crudo	Normal	0		
			Temperatura alta	2 - 3		
	6	Tanques de Diesel	Normal	0		
			Temperatura alta	0		
Propano	1	Lanzadores y Recibidores	Normal	0	2.2	9.5
			Cuando se recibe o se envía PIG	6 - 9		
	5	Tanques de Agua	Normal	0		
			Temperatura alta	0		
		Tanques de Crudo	Normal	0		
			Temperatura alta	3 - 4		
	6	Tanques de Diesel	Normal	0		
			Temperatura alta	0		

### 5.1.3.3. Actualización del Firmware.

Al tener un firmware desactualizado se puede perder la comunicación de la red fieldbus con el controlador C200, por lo tanto dentro del rack LP - J1301 y LP - J1306 se procedió a cargar el nuevo firmware de los módulos FIM que estaban desactualizados. Los archivos los proporciona el mismo proveedor con los siguientes nombres:

- fimboot.nvs
- fimrex.nvs

<sup>9</sup> Cilindro Metálico usado para limpiar las tuberías

Primeramente se debe cargar el archivo fimboot para que se actualice la versión boot (BV), para posteriormente, una vez que se reinicie el módulo, cargar el segundo archivo para que se actualice la versión de aplicación (AV).

## **5.2. DIAGRAMAS TÉCNICOS**

En base a las acciones correctivas que se deben tomar, se modificaron los planos de arquitectura donde se puede apreciar la red en su totalidad. (Ver Anexo 7).

De igual manera, se muestra la conexión de la tarjeta RTP a las nuevas barreras planteadas en las diferentes zonas.

## **5.3. EQUIPOS Y PRESUPUESTO REFERENCIAL**

Una vez realizado todo el análisis, se adquirieron tres barreras MTL 5995 para comprobar su funcionamiento en la zona 5 alimentando a los segmento 1, 2 y 3 que poseen cuatro transmisores. Puesto que el funcionamiento fue óptimo, se plantea la adquisición de dos barreras para el correcto funcionamiento de la red. Adicionalmente se plantea la adquisición de un transmisor de temperatura y dos de presión para reemplazar los transmisores que se encuentran en mal estado como se presenta en la Tabla 5.4.

Tabla 5. 4. Equipos y Transmisores a ser reemplazados

Cantidad	Descripción	Características Técnicas	Valor Unitario	Total
2	Barrera MTL 5995	Entrada: 20 - 35 Vdc	914,24	1828,48
		Salida: 19 Vdc		
		I max: 350 mA		
		Temp: -20 a 60 °C		
1	Transmisor de Temperatura Honeywell	Voltaje: 9 - 35 Vdc	995,00	995,00
		RTD: -50 a 150 °C		
	Modelo: STT35F	T/C: 780 a 1800 °C		
2	Transmisor de Presión Honeywell	Voltaje: 10.8 - 42.4 Vdc	1530,00	3060,00
		Rango: 0 - 500 psi		
	Modelo STG94L	Rango: 0 - 500 psi		
			<b>Total:</b>	5883,48

Al conocer los materiales que deben ser reemplazados se realizó el respectivo **cálculo de costos** y así determinar de manera real lo que costará poner en operación el proyecto, puesto que para llevarlo a cabo, se necesita utilizar una serie de aportaciones que incluye personal, información, equipamiento, etc., las mismas que implican un rubro adicional que es el que se calcula para desarrollar el presupuesto referencial del proyecto (Ver Anexo 8).

Cabe destacar que Repsol YPF posee un contrato con la compañía SERAMIN para la prestación de servicios de alimentación, limpieza, lavandería y otros en el respectivo campamento, por lo cual estos valores se incluyen dentro de los costos indirectos que se consideró como un 20% del costo total del proyecto.

De igual manera en lo que se refiere a transporte, la compañía de servicios petroleros GALETH se encarga del transporte terrestre y fluvial de pasajeros, por lo cual si el contrato incluye este servicio, no se incluye el costo de movilización terrestre y fluvial dentro de los costos de transporte.

Para determinar los rubros en lo que se refiere a equipo y herramientas así como el transporte de éstos, se consideró un 2% del costo total del proyecto puesto que la cantidad de equipos es mínima y su peso es ligero.

Para el proyecto de optimización el cual requiere de un trabajo en campo se requiere de al menos dos personas, por lo que se plantea contratar un Ingeniero Electrónico en compañía de su respectivo ayudante. Con esto es posible determinar los costos de mano de obra de acuerdo al reglamento de aranceles y honorarios profesionales para la ingeniería eléctrica y electrónica establecidos por el Colegio Nacional de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos del Ecuador (CIEEE), el cual define categorías en base al tipo de proyecto a realizar. Para este caso, la mano de obra entra en la Categoría 3 para un contrato de Fiscalización e Ingeniería los cuales reciben el 6% y el 5% del monto total del proyecto (Ver Anexo 9).

## **CAPÍTULO 6**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **6.1. CONCLUSIONES**

El proyecto realizado ha permitido desarrollar un estudio sobre la red Fieldbus de la Planta de tratamiento de crudo NPF de Repsol YPF, logrando de esta manera su optimización a través de diferentes pruebas técnicas así como de análisis de ingeniería respectivos.

El estudio y optimización de la red Fieldbus es una tarea que se puede aplicar a cualquier tipo de industria debido a la seguridad que hoy en día ofrecen los sistemas digitales al trabajar con instrumentos inteligentes que pueden llevar a cabo las tareas de control.

Todos los valores obtenidos en el estudio son una referencia puesto que cada segmento Fieldbus es diferente; esto se ve afectado principalmente por la fuente de alimentación, la longitud del cable, el punto donde se realizan las mediciones, y otros factores que afectan las mediciones sobre la red.

Mediante la combinación de un correcto análisis cuantitativo con las recomendaciones de fabricantes y requerimientos de las normativas, se puede crear un procedimiento de pruebas periódicas que maximice el tiempo entre pruebas y minimice los costos de las mismas.

La eliminación de los modos de fallo potenciales de la red a través de los análisis FMEA y FMEDA tiene grandes beneficios puesto que representan ahorro de tiempo y dinero. Tiempo al reducir las pruebas repetitivas por parte del personal de mantenimiento, y dinero de igual manera al reducir los costos de reparaciones por dichas pruebas

Las herramientas de diagnósticos de la red como en este caso los módulos FBT permiten un trabajo más eficiente de la planta previniendo con bastante antelación posibles fallos. De esta manera es posible anticiparse con medidas correctivas para evitar en el caso más crítico paradas de planta que pueden ocasionar grandes pérdidas.

El nivel de señal se mide con el voltaje pico-pico. Este nivel se ve afectado por el número de terminadores conectados al segmento, su longitud y la resistencia de los bloques de interconexión.

Cada segmento fieldbus debe tener dos terminadores puesto que un terminador adicional provoca una reducción en el nivel de la señal y por el contrario la falta de este provoca un incremento.

El modulo FBT-3 mide el ruido promedio y el ruido pico. Si el ruido es elevado se debe tomar en cuenta que la causa más común es la mala conexión a tierra, el tener cables sueltos o flojos en la red, así como el llevar los cables paralelamente con cables de alta potencia.

Las retransmisiones son un buen indicador del comportamiento de la red, las cuales se producen por diferentes problemas potenciales en la capa física como el elevado nivel de ruido, el bajo nivel de señal, y el bajo nivel de voltaje sobre el bus.

Los bloques de interconexión Relcom hacen sencillo el montaje de cualquier instalación entre el sistema de control y los instrumentos de campo. Además cubren todas las aplicaciones tanto para áreas seguras como peligrosas, proporcionando los más altos niveles de disponibilidad a la vez que mantienen una arquitectura común, independiente de la zona en la que se instalen.

Existe una cantidad de energía mínima con la cual una mezcla combustible puede ser encendida, por tal razón las cantidades que se encuentran por debajo de este valor no pueden causar encendido. El concepto de seguridad Intrínseca se basa en el principio de mantener niveles de energía lo suficientemente bajos de lo que requeriría una mezcla para entrar en ignición, bajo condiciones normales de operación, y aun cuando ocurran fallas o condiciones fuera de lo normal.

La gama de productos MTL para zonas peligrosas permiten la instalación de instrumentos en atmósferas inflamables sin que por ello pierda prestaciones o flexibilidad. Las diversas certificaciones permiten la instalación tanto en áreas clasificadas por Zonas (Europa) como en áreas clasificadas por divisiones (EEUU), conjuntamente con diseños que permiten el trabajo en caliente y el uso de las últimas tecnologías. Los módulos están diseñados para ser montados en el campo operando en condiciones extremas, típicamente de  $-40$  a  $+70$  °C.

MTL y Relcom han mantenido una posición destacada en el desarrollo Fieldbus; es así que el número de fuentes MTL instaladas para Fieldbus supera a muchos otros fabricantes. De igual manera Relcom y sus componentes para montaje en campo tienen una considerable reputación por su fiabilidad al adicionar protección contra corto-circuitos. De esta manera, la calidad de MTL y RELCOM en sus especificaciones técnicas unidas a sus ajustados precios han permitido considerarlos para la sustitución de los nuevos equipos.

## 6.2. RECOMENDACIONES

La prevención es la mejor manera de asegurar a la red Fieldbus, por lo tanto es necesario realizar la inducción apropiada al personal de mantenimiento, el utilizar las herramientas adecuadas, y supervisar la red durante la instalación y el mantenimiento, así como usar el cable adecuado y productos certificados de compañías reconocidas.

Es necesario tomar datos como referencia cuando la red Fieldbus está operando apropiadamente, para que cuando los problemas hayan sido identificados, se tomen nuevos datos, se los compare, y así se pueda llegar a la solución eficazmente.

Antes de tomar decisiones sobre alguna modificación en la red, primeramente se debe revisar los estudios realizados y las actividades que presentan mayor riesgo para evitar situaciones que puedan tornarse peligrosas.

Para la sustitución de los nuevos equipos, se recomienda contratar al personal calificado, puesto que el ahorro inicial puede provocar grandes pérdidas en la empresa por cualquier tipo de error cometido por la persona que ejecuta el trabajo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[http://www.calsi.com/doc\\_tec/13.pdf](http://www.calsi.com/doc_tec/13.pdf), Conceptos Básicos de Redes de Comunicaciones.

FERNÁNDEZ, Jose, **Foundation Fieldbus y su adaptación a la alta velocidad: HSE**, Curso 2004-2005

RAMOS, Pedro, **Diseño e Implementación de una Red Industrial Foundation Fieldbus en la Planta de Procesamiento de Crudo de Repsol-YPF**, Proyecto de grado, Sangolquí - Ecuador 2007

<http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mv?xid=562&rank=1>, Protocolos de Comunicación Industrial

[http://es.wikipedia.org/wiki/Red\\_industrial](http://es.wikipedia.org/wiki/Red_industrial), Red Industrial

<http://vgg.uma.es/redes/fisico.html>, Redes.Medio Físico.

<http://www.fieldbus.org>, Using FOUNDATION™ Fieldbus

<http://www.honeywell.com>, OpenField™ Fieldbus Network Basics

<http://www.relcominc.com/pdf/instructions/500-274%20FCS-M1-9801.pdf>, Instructions for the use of Fieldbus Wiring Blocks in Hazardous Areas

<http://www.relcominc.com/fieldbus/fbtesters.htm>, Fieldbus Testers

<http://www.relcominc.com/fieldbus/legacy.htm>, Legacy Fieldbus Connection Blocks

<http://www.honeywell.sk/?com=documents&id=708>, STT 3000 Smart Temperature Transmitter Model STT35F Operator Manual

<http://www.wwy.biz/std/34-ST-03-67.pdf>, ST 3000 Smart Transmitter Series 900 Gauge Pressure Models

<http://www.wvy.biz/std/34-ST-03-72.pdf>, ST 3000 FF Fieldbus Pressure Transmitters

DTP CONSULTORES, **Procedimiento para Desarrollar el AMEF del Proyecto**, Código AC-03-003, Diciembre 2001

<http://www.fmea-fmea.com/process-fmea-sae-j1739.xls>

<http://www.exida.com>, Using a Failure Modes, Effects and Diagnostic Analysis (FMEDA) to Measure Diagnostic Coverage in Programmable Electronic Systems.

<http://www.exida.com>, FMEDA – Accurate Product Failure Metrics

<http://www.mtl-inst.com>, MTL5000 Series isolators

# **ANEXOS**

# **ANEXO 1**

## **DIAGRAMA DE ARQUITECTURA DE PLANTSCAPE PROCESS**

## **ANEXO 2**

### **PLANOS PSP ELECTRICAL TERMINATION DIAGRAMS**

## **ANEXO 3**

**RUTA FIELDBUS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE CRUDO  
NPF**

## **ANEXO 4**

### **PLANOS DE ARQUITECTURA**

## **ANEXO 5**

**ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (FMEA) DE LA RED  
FIELD BUS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE CRUDO NPF**

## **ANEXO 6**

**MODOS DE FALLA, EFECTOS Y ANÁLISIS DE DIAGNÓSTICOS  
(FMEDA) DE LA RED FIELDBUS DE LA PLANTA DE  
TRATAMIENTO DE CRUDO NPF**

## **ANEXO 7**

**DIAGRAMAS TÉCNICOS PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA RED  
FIELDBUS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE CRUDO NPF**

## **ANEXO 8**

### **PRESUPUESTO REFERENCIAL**

## **ANEXO 9**

### **TABLA DE ARANCELES PARA INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

## **ANEXO 10**

### **REPORTE FOTOGRAFICO**

## **FECHA DE ENTREGA**

El proyecto fue entregado al Departamento de Eléctrica y Electrónica y reposa en la Escuela Politécnica del Ejército.

Sangolquí, \_\_\_\_\_

### **ELABORADO POR:**

---

**Jaime Roberto Silva Altamirano**

**171546624-7**

### **AUTORIDAD :**

---

**Ing. Víctor Proaño**

**Coordinador de la Carrera de Ingeniería en  
Electrónica, Automatización y Control**