

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD Y  
COMPUTACIÓN**

**“ANÁLISIS TÉCNICO – ECONÓMICO DE VIABILIDAD EN LA  
IMPLEMENTACIÓN DE TECNOLOGÍA FIELDBUS FOUNDATION (FCS)  
VERSUS SISTEMAS DE CONTROL DISTRIBUIDO (DCS)”**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN**

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN ELECTRICIDAD ESPECIALIZACIÓN  
ELECTRÓNICA INDUSTRIAL**

Presentado por:

**ERIC BYONG CHONG CONTRERAS  
JOSÉ JAVIER DOMÍNGUEZ ZAMBRANO  
FRANCISCO OMAR MEDINA ZÚÑIGA**

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

**AÑO**

**2003**

## AGRADECIMIENTO

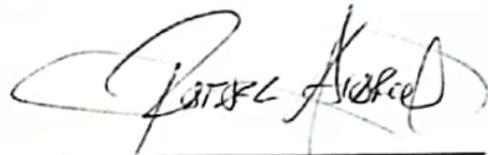
ING. RAFAEL  
ALARCÓN Profesor del  
Tópico, por su ayuda y  
colaboración para la  
realización de este  
trabajo.

## TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



---

Ing. Norman Chootong  
SUBDECANO DE LA FIEC



---

Ing. Rafael Alarcón  
DIRECTOR DE TÓPICO



---

Ing. Alberto Manzur  
VOCAL



---

Ing. Holger Cevallos  
VOCAL

## DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de este Tópico de Graduación, nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”



Eric Byong Chong Contreras



José Javier Domínguez Zambrano



Francisco Omar Medina Zúñiga

## **RESUMEN**

El presente proyecto de investigación establece el estudio y análisis de los beneficios técnicos y económicos de la implementación de la tecnología Fieldbus Foundation en una planta de proceso.

Primero se menciona como funciona este tipo de tecnología, basada en la comunicación de equipos industriales inteligentes, luego se continúa con la aplicación de la misma analizando y explicando el proceso industrial de Destilación de Alcohol en la empresa CODANA S.A., con el objetivo de comprender el funcionamiento, diseño, implementación y operación del proceso usando Fieldbus Foundation. Luego se compara técnicamente las ventajas que posee Fieldbus ante un Sistema de Control Distribuido y por último se analiza económicamente cuan beneficioso resulta implementar Fieldbus y en que tiempo se recupera la inversión de la implementación.

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	V
INDICE GENERAL.....	VI
ABREVIATURAS .....	IX
INDICE DE FIGURAS.....	XII
INDICE DE TABLAS .....	XIII
INTRODUCCIÓN .....	XIV

## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN A FIELDBUS FOUNDATION.....	1
1.1. ¿Qué es Fieldbus Foundation?.....	2
1.2. Tecnología Fieldbus Foundation .....	4
1.2.1. Capa Física .....	6
1.2.2. Capa de Enlace.....	8
1.2.3. Subcapa de Acceso Fieldbus.....	10
1.2.4. Especificaciones del Mensaje Fieldbus.....	12
1.2.5. Aplicación del Usuario.....	13
1.3. Topologías .....	15
1.3.1. Topología de bus con spurs.....	15
1.3.2. Topología punto-a-punto.....	16
1.3.3. Topología en árbol .....	17
1.3.4. Topología "End-to-End" .....	18
1.3.5. Topología mixta .....	18
2. ANÁLISIS DE UN PROCESO INDUSTRIAL.....	20
2.1. Descripción del Proceso.....	21
2.1.1. Proceso de Dilución .....	23
2.1.2. Proceso de Fermentación .....	25
2.1.3. Proceso de Destilación .....	30

3. APLICACIÓN DE FIELDBUS EN UNA PLANTA DESTILADORA DE ALCOHOL.....	<b>39</b>
3.1. Introducción .....	39
3.2. Consideraciones y Limitaciones .....	40
3.3. Arquitectura de Sistemas .....	42
3.4. Syscon (Software de Configuración) .....	42
3.5. Hardware del Proceso .....	43
3.6. Medio de Comunicación.....	58
3.7. Estructura de la Red.....	59
3.7.1. Red H1 .....	60
3.7.2. Red HSE.....	61
4. ANÁLISIS COMPARATIVO TÉCNICO DE FIELDBUS VS. DCS .....	62
4.1. Ventajas y desventajas en la Implementación .....	65
4.2. Comparación de tecnologías DCS vs. FCS .....	67
5. ANÁLISIS COMPARATIVO ECONÓMICO DE FCS VS. DCS .....	72
5.1. Costo promedio de un proyecto con Fieldbus Foundation .....	72
5.1.1. Costo del proyecto .....	72
5.1.2. Costo de estudio técnico .....	73
5.1.3. Costo de equipos FCS usados en la implementación.....	74
P. UNITARIO .....	75
5.1.4. Costo de accesorios .....	75
P. UNITARIO .....	75
5.1.5. Costo de RTD y manómetros.....	76
5.1.6. Costo de PLC y Enercept Meter .....	76
P. UNITARIO .....	76
5.1.7. Costo de software.....	76
P. UNITARIO .....	77
5.1.8. Costo total del proyecto .....	77
5.2. Beneficio monetario del uso de la tecnología FCS en el proyecto .....	77
5.2.1. Retorno de inversión .....	78
5.2.2. Beneficios por disminución de paradas de planta.....	79
5.3. Costo promedio de un proyecto con Sistemas de Control Distribuido.....	79
5.3.1. Costo del proyecto .....	80
5.3.2. Costo de estudio técnico .....	80
5.3.3. Costo de equipos DCS usados en la implementación .....	82
P. UNITARIO .....	82
5.3.4. Costo de accesorios .....	83
P. UNITARIO .....	83
5.3.5. Costo de RTD y manómetros.....	83
5.3.6. Costo de PLC y Enercept Meter .....	84
P. UNITARIO .....	84

5.3.7. Costo de software .....	84
P. UNITARIO .....	84
5.3.8. Costo total del proyecto .....	85
5.4. Beneficio monetario del uso de la tecnología DCS en el proyecto .....	85
5.4.1. Retorno de inversión .....	85
5.4.2. Beneficios por disminución de paradas de planta .....	87
5.5. Comparación de resultados .....	87
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	90
APÉNDICES .....	93
BIBLIOGRAFÍA .....	109

## ABREVIATURAS

AI	Entrada Analógica
AO	Salida Analógica
AWG	American Wire Gauge
Bar	Presión barométrica
BSI	Barrera de Seguridad Intrínseca
cc	corriente continua
CD	Dato Compilado
CD/A	Columna destrozadora
CD/B	Columna Concentradora
CFE	Comisión Federal de Electricidad
cm	centímetro
CM	Columna de Repase Final
CO	Columna Concentradora de Fusel
CO <sub>2</sub>	Bióxido de Carbono
CPU	Unidad Central de Proceso
CR	Columna Rectificadora
dB/Km	decibeles por kilómetro
DC	Corriente Directa
DCS	Sistema de Control Distribuido
DDC	Sistema de Control Centralizado
DFI	Interfase de Campo
DLL	Capa de Enlace de Datos
DT301	Transmisor de Densidad de SMAR
E/S	Entrada / Salida
etc	Etcétera
FAS	Subcapa de Acceso Fieldbus
FCS	Sistema de Control Fieldbus
FMS	Especificación del Mensaje Fieldbus
fr	Frecuencia
FY302	Posicionador de Válvula de SMAR
GL	Grados de Alcohol
gr./cm <sup>3</sup>	gramo por centímetro cúbico

## ABREVIATURAS

HP	Caballos de Fuerza
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Ácido Sulfúrico
IEC	Comisión Electrotecnia Internacional
IF302	Convertidor a Fieldbus de SMAR
IHM	Interacción Hombre Máquina
in/Hg	pulgada por mercurio
ISA	Sociedad de Medición y Control
kbit/s	Kilo bit por segundo
Kg	kilogramo
kgf / cm <sup>2</sup>	kilogramo fuerza por centímetro cuadrado
Khz	Kilo hertz
kW	kilowatios
LAN	Red de Área Local
LAS	Vinculo Activo Planificado
LC700	Controlador Lógico de SMAR modelo 700
LD302	Transmisor de Presión de SMAR
lt/h	litros por hora
m	metro
mA	mili Amperios
MC	Macro ciclo
mm	milímetro
mm <sup>2</sup>	milímetro cuadrado
nF / Km	nano faradios por kilómetro
OD	Diccionario Objetivo
Ohms/Km	Ohmios por kilómetro
OPC	Ole Process Control
OSI	Interconexión de Sistemas Abiertos
PCI	Interfase de Control de Proceso
pH	Medida de acidez
PID	Proporcional, Integral y Derivativo
PLC	Controlador Lógico Programable

## ABREVIATURAS

psi	Presión
PVC	Cloruro de Polivinil
RPM	Revoluciones por Minuto
RTD	Resistencia Térmica Diferencial
S.A.	Sociedad Anónima
ton /hr	toneladas por hora
TT302	Transmisor de temperatura de SMAR
$\mu$ s / Km	micro segundos por kilómetro
V	Voltaje
VCR	Relaciones de Comunicación Virtual
C/u	Cada uno

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1-1: COMUNICACIÓN DIGITAL BIDIRECCIONAL.....	3
FIGURA 1-2: MODELO DE COMUNICACIÓN .....	4
FIGURA 1-3: CAPAS DEL PROTOCOLO FIELDBUS .....	5
FIGURA 1-4: SEÑALES FIELDBUS.....	7
FIGURA 1-5: COMUNICACIÓN PLANIFICADA .....	9
FIGURA 1-6: COMUNICACION NO PLANIFICADA.....	10
FIGURA 1-7: CONTROL DE LAZO CON FUNCIONES DE BLOQUE.....	14
FIGURA 1-8: TOPOLOGIA TIPO BUS CON SPURS.....	16
FIGURA 1-9: TOPOLOGIA PUNTO A PUNTO .....	17
FIGURA 1-10: TOPOLOGIA EN ARBOL .....	17
FIGURA 1-11: TOPOLOGIA END TO END .....	18
FIGURA 1-12: TOPOLOGIA MIXTA.....	19
FIGURA 2-1: PROCESO DE OBTENCION DE ALCOHOL .....	22
FIGURA 3-1: CONFIGURACION DE LA INSTALACION .....	40
FIGURA 3-2: TRANSMISOR DE PRESION DE SMAR LD302.....	45
FIGURA 3-3: TRANSMISOR DE TEMPERATURA DE SMAR TT302.....	49
FIGURA 3-4: CONVERTIDOR DE CORRIENTE A SEÑAL FIELDBUS IF302.....	51
FIGURA 3-5: TRANSMISOR DE CONCENTRACIÓN-DENSIDAD FIELDBUS DT302 ..	54
FIGURA 3-6: POSICIONADOR DE VALVULA FIELDBUS DE SMAR FY302 .....	55
FIGURA 3-7: CONTROLADOR PROGRAMABLE DE SMAR LC700 .....	57
FIGURA 3-8: BRIDGE UNIVERSAL FIELDBUS DE SMAR DFI302 .....	58
FIGURA 4-1: SISTEMA DE CONTROL DISTRIBUIDO.....	63
FIGURA 4-2: SISTEMA DE CONTROL DISTRIBUIDO.....	64
FIGURA 4-3: TARJETAS Y PROTECCIONES ADICIONALES .....	66
FIGURA 4-4: TRANSMISION BIDIRECCIONAL.....	67
FIGURA 4-5: ARQUITECTURA ABIERTA.....	68
FIGURA 4-6: REDUCCION DE HARDWARE .....	69
FIGURA 4-7: FACIL IMPLEMENTACION.....	70

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1-1: FUNCIONES DE BLOQUE PARA UN CONTROL BASICO .....	13
TABLA 3-1: TRANSMISORES LD302 EXISTENTES EN LA PLANTA.....	47
TABLA 3-2: TRANSMISORES TT302 EXISTENTES EN LA PLANTA .....	49
TABLA 3-3: TRANSMISORES IF302 EXISTENTES EN LA PLANTA .....	52
TABLA 3-4: TRANSMISORES DT302 EXISTENTES EN LA PLANTA.....	54
TABLA 3-5: POSICIONADORES FY302 EXISTENTES EN LA PLANTA.....	56
TABLA 5-1: COSTO DE IMPLEMENTACION .....	74
TABLA 5-2: COSTO DE EQUIPOS FIELDBUS.....	75
TABLA 5-3: COSTO DE ACCESORIOS ADICIONALES .....	75
TABLA 5-4: COSTO DE RTD Y MANOMETROS .....	76
TABLA 5-5: COSTO DE PLC Y ENERCEPT METER .....	76
TABLA 5-6: COSTO DEL SOFTWARE .....	77
TABLA 5-7: COSTO TOTAL DEL PROYECTO.....	77
TABLA 5-8: COSTO POR MANTENIMIENTO .....	78
TABLA 5-9: RETORNO DE LA INVERSION.....	79
TABLA 5-10: COSTO DE IMPLEMENTACION.....	81
TABLA 5-11: COSTO DE EQUIPOS DCS.....	82
TABLA 5-12: COSTO DE ACCESORIOS ADICIONALES.....	83
TABLA 5-13: COSTO DE RTD Y MANOMETROS.....	84
TABLA 5-14: COSTO DE PLC Y ENERCEPT METER.....	84
TABLA 5-15: COSTO DEL SOFTWARE.....	84
TABLA 5-16: COSTO TOTAL DEL PROYECTO .....	85
TABLA 5-17: COSTO POR MANTENIMIENTO (DOS PARADAS) .....	86
TABLA 5-18: RETORNO DE LA INVERSION .....	87

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de t3pico tiene como objetivo difundir las informaciones necesarias que implican las ventajas y desventajas t3cnicas y econ3micas de la implementaci3n de la tecnolog3a Fieldbus Foundation, partiendo desde la explicaci3n de conceptos b3sicos de c3mo se establece la comunicaci3n de los dispositivos inteligentes que trabajan con Fieldbus.

Se muestra el estudio e implementaci3n de la tecnolog3a Fieldbus en un proceso industrial de obtenci3n de alcohol et3lico rectificado, realizando una comparaci3n t3cnica - econ3mica con otras arquitecturas de automatizaci3n como son los sistemas de control distribuido. Haciendo observaciones en lo que respecta al retorno de inversi3n por el costo de implementaci3n, y por menor n3meros de paradas al a3o para mantenimiento de equipos, se obtienen beneficios econ3micos comparado con un DCS.

Por ser un tema nuevo en nuestro pa3s y de gran magnitud, no se pretende agotar el tema, sino explicar ¿por qu3 utilizar Fieldbus en un proceso?

## **1. INTRODUCCIÓN A FIELDBUS FOUNDATION**

Inicialmente las comunicaciones entre los instrumentos de proceso y el sistema de control se basaban principalmente en señales analógicas (neumáticas de 3 a 15 psi en las válvulas de control y electrónicas de 4 a 20 mA cc). Pero ya existen instrumentos digitales capaces de manejar gran cantidad de datos y guardarlos históricamente; su precisión es diez veces mayor que la de la señal típica de 4-20 mA cc. En vez de transmitir cada variable por un par de hilos, transmiten secuencialmente las variables por medio de un cable de comunicaciones llamado bus.

La tecnología Fieldbus (bus de campo) es un protocolo de comunicaciones digital de alta velocidad que esta creada para remplazar la clásica señal de 4-20 mA que aún se utiliza en muchos de los sistemas DCS (Sistema de Control Distribuido) y PLC (Controladores Lógicos Programables), instrumentos de medida y transmisión y válvulas de control.

La arquitectura Fieldbus conecta estos instrumentos con computadores que se usan en diferentes niveles de coordinación y dirección de la planta. Fieldbus es un sistema abierto y estándar que permite al usuario final la interoperabilidad de instrumentos e intercambiar los instrumentos de un fabricante por otro similar. Con la implementación de este protocolo de comunicación es ahora posible reducir el tiempo necesitado para la transferencia de datos, asegurando los mismos, garantizando el tiempo de sincronización y el tiempo real de respuesta deterministico en algunas

aplicaciones. Fieldbus Foundation es una red sofisticada que trabaja con control distribuido real entre dispositivos inteligentes, se distingue por la forma como maneja el tamaño del mensaje y el tiempo de respuesta.

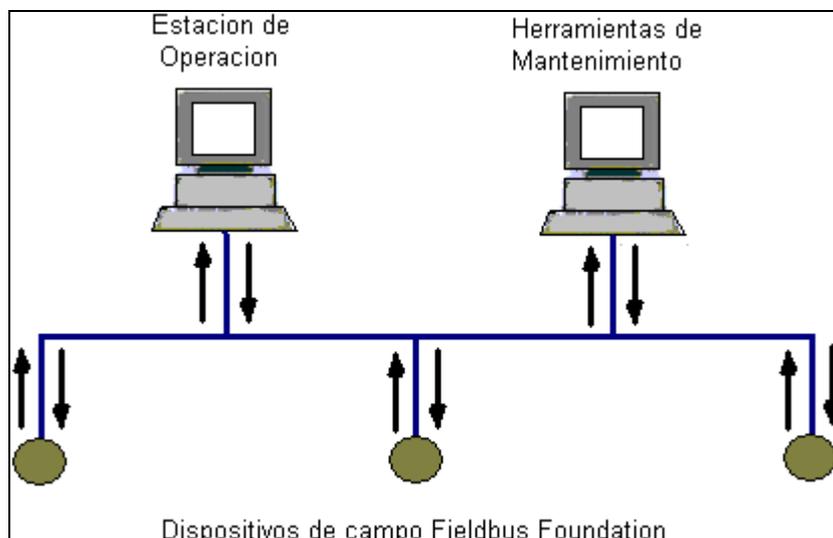
### **1.1.¿Qué es Fieldbus Foundation?**

Fieldbus Foundation es la evolución de la tecnología para la comunicación digital en instrumentación y el control de procesos industriales. Este difiere de cualquier otro protocolo de comunicación, ya que está diseñado para mejorar el rendimiento de la aplicación del proceso y no solo transferir datos de manera digital, realizando funciones de control, monitoreo de procesos y estaciones de operación (IHM: Interacción Hombre Máquina) a través del software de supervisión.

La tecnología Fieldbus será explicada a lo largo de este capítulo, para que conozcamos sus ventajas y su poder.

Fieldbus es un sistema de comunicación digital bidireccional (*figura 1.1.*), el cual interconecta los equipos en red de campo tales como sensores, transmisores, actuadores y controladores. Fieldbus es una Red de Área Local (LAN) para instrumentos usados tanto en automatización de procesos y automatización de manufactura con una disposición capaz de distribuir la aplicación de control a través de la red.

**FIGURA 1-1: COMUNICACIÓN DIGITAL BIDIRECCIONAL**



La estrategia de control es distribuida a lo largo de los dispositivos de campo, y esto es posible ya que, además de tener las funciones de bloques en sus microprocesadores, tienen también la habilidad de comunicarse rápido y confiablemente con cada dispositivo a través del bus. Los dispositivos pueden ser cableados y configurados de acuerdo a las necesidades del usuario.

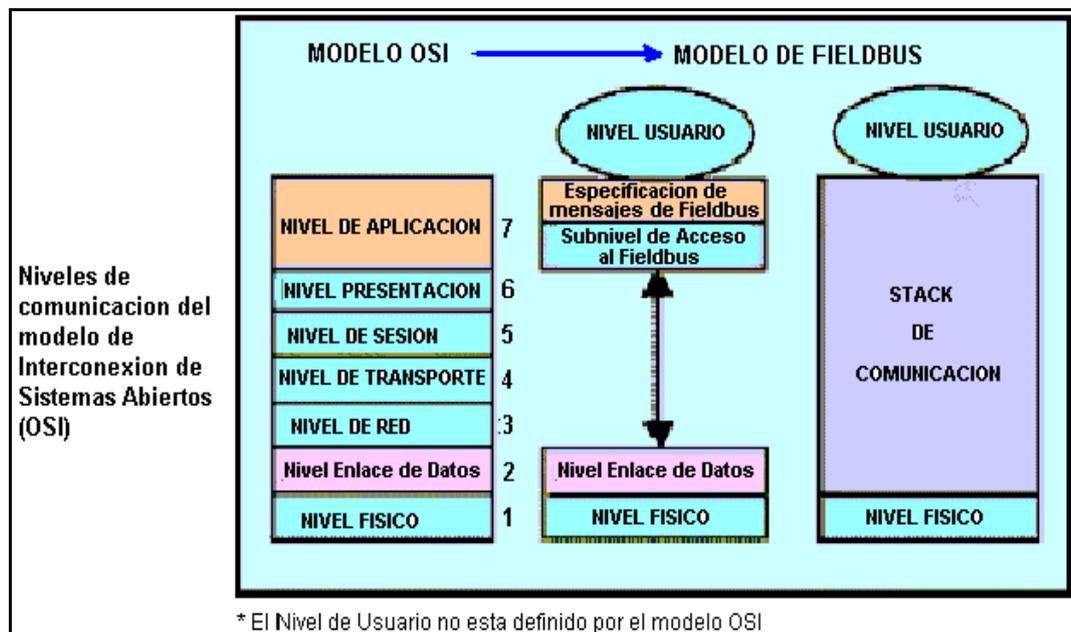
Smar, uno de los principales fabricantes de productos que usan protocolo Fieldbus Foundation, tiene cientos de sistemas de control Fieldbus instalados alrededor del mundo. Ellos hacen uso de un completo set de productos y aplicaciones de software. Sus principales características son la variedad de dispositivos de campo y los Controladores Lógicos Programables con Foundation Fieldbus tal como el módulo LC700, habilitando la asociación de las palabras discretas y análogas.

## 1.2. Tecnología Fieldbus Foundation

El protocolo Fieldbus está desarrollado sobre la base de la norma o modelo OSI (Interconexión de Sistemas Abiertos, por sus siglas en ingles); aunque no abarca todos sus niveles, consiste en lo siguiente: (figura 1.2.):

- La capa física;
- La capa de comunicación;
- La capa de aplicación del usuario.

FIGURA 1-2: MODELO DE COMUNICACIÓN

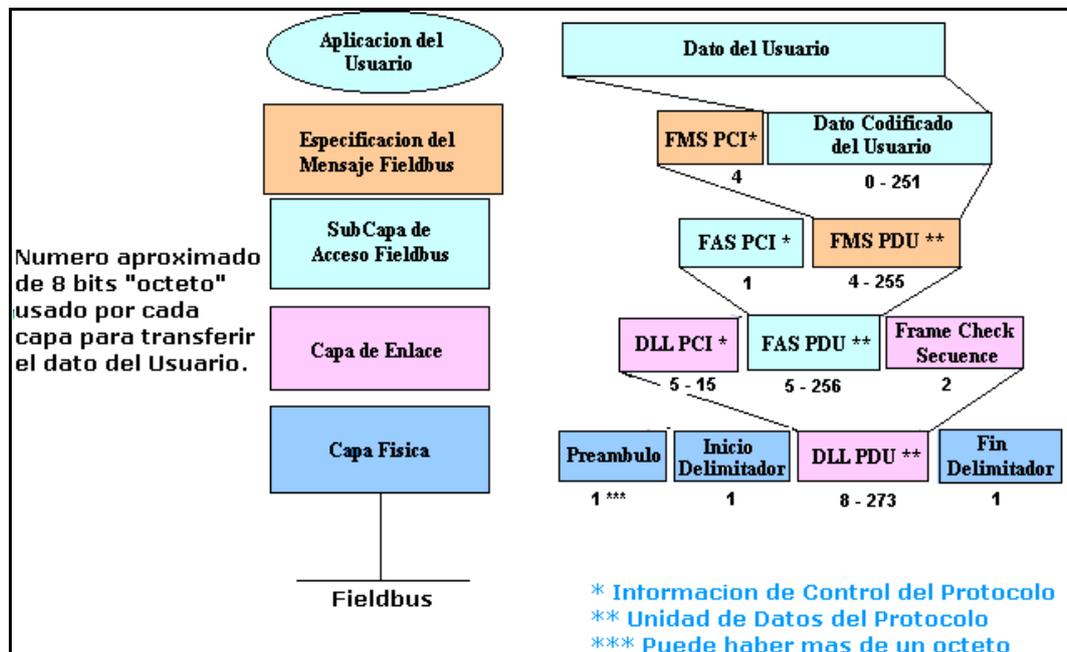


La capa física es la primera capa del modelo OSI, la capa de enlace de datos es la segunda capa del modelo OSI, las especificaciones de mensaje de Fieldbus (FMS - Fieldbus Message Specification) es la capa numero siete.

La batería de comunicación esta compuesta de las capas 2 y 7 en el modelo OSI. El Fieldbus no utiliza las capas 3,4,5 y 6 del modelo OSI. La subcapa de acceso de Fieldbus (FAS - Fieldbus Access Sublayer) vincula el FMS dentro de la capa de enlace de datos. La aplicación del usuario no esta definida por el modelo OSI. Fieldbus Foundation tiene especificado un modelo adicional para la aplicación del usuario.

Cada capa en el sistema de comunicación es responsable de una porción del mensaje que es transmitido en el Fieldbus. El número mostrado debajo de cada una de las capas en la figura 1.3. es un numero de ocho bits "octeto", usado por cada capa para transferir los datos del usuario.

FIGURA 1-3: CAPAS DEL PROTOCOLO FIELDBUS



### **1.2.1. Capa Física**

La capa física esta definida por estándares aprobados desde la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) y la Sociedad de Medición y Control (ISA).

La capa física recibe mensajes desde la batería de comunicación y convierte los mensajes en señales físicas sobre el medio de transmisión de Fieldbus y viceversa.

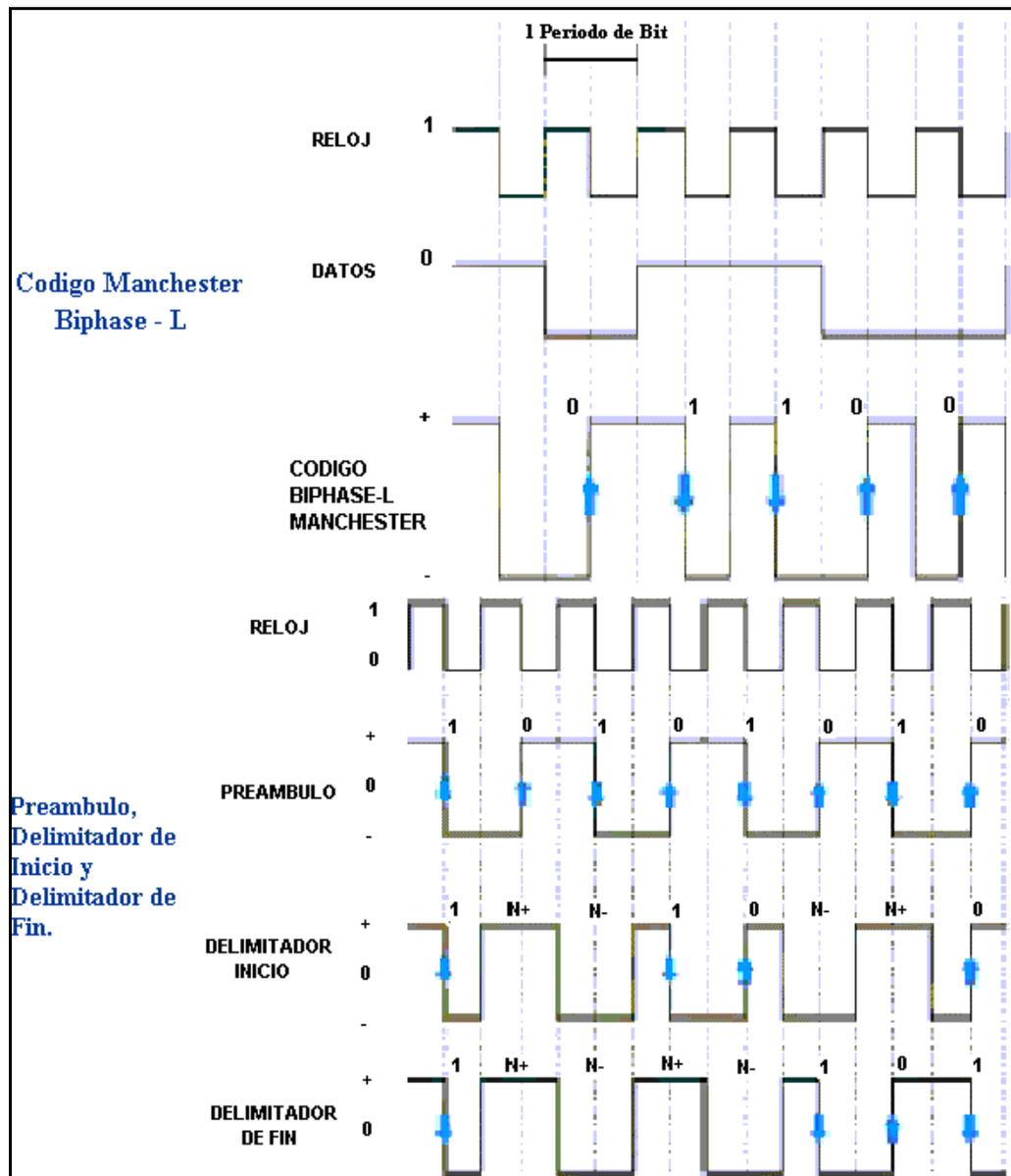
Las señales de Fieldbus son codificadas usando la técnica del código Manchester Biphase-L. La señal es llamada “serial sincrónico” ya que la información del reloj es adicionada en el dato serial. El dato es combinado con la señal del reloj para crear la señal de Fieldbus (Figura 1.4.).

El receptor de la señal del Fieldbus interpreta una transición positiva en la mitad de un bit de tiempo como un “0” y una transición negativa como un “1” lógico.

El preámbulo es usado por el receptor para sincronizar su reloj interno con la señal entrante de Fieldbus. Los códigos especiales N+ y N- están en el delimitador de inicio y en el delimitador de fin. Note que las señales N+ y N- no transmiten en la mitad de un periodo del bit.

El receptor usa el delimitador de inicio para encontrar el principio de un mensaje de Fieldbus. Después de encontrar el delimitador de inicio, el receptor acepta datos hasta que el final del limitador es recibido.

FIGURA 1-4: SEÑALES FIELDBUS



Los dispositivos de transmisión consumen + 10 mA a 31,25 kbit/s dentro de una carga equivalente a 50 ohmios creando un voltaje modulado de 1 voltio de pico a pico sobre un nivel de voltaje de corriente directa.

La fuente de voltaje DC puede estar dentro de un rango de 9 a 32 voltios, sin embargo para aplicaciones de seguridad intrínseca, la alimentación permitida de voltaje depende del barrido estimado. Los dispositivos a 31,25 kbit/s pueden ser alimentados directamente desde el bus de campo y pueden operar sobre el cableado que fue previamente utilizado por los dispositivos de señal de 4 - 20 mA.

### **1.2.2. Capa de Enlace**

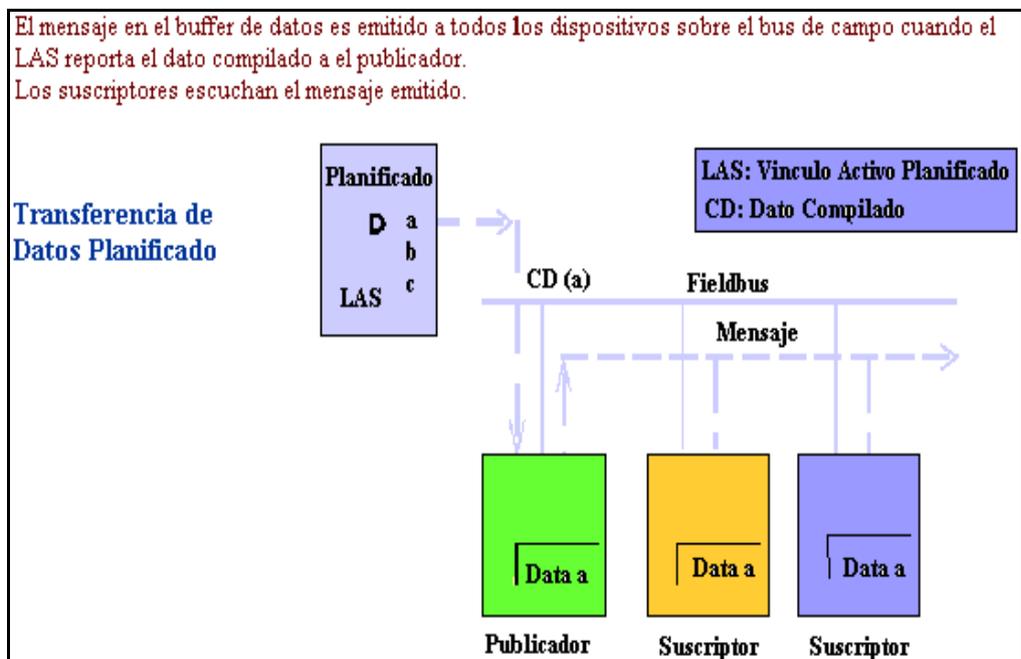
La segunda capa es la de comunicación (DLL - Data Link Layer), controla la transmisión de mensajes hacia el Fieldbus. La capa de enlace administra el acceso hacia el Fieldbus a través de un bus determinístico centralizado planificable llamado vínculo activo planificado (LAS - Link Active Scheduler). Dos tipos de mecanismos son definidos en la especificación de la capa DLL: mecanismo básico y enlace maestro.

Los dispositivos de enlace maestro están en la capacidad de cumplir un vínculo activo planificado, mientras que los mecanismos básicos no tienen la capacidad de cumplir el LAS. Por lo tanto, tenemos la comunicación

planificada y no planificada. El vínculo activo *planificado* tiene una lista de tiempos de transmisión para todos los buffers de datos en todos los dispositivos que necesitan ser cíclicamente transmitido. Cuando es tiempo de transmitir, él LAS reporta un mensaje de dato compilado (CD - Compel Data) al dispositivo.

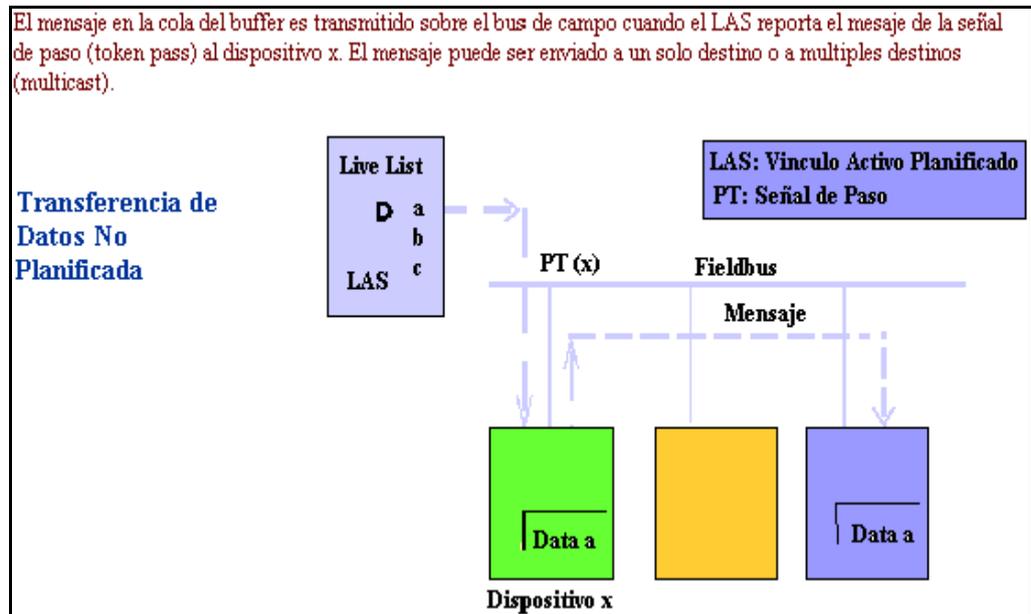
Al recibir el dato compilado, el dispositivo publica el dato en el buffer para todos los dispositivos en el Fieldbus. Cualquier dispositivo que esta configurado para recibir el dato es llamado un “subscriber” (figura 1.5.). La transferencia planificada de datos es típicamente usada regularmente en la transferencia cíclica de datos entre los dispositivos de Fieldbus.

**FIGURA 1-5: COMUNICACIÓN PLANIFICADA**



Todos los dispositivos en Fieldbus tienen la opción de enviar mensajes no planificados entre la transmisión de mensajes planificados. El LAS otorga los permisos necesarios para que un dispositivo use Fieldbus para emitir un mensaje “pass token” para el dispositivo. Cuando el dispositivo recibe el mensaje, se le permite enviar mensajes hasta que este halla terminado o hasta que el tiempo máximo para mantener el “token” haya expirado (figura 1.6.).

**FIGURA 1-6: COMUNICACION NO PLANIFICADA**



### 1.2.3. Subcapa de Acceso Fieldbus

La subcapa de acceso Fieldbus (FAS - Fieldbus Access SubLayer) utiliza las características de la capa de enlace planificada y no planificada para proveer un servicio para la especificación del mensaje Fieldbus (FMS - Fieldbus Message Specification).

Los tipos de servicios FAS son descritos por las relaciones de comunicación virtual (VCR - Virtual Communication Relationships). Después de la configuración, solo el número VCR se necesita para comunicar con otro dispositivo de campo.

Existen tres formas de acceder a la red:

- **Pasaje de "token":** El "token" es el modo directo de iniciar una transmisión en el bus. Cuando termina de enviar los mensajes, el equipo retorna el "token" a la comunicación de enlace planificada. El LAS transmite el "token" de nuevo para el equipo que lo solicite, ya sea vía pre - configuración o vía escalonamiento.
- **Respuesta inmediata:** Utiliza la comunicación no planificada, el master dará una oportunidad para que una estación responda con un mensaje.
- **Petición de "token":** Un equipo solicita un "token" usando un código en alguna de las respuestas que él transmitió para el bus. El LAS recibe esta petición y envía un "token" para el equipo que lo solicitó cuando hubiese tiempo disponible en las fases periódicas del escalonamiento.

#### **1.2.4. Especificaciones del Mensaje Fieldbus**

El servicio de la especificación del mensaje de Fieldbus (FMS - Fieldbus Message Specification) permite a la aplicación del usuario enviar mensajes a través del bus de campo usando un formato estándar del mensaje. FMS describe el servicio de comunicación, formato del mensaje, y funcionamiento del protocolo necesario para la construcción de mensajes para la aplicación del usuario.

El dato que es comunicado sobre el bus de campo es descrito por una "descripción objetiva". La descripción objetiva es reunida con otras en una estructura llamada "diccionario objetivo" (OD - Object Dictionary).

La descripción objetiva es identificada por un índice en el OD. El índice 0, llama al inicio del diccionario objetivo, provee de una descripción del diccionario a sí mismo, y define el primer índice para la descripción objetiva de la aplicación del usuario.

La descripción objetiva de la aplicación del usuario puede ahora empezar en cualquier índice de los 255. El índice 255 define el tipo de dato estándar tal como Bolean, entero, flotante, bit string, y estructuras de datos que son utilizadas para la construcción de todas las otras descripciones objetivas.

### 1.2.5. Aplicación del Usuario

Fieldbus Foundation tiene un estándar de aplicaciones de usuarios basados en bloques. Los bloques de funciones son:

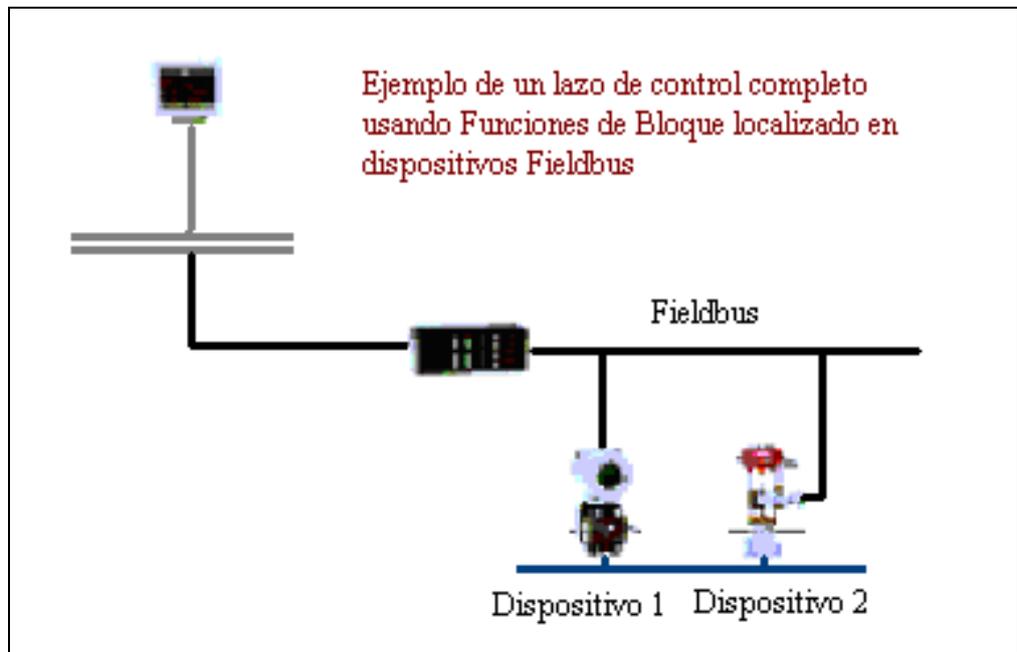
- **Bloque de Recursos.-** El bloque de recursos describe las características de dispositivo Fieldbus tales como el nombre del dispositivo, el fabricante, y el número de serie. Existe solo un bloque de recurso para cada dispositivo.
- **Bloque de Funciones.-** El bloque de funciones provee el sistema de control. Los parámetros de entrada y salida del bloque de funciones pueden ser vinculados sobre el Fieldbus.

**TABLA 1-1: FUNCIONES DE BLOQUE PARA UN CONTROL BASICO**

Función de Bloque	Simbolo
Analog Input	AI
Analog Output	AO
Bias	BI
Control Selector	CS
Discrete Input	DI
Discrete Output	DO
Manual Loader	ML
Proportional Derivative	PD
Proportional/Integral/Derivative	PID
Ratio	RA

La ejecución de cada bloque de función es precisamente planificada. Pueden haber varios bloques de funciones en una sola aplicación del usuario, en la tabla 1.1. se listan las diez funciones de bloques estándar para un control básico. Los bloques de función pueden ser construidos dentro de los dispositivos Fieldbus dependiendo de cómo estos se vayan necesitando para la lograr la funcionalidad deseada. Por ejemplo, un transmisor de temperatura puede contener un bloque de función AI. Una válvula de control puede contener un bloque de función PID y también un bloque AO. Un lazo completo de control puede ser construido usando un simple transmisor y una válvula de control, como se observa en la figura 1.7.

**FIGURA 1-7: CONTROL DE LAZO CON FUNCIONES DE BLOQUE**



- **Bloque Transductor.-** El bloque transductor separa el bloque de función de las funciones de entrada / salida requeridas para leer sensores y comandos de salidas. Ellos contienen información tales como fecha de calibración y tipo de sensor. Usualmente existe un bloque transductor para cada función de bloque de entrada o salida.

### **1.3. Topologías**

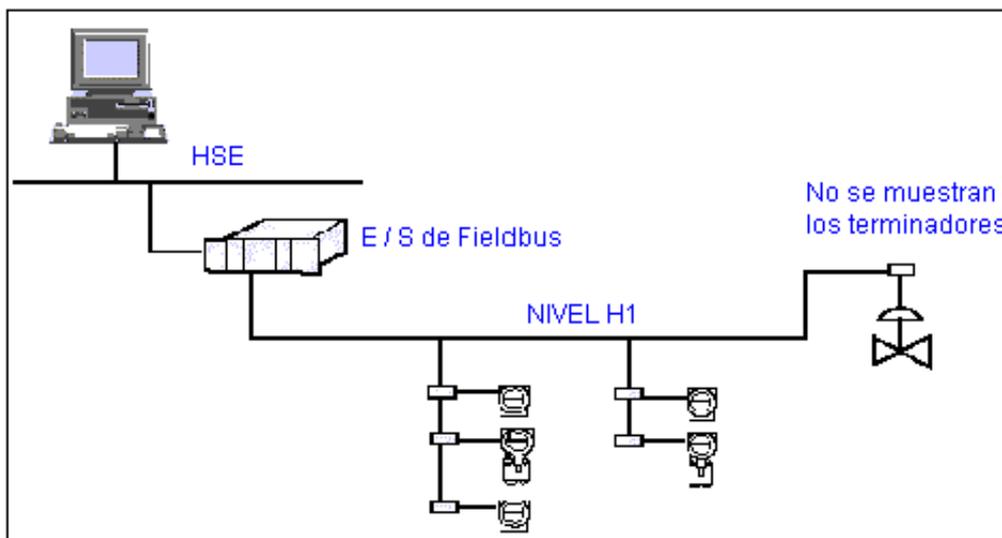
Se pueden aplicar varias topologías cuando se utiliza Fieldbus, a continuación se muestran algunas de ellas:

- Topología de Bus con Spurs
- Topología Punto a Punto
- Topología en Árbol
- Topología End to End
- Topología Mixta

#### **1.3.1. Topología de bus con spurs**

En esta topología se utiliza un único bus donde los equipos o buses secundarios (spurs) se encuentran conectados directamente al mismo. Puede haber varios equipos diferentes en cada spur.

FIGURA 1-8: TOPOLOGIA TIPO BUS CON SPURS



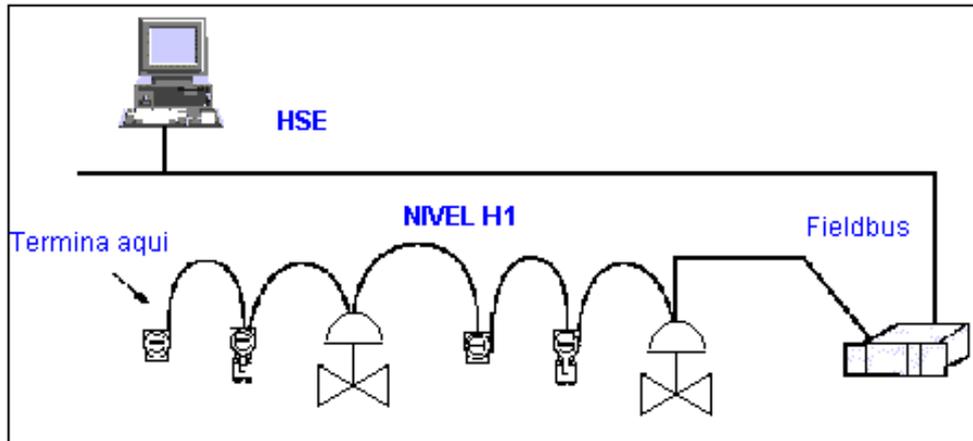
### 1.3.2. Topología punto-a-punto

En esta topología se dispone de un enlace en serie de todos los equipos utilizados en la aplicación.

El cable FIELDBUS es enrutado de equipo a equipo consecutivamente e interconectado en las terminales de cada equipo FIELDBUS.

Las instalaciones que utilizan esta topología deben usar conectores de forma que la desconexión de un simple equipo no interrumpa la continuidad del segmento.

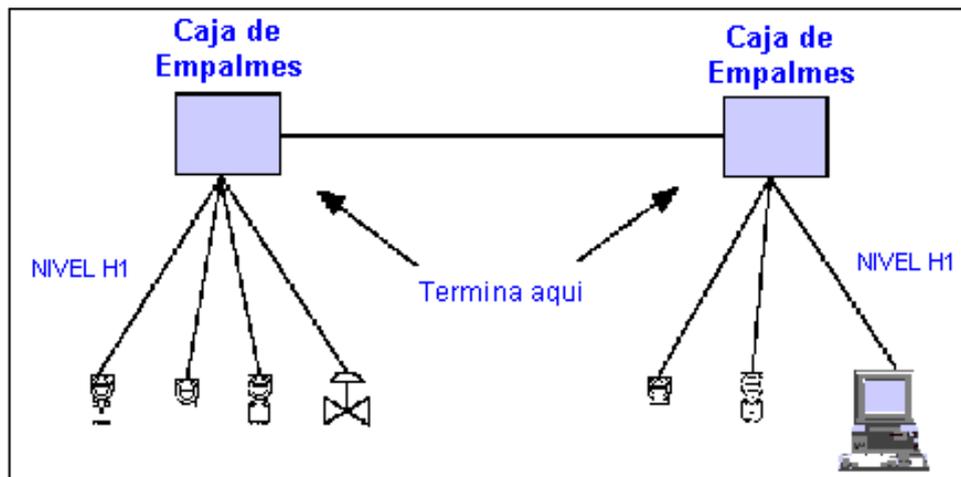
FIGURA 1-9: TOPOLOGIA PUNTO A PUNTO



### 1.3.3. Topología en árbol

Una topología en árbol concentra en acopladores / cajas de empalme el enlace de varios equipos. Debido a su distribución, esta topología se conoce también como "pie de gallina".

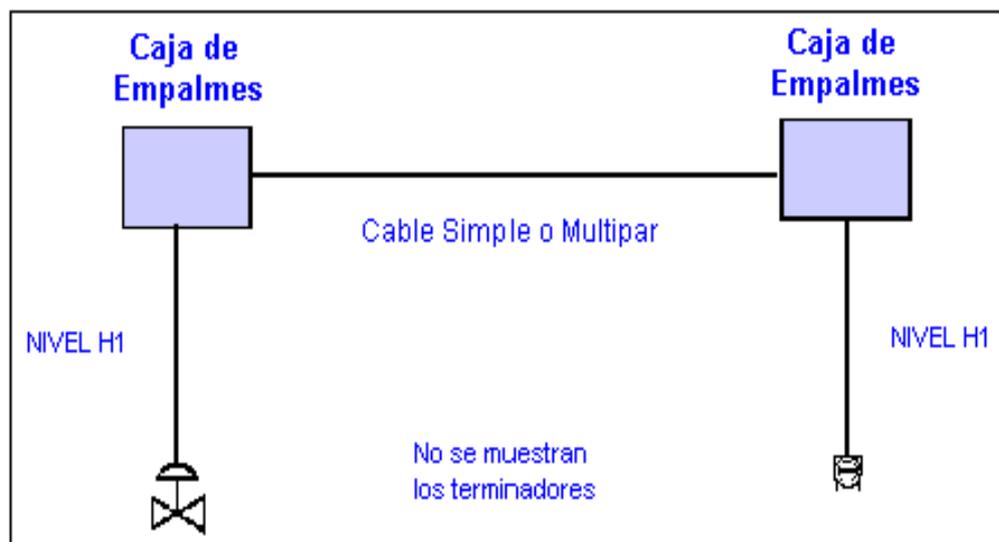
FIGURA 1-10: TOPOLOGIA EN ARBOL



### 1.3.4. Topología "End-to-End"

Esta topología se utiliza cuando se conectan directamente sólo dos equipos. Este enlace puede estar enteramente en el campo (un transmisor y una válvula sin ningún otro equipo conectado) o puede conectar un equipo de campo (un transmisor) al "Device Host".

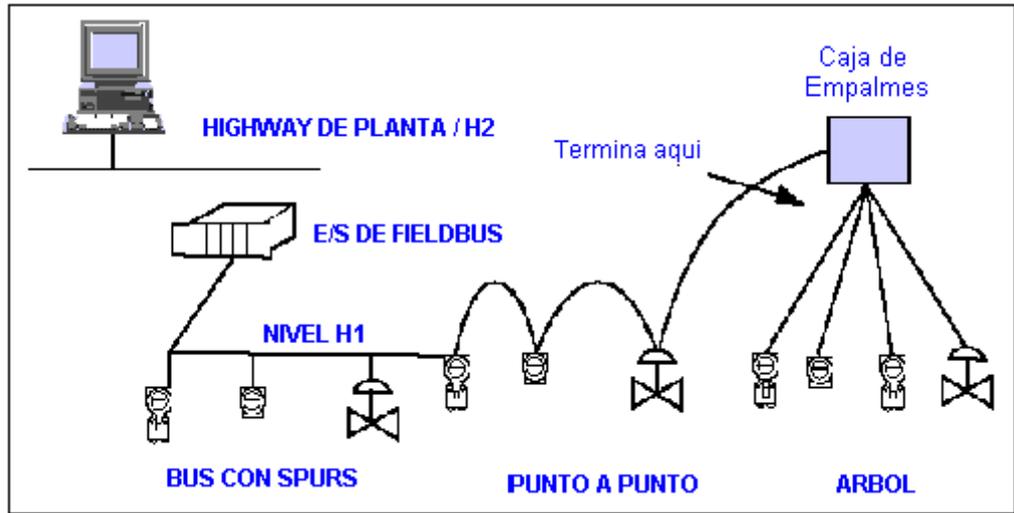
FIGURA 1-11: TOPOLOGIA END TO END



### 1.3.5. Topología mixta

En esta configuración, las tres topologías de uso más común se encuentran vinculadas entre sí. Mientras tanto, cabe señalar que la longitud máxima del segmento debe incluir la longitud de los spurs en la longitud total.

FIGURA 1-12: TOPOLOGIA MIXTA



## **2. ANÁLISIS DE UN PROCESO INDUSTRIAL**

Las primeras industrias en utilizar *Foundation Fieldbus* han sido las de azúcar, energía, químicas y petroquímicas. Basándose en el éxito de estas aplicaciones, otros segmentos de la industria están adoptando esta tecnología. Además, algunos de los primeros usuarios están realizando su segundo o tercer proyecto de Fieldbus. En el Ecuador una empresa de proceso de obtención de alcohol etílico rectificado como CODANA S.A. está en su segunda etapa de automatización y está pensando desde ya en una tercera etapa. De manera que puede verse que la aceptación de la tecnología de Fieldbus se va dispersando y diversificando.

El proceso industrial de obtención de alcohol fue analizado y estudiado por nosotros gracias a las facilidades brindadas por la empresa CODANA S.A., empresa que inició sus operaciones en 1985 como una compañía de economía mixta. En 1991 se transformó en Sociedad Anónima siendo sus accionistas los dos principales ingenios azucareros del Ecuador: Compañía Azucarera Valdez S.A. y Sociedad Agrícola e Industrial San Carlos S.A., la planta industrial esta ubicada en Milagro junto a las instalaciones de Ingenio Valdez, donde a partir de la caña de azúcar obtiene Alcohol Etílico Extra Neutro de 96° GL. Esta empresa empleaba en sus inicios el control por medio de microcontroladores, en donde el operador terminaba siendo controlado por el proceso y se necesitaba de algunas personas para la obtención de un producto de buena calidad y con tendencia a errores por los procedimientos de controlar las variables de proceso.

Se decide entonces migrar en una parte de su proceso a otro tipo de control basado en la comunicación de 4 - 20 mA denominado sistema BAILY (que es un DCS - Sistema de Control Distribuido) con equipos redundantes, en la segunda parte de automatización se adopta el sistema de Foundation Fieldbus. Gracias a la automatización ahora el operador es el que controla el proceso, basado en la arquitectura integrada y abierta para la recopilación de información desde una cabina de control hacia los actuadores de campo.

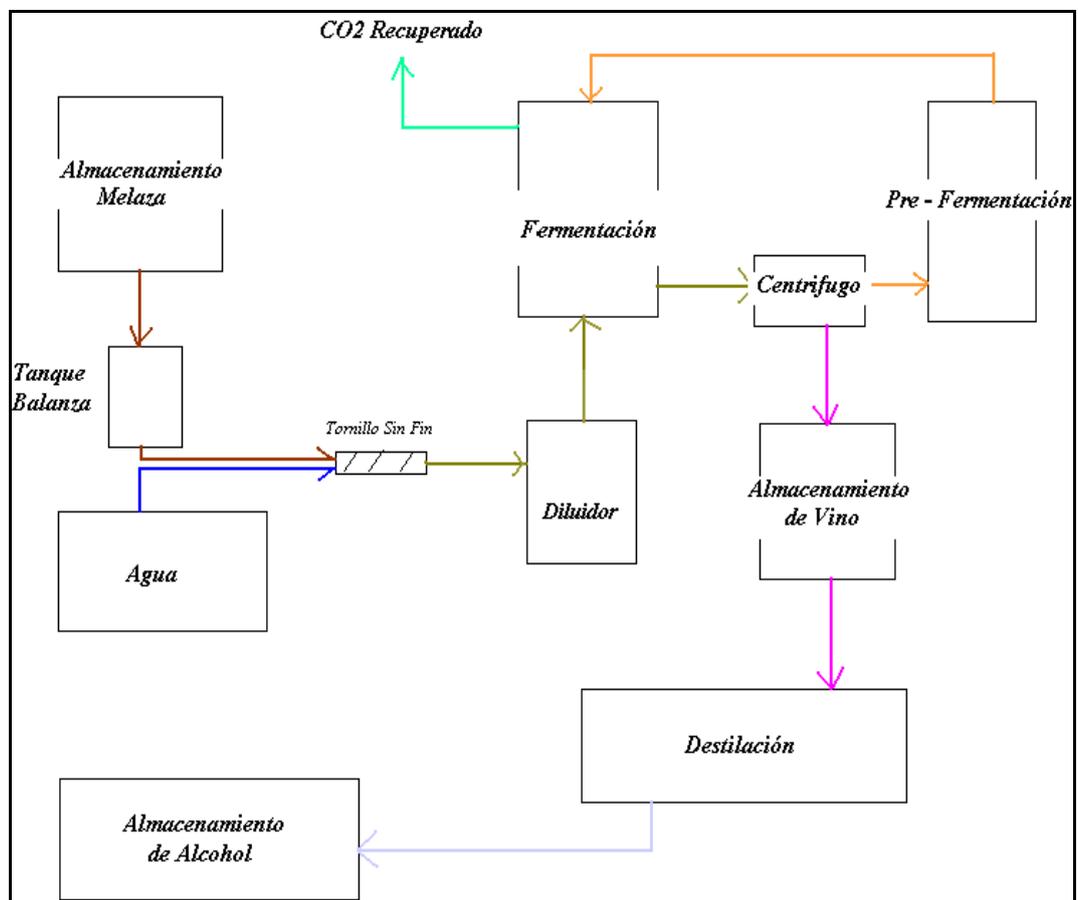
### **2.1. Descripción del Proceso**

El proceso consiste en obtener un alcohol etílico rectificado empleando como materia prima la melaza (*figura 2.1.*), que es depositada en tanques de almacenamiento, de ahí por medio de bombas es enviado a un tanque - balanza y luego al tanque pulmón donde se almacena cierta cantidad de kilos de melaza.

Por medio de una válvula reguladora pasa del tanque - balanza a través de un tornillo sin fin donde se mezcla con agua proveniente de un pozo, donde el paso de ésta es también controlada por una válvula, llegando al tanque diluidor donde se mide el nivel de azúcar. Una vez diluida la melaza pasa al proceso de fermentación y a través de una bomba centrífuga se separa la crema del vino. La crema obtenida pasa a un proceso de pre - fermentación donde se mezcla con otros ingredientes como urea, levadura y otros, y retorna al proceso de fermentación. De la fermentación de la melaza también se recupera CO<sub>2</sub> que es

enviado a través de tuberías al proceso de obtención de CO<sub>2</sub> líquido y hielo seco. El vino producto de la fermentación de la melaza es la materia prima para la obtención del alcohol rectificado por medio del proceso de destilación. Una vez obtenido el alcohol éste es enviado a los tanques de almacenamiento en la bodega de despachos.

**FIGURA 2-1: PROCESO DE OBTENCION DE ALCOHOL**



A continuación se muestra en forma detallada cada una de las etapas del proceso de obtención de alcohol etílico rectificado, que las hemos dividido en proceso de dilución, fermentación y destilación.

### **2.1.1. Proceso de Dilución**

El Alcohol es obtenido a través de la melaza, el cual es un líquido viscoso cristizable, de color pardo oscuro, que se obtiene como residuo en la fabricación de azúcar de caña, se compone fundamentalmente de azúcar en un 48%, esta materia prima es obtenida gracias a las tuberías que conectan el sitio de almacenamiento de melaza con el Ingenio Valdez, gracias a una bomba que se encuentra en el Ingenio Azucarero es transportada hasta CODANA, otra forma de obtener la materia prima es a través de los camiones que la transportan desde el Ingenio San Carlos hasta CODANA.

La melaza llega dependiendo del residuo proveniente de los ingenios; llegan a una piscina de almacenamiento y desde esta se transportan hasta tres tanques de melaza con una capacidad de 100,000 galones, en esta parte de recepción, se controla el nivel de cada uno de los tanques gracias a la instrumentación basada en sistemas de control, usando un Transmisor de Presión LD302 de SMAR modelo L4, y dos Transmisores de Nivel de la marca Bailey, modelo PTSDLF3A1A101A0, tal como se observa en la *figura A.1.* del Apéndice A.

Desde este punto es transportada hacia un tanque balanza a través de una bomba de 18 HP, 1155 RPM, la misma bomba se encarga de llevar la melaza a los tanques y al inicio de proceso, esto es controlado a través de válvulas manuales. El tanque balanza con capacidad de 2700Kg es usado para obtener un valor de cuanta melaza se está usando para obtener determinada cantidad de alcohol, normalmente con un galón de melaza se obtiene un litro de alcohol, la medición se realiza a través de un indicador digital de peso y celdas de carga; luego es llevada hasta un tanque llamado pulmón de melaza, cuando el nivel de melaza en este tanque llega a su set point, el operador presiona un botón que apaga la bomba, lo contrario sucede cuando requiere melaza, una válvula automática FY302 de SMAR controla el paso de melaza desde el tanque balanza hacia el pulmón de melaza y se controla el nivel del tanque pulmón de melaza gracias a un Transmisor de Presión LD302 modelo L2, luego por caída libre ingresa a un tornillo sin fin, en donde se mezcla con agua. El agua se obtiene desde un pozo y es llevada hasta una piscina de tratamiento a través de una bomba trifásica de 100 HP, 1775 RPM y una tubería de 8 pulgadas, en esta piscina se hace tratamiento del agua obtenida hasta estar lista para ingresar al proceso, luego es llevada hasta un tanque Pulmón de Agua, de donde por caída libre ingresa junto con la melaza al tornillo sin fin.

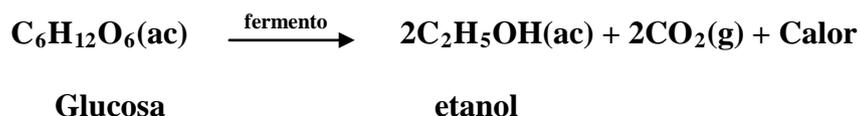
En el tornillo sin fin se encuentra una espiral a manera de aspas estática, por donde pasan agua y melaza para mezclarse, la entrada de agua al tornillo sin fin es controlada gracias a una válvula automática FY302 de SMAR, luego ambas ingresan hasta el Tanque Diluidor, en donde se controla el nivel de Brix, el cual es el nivel de azúcar de la mezcla y Temperatura a través de un Transmisor de Densidad 4-20 mA DT301 de SMAR, conjuntamente con un conmutador 4-20 mA a FB IF302 de SMAR, el proceso de descarga es continuo, simplemente ingresan al Tanque Diluidor y luego pasan a la Fermentación, como se observa en la figura A.2. del Apéndice A.

### **2.1.2. Proceso de Fermentación**

El proceso de fermentación se lleva a cabo en siete tanques completamente cerrados, cada uno con una capacidad de 30.000 litros para su elaboración en los cuales se deposita la melaza diluida con agua denominada *mosto* que es la materia prima para esta parte del proceso de obtención de alcohol etílico rectificado. El mosto es distribuido a cada uno de los tanques fermentadores desde el tanque diluidor por caída libre sin la acción de alguna bomba de presión ya que estos se encuentran debajo del diluidor haciendo su recorrido a través de tuberías y por acción de válvulas manuales permitiendo el llenado de cada uno de ellos.

Una vez lleno el tanque fermentador con el mosto se le agrega sustancia *prefermentada* impulsada por una bomba con un motor eléctrico trifásico de 7.5 HP y 1720 rpm, y distribuida por tuberías y válvulas manuales, que es preparada en tres tanques prefermentadores abiertos en la parte superior, cada uno con una capacidad de 30.000 litros para su elaboración. Esta sustancia en la parte inicial de su cultivo está compuesta principalmente por agua, levaduras, urea, ácido sulfúrico y aire (ya que las levaduras necesitan oxígeno para multiplicarse) en proporciones que van de acuerdo al vino que se quiere obtener, como se observa en la *figura A.2.* del Apéndice A.

Una vez lleno el tanque fermentador con los niveles apropiados de mosto y levaduras se lleva a cabo el proceso de fermentación. La fermentación que se realiza es del tipo malo alcohólica; es decir, en el transcurso de la elaboración y maduración del vino, se dan dos procesos biológicos de descomposición del ácido málico; uno protagonizado por las levaduras y el otro por bacterias lácticas, en este caso tratándose de las levaduras que fermentan el ácido málico se produce alcohol etílico y anhídrido carbónico, dado por la siguiente ecuación química:



En ausencia de oxígeno, las enzimas presentes en los cultivos bacterianos o en la levadura catalizan la reacción. Este proceso desprende energía, que los microorganismos, a su vez, usan para su crecimiento y para otras funciones. El etanol tiene incontables aplicaciones como disolvente de compuestos orgánicos y como materia prima en la elaboración de colorantes, fármacos, cosméticos, explosivos, etc.

Debido al desprendimiento de energía (calor) por efecto de la fermentación, a los 34 °C de temperatura se abre la válvula manual de paso de agua para enfriamiento y mantención de la temperatura entre los 28 °C y 49 °C dependiendo del grado de alcohol que se quiera obtener. En el interior de los tanques fermentadores existe una tubería en espiral de 6" de diámetro aproximadamente que rodea internamente el tanque por donde el agua fluye hasta salir del tanque a un canal de desfogue, tal como se muestra en la *figura A.3.* del Apéndice A. Las temperaturas máximas y mínimas dependerán de la especie de levadura que se use, si es resistente o no y cual es la temperatura óptima para su desarrollo, ya que, es muy difícil decir cual es el límite de la temperatura crítica de fermentación que es donde las levaduras ya no se reproducen y acaban muriendo, lentificando y deteniendo la fermentación, es posible indicar una zona peligrosa que depende de la aireación, la riqueza del mosto, los factores nutritivos de las levaduras y la naturaleza de las mismas.

También se deberá manejar la temperatura dependiendo del vino que se quiera obtener. Si se quiere obtener un vino con baja graduación alcohólica, se deberá hacer una fermentación a alta temperatura, por el contrario, si se quiere obtener un vino con alta graduación alcohólica se deberá proceder a una fermentación a baja temperatura.

Para controlar y visualizar el estado de las variables existentes en los tanques fermentadores como temperatura, nivel y brix; se emplea los transmisores inteligentes de la marca SMAR de Fieldbus, para la temperatura emplea el transmisor TT302 y para el nivel y el brix utiliza el transmisor de presión LD302, como se observa en la *figura A.3.* del Apéndice A.

Otro factor importante en la fermentación es el tiempo de fermentado, en los tanques fermentadores se lleva a cabo el proceso en unas 16 horas aproximadamente, ya que depende del nivel de brix que se vaya obteniendo siendo el apropiado menor 22% del contenido de azúcar en la sustancia. Luego de haber sido fermentado el mosto con las levaduras, esta sustancia es impulsada por dos bombas (la una de 7,5 HP a 1720 rpm y la otra de 6,0 HP a 1720 rpm) a través de tuberías hasta llegar a una de dos bombas centrífugas de platos situadas en la parte superior de la planta e impulsadas la una por un motor eléctrico trifásico de 7,5 HP a 1475 rpm y la otra por un motor eléctrico

de 11,5 HP a 1475rpm, en donde se separa el vino de la crema. La crema pasa directamente a los tanques pre-fermentadores a través de tuberías por caída libre ya que estos se sitúan debajo de las bombas centrífugas. Estos tanques son previamente llenados con 7000 litros de agua y luego completan con 8000 litros de crema aproximadamente, cuando la crema resulta ser muy espesa se pone en funcionamiento los agitadores existentes en el interior del tanque. Para poder controlar y visualizar el estado de las variables existentes en los tanques prefermentadores como, nivel y pH; se emplea el transmisor de presión LD302 para la medición de nivel y el convertidor IF302 para medición del pH como se observa en la *figura A.4.* del Apéndice A. Luego de haber sido llenado el tanque fermentador por un lapso de 2 horas, se envía el prefermentado a estos para cerrar el ciclo del proceso antes descrito.

Ya que el proceso de fermentación desprende anhídrido carbónico ( $\text{CO}_2$ ), este gas crudo de fermentación es enviado a un tanque de espuma denominado Booster, en el cual se obtiene un gas con valores apropiados para la elaboración de  $\text{CO}_2$  en estado líquido a altas presiones y sólido (hielo seco) a bajas presiones en la planta de recuperación de  $\text{CO}_2$ , donde es impulsado hasta esta planta por un compresor de gas de hasta 20 psi movido por un motor eléctrico trifásico de 20 HP y 3505 rpm.

Como se dijo anteriormente por la acción de la bomba centrífuga se obtiene crema y vino de la sustancia fermentada, en donde la crema pasa al proceso de pre-fermentación y luego al de fermentación para cerrar el ciclo, el vino pasa al tanque denominado "pulmón de vino", en el cual se mantiene siempre un nivel apropiado para abastecer la demanda continua en el proceso de destilación. En este tanque para poder controlar y visualizar el nivel se emplea el transmisor de presión LD302.

### **2.1.3. Proceso de Destilación**

El siguiente proceso de destilación consiste en obtener el alcohol a partir del vino como materia prima el cual es obtenido del proceso de fermentación. El vino es llevado desde el tanque de vino, ó también llamado Pulmón de vino, a diferentes columnas, que se detallan a continuación:

***Columna Destrozadora CD/A.-*** La columna destrozadora tiene 24 platos; llamada también columna CD/A. La columna es calentada por vapor, proveniente de calderos a una temperatura de 300 grados centígrados; el control del flujo de vapor que entra a SD1 es manual; SD1 es un pequeño tanque donde entra el vapor; esta columna contiene agua en un 50% de su capacidad; el vapor producto del calentamiento del agua con el vapor de los calderos es aprovechado para el proceso de la destilación; el vapor sube por la columna a una temperatura de 61.5 grados centígrados; en el interior de la

columna se tiene un vacío de 16 in/Hg. A lo largo de la columna se tiene dos RTD's una de ellas es la que sirven para monitoreo TT\_204 en la base y la otra ubicada en la columna concentradora, que esta sobre la columna destrozadora como se observa en la *figura A.5.* del Apéndice A. El vino que entra a la columna destrozadora en el plato 24 lleva un grado de alcohol (GL) de 5 a 7; a una temperatura de 61.5 grados centígrados se tiene un alcohol con un grado de 90.5.

El control del flujo de vino que entra a la columna es controlado de manera automática por una placa de orificio y una válvula automática FCV\_100; el flujo de vino es de 21.000 lt/h. El nivel de agua que esta en la base de la columna también es controlado por un sensor de nivel LT\_104 y una válvula automática FCV\_104; el agua baja de un tanque elevado de una capacidad de 500 gal. por gravedad; así mismo el vino es mantenido en un nivel de 30% de su capacidad; ambos separados por una placa intermedia que impide que se mezcle el agua y la vinaza; el agua que entra a SD1 (calderín) lleva una pureza cero para evitar que se dañe el calderín.

La vinaza que cae por la columna no cae en el agua debido a que el vapor lo expulsa hacia donde esta la vinaza, que es extraída por una bomba de 3 HP, el control de nivel de vinaza se hace por medio de un sensor de nivel y una válvula automática LCV\_102; la vinaza es llevada a un enfriador, luego al

tanque de vinaza, y finalmente es llevada a una piscina para su tratamiento antes de ser expulsada como desecho.

En la columna SD2 a lado de CD/A se almacena vinaza en su interior; dentro de esta columna hay tuberías por donde circula vapor de alcohol proveniente de la columna CR la cual vamos a estudiar mas adelante; este vapor aquí se condensa y es devuelto como reflujo a la columna CR; el vapor que emana es aprovechado para calentar la vinaza y producir vapores que ayudan al proceso de destilación. El producto de esta columna es el vapor alcohólico extraído en el plato 21 y llevado a la columna concentradora CD/B. En la columna destrozadora en su parte superior se extraen vapores congeneres o contaminados con metanol, estos vapores son llevados a CD/C donde se los condensa y son devuelto como reflujo entrando por el plato 19, el vapor que no se condensa es llevado a la columna CL (Columna de Vacío), donde termina de condensarse. La columna SD7 es de vacío, aquí entran los vapores que no se condensan en SD8 y SD8, para condensarse en SD7 y ser devuelto como reflujo a la columna CD/A, una parte de este alcohol es extraído como alcohol Industrial 1 a un flujo de 20 lt/h para no llenar de contaminantes la columna; y el vapor que no logra condensarse es llevado a la columna CL de vacío; el flujo de vapor de SD7 a CL es controlado por un PT\_102 y una válvula automática FCV\_102. El vapor alcohólico que se extrae de esta columna, se lo hace mediante intercambio de calor, es decir el vapor de agua

se condensa y una parte del vino es transformada en vapor alcohólico y extraído en el plato 21.

**Columna Concentradora CD/B.-** Esta columna tiene 12 platos; en la parte inferior de la columna CD/B entra vapor proveniente de CD/A; este vapor sube por la columna y extraído hacia SD6, SD8, y SD5, donde se condensa y es llevado como reflujo a la columna CD/B en el plato 12; lo que no se evapora va a SD7 donde se termina de condensar tal como se explico en la parte de la columna destrozadora. El alcohol que entra como reflujo cae por la columna condensando parte del vapor alcohólico que sube; el alcohol producto de esta columna es extraído en el palto 8, 10, y 12 en las válvulas manuales 1, 2, y 3 respectivamente, como se observa en la *figura A.6.* del Apéndice A..

Lo que se almacena en la base de esta columna es la Fregmasa, que es llevada a CLU donde se le inyecta vapor de los calderos y devuelta como reflujo a CD/B en el plato 1; lo que se recoge en la base de la columna CLU es la vinaza la cual es extraída por una bomba de 1HP y controlado el nivel de vinaza en CLU por un sensor de nivel y una válvula automática FCV\_150; La vinaza que sale de CLU es llevada al tanque de vinaza. Los vapores provenientes de CD/C, SM7 y SD7 van a la columna CL de vacío, donde es

creado un vacío por medio de una bomba de 5HP; en la bomba entra vapor y agua, y este líquido es llevado al pulmón de vacío y luego a un canal de agua.

El alcohol que se condensa en CL es llevado a CI; la columna CI tiene un vacío de 24 in/Hg. El alcohol extraído de la columna concentradora es llevado a un tanque de equilibrio.

**Columna Hidroselectora CI.-** Esta columna tiene 51 platos. En la cámara de equilibrio se calienta el alcohol a 90 grados centígrados, a esta columna se inyecta alcohol a 90 grados centígrados en el plato 30 y 40, a un flujo de 1600 lt/h; también se inyecta Fregmasa que es una agua con alcoholes con un flujo de 5000 a 6500 lt/h a 120 grados centígrados; en la base de esta columna se tiene 94 grados centígrados; el flujo de alcohol y agua es controlada por rotámetros; este proceso es manual, como se observa en la *figura A.7.* del Apéndice A..

El alcohol que entra a la columna lleva 90 GL, y aquí se lo baja a de 10 a 15 GL. En la base de la columna se extrae con una bomba de 5 HP, este alcohol a un flujo de 2800 lt/h aproximadamente, debido a que se controla en la base es el nivel de alcohol, y esto se controla con un sensor de nivel LT\_103 y una válvula automática FCV\_103, y llevado a la columna CR (Columna Rectificadora).

La finalidad de bajar el grado de alcohol es extraer el metanol existente en el alcohol, puesto que este es más volátil sube por la columna, y en la parte superior es extraído y llevado a SM1 donde es condensado y devuelto a CI como reflujo una parte, y otra parte es llevado a CO (Columna Concentradora de Fusel); lo que no se condensa es condensado en SM2 y enviado como reflujo a CI y así mismo una parte va hacia CO. En la columna CI también entra alcohol condensado en el plato 51, el cual contiene contaminantes. Dentro de la columna CI se mantiene un vacío de 0.40 PSI. El vapor de los calderos que entra a esta columna es directo.

***Columna Rectificadora CR.-*** Esta columna tiene 72 platos, en la base de la columna se mantiene una temperatura de 123 grados centígrados. La fregmasa que se deposita en la base mantiene un nivel con SR1, donde se inyecta vapor de los calderos, que calienta la fregmasa y produce un vapor que es utilizado para la destilación en esta columna; es decir para transformar el alcohol en vapor alcohólico, como se observa en la *figura A.8.* del Apéndice A. El alcohol que viene de CI entra en el plato 20. El nivel de la fregmasa en la base se mantiene en un 30% de su capacidad; este nivel es controlado por un LD\_102 y una válvula automática FCV\_102 y llevado al tanque BR1 una parte y otra parte es enviado por un canal para que no se rebose el tanque BR1; la fregmasa que está en BR1 es llevado por una bomba de 15 HP hacia la columna CI. El vapor que emana de BR1 es aprovechando para calentar

CO. En esta columna a nivel de los platos 21, 22, y 23 se encuentra tres termocuplas y tres válvulas manuales donde se extraen gases bajos (Amílico, Izo amílico, Propano, Butal), y en los platos 25, 26, y 27, se extraen los gases altos (Acetona, Aldehído); los gases bajos son llevados a BR3 donde se los condensa; los gases altos son llevados a una pequeña columna que contiene tuberías internas por donde circula el gas, este tanque contiene agua industrial que condensa estos gases y luego llevados a BR3 para terminarlos de condensar, para luego ser llevados por medio de una bomba de 1HP a la columna CI, con el fin de extraer en el etanol (alcohol etílico útil) existentes en estos gases ya condensados.

Los gases Extraídos en la parte superior de esta columna son extraídos y llevados a SD2 donde se los condensa y llevados por medio de una bomba de 1 HP como reflujo hacia el plato 72; y lo que no se condensa en SD2, es llevado a SD3, donde se termina de condensar, y finalmente almacenarlo como alcohol industrial 1 a un flujo de 20 a 30 lt/h.

Para extraer el alcohol rectificado producto de esta columna se controla por medio de un sensor de nivel LT\_102A a la altura del plato 27 y una válvula automática FCV\_102A; este alcohol rectificado es llevado a la columna CM (Columna de Repase Final).

**Columna Repase Final CM.-** Esta columna tiene 48 platos; esta columna tiene un vacío de 5 a 10 in/Hg. El alcohol proveniente de CR, entra por el plato 22, como se observa en la *figura A.9.* del Apéndice A. Esta columna en la base tiene una temperatura de 99 grados centígrados.

Debido a que el metanol es más volátil que el alcohol etílico, se transforma en vapor y sube por la columna, para ser extraído y condensado en SM5 y SM6, y llevado como reflujo por medio de un abomba de 1 HP a CM, entrando por el plato 48; y lo que no se condensa es llevado a SM7, lo aquí se condensa es llevado como reflujo a CM, y parte de este es extraído como alcohol industrial 1 a un flujo de 21 lt/h, esto para no llenar de contaminantes la columna CM; lo que no se condensa es llevado a la columna CL de vacío, y controlado por un sensor de presión PT\_101 y una válvula automática FCV\_101. El alcohol etílico, se deposita en la base de la columna y llevado a SM3 por medio de una bomba de 5 HP.

En esta columna se introduce agua en tuberías interiores con la finalidad de enfriar el alcohol y luego ser llevado a almacenamiento. Cuando el alcohol etílico rebosa en SM1 es evacuado por una tubería y llevado hacia la columna CI, para seguir un proceso repetitivo.

***Columna Concentradora De Fusel CO.-*** Esta columna es calentada por el vapor expulsado de BR1, y paralelamente calentada por el vapor de los calderos; todos estos controles son manuales. En el interior de la columna se tiene de 100 a 103 grados centígrados. A esta columna le llega alcohol con un alto grado de metanol con un flujo de 100 a 150 lt/h; así también le llega agua tratada, la cual mantiene arriba al fusel, debido a que es menos denso, como se observa en la *figura A.10.* del Apéndice A. El agua también sale de la columna, pero mantiene un nivel lo cual es controlada por una tubería de desfogue para que sobrepase el nivel; el agua es llevada a un canal. En la parte superior de la columna se extrae vapores contaminantes que son llevados por una bomba de 1HP, después de la bomba esta una probeta en donde se mide el grado de alcohol; si el grado de alcohol es de 95 GL el alcohol es almacenado como alcohol industrial 2; caso contrario es devuelto como reflujo a la columna CO.

El fusel extraído pasa por el decantador, donde el fusel también es mantenido arriba por un nivel de agua, para finalmente ser extraído. El líquido proveniente del decantador es llevado al pulmón de vino aprovechando su temperatura para calentar el vino. El agua extraída de la columna CO es llevada a un canal como desecho final; todos los desechos pasan a una piscina donde son tratados antes de ser expulsados a los canales de drenaje, y no contaminar el medio ambiente.

### **3. APLICACIÓN DE FIELDBUS EN UNA PLANTA DESTILADORA DE ALCOHOL**

#### **3.1. Introducción**

Uno de los fundamentos básicos de la aplicación de un bus de campo para comunicaciones en aplicaciones de control industrial es la reducción de la complejidad en el manejo de cableados, simplicidad en la incorporación o extracción de módulos, reducción en el mantenimiento causado por la importante reducción en conectores e hilos de conexión, además de permitir la diagnosis del sistema interconectado desde una única posición operativa.

Fieldbus no es un simple reemplazo de señales de 4 a 20 mA a señales digitales para interconectar dispositivos de campo con los equipos de mando. Podemos decir que los caracterizan cuatro aspectos fundamentales:

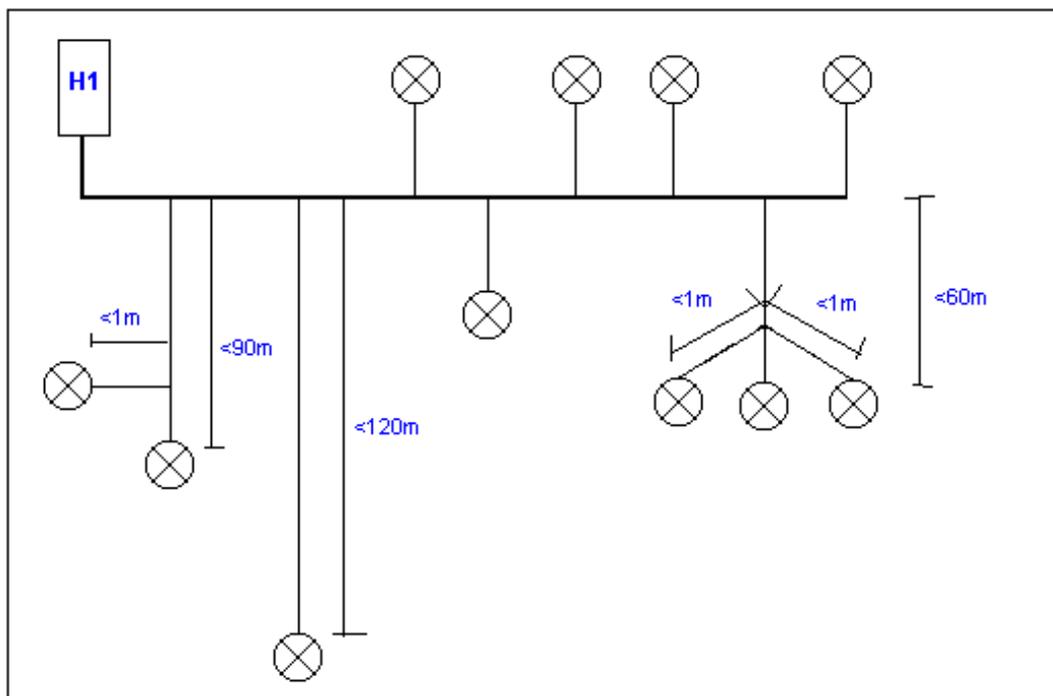
- Reemplazo completo de 4 a 20 mA a señales digitales
- Funciones de control, alarmística, tendencias además de otras funciones distribuidas en los dispositivos de campo.
- Interoperabilidad e ínter cambiabilidad.
- Sistema abierto, las especificaciones están disponibles sin necesidad de acuerdo de licencias.

### 3.2. Consideraciones y Limitaciones

Un aspecto importante en el diseño de un proyecto aplicando la tecnología Foundation Fieldbus es determinar cómo serán instalados los equipos que formarán parte de la red.

En consecuencia, se deben considerar las distancias máximas permitidas entre los equipos, o sea se debe tener a mano el plano con la vista en planta del lugar donde será implementado el proyecto para determinar así los mejores puntos para la instalación de los equipos, con el fin de optimizar al máximo el tamaño del bus (trunk) y de las derivaciones (Spurs), como se observa en la figura 3.1.

FIGURA 3-1: CONFIGURACION DE LA INSTALACION



De acuerdo a la figura 3.1. este segmento tiene 11 dispositivos, cada spur con un dispositivo debe tener menos de 120 m, el spur con 2 dispositivos debe tener menos de 90 m, y el spur con 3 dispositivos debe tener menos de 60 m.

Además de esto, también se deben considerar otras características como: números máximo de equipos conectados a una misma red (un factor limitante puede ser la fuente de alimentación que debe alimentar todos los transmisores en caso de que el bus sea energizado), la topología utilizada en la implementación de los equipos y los elementos que constituirán una red Fieldbus conjuntamente con los dispositivos que permiten facilidad y agilidad cuando fuera solicitado algún tipo de mantenimiento con un determinado equipo, como por ejemplo las cajas de empalme.

Otro punto a ser analizado se refiere a la utilización de barreras de seguridad intrínseca y redundancia de los equipos. Se debe realizar un análisis preliminar de estas características en el ambiente de instalación del sistema apuntando a la mayor optimización posible en lo que se refiere a las instalaciones de los equipos (número de equipos y longitud de cada bus) en caso de que sea necesaria la utilización de estos recursos.

### **3.3. Arquitectura de Sistemas**

La división de los instrumentos por los buses en una aplicación debe ser hecha considerando varios factores. Primeramente hay que tener en cuenta el número máximo de 16 equipos, luego que cada placa de interfase HI puede manejar hasta 64 bloques de función, cada lazo de control (en general compuesto de un transmisor y una válvula) debe estar siempre en el mismo bus, y también hay que pensar en la limitación de 4 lazos de control por canal. Asimismo, después de analizar el proceso, no se debe, siempre que sea posible, colocar todos los controles críticos en el mismo canal (puesto que no tienen interrelación).

También se debe considerar la velocidad del proceso y finalmente tener en cuenta la topología de la aplicación para la distribución tipo bus y tipo en árbol.

### **3.4. Syscon (Software de Configuración)**

Permite la configuración total y el mantenimiento de la red Fieldbus. Funciona bajo entorno WindowsNT, comunicándose con el hardware de comunicación (tarjeta PCI o interfase de campo DFI) mediante OPC - Ole Control de Procesos. A través del Syscon se puede desarrollar toda la configuración de la red Fieldbus en modo off - line, y luego volcar esa configuración en los dispositivos una vez que estos están conectados.

Esto permite un importante ahorro en horas de ingeniería ya que no es necesario contar con los dispositivos para comenzar con la programación del sistema. Siendo una plataforma absolutamente abierta, permite la integración y configuración de dispositivos certificados Fieldbus de otros fabricantes, por lo que el usuario puede elegir libremente los dispositivos de campo necesarios para su sistema, sabiendo que podrá integrarlos y configurarlos desde un mismo software.

### **3.5. Hardware del Proceso**

El **LD302** es uno de los dispositivos de la primera generación de Fieldbus, este es un transmisor para presión diferencial, absoluta y manómetro, medidor de nivel y flujo. Está basado en un sensor capacitivo digital probado en el campo que provee confiable operación y alto rendimiento.

La tecnología digital utilizada en el LD302 permite escoger varios tipos de funciones de transferencia, una fácil interfase entre el campo y el cuarto de control, superior exactitud, estabilidad y varias características interesantes que reducen considerablemente la instalación, operación y costos de mantenimiento, con indicación en unidades de ingeniería de hasta siete variables diferentes. Apto para áreas explosivas y seguridad intrínseca.

Gracias al concepto de funciones de bloques introducido en el transmisor el usuario puede ahora fácilmente construir y desarrollar complejas estrategias de

control. Además tiene la capacidad de tomar el control de la red de campo como Master Backup.

En la planta de proceso de alcohol etílico rectificado en CODANA S.A. se hace uso de 64 de estos dispositivos por su gran versatilidad en el manejo de variables y funciones de bloques como antes se mencionó.

En el proceso transmite la información de señales de nivel, volumen, presión y brix, presentes en las distintas etapas de obtención del alcohol.

Para transmitir cada una de estas variables hace uso de las funciones de bloques disponibles como: AI (Entrada Analógica), PID (Control PID), DIAG (Diagnostico del Transductor), APID (PID Avanzado), ARTH (Aritmética), INTG (Integrador), ISEL (Selección de Entradas), CHAR (Señal de Caracteres), AALM (Alarma Analógica), TIME (Retardo), OSDL (Selección de Salidas), CT (Constante) y DENS (Densidad), los bloques de función no son fijos, sino que son configurables por el usuario, de acuerdo a la estrategia de control, puede ejecutar hasta 20 bloques de función simultáneamente.

**FIGURA 3-2: TRANSMISOR DE PRESION DE SMAR LD302**



Por medio del software SYSCON (Configurador del Sistema) se procede a calibrar, identificar, monitorear y configurar el dispositivo de campo fuera de línea o en línea, haciendo uso de las funciones de bloque para las distintas aplicaciones.

Por ejemplo, para transmitir el nivel del tanque de almacenamiento de melaza M3 en el SYSCON se selecciona la función de bloque CT (constante) y le asigna valores de gravedad y densidad, ya que la presión es igual a densidad x gravedad x altura, se habilita el bloque de Transductor, el de entrada analógica (AI) que recibe el dato del bloque transductor para calcular la presión.

Luego el bloque aritmético para hacer el calculo y determinar la altura (nivel) y por último el display del transductor para mostrar la variable de proceso en el dispositivo con la unidad de ingeniería asignada, en este caso cm.

Así mismo, se hace uso de las funciones de bloques para la medición de las otras variables de proceso que hacen uso del LD302, a continuación se listan las aplicaciones en cada una de las etapas:

TABLA 3-1: TRANSMISORES LD302 EXISTENTES EN LA PLANTA

Cantidad	Etapa	Variable	Und
1	Almacenamiento de Melaza - tanque M3	Nivel	cm
		Volumen	gal
1	Pulmón de Melaza	Nivel	cm
7	Fermentación	Nivel	cm
7	Fermentación	Volumen	lt
7	Fermentación	Brix	%
3	Prefermentación	Nivel	cm
1	Pulmón de Vino	Nivel	cm
1	Tanque de almacenamiento de ácido sulfúrico H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Nivel	cm
		Peso	kg
		Volumen	lt
3	Tanque de almacenamiento de Diesel	Nivel	cm
		Volumen	gal
2	Tanque de almacenamiento de Bunker	Nivel	cm
		Volumen	gal
1	Producción de CO <sub>2</sub>	Producción	Kg / h
1	Consumo de vapor en CO <sub>2</sub>	Consumo	Kg / h
1	Consumo de vapor en Turbogenerador	Consumo	Kg / h
1	Columna SM1 del Hidroselector en destilación	Presión	PSI
1	Columna S1 del Hidroselector en destilación	Presión	PSI
1	Cámara de equilibrio en el Hidroselector	Volumen	lt
1	Línea de aire en Columna destrozador de Vino	Presión	PSI
1	Decantador	Presión	in Mg
1	Columnas de concentrador CD/B y Luter CLU	Presión	in Mg
1	Columna del rectificador	Presión	PSI
1	Columna SM7 de repase final CM	Presión	in Mg
20	Tanques de almacenamiento	Nivel	cm
		Volumen	lt

El **TT302** también es uno de los dispositivos de la primera generación de Fieldbus, este es un transmisor principalmente diseñado para medición de temperatura utilizando RTD's, o termocuplas, pero también puede aceptar otros sensores con señales de salida en mV o resistencia tal como: pirómetros, celdas de carga, etc.

La tecnología digital usada en el TT302 permite que un simple modelo acepte varios tipos de sensores y una fácil interfase entre el campo y el cuarto de control, y varias características interesantes que reducen considerablemente la instalación, operación y costos de mantenimiento, el transmisor admite 2 entradas independientes, esto reduce los costos por canal, así en los tanques de fermentación se emplea dos RTD's para medir la temperatura tanto en la parte inferior como superior del tanque con un solo transmisor.

Apto para áreas explosivas y seguridad intrínseca, con una exactitud de 0.02%, con bloques de función disponibles: 2 x AI, PID, ARTH, CHAR, SPLT, INTG, SPG, AALM, ISEL, TIME, LLAG, OSDL, IAG, CT, los bloques de función no son fijos, sino que son instanciables por el usuario, de acuerdo a la estrategia de control, puede ejecutar hasta 20 bloques de función simultáneamente. Y con capacidad de Master Backup de la red.

En la planta se hace uso de 9 de estos dispositivos para medir la temperatura en grados centígrados. En el proceso de fermentación se utilizan 7, uno para cada tanque fermentador, empleando dos RTD's por transmisor, 1 en la columna de concentrador y Luter (CLU) y 1 en la columna del destrozador de vino (CD/A), en estos dos últimos se emplea solo un RTD's. Por medio del SYSCON se procede a calibrar, identificar, monitorear y configurar el dispositivo de campo fuera de línea o en línea, haciendo uso de las funciones de bloque para las distintas aplicaciones.

**FIGURA 3-3: TRANSMISOR DE TEMPERATURA DE SMAR TT302**



**TABLA 3-2: TRANSMISORES TT302 EXISTENTES EN LA PLANTA**

<b>Cantidad</b>	<b>Etapas</b>	<b>Variable</b>	<b>Und</b>
7	Fermentación	Temperatura	°C
1	Columna de concentrador y Luter (CLU)	Temperatura	°C
1	Columna del Destrozador de Vino (CD/A)	Temperatura	°C

El **IF302** es uno de los dispositivos de la primera generación de Fieldbus, este es un convertidor principalmente diseñado para la interfase de transmisión de señales análogas a una red Fieldbus. El IF302 recepta una señal de corriente, típicamente 4 - 20 mA o 0 - 20 mA y la hace aceptable al sistema Fieldbus.

La tecnología digital usada en el IF302 permite que un simple modelo acepte tres entradas independientes de corriente, para integrar dispositivos convencionales, provee varios tipos de funciones de transferencia disponibles: 3 x AI, PID, ARTH, CHAR, SPLT, INTG, SPG, AALM, ISEL, TIME, LLAG, SDL, DIAG, CT, los bloques de función no son fijos, sino que son instanciables por el usuario, de acuerdo a la estrategia de control, puede ejecutar hasta 20 bloques de función simultáneamente, y con capacidad de Master Backup de la red. Apto para áreas explosivas y seguridad intrínseca.

Provee una fácil interfase entre el campo y el cuarto de control y varias características interesantes que reducen considerablemente la instalación, operación y costos de mantenimiento

En la planta se hace uso de 5 de estos dispositivos para convertir señales analógicas a Fieldbus. Por medio del SYSCON se procede a calibrar, identificar, monitorear y configurar el dispositivo de campo fuera de línea o en línea, haciendo uso de las funciones de bloque para las distintas aplicaciones.

**FIGURA 3-4: CONVERTIDOR DE CORRIENTE A SEÑAL FIELDBUS IF302**



Uno de ellos está conectado al indicador electrónico de peso del pulmón de melaza convirtiendo la señal analógica a Fieldbus y determinando la cantidad de kilos de melaza empleada para la obtención de alcohol, a este mismo se conectan dos señales análogas para determinar el flujo de ácido sulfúrico  $H_2SO_4$  y el Brix.

Dos se sitúan en los calderos (el de 600HP y 400HP) para medición de flujo de vapor haciendo uso de dos canales de entrada de señal análoga para cada uno de ellos para determinar el flujo de entrada y el de salida. Otro se sitúa en la balanza de camiones para determinar el peso en kilos de la melaza traída del Ingenio San Carlos, haciendo uso de un canal de entrada análoga. El último está ubicado en

los tanques prefermentadores para medir el pH de la levaduras, haciendo uso de los tres canales de entrada análoga, uno para cada tanque prefermentador.

**TABLA 3-3: TRANSMISORES IF302 EXISTENTES EN LA PLANTA**

<b>Cantidad</b>	<b>Etapa</b>	<b>Variable</b>
1	Tanque Balanza	Peso, Flujo, Brix
1	Caldero de 600 HP	Flujo de Vapor
1	Caldero de 400 HP	Flujo de Vapor
1	Balanza Camionera	Peso
1	Pre – Fermentación	pH

El **DT302** es uno de los dispositivos de la primera generación de Fieldbus. Se lo emplea para la medición de Brix en el tanque diluidor. El equipo utiliza un sensor de presión diferencial tipo capacitivo, comunicado mediante capilares con dos diafragmas sumergidos en proceso, separados por una distancia fija. La presión diferencial sobre el sensor será directamente proporcional a la densidad del líquido medido.

El transmisor incorpora además un sensor de temperatura colocado entre los diafragmas para efectuar una corrección y normalización de los cálculos teniendo en cuenta la temperatura del proceso.

Debido a que el sensor es digital, y que el procesamiento de la señal se realiza también digitalmente, puede obtenerse un alto nivel de estabilidad y de exactitud en la medición.

Con la información generada por los sensores de presión diferencial y de temperatura, el software de la unidad electrónica efectúa el cálculo de la densidad, suministrando una señal Fieldbus proporcional a la escala de densidad o concentración elegida por el usuario (grado Brix). Esta misma información podrá leerse en el indicador digital local.

Los transmisores inteligentes de densidad DT de Smar ofrecen una exactitud de  $\pm 0,0004 \text{ gr./cm}^3$  ( $\pm 0,1 \text{ °Brix}$ ), y pueden emplearse en medición de densidades desde  $0,5 \text{ g/cm}^3$  a  $5 \text{ g/cm}^3$ .

Como puede apreciarse, este método de medición es inmune a variaciones de nivel o a la presencia de oleaje en la superficie del recipiente, y puede utilizarse tanto en tanques abiertos como en tanques presurizados.

El único requerimiento es que ambos diafragmas del equipo deben estar en contacto permanente con el líquido que se está midiendo. Para cumplir con esta condición es necesario un nivel mínimo de aproximadamente 50 cm dentro del recipiente.

Otra de las importantes ventajas de este transmisor es su robustez, ya que no posee partes móviles y no es afectado por vibraciones de la planta (a diferencia de los medidores de densidad basados en la oscilación de un elemento sensor).

**FIGURA 3-5: TRANSMISOR DE CONCENTRACIÓN-DENSIDAD  
FIELD BUS DT302**



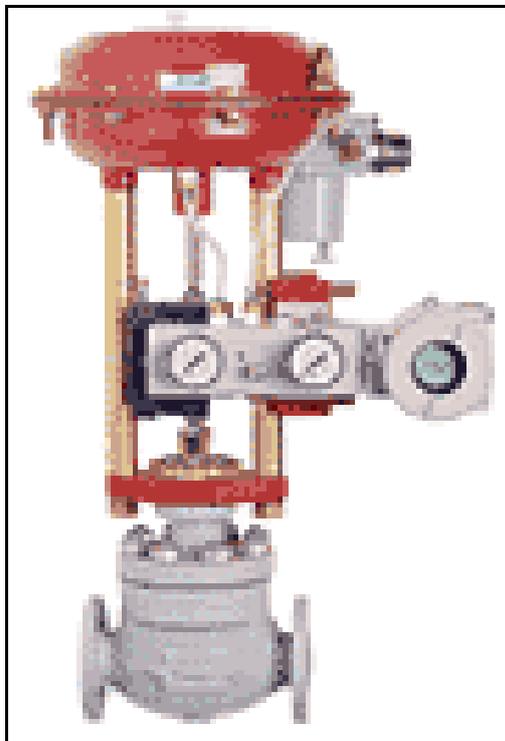
**TABLA 3-4: TRANSMISORES DT302 EXISTENTES EN LA PLANTA**

<b>Cantidad</b>	<b>Etapa</b>	<b>Variable</b>
1	Tanque Diluidor	Densidad

Para la medición y control del paso de melaza desde el tanque balanza hacia el pulmón de melaza, y la medición y control del paso de agua hacia el diluidor se emplea el posicionador inteligente para válvulas **Smar FY302** que permite controlar tanto válvulas lineales como rotativas, de acción simple o doble; e incluso para rango partido.

Totalmente programable por software, sin ajustes mecánicos. Por medio del SYSCON se procede a calibrar, identificar, monitorear y configurar el dispositivo de campo fuera de línea o en línea. Censando de posición sin contacto, por efecto Hall. Con funciones de auto-diagnóstico para mantenimiento preventivo y predictivo, con bloques de función disponibles: AO, PID, ARTH, CHAR, SPLT, INTG, SPG, AALM, ISEL, TIME, LLAG, OSDL, DIAG, CT, los bloques de función no son fijos, sino que son instanciables por el usuario, de acuerdo a la estrategia de control, puede ejecutar hasta 20 bloques de función simultáneamente, con capacidad de Master Backup de la red y Setup automático de límites de carrera de la válvula. Apto para áreas explosivas y seguridad intrínseca.

**FIGURA 3-6: POSICIONADOR DE VALVULA FIELDBUS DE SMAR FY302**



**TABLA 3-5: POSICIONADORES FY302 EXISTENTES EN LA PLANTA**

<b>Cantidad</b>	<b>Etapa</b>	<b>Variable</b>
1	Tanque Balanza	Flujo
1	Diluidor	Flujo

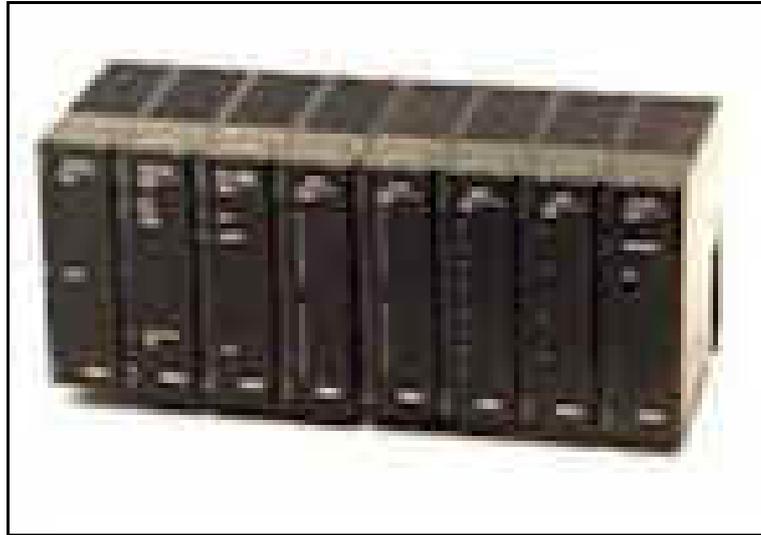
Para el control de las bombas y equipo de dosificación de pH se emplea el controlador lógico programable **LC700** que funciona como puente entre la red Fieldbus y otros protocolos de campo (Modbus, RS232, Ethernet, etc.).

A través de su placa de comunicación Fieldbus **FB700**, puede comunicarse con buses H1. El módulo procesador cuenta con tres canales de comunicación, que pueden utilizarse para la adquisición de datos desde el sistema de supervisión, para la programación local, o para la comunicación con otros LC700 actuando como esclavos.

Acepta múltiples posibilidades diferentes en placas de entrada / salida (Entradas / Salidas de Corriente y/o Tensión, Entradas de Sensores de temperatura, Salidas por relé, Salidas por triac, etc.).

La programación se efectúa desde una PC, utilizando el software de configuración Conf700. En la programación del LC700 pueden utilizarse tanto diagramas tipo ladder como bloques de función (controles PID, timers, funciones lógicas y de conversión de datos, comparadores, selectores, etc.).

**FIGURA 3-7: CONTROLADOR PROGRAMABLE DE SMAR LC700**

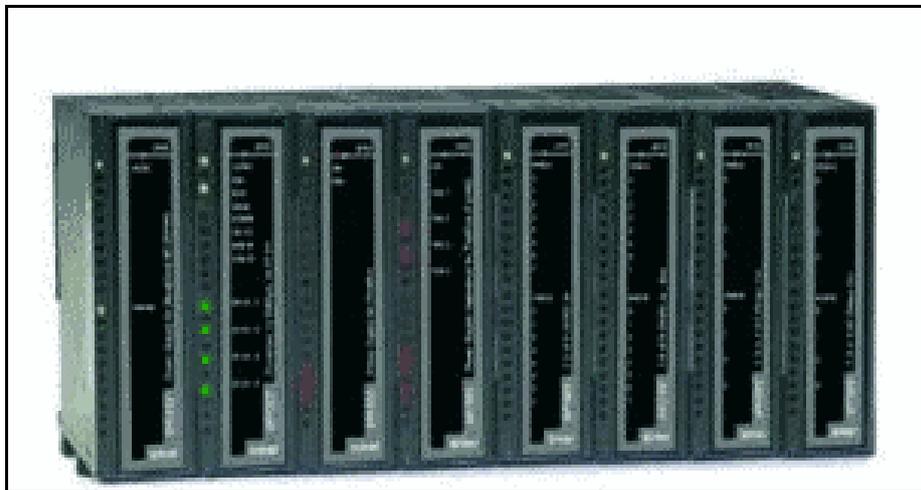


Para el enlace entre la red H1 de los dispositivos de campo y la red HSE se emplea el **DFI302** - E/S Distribuidas, Puente, Interfase y Control. La DFI302 (interfase distribuida de campo) cuenta con:

- 4 puertos Fieldbus H1 (31.25 kbps)
- 1 puerto Ethernet de 10M o de 100M.
- 1 puerto RS232 Modbus.
- Funciona como puente entre H1-H1 y H1-HSE (High Speed Ethernet).
- Bloques de función de FIELDBUS FOUNDATION.
- Compatibilidad con IEC 1131-1.
- Capacidad de redundancia plena.
- Arquitectura distribuida (economía de cableado).

- Integra fuentes de alimentación, filtros y barreras Fieldbus en el mismo módulo.
- Al igual que el LC700, soporta módulos de E/S (Entradas de temperatura, entradas de tensión / corriente, salidas a transistor, salidas por relé o triac, módulos combinados, etc.)

**FIGURA 3-8: BRIDGE UNIVERSAL FIELDBUS DE SMAR DFI302**



### **3.6. Medio de Comunicación**

El cable para comunicación de buses de campo inteligente Foundation Fieldbus para transmisión digital a 31.25 Kbaudios empleado en la red H1, es un simple par trenzado estándar conocido como STP (par trenzado enmallado) AWG 18 de diámetro exterior aproximado de 1.22 mm con conductores de cobre estañado compuesto cada uno por siete cuerdas de 0.40 mm de diámetro nominal, con aislamiento de 300 Voltios 75 °C y un peso aproximado de 45 Kg / Km.

Estos pares están dispuestos 1 vuelta cada 50 mm bajo una cubierta de PVC codificado en color naranja, resistente a la propagación de llama y con identificación de los conductores bajo colores primarios Azul y Rojo según norma NEC 3076F, además con un blindaje de cobre estañado.

### **3.7. Estructura de la Red**

La estructura de la red esta basada en una topología de bus, y esta compuesta de los instrumentos de campo, tal como se muestra en la *figura A.11.* del apéndice A., el dispositivo DFI302, LC700, FB700, switch y computadoras, además del modulo que controla los dispositivos de la marca Bailey pertenecientes al sistemas de control anterior.

Los dispositivos de campo están conectados usando una topología punto a punto en un solo cable par trenzado, doce dispositivos en cada línea, esta línea llega hasta un canal dentro del DFI302, existen cuatro canales en cada DFI302.

Cada línea con dispositivos puede extenderse hasta 1900 metros sin repetidores y hasta tres repetidores máximo pueden colocarse en cada línea, cada canal soporta además hasta dieciséis dispositivos.

Una entrada para RJ45 existente en el dispositivo DFI302, conecta al mismo con la red Ethernet y la computadora que realiza el control, este dispositivo funciona como un computador mas en la red Ethernet, es decir, tiene una dirección TCP/IP.

Un canal en el DFI302 conectado al FB700 dentro del LC700 conecta los dispositivos de campo y sistema de control con los PLC, que controlan motores y especificaciones de PH, el panel Bailey se conecta al sistema de control a través de un puerto DB25 a DB9.

Cada una de la distribución de elementos mencionados anteriormente en la estructura de la red esta dividido en dos, la red H1 (Instrumentos de Campo) y la red HSE (High Speed Ethernet) que se detallan a continuación.

### **3.7.1. Red H1**

La red H1 es aquella donde se encuentran cada uno de los dispositivos de campo y que tienen afinidad al uso de los instrumentos de Smar, la red H1 se complementa con la red Ethernet, esta red H1 opera a 31.25 Kbps y es optima para aplicaciones de control de procesos.

### **3.7.2. Red HSE**

La red HSE de High Speed Ethernet opera a 100 Mbps, diseñada para aplicaciones de control de gran desempeño y para integrar la información de la planta.

Esta conformada por las computadoras, switch e impresoras, define una especificación común para el acceso a los datos tanto de la red H1 como de la red HSE. La red HSE usa el cableado Ethernet estándar y equipos de bajo costo por lo cual se puede implementar fácilmente.

La solución combinada de Fieldbus H1 / HSE permite la integración total de los sensores, válvulas y control de proceso con niveles más altos de supervisión en las aplicaciones.

#### **4. ANÁLISIS COMPARATIVO TÉCNICO DE FIELDBUS VS. DCS**

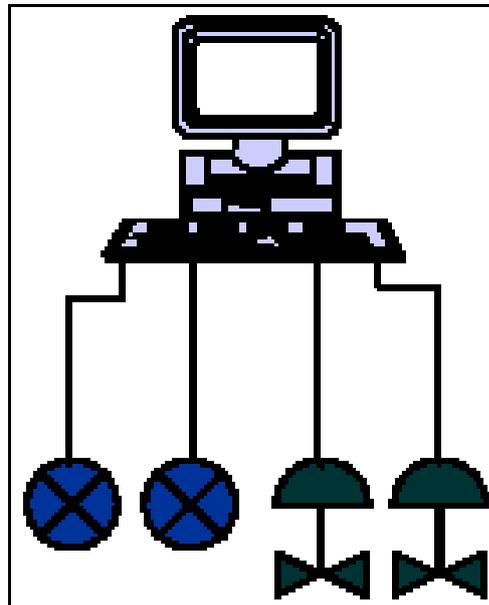
En la historia de la instrumentación tomó años lograr que se estandarizara la señal neumática de 3 - 15 psi o 0.2 - 1 bar que se utilizaba para realizar el control de procesos industriales, además, los instrumentos producidos por diferentes fabricantes resultaban incompatibles entre sí.

Lo mismo sucedió con el arribo de las señales eléctricas analógicas. Se utilizaron diversos rangos en voltaje y corriente. Aún cuando se llegó a imponer con el tiempo la señal de 4 - 20 mA, siguen existiendo instrumentos que emplean señales diferentes y resultan incompatibles con los demás.

La tecnología de comunicación digital existe desde hace muchos años, se desarrolló rápidamente para el uso entre computadores y sus ventajas se aprovecharon luego en telecomunicaciones.

Sin embargo no sucedió lo mismo con la instrumentación industrial, principalmente por razones comerciales los instrumentos de campo se mantuvieron con señales analógicas que exigen el tendido de cables para cada instrumento, en los cuales se transmite un solo dato.

**FIGURA 4-1: SISTEMA DE CONTROL CENTRALIZADO**

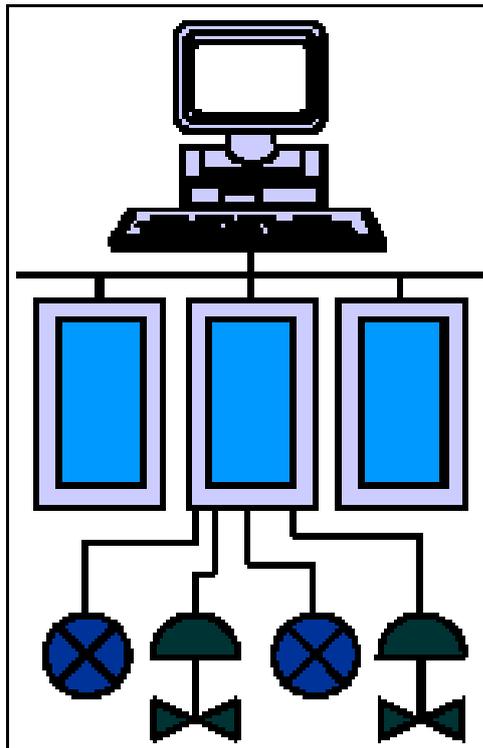


La necesidad de controles más complejos y en plantas de mayor tamaño, asistidos por computadores, se resolvió inicialmente con convertidores analógico / digitales, llegando a sistemas de control centralizado (DDC) como se observa en la figura 4.1. El cableado se tenía que hacer desde cada instrumento de planta hasta la sala de control.

Luego con tarjetas que incluían capacidad de procesamiento para control y comunicación digital, que excluía a los transmisores de campo, se desarrollaron los sistemas de control distribuido (DCS), *figura 4.2*. Hasta aquí todos utilizaban protocolos “propietarios”.

Este hecho hacía que sistemas de diferentes fabricantes siguieran siendo incompatibles, adicionalmente, cualquier ampliación de planta obligaba a hacer inversiones importantes en equipos adicionales de interfase y control.

**FIGURA 4-2: SISTEMA DE CONTROL DISTRIBUIDO**



El cableado analógico se redujo, manteniéndose entre los transmisores de campo y dichas tarjetas. Estas se podían comunicar sobre un bus, sin embargo, para manejar esto se requiere el sistema maestro / esclavo, en el cual el esclavo sólo reporta cuando el maestro lo pide, sobrecargando así el bus de comunicaciones.

#### **4.1. Ventajas y desventajas en la Implementación**

Los beneficios que se obtienen en la implementación de los Sistemas de Control Distribuido son las siguientes (*figura 4.3.*):

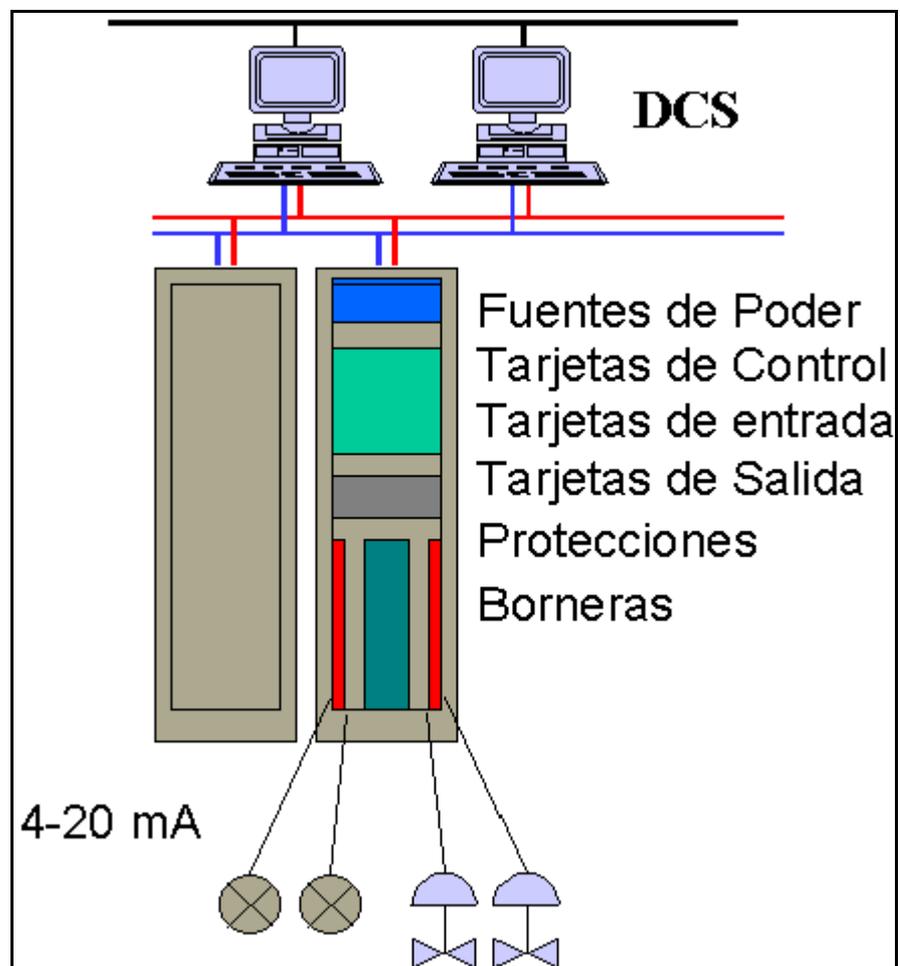
- Posibilidad de crear paneles de alarma; que ayudan a identificar una parada o situación de alarma, con registro de incidencias.
- Generación de históricos de señal de planta; que puede ser trasladados para su proceso sobre una hoja de calculo.
- Ejecución de programas; que modifican la ley de control, o incluso el programa total sobre el autómata, bajo ciertas condiciones.
- Posibilidad de programación numérica; que permite realizar cálculos aritméticos de elevada resolución sobre la unidad de procesamiento central del ordenador. Con ellas, se pueden desarrollar aplicaciones basadas en el computador, con captura de datos, análisis de señales, envío de resultados a discos e impresoras. Estas funciones se llevan a cabo de un paquete de funciones que incluyen zonas de programación en un lenguaje de uso general como “C” o Pascal, aunque actualmente se está imponiendo Visual Basic for Applications (VBA), el cual es una herramienta de programación de gran potencia y gran versatilidad.

Las desventajas presentadas al momento de la implementación son las siguientes:

- Cada uno de los instrumentos debe llegar a una interfase de comunicación entre el ordenador y cada uno de los dispositivos.
- Se debe instalar la fuente de poder que alimentara el sistema.

- Se deben instalar las tarjetas de entrada y salida para cada uno de los dispositivos.
- Al momento de implementar una nueva sección que estemos trabajando con dispositivos del mismo fabricante o que estos sean compatibles.
- Se deben instalar las protecciones y borneras.

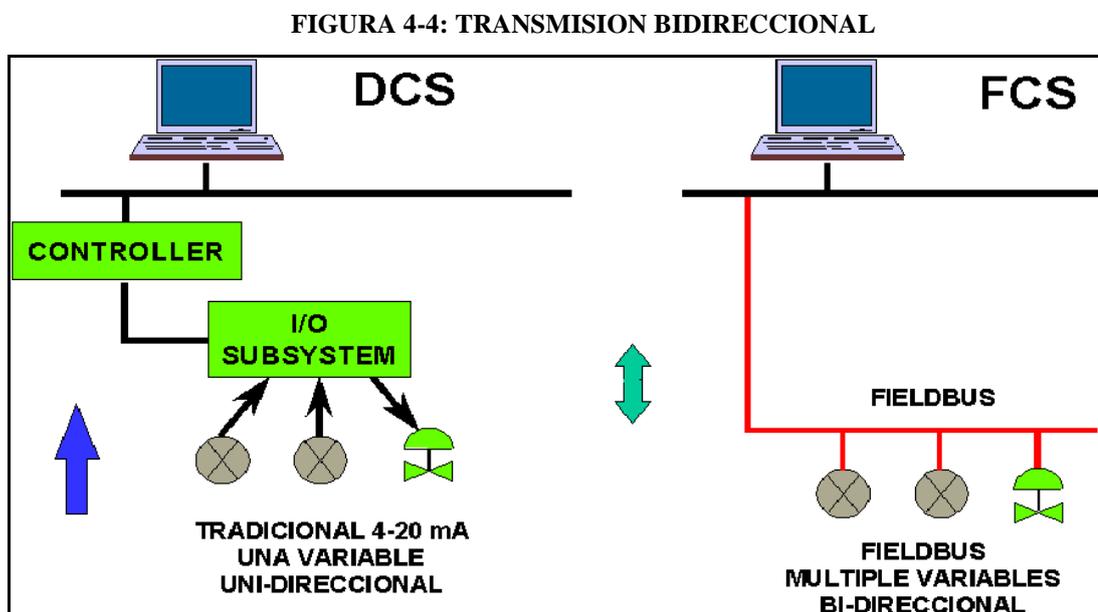
FIGURA 4-3: TARJETAS Y PROTECCIONES ADICIONALES



## 4.2. Comparación de tecnologías DCS vs. FCS

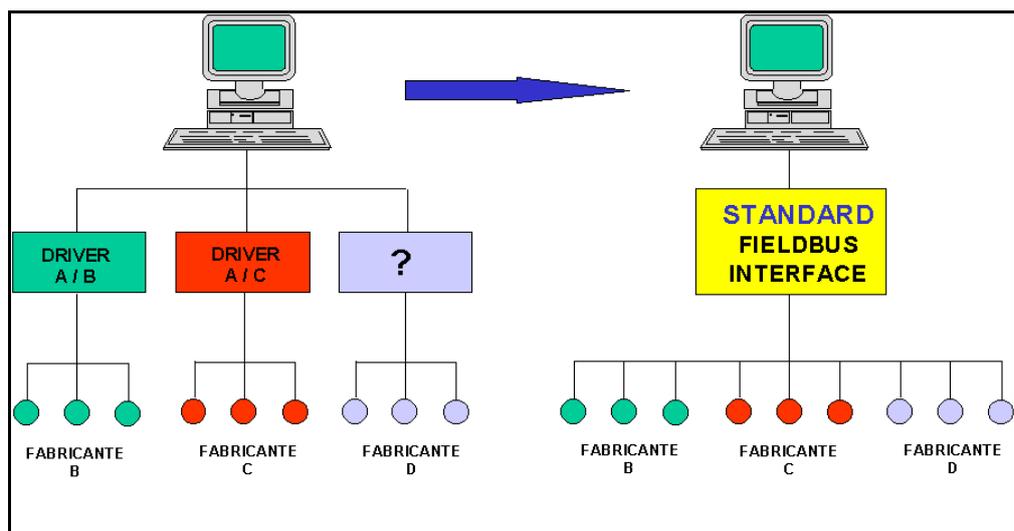
Al momento de comparar estos dispositivos desde el punto de vista técnico, observamos que Fieldbus posee una mayor cantidad de atributos, ya que no solo cuenta con las características y funciones de un DCS, además de ellas, las mejoras en los sistemas de transmisión de datos y mejor manipulación de los mimos, hacen que esta tecnología de control mejore significativamente su rendimiento, tanto en comunicación, control y proceso. Los siguientes puntos nos mostraran las principales razones para implementar Fieldbus Foundation como su sistema de control:

- Los Sistemas de Control Distribuido, no transmiten en ambas direcciones, su transmisión es en un solo sentido (figura 4.4.).



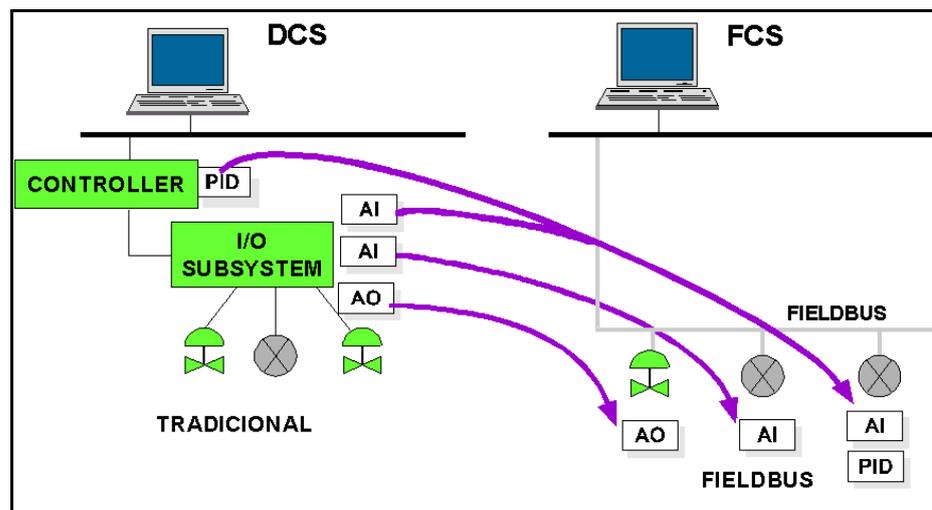
- Incremento de información; con los Sistemas de Control Distribuido, 4-20mA es la única información, mientras que con Fieldbus, tenemos localización e identificación de instrumentos, adaptación a condiciones ambientales, diagnóstico, configuración, características de la instrumentación, información de la calibración, etc.
- En un Sistema de Control Distribuido, existe una cantidad considerable de información de control, pero insuficiente administración de la misma. En Fieldbus, existe información de control y un gran incremento en la administración de dicha información.
- Los Sistemas de Control Distribuido no forman parte de una tecnología abierta, mientras que la interfase de comunicación de Fieldbus es estándar (figura 4.5.).

**FIGURA 4-5: ARQUITECTURA ABIERTA**



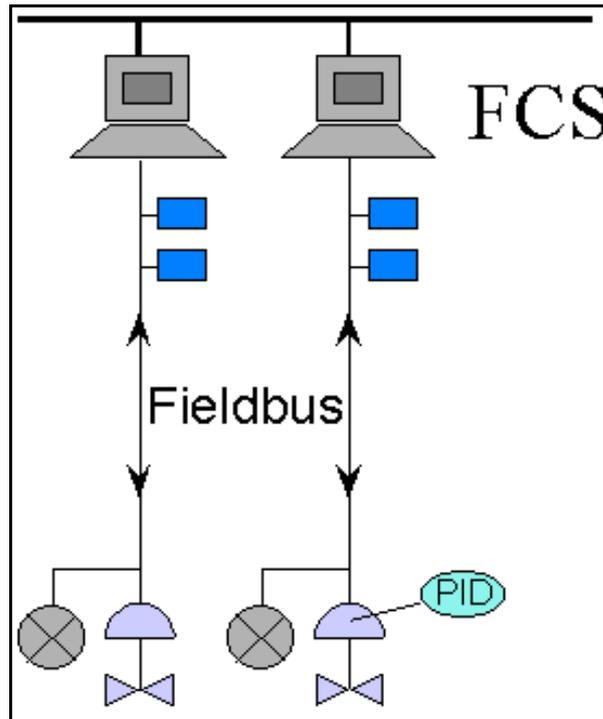
- DCS no incluye diagnóstico o información adicional de los instrumentos de campo, en Fieldbus, cada uno de los dispositivos es parte del sistema.
- El incremento de cada uno de los dispositivos de campo en un sistema de control basado en tecnología Fieldbus, adiciona procesamiento al sistema, ya que son equipos inteligentes con procesadores propios.
- En los sistemas basados en Fieldbus, el software de control se ejecuta en cada uno de los dispositivos, cada uno de ellos procesa su control, el ordenador recibe y procesa la información, además funciona como interfase para configuración y prueba de dispositivos.
- El cableado es mayor en los Sistemas de Control Distribuido, ya que en sistemas basados en Fieldbus, los dispositivos pueden ser colocados en el mismo cable, además se requiere una mayor cantidad de hardware (figura 4.6.).

FIGURA 4-6: REDUCCION DE HARDWARE



- La arquitectura de los dispositivos de campo puede ser lineal en la tecnología Fieldbus, facilitando la implementación (figura 4.7.).

FIGURA 4-7: FACIL IMPLEMENTACION



Entre las desventajas que podemos tener en la tecnología Fieldbus Foundation, podemos citar las siguientes:

- La necesidad de tener conocimientos superiores para realizar correctamente la implementación.
- Inversión en accesorios e instrumentos de diagnóstico.
- Los costos globales al inicio de la instalación son elevados.

Cada uno de los puntos citados podrán ayudarnos a concluir que sin duda la tecnología Fieldbus Foundation nos ofrece una solución, la cual es escalable, confiable, con gran capacidad de diagnóstico y soluciones, sin embargo, los costos pueden resultar elevados al momento de su implementación, esto hasta cierto punto puede ser relativo, trabajando sobre la base de resultados y operabilidad del proceso, los cuales nos pueden ayudar a determinar que además de las ventajas en la tecnología, Fieldbus me ayuda a ser productivo y rápido en la solución a posibles problemas, lo cual se traduce en ganancias monetarias. En el siguiente capítulo realizaremos un análisis de las diferencias económicas existentes entre cada una de estas tecnologías.

## **5. ANÁLISIS COMPARATIVO ECONÓMICO DE FCS VS. DCS**

### **5.1. Costo promedio de un proyecto con Fieldbus Foundation**

La metodología utilizada para obtener las proyecciones económicas sobre la implementación de un proyecto con tecnología Fieldbus Foundation esta basada en diferentes análisis técnicos – económicos, los cuales se describen en los próximos párrafos. El análisis económico se basa en la implementación de esta nueva tecnología en la planta productora de alcohol CODANA S.A., por esta razón, los costos de implementación se obtendrán de acuerdo a los requerimientos de la misma.

#### **5.1.1. Costo del proyecto**

Para el análisis de costo de un proyecto analizaremos primero los siguientes puntos referentes a la implementación del Proyecto:

- Costo de estudio Técnico.
- Costo de cada equipo de Fieldbus Foundation.
- Costo de Accesorios adicionales para cada equipo Fieldbus Foundation.
- Costo de RTD y manómetros.
- Costo de PLC y Enercept Meter
- Costo de Software.
- Costo Total.

### 5.1.2. Costo de estudio técnico

En este punto de análisis se consideró de manera detallada que equipo y cuantos del mismo se utilizaran para implementar el Proyecto con Fieldbus Foundation, además de las conexiones requeridas por cada uno de ellos.

El estudio técnico busca evaluar si la implementación de la nueva tecnología es posible en la planta y si así es, cuales son las ventajas que se obtendrán. El valor promedio de este estudio esta valorado en \$ **2,000.00**, dependiendo básicamente del volumen y producción de la planta; Este valor corresponde específicamente a la mano de obra, como se detalla a continuación:

1. Estudio del Proceso Industrial.
2. Diseño eléctrico.
3. Diseño de la arquitectura de control..
4. Plasmarlo en un documento debidamente detallado.

Todo esto en un periodo de un mes. Los costos por honorarios de instalación, programación, calibración y cableado de equipos, para la planta CODANA están alrededor de \$ **29,960.00**. Se toma en cuenta el número total de equipos detallado entre dispositivos de campo, computadoras, DFI302, LC700, flujómetros, manómetros, RTDs y Enercept Meters. Este valor se lo detalla de la siguiente manera:

TABLA 5-1: COSTO DE IMPLEMENTACION

<b>Descripción</b>	<b>Cantidad de Equipos</b>	<b>Costo por Equipo</b>	<b>Total</b>
Costo de Instalación	135	\$ 60.00	\$ 8,100.00
Costo de Programación	87	\$ 80.00	\$ 6,960.00
Costo de Calibración	85	\$ 130.00	\$ 11,050.00
Cableado	110 m	\$ 35.00	\$ 3,850.00
		<b>Total</b>	<b>\$ 29,960.00</b>

La calibración es uno de los pasos de la implementación más complejo, dependiendo de la aplicación del proceso que se esté automatizando, tal como sucedió en este caso.

La tabla 5-1, muestra los costos de instalación aplicados de la siguiente manera:

- 135 equipos, incluyendo manómetros, flujómetros, equipos Fieldbus Foundation, computadoras, enercept meter y PLC.
- 87 equipos, incluyendo los dispositivos de campo, DFI302 y las computadoras.
- 85 equipos, que comprenden todos los instrumentos de campo.

### 5.1.3. Costo de equipos FCS usados en la implementación

En este inciso hacemos referencia a los costos de cada uno de los equipos instalados en la planta de Destilación de alcohol. También se menciona la cantidad utilizada de los mismos.

TABLA 5-2: COSTO DE EQUIPOS FIELDBUS

<b>CANT.</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>P. UNITARIO</b>	<b>TOTAL</b>
58	LD 302 (Diferencial)	\$ 1,172.64	\$ 68,013.12
6	LD 302 (Absoluto)	\$ 1,163.68	\$ 6,982.08
9	TT 302	\$ 840.00	\$ 7,560.00
5	IF 302	\$ 840.00	\$ 4,200.00
2	FY 302	\$ 1,187.20	\$ 2,374.40
4	DFI 302	\$ 1,680.00	\$ 6,720.00
		<b>TOTAL</b>	<b>\$ 95,849.60</b>

#### 5.1.4. Costo de accesorios

En la instalación de los instrumentos de campo se hace uso de diferentes conectores y medios de comunicación, así como materiales de protección de los mismos, los requerimientos promedio para la instalación de cada uno de los instrumentos se detalla a continuación.

TABLA 5-3: COSTO DE ACCESORIOS ADICIONALES

<b>CANT.</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>P. UNITARIO</b>	<b>TOTAL</b>
750	Tubbing (m)	\$ 1.70	\$ 1,275.00
300	Tubos metálicos/cables (3m c/u)	\$ 3.00	\$ 900.00
1000	Cable #14 par trenzado(m)	\$ 1.00	\$ 1,000.00
150	Caja de unión	\$ 0.75	\$ 112.50
50	Cable UTP(m)	\$ 2.00	\$ 100.00
		<b>TOTAL</b>	<b>\$ 3,387.50</b>

### 5.1.5. Costo de RTD y manómetros

En la siguiente tabla se consideran los costos de los RTD y también los costos de tuberías para cables y cables empleado para su instalación.

**TABLA 5-4: COSTO DE RTD Y MANOMETROS**

<b>CANT.</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>P. UNITARIO</b>	<b>TOTAL</b>
18	RTD	\$ 50.00	\$ 800.00
10	Manómetro 150 PSI	\$ 100.00	\$ 1000.00
10	Manómetro de 30PSI	\$ 70.00	\$ 700.00
5	Flujometro	\$ 100.00	\$ 500.00
			<b>\$ 3,000.00</b>

### 5.1.6. Costo de PLC y Enercept Meter

El PLC LC700 es utilizado para el manejo de motores tales como bombas.

Los Enercept Meter son utilizados para medir el consumo de energía eléctrica en la planta.

**TABLA 5-5: COSTO DE PLC Y ENERCEPT METER**

<b>CANT.</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>P. UNITARIO</b>	<b>TOTAL</b>
1	LC700	\$ 1,167.00	\$ 1,167.00
5	Enercept Meter	\$ 1,200.00	\$ 6,000.00
		<b>TOTAL</b>	<b>\$ 7,167.00</b>

### 5.1.7. Costo de software

El software que he considerado es el necesario para la programación y monitoreo de los equipos de SMAR.

TABLA 5-6: COSTO DEL SOFTWARE

<b>CANT.</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>P. UNITARIO</b>	<b>TOTAL</b>
1	Intouch (Development)	\$ 9,000.00	\$ 9,000.00
1	Intouch (Runtime)	\$ 13,000.00	\$ 13,000.00
1	Syscon	\$ 4,300.00	\$ 4,300.00
	<b>TOTAL</b>		<b>\$ 26,300.00</b>

### 5.1.8. Costo total del proyecto

En la tabla siguiente aparecen los valores de las tablas anteriores para poder evaluar el costo total del Proyecto.

TABLA 5-7: COSTO TOTAL DEL PROYECTO

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>TOTAL</b>
Estudio Técnico + Implementación	\$ 31,960.00
Equipo de Fieldbus Foundation	\$ 95,849.60
Accesorios adicionales para instrumentos de campo	\$ 3,387.50
RTD y manómetros	\$ 3,000.00
PLC y Enercept Meter	\$ 7,167.00
Software	\$ 26,300.00
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 167,664.10</b>

### 5.2. Beneficio monetario del uso de la tecnología FCS en el proyecto

El beneficio que pueda tener la implementación con Fieldbus Foundation lo analizaremos mediante dos puntos que son los siguientes:

- Retorno de Inversión.
- Beneficios por Disminución de Paradas de Planta.

### 5.2.1. Retorno de inversión

En el análisis de retorno de la inversión se hace las siguientes consideraciones:

- Asumimos un ingreso anual referencial de la empresa libre de gastos fijos, en \$ 60,000.00, gracias al aumento en la producción con Fieldbus.

Debido a las siguientes ventajas que este presenta:

- Reducción de paradas de planta
- Instrumentos de campo inteligentes; mayor velocidad
- Mejor manejo de datos
- También se considera que en CODANA se realiza una parada de la planta por año para realizar mantenimiento que dura 7 días; en el cual consideramos el valor referencial de \$ 2,900.00, obtenido del siguiente calculo: **Contrato te personal + (Ganancia Anual \* 7 Días) / 365 Días**

Detallado en la siguiente tabla:

**TABLA 5-8: COSTO POR MANTENIMIENTO**

<b>Descripción</b>	<b>Costo</b>
Contrato de personal, para realizar este mantenimiento: Detección de condiciones anormales en los equipos Detección de Instrumento defectuosos de temperatura y presión	\$1,750.00
Valor de perdida por producción <b>(Ganancia Anual * 7 Días) / 365 Días</b>	\$ 1,150.00
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 2,900.00</b>

Si asumimos las consideraciones, vamos a tener un ingreso anual en la planta de \$ 57,100.00; Lo cual se ve reflejado en la tabla 5-9.

El numero de años (siete) se lo tomó como un valor referencial para hallar la tasa interna de retorno.

**TABLA 5-9: RETORNO DE LA INVERSION**

<b>AÑOS</b>	<b>RETORNO</b>	<b>GANANCIA</b>
0	\$ -167,664.10	\$ 57,100.00
1	\$ -110,564.10	
2	\$ -53,464.10	
3	\$ 3,635.90	
4	\$ 60,735.90	
5	\$ 117,835.90	
6	\$ 174,935.90	
7	\$ 232,035.90	11%

**Tasa interna de retorno = 11 %**

### **5.2.2. Beneficios por disminución de paradas de planta**

De la tabla 5-9, observamos que en el sexto año se recupera una cifra superior el monto de la inversión realizada al implementar Fieldbus Foundation, cuya suma asciende a \$ 174,935.00. Este valor fue calculado de las ganancias netas en el periodo de seis años, superando la suma de la inversión.

### **5.3. Costo promedio de un proyecto con Sistemas de Control Distribuido**

La metodología utilizada para obtener las proyecciones económicas sobre la implementación de un proyecto con tecnología DCS esta basada en diferentes análisis técnicos – económicos, los cuales se describen en los próximos párrafos. El análisis económico se basa en la implementación de esta tecnología en la

planta productora de alcohol CODANA S.A., por esta razón, los costos de implementación se obtendrán de acuerdo a los requerimientos de la misma.

### **5.3.1. Costo del proyecto**

Para el análisis de costo de un proyecto analizaremos primero los siguientes puntos referentes a la implementación del Proyecto:

- Costo de estudio Técnico.
- Costo de cada equipo de DCS.
- Costo de Accesorios adicionales para cada equipo DCS.
- Costo de RTD y manómetros.
- Costo de PLC y Enercept Meter
- Costo de Software.
- Costo Total.

### **5.3.2. Costo de estudio técnico**

En este punto de análisis se consideró de manera detallada que equipo y cuantos del mismo se utilizaran para implementar el Proyecto con un Sistema de Control Distribuido, además de las conexiones requeridas por cada uno de ellos.

El estudio técnico busca evaluar si la implementación de la nueva tecnología es posible en la planta y si así es, cuales son las ventajas que se obtendrán. El valor promedio de este estudio esta valorado en \$ **2,000.00**, dependiendo básicamente del volumen y producción de la planta; Este valor corresponde específicamente a la mano de obra, como se detalla a continuación:

1. Estudio del Proceso Industrial.
2. Diseño eléctrico.
3. Diseño de la arquitectura de control..
4. Plasmarlo en un documento debidamente detallado.

Todo esto en un periodo de un mes. Los costos por honorarios de instalación, programación, calibración y cableado de equipos, para la planta CODANA están alrededor de \$ **14,580.00**. Se toma en cuenta el número total de equipos detallado entre dispositivos de campo, computadoras, Transmisores, flujómetros, manómetros, RTDs y Enercept Meters. Este valor se lo detalla de la siguiente manera:

**TABLA 5-10: COSTO DE IMPLEMENTACION**

<b>Descripción</b>	<b>Cantidad de Equipos</b>	<b>Costo por Equipo</b>	<b>Total</b>
Costo de Instalación	135	\$ 25.00	\$ 3,375.00
Costo de Programación	87	\$ 40.00	\$ 3,480.00
Costo de Calibración	85	\$ 65.00	\$ 5,525.00
Cableado	110 m	\$ 20.00	\$ 2,200.00
		<b>Total</b>	<b>\$ 14,580.00</b>

Los equipos en la tabla 5-10, son especificados a continuación:

- 135 equipos, incluyen los dispositivos de campo, computadoras, manómetros, flujómetros, enercept meter.
- 87 equipos que comprenden los dispositivos de campo y computadoras.
- 85 equipos, constituyen los dispositivos de campo.

La calibración es uno de los pasos de la implementación más complejo, dependiendo de la aplicación del proceso que se esté automatizando, tal como sucedió en este caso.

### 5.3.3. Costo de equipos DCS usados en la implementación

En este inciso hacemos referencia a los costos de cada uno de los equipos instalados en la planta de Destilación de alcohol. También se menciona la cantidad utilizada de los mismos.

**TABLA 5-11: COSTO DE EQUIPOS DCS**

<b>CANT.</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>P. UNITARIO</b>	<b>TOTAL</b>
58	Transmisor de Nivel	\$ 900.00	\$ 52,200.00
6	Transmisor de Presión	\$ 850.00	\$ 5,100.00
9	Transmisor de Temperatura	\$ 300.00	\$ 2,700.00
5	Convertidor A/D	\$ 400.00	\$ 2,000.00
2	Convertidor Dig - Neu	\$ 700.00	\$ 1,400.00
		<b>TOTAL</b>	<b>\$ 63,400.00</b>

#### 5.3.4. Costo de accesorios

En la instalación de los instrumentos de campo se hace uso de diferentes conectores y medios de comunicación, así como materiales de protección de los mismos, los requerimientos promedio para la instalación de cada uno de los instrumentos se detalla a continuación.

**TABLA 5-12: COSTO DE ACCESORIOS ADICIONALES**

<b>CANT.</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>P. UNITARIO</b>	<b>TOTAL</b>
750	Tubbing	\$ 1.70	\$ 1,275.00
900	Tubos metálicos/cables (3m c/u)	\$ 3.00	\$ 2,700.00
3000	Cable #14 par trenzado(m)	\$ 1.00	\$ 3,000.00
300	Caja de unión	\$ 0.75	\$ 225.00
50	Cable UTP(m)	\$ 2.00	\$ 100.00
		<b>TOTAL</b>	<b>\$ 7,300.00</b>

El factor de reutilización es adicionado para determinar el valor de salvamento de los equipos, es decir, si deseamos en el futuro implementar una nueva tecnología, algunos de estos accesorios se podrán usar en la implementación. El factor es bajo, ya que los accesorios no son de gran importancia en la arquitectura de control, como si lo es un transmisor de presión.

#### 5.3.5. Costo de RTD y manómetros

En la siguiente tabla se consideran los costos de los RTD y también los costos de tuberías para cables y cables empleado para su instalación.

TABLA 5-13: COSTO DE RTD Y MANOMETROS

<b>CANT.</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>P. UNITARIO</b>	<b>TOTAL</b>
18	RTD	\$ 50.00	\$ 800.00
10	Manómetro 150 PSI	\$ 100.00	\$ 1000.00
10	Manómetro de 30PSI	\$ 70.00	\$ 700.00
5	Flujometro	\$ 100.00	\$ 500.00
			<b>\$ 3,000.00</b>

### 5.3.6. Costo de PLC y Enercept Meter

El PLC es utilizado para el manejo de motores tales como bombas. Los Enercept Meter son utilizados para medir el consumo de energía eléctrica en la planta.

TABLA 5-14: COSTO DE PLC Y ENERCEPT METER

<b>CANT.</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>P. UNITARIO</b>	<b>TOTAL</b>
1	Program Logic Control	\$ 900.00	\$ 900.00
5	Enercept Meter	\$ 1,200.00	\$ 6,000.00
		<b>TOTAL</b>	<b>\$6,900.00</b>

### 5.3.7. Costo de software

El software que he considerado es el necesario para la programación y monitoreo de los equipos de SMAR.

TABLA 5-15: COSTO DEL SOFTWARE

<b>CANT.</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>P. UNITARIO</b>	<b>TOTAL</b>
1	Intouch (Development)	\$ 9,000.00	\$ 9,000.00
1	Intouch (Runtime)	\$ 13,000.00	\$ 13,000.00
1	Software Propietario DCS	\$ 3,500.00	\$ 3,500.00
		<b>TOTAL</b>	<b>\$ 25,500.00</b>

### 5.3.8. Costo total del proyecto

En la tabla siguiente aparecen los valores de las tablas anteriores para poder evaluar el costo total del Proyecto.

**TABLA 5-16: COSTO TOTAL DEL PROYECTO**

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>TOTAL</b>
Estudio Técnico + Implementación	\$ 16,580.00
Equipo de DCS	\$ 63,400.00
Accesorios adicionales para instrumentos de campo	\$ 7,300.00
RTD y manómetros	\$ 3,000.00
PLC y Enercept Meter	\$ 6,900.00
Software	\$ 25,500.00
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 122,680.00</b>

### 5.4. Beneficio monetario del uso de la tecnología DCS en el proyecto

El beneficio que pueda tener la implementación con Sistema de Control Distribuido lo analizaremos mediante dos puntos que son los siguientes:

- Retorno de Inversión.
- Beneficios por Disminución de Paradas de Planta.

#### 5.4.1. Retorno de inversión

En el análisis de retorno de la inversión se hace las siguientes consideraciones:

- Asumimos un ingreso anual referencial de la empresa libre de gastos fijos, en \$ 45,000.00, 25% menos de lo alcanzado con Fieldbus.

- También se considera que en CODANA se realiza dos paradas de la planta por año para realizar un mantenimiento que dura 7 días; en el cual hemos considerado el valor de \$ 3,363.00, que se obtiene del siguiente calculo:

$$\text{Contrato de personal} + (\text{Ganancia Anual} * 7 \text{ Días}) / 365 \text{ Días}$$

Detallado en la siguiente tabla:

**TABLA 5-17: COSTO POR MANTENIMIENTO (DOS PARADAS)**

<b>Descripción</b>	<b>Costo</b>
Contrato de personal, para realizar este mantenimiento (2): Detección de condiciones anormales en los equipos Detección de Instrumento defectuosos de temperatura y presión	\$ 3,500.00
Recalibración y estadística de funcionamiento de los equipos (2)	\$ 1,500.00
Valor de perdida por producción (2) ( <b>Ganancia Anual * 7 Días</b> ) <b>/ 365 Días</b>	\$ 1,726.00
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 6,726.00</b>

Si asumimos las consideraciones, vamos a tener un ingreso anual en la planta de \$ 38,274.00; Lo cual se ve reflejado en la tabla 5-18.

El numero de años (siete) se lo tomó como un valor referencial para hallar la tasa interna de retorno.

**TABLA 5-18: RETORNO DE LA INVERSION**

<b>AÑOS</b>	<b>RETORNO</b>	<b>GANANCIA</b>
0	\$ -122,680.00	\$ 38,274.00
1	\$ -84,406.00	
2	\$ -46,132.00	
3	\$ -7,858.00	
4	\$ 30,416.00	
5	\$ 68,690.00	
6	\$ 106,964.00	
7	\$ 145,238.00	6%

**Tasa interna de retorno = 6 %**

#### **5.4.2. Beneficios por disminución de paradas de planta**

De la tabla 5-18, observamos que en el séptimo año se recupera una cifra superior a la inversión realizada al implementar DCS, cuya suma asciende a \$ 145,238.00. Este valor fue calculado de las ganancias netas en el periodo de siete años a partir del año cero, superando la suma de la inversión.

#### **5.5.Comparación de resultados**

En el subcapítulo 5.2. se realizó un análisis económico si utilizamos la tecnología de Fieldbus Foundation. En el inciso 5.2.1. podemos ver la diferencia del porcentaje de la tasa de retorno de inversión de 11% con la tecnología Fieldbus.

También podemos darnos cuenta que la inversión inicial para el proyecto se recupera en 6 años. Aquí podemos ver claramente los beneficios al implementar el proyecto bajo la Tecnología de Fieldbus Fundación, debido al gran porcentaje

del retorno de inversión. Ahora si implementamos el proyecto con otra tecnología, lo cual se analiza el subcapítulo 5.3, para la tecnología anterior DCS el valor de la tasa interna de retorno es de 6% y se recupera la inversión en 7 años; la diferencia entre las tasas de retorno es de aproximadamente 2/1 por esta razón, es mucho más conveniente la implementación del proyecto con Fieldbus Foundation.

A más de recuperar en menos números de años la inversión (seis), el valor de retorno es mayor en Fieldbus Foundation, debido a la cantidad de la inversión inicial y la gran capacidad para recuperar la misma.

Pero hay que hacer notar que muchas veces el ahorro monetario va de la mano con la calidad del producto que se desea comprar e instalar; Y esto es lo que Fieldbus Foundation nos beneficia tanto económicamente como en la calidad del producto.

No solamente en lo que refiere a la calidad del producto sino también en la comunicación y programación de los instrumentos. Fieldbus trabaja bajo dos tipos de señales tanto analógica como digital, tal como se lo expuso en los capítulos anteriores.

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

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

Las condiciones extremas a escala industrial requieren de equipos capaces de soportar altas temperaturas, ruido excesivo, polvo, humedad y demás condiciones adversas; pero además requiere de personal capaz de ver globalmente el sistema de control y automatización industrial junto con el sistema de red digital de datos.

## **6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

El protocolo de comunicación Fieldbus Foundation, y toda la tecnología que nos brindan sus dispositivos de campo y equipos de comunicación, nos permite reducir el tiempo y el proceso de transferencia de datos, además, cada uno de los dispositivos adicionados al circuito de campo incrementa el procesamiento, ya que cada uno de ellos aporta al sistema con integrados capaces de procesar y mantener sus algoritmos de procesamiento, esto asegura la integridad de los datos, garantizando el tiempo de sincronización y el tiempo real de respuesta en las aplicaciones.

Ofrece en sus implementaciones una variedad de topologías, similares a las usadas en una red de computadoras, y sus datos son enviados a aquellas computadoras que ocupan el rol de supervisores, a través del protocolo de comunicación TCP/IP, utilizado en todas las comunicaciones de redes privadas y publicas para trasmisión y recepción de datos.

Es un protocolo de comunicación abierta, lo cual nos permite usar tecnología de otros fabricantes para completar nuestros dispositivos de campo, los mismos que son fáciles de configurar a través de un software de interface grafica. La instalación física de los componentes necesarios para la conectividad entre los dispositivos de campo y los ordenadores es muy sencilla, a través de conectores sencillos y borneras.

Nuestro enfoque basado en la aplicación de la planta de producción de alcohol CODANA S.A., nos permitieron tener un enfoque mas específico de cada una de las ventajas técnicas que nos ofrece este protocolo.

La empresa CODANA S.A. actualizo sus dispositivos de tecnología basada en Sistema de Control Distribuida a Sistemas de Control Fieldbus, ya que la tecnología anterior ocasionaba muchas paradas de planta, además, el sistema redundante era muy costoso de implementar, lo que impactaba directamente a la parte económica.

Por otro lado, el nuevo sistema de control resolvió los problemas que se encontraban en la tecnología anterior. Además, Fieldbus permite usar dispositivos de campo de tecnología anterior que usen comunicación 4-20 mA, por lo que algunos de los dispositivos se siguen usando en la nueva red de comunicación industrial.

El nuevo sistema de control, permitió optimizar los recursos humanos que posee la planta, ya que muchas de las tareas eran realizadas de manera manual, el operador, necesitaba revisar por su cuenta el set point, al estar este cercano o sobre el mismo, debía manipular los dispositivos, alcanzando niveles de error altos. Los turnos fueron distribuidos, y algunos operadores fueron reubicados a otras áreas, mejorando la situación de la planta y la de los operadores.

Finalmente, los datos obtenidos en el análisis económicos y las comparaciones realizadas, nos permiten apreciar que si bien es cierto la inversión inicial es alta, su retorno de inversión es asegurado durante un determinado tiempo.

Las paradas de planta, mantenimiento de equipos, fueron reducidas, lo que asegura una estabilidad en la producción, la tecnología mejora el procesamiento de datos y requerimientos, ayudando a incrementar la producción.

Por lo tanto, el protocolo de comunicaciones Fieldbus Foundation implementado en CODANA S.A., incrementa la producción y redujo los gastos económicos de la misma, además permitió realizar una mejor distribución del personal.

## **APÉNDICES**

# APÉNDICE A

Figura A.1. ABASTECIMIENTO DE MELAZA

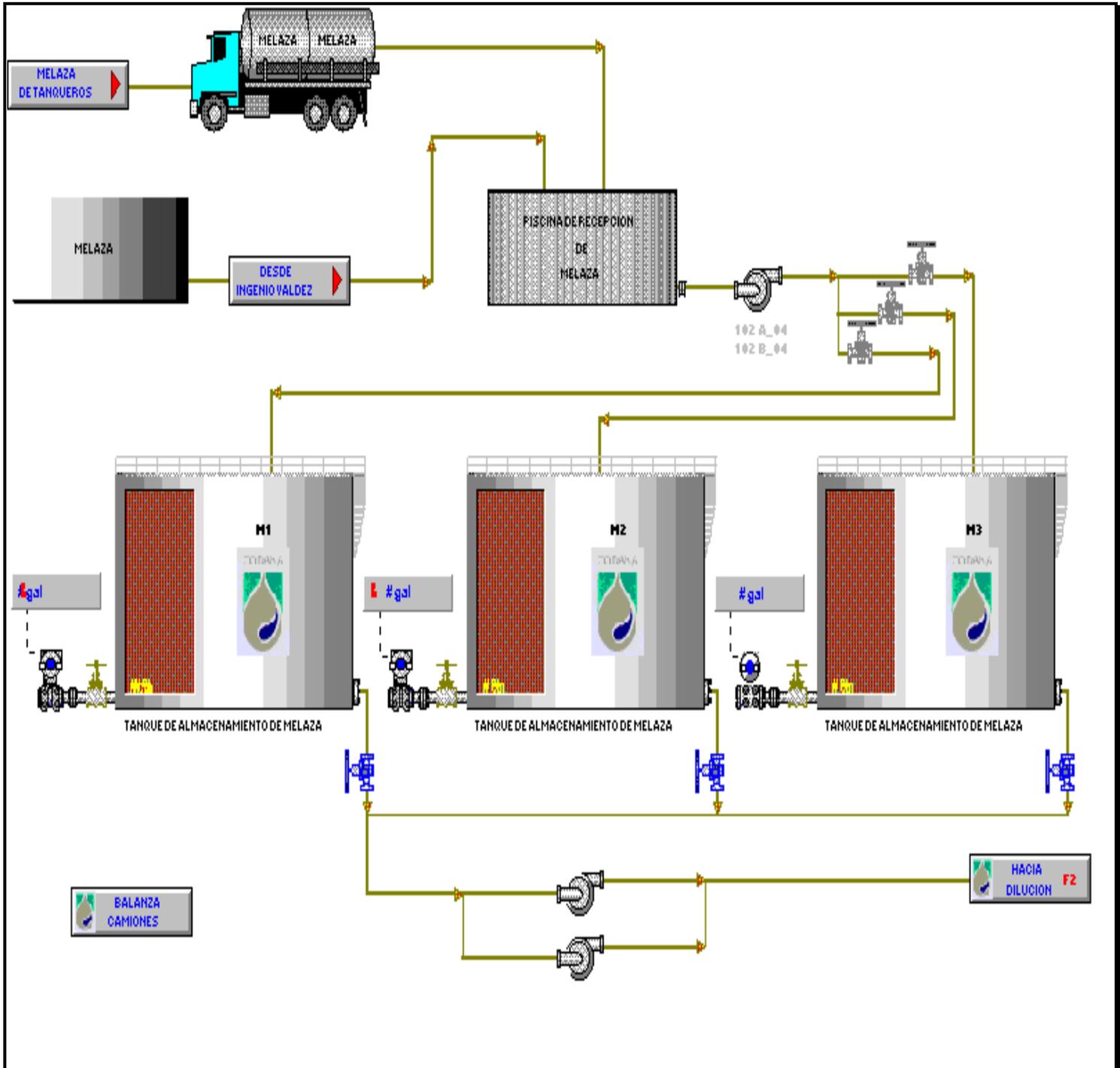


Figura A.2. PROCESO DE DILUCIÓN Y FERMENTACIÓN

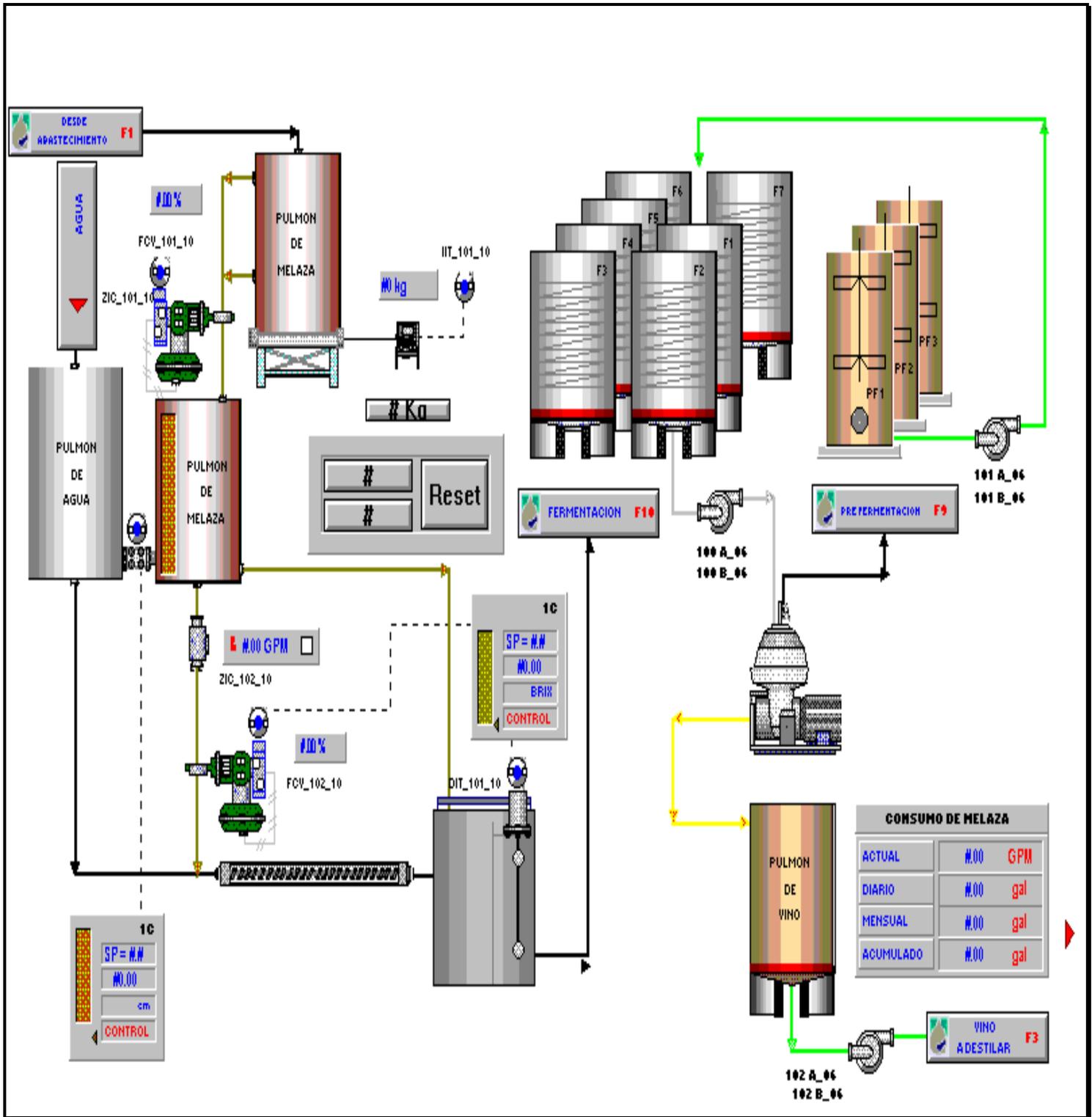


Figura A.3. PROCESO DE FERMENTACIÓN Y PULMÓN DE VINO

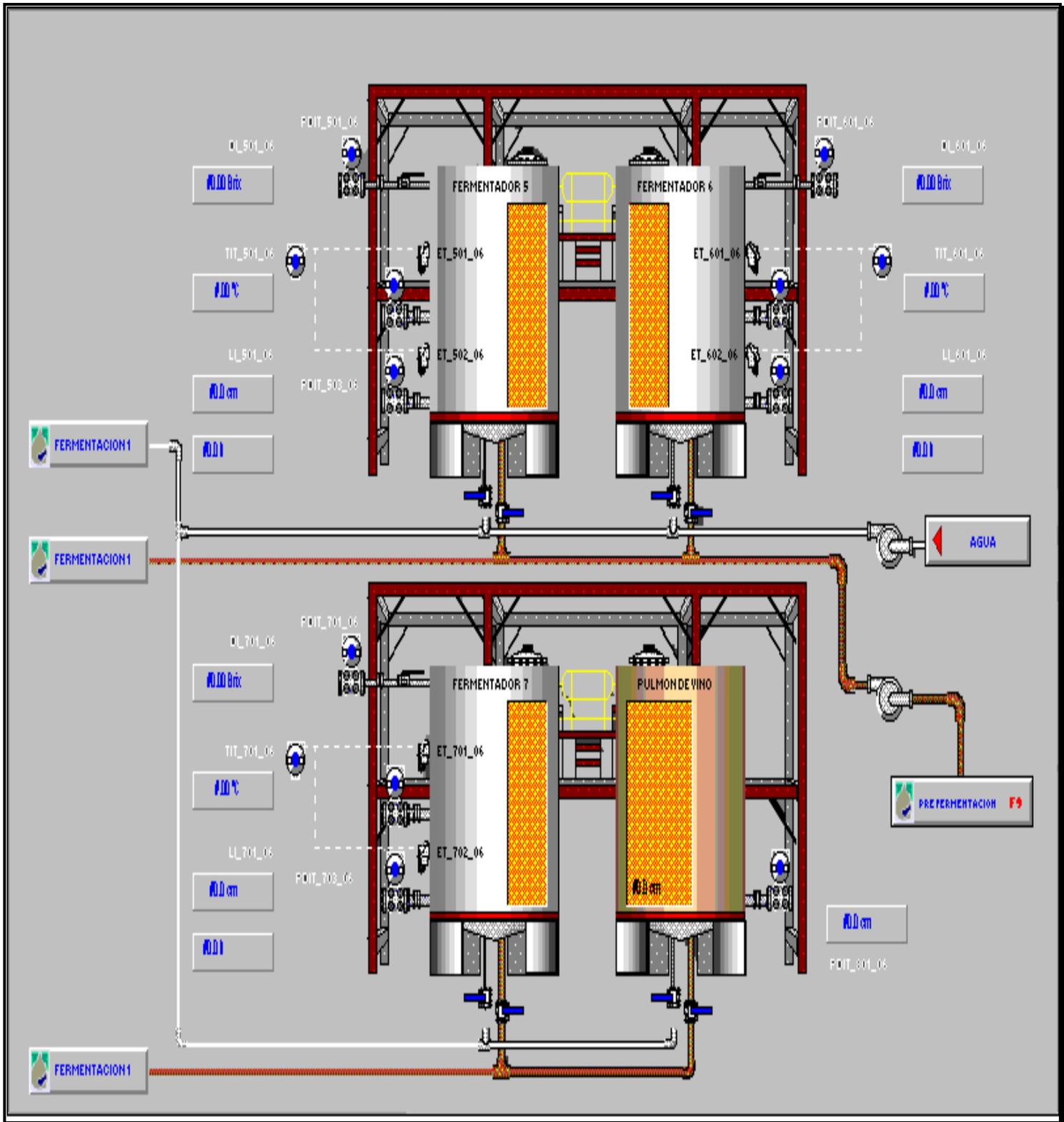


Figura A.4. **PREFERMENTACIÓN**

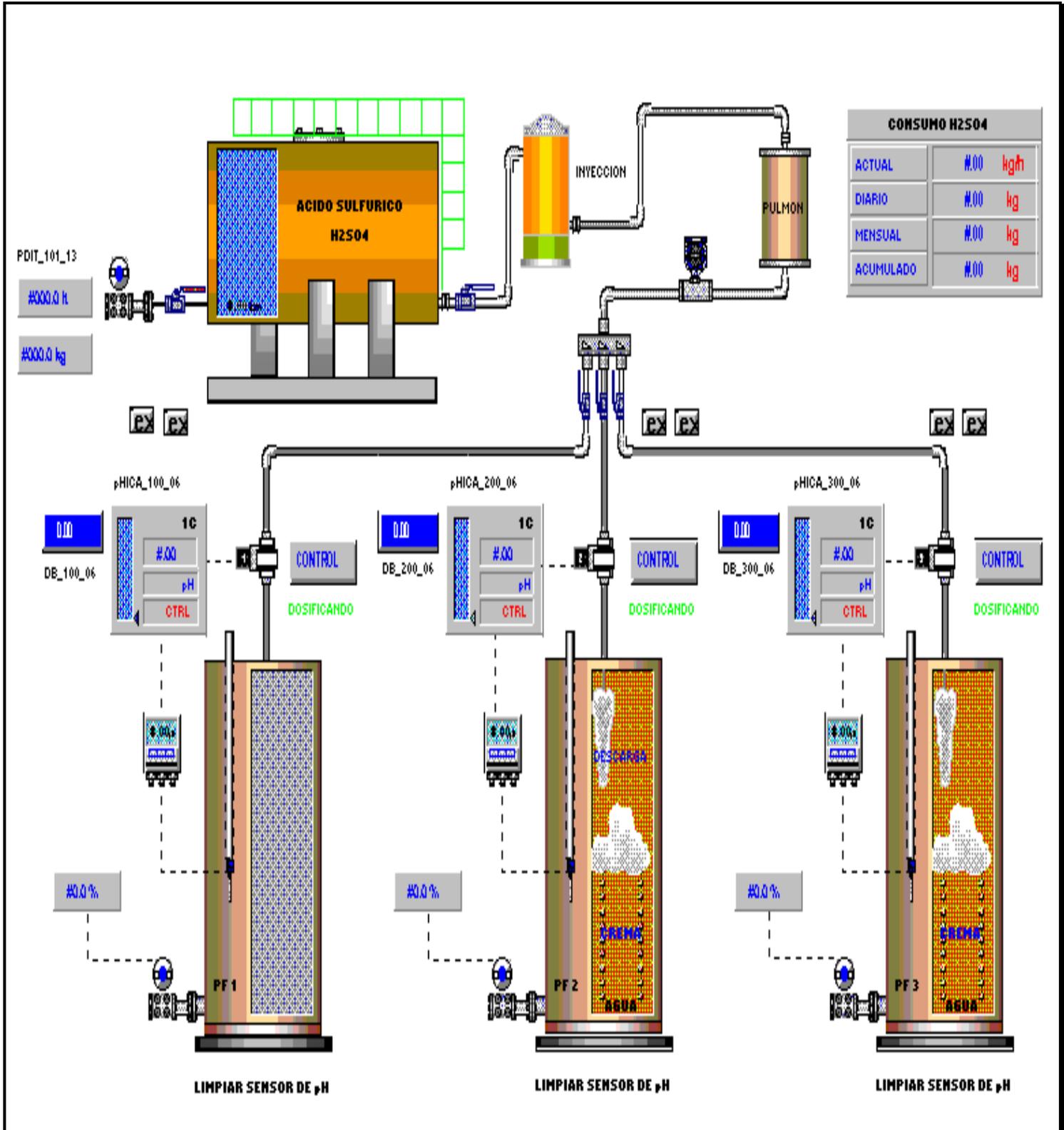


Figura A.5. COLUMNA DESTROZADORA DE VINO CD/A

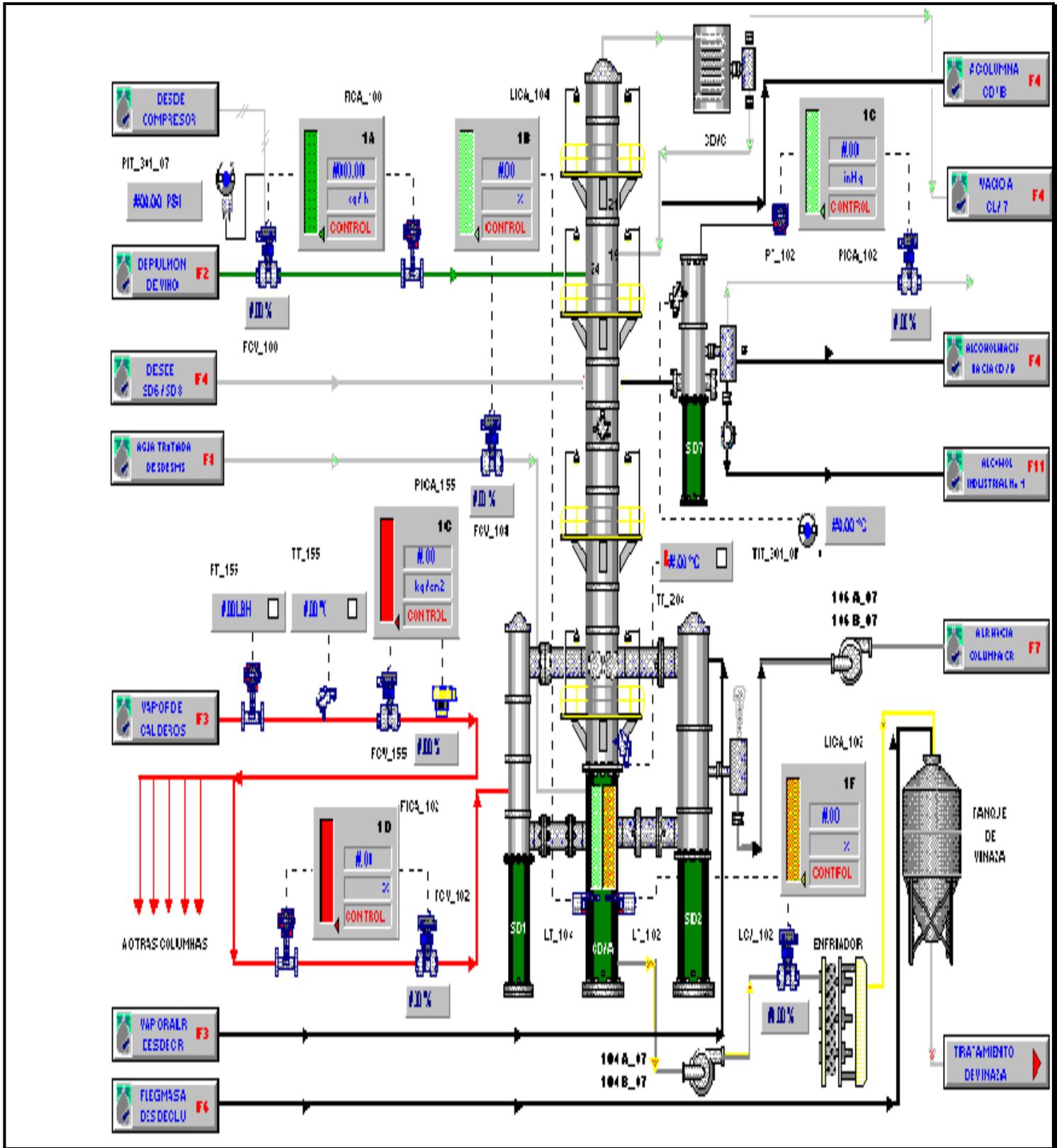


Figura A.6. COLUMNA CONCENTRADORA CD/B Y LUTER CLU

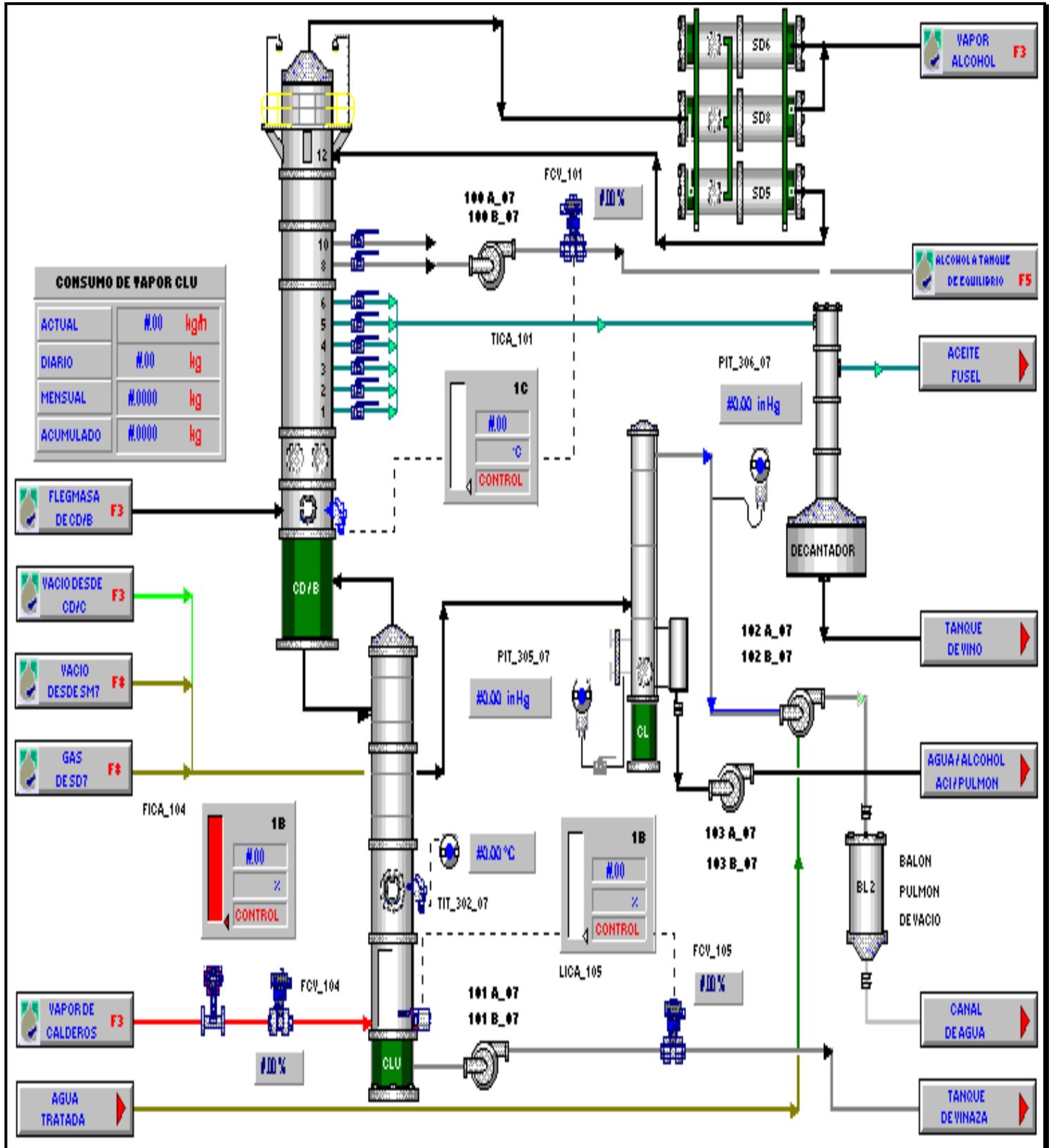


Figura A.7. COLUMNA HIDROSELECTORA

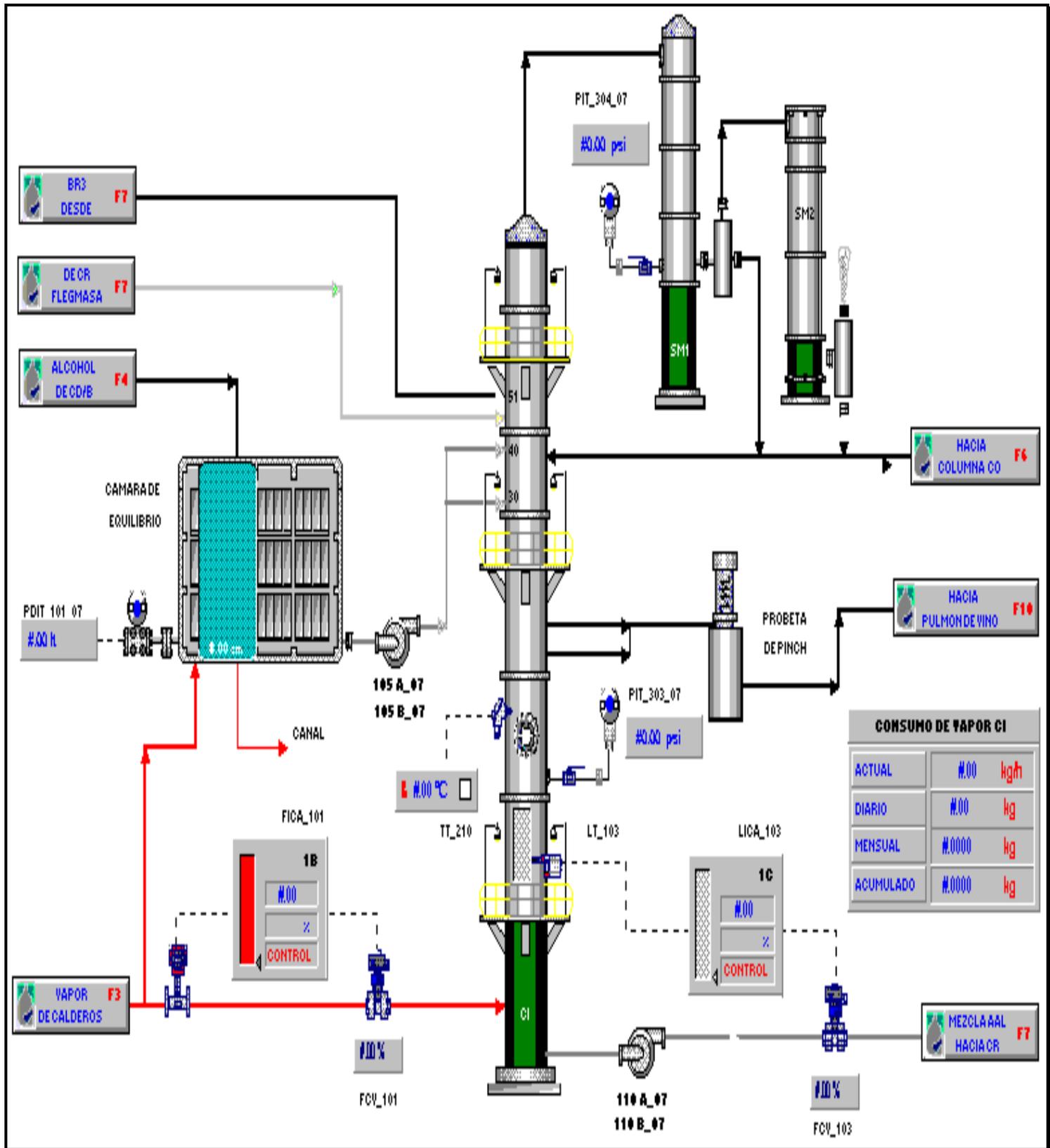


Figura A.8. COLUMNA RECTIFICADORA CR

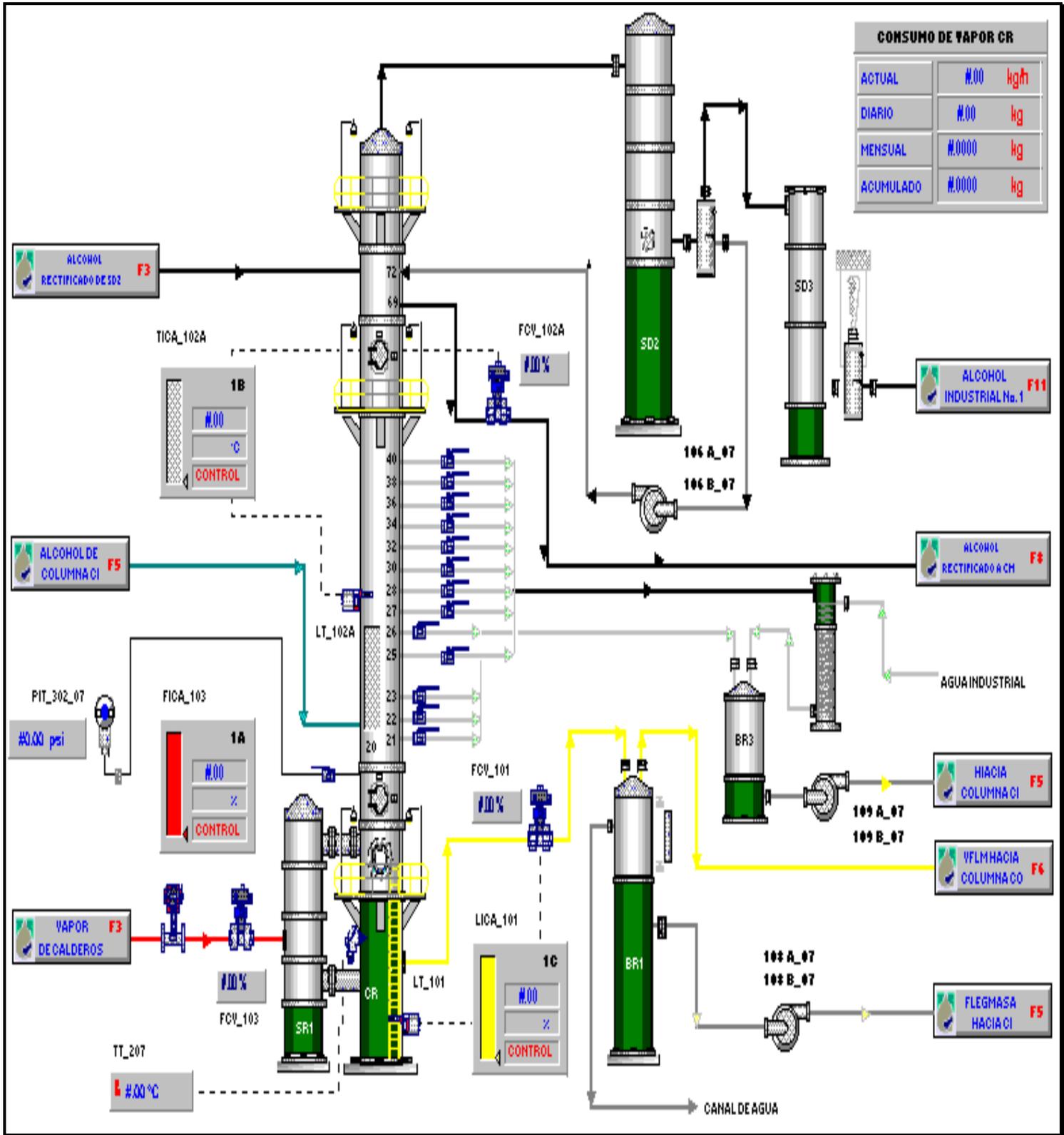


Figura A.9. COLUMNA DE REPASE FINAL CM

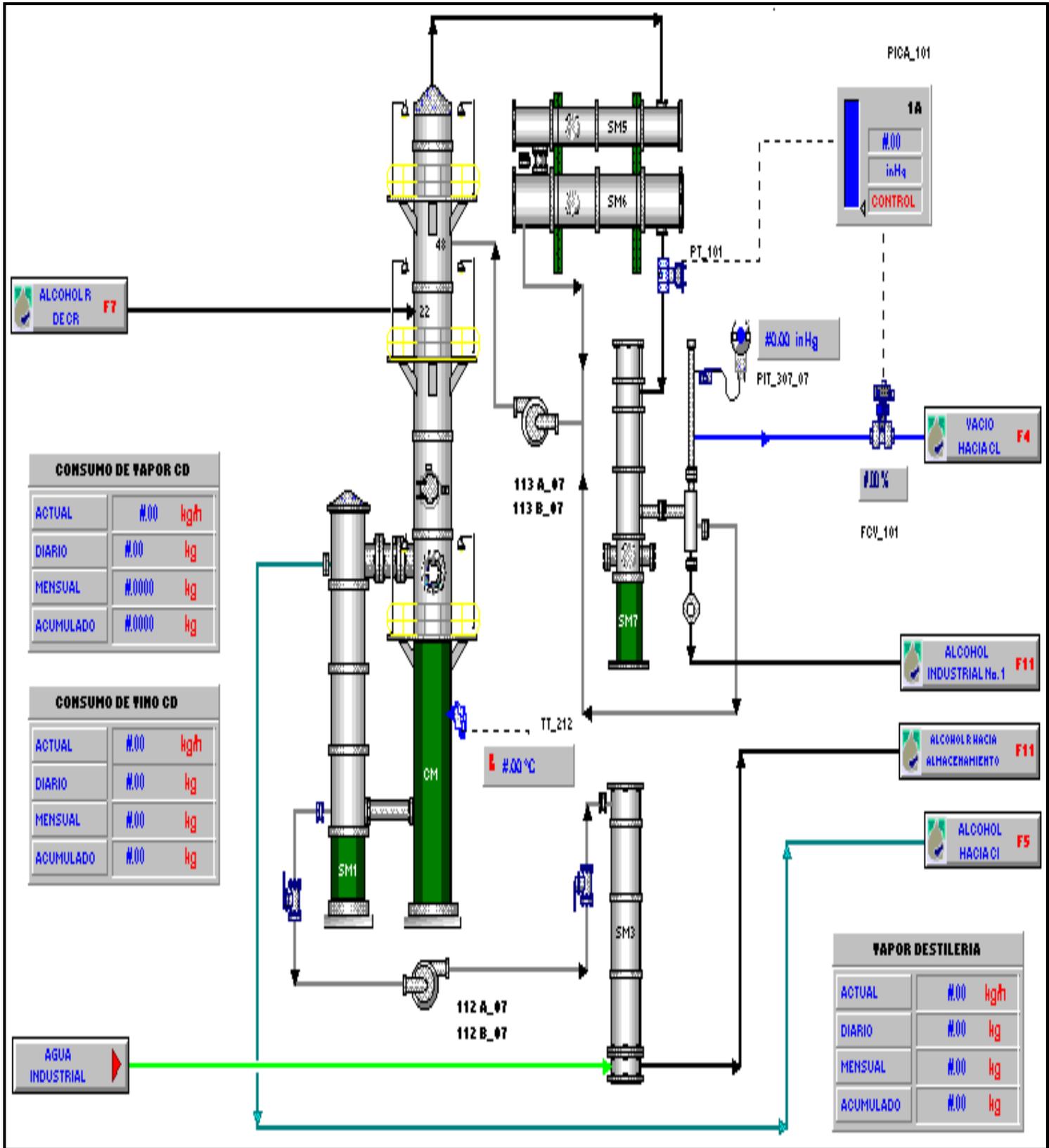


Figura A.10. COLUMNA CONCENTRADORA DE FUSEL CO

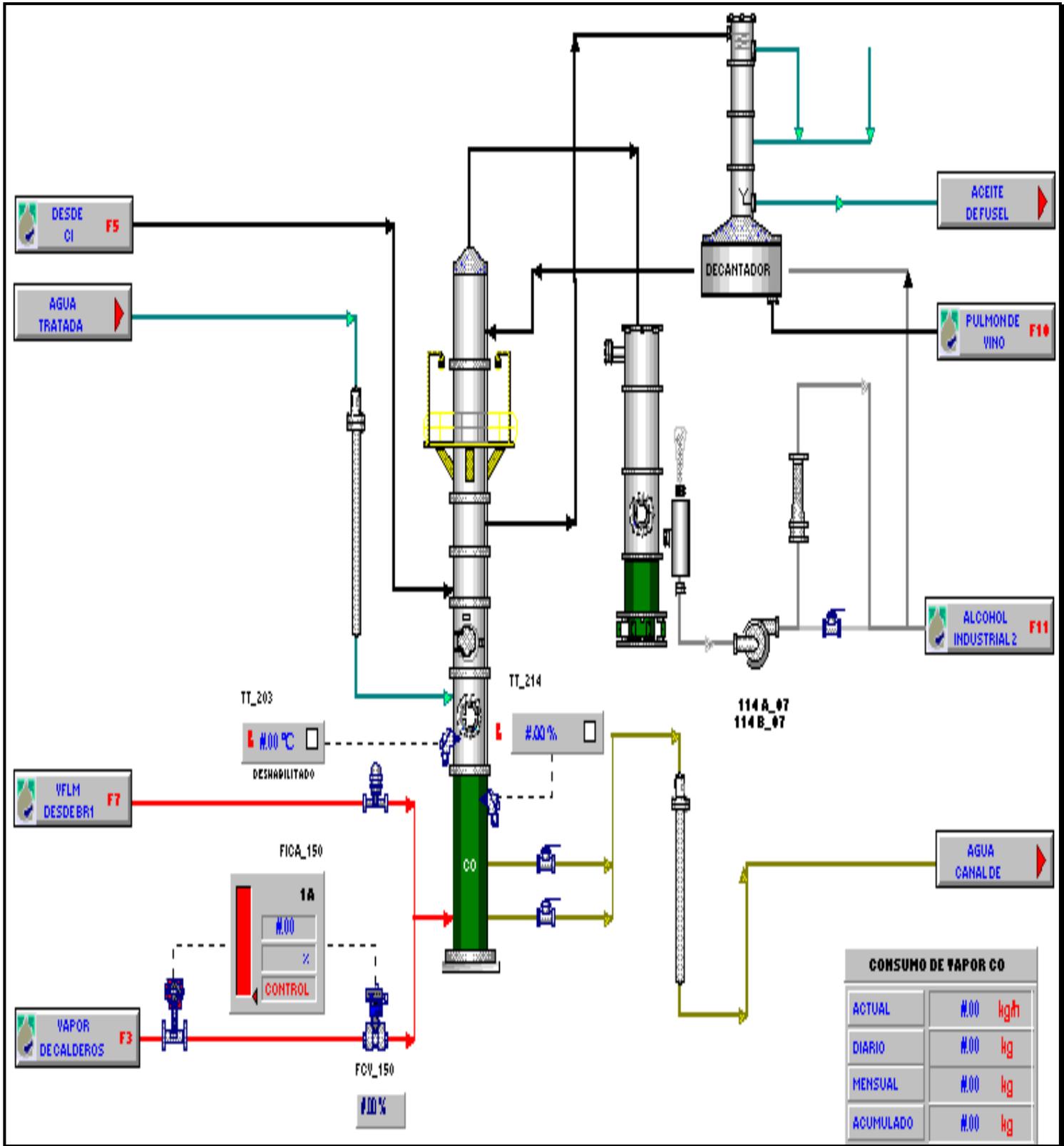
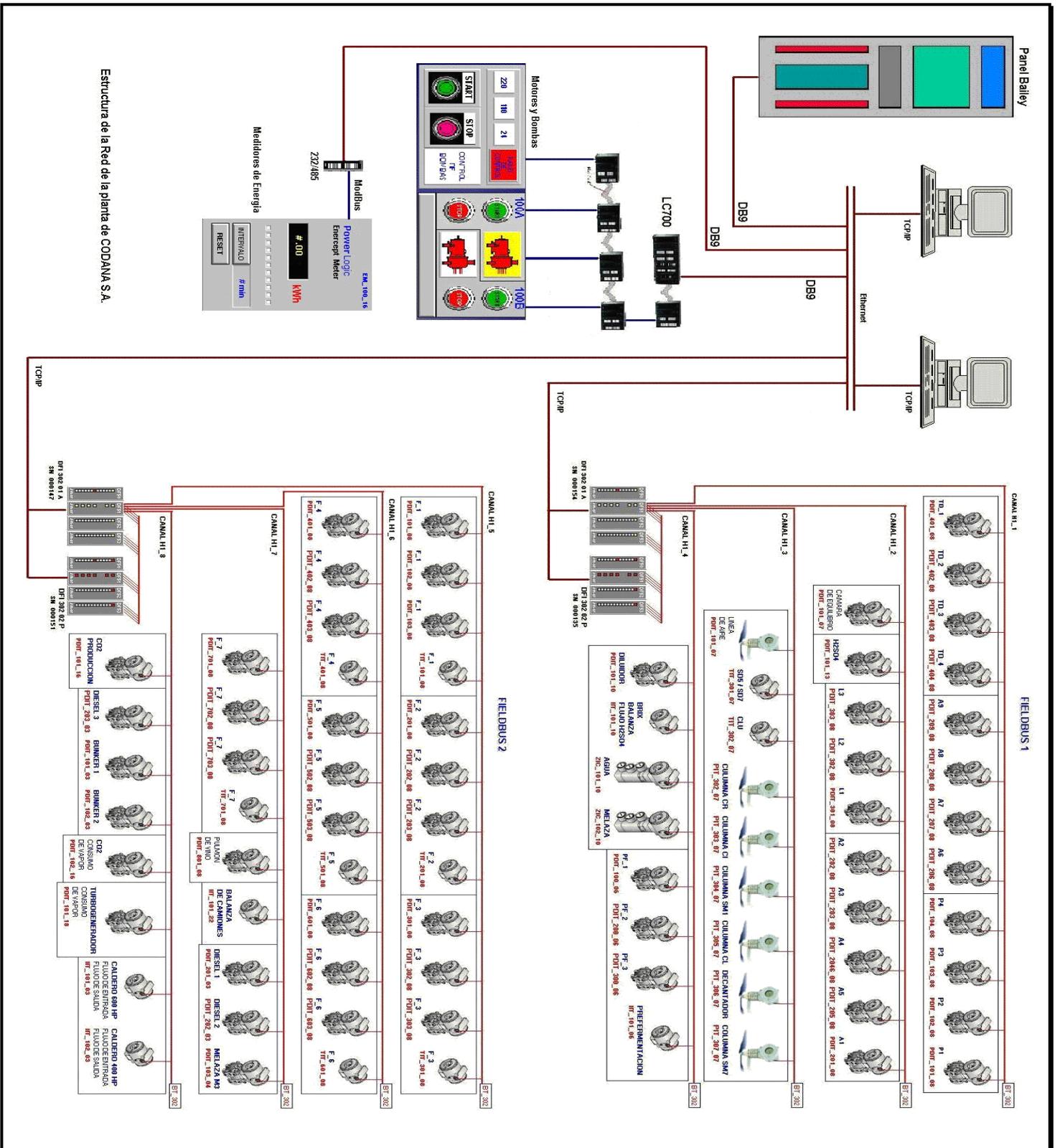


Figura A.11. ESTRUCTURA DE LA RED



Estructura de la Red de la planta de CODANA S.A.

## APÉNDICE B

### Empresas en el **Ámbito Mundial** que utilizan **Fieldbus**

Fieldbus tiene varias aplicaciones a escala mundial en industrias de generación de energía eléctrica, obtención de azúcar, obtención de alcohol, industrias químicas, petroquímicas, de producción de fibra de vidrio para comunicaciones, control de portaviones navieros, y en muchos otros tipos de procesos, a continuación mencionaremos dos de ellas.

La Compañía Energética *Santa Elisa* situada en México es uno de los mas grandes productores de azúcar y alcohol en el mundo. La planta tiene la capacidad de procesar 32.0000 toneladas de caña de azúcar por día produciendo 2.000 toneladas de azúcar y 1´400.000 litros de alcohol por día. El proyecto de automatización se inició en 1997, involucrando todas las áreas de producción en la fábrica de molido y dividido en tres partes: en la planta de generación de vapor, en la planta de fabricación de azúcar y en la planta de destilación de alcohol.

El SYSTEM302 permite la distribución de las funciones lógicas entre 170 dispositivos de campo integrados a 15 Controladores Programables LC700 con integración completa entre los controladores de variables continuas y discretas disponibles en la red Fieldbus. La operación es monitoreada en 11 estaciones de trabajo cargadas con la interfase hombre - máquina AIMAX. El proyecto de automatización de la generación de vapor involucra el control de 8 calderas. Los controladores programables fueron utilizados para los comandos de on / off y para la seguridad de interconexión de los motores y bandas transportadoras. El proyecto de la planta de fabricación de azúcar utiliza 65 dispositivos Fieldbus, 5 LC700 y 5 estaciones de operación distribuidas en 10 canales de comunicación Fieldbus. Todos los controladores continuos y de monitoreo fueron hechos en la red Fieldbus. Las señales discretas son manejadas por el controlador programable FB700, módulos Fieldbus, en los controladores programables se provee una completa interacción entre las variables continuas y discretas.

El proyecto para la destilación de alcohol involucra 2 estaciones de operación, 3 controladores programables y 67 dispositivos Fieldbus distribuidos en 6 canales Fieldbus. Los dispositivos Fieldbus toman precauciones del control continuo. Los controladores manejan cuidadosamente el monitoreo y alarmas de temperatura. El modulo interno PCI302 en la estación controla la comunicación por el bus y calcula la densidad en línea previendo los grados de alcohol INPM. El sistema inició la operación completa en marzo de 1997 permitiendo varios beneficios incrementando la producción de alcohol, el proceso llegó a ser mucho más estable y el proceso de obtención de azúcar tomó un impresionante incremento del 30% en productividad. Santa Elisa fue el primer gran molino de caña de azúcar en instalar un completo sistema de automatización basado en Sistema Fieldbus de SMAR SYSTEM302.

### COMPAÑÍA ENERGÉTICA SANTA ELISA



La Comisión Federal de Electricidad (*CEF Power Plant*) es una planta de generación de energía situada en México. Esta tiene 4 sistemas Fieldbus. El primer sistema Fieldbus in México inició sus operaciones en la

Planta de Energía Termoeléctrica Mazatlán localizada en el noroeste de México. Una caldera de alta presión produce 600 ton / hr de vapor a 150 kgf / cm<sup>2</sup> de potencia. Los lazos involucrados son el control Master de Presión, control de Flujo de Combustible (límites cruzados), 2 Dampers de Aire con estación de balanceo, Orientador de Oxígeno, control de Nivel de Bidón (3 elementos), control del flujo de Agua, flujo de Vapor (con retroalimentación), y controladores programables LC700 para interconexión y alarmas.

### CEF POWER PLANT



Desde 1998 el sistema viene trabajando continuamente si ninguna interrupción ni problema de alguna clase, y el 50% del costo se redujo comparado con los controles tradicionales de DCS / PLC. Después de un largo tiempo de evaluación del SYSTEM302, en 1998, la dirección de la planta decidió instalar un segundo sistema para 2 unidades con la misma capacidad y lazos de control. Como se esperaba el nuevo SYSTEM302 instalado trabaja justo como el primero, pero con un nuevo record de instalación de una semana, de este modo se requiere de mantenimientos más lejanos en alguno de estos dos sistemas. Ahí está otra planta de energía en Coahuila "Carbón II", donde SYSTEM302 está manejando 24 lazos PID para

diferentes aplicaciones en la Caldera, con plantas instaladas con un gran sistema de límites cruzados y control de nivel.

Esta planta también tiene 2 sistemas de controladores programables LC700 con más de 30 tarjetas de I / O para varios servicios. En Diciembre de 1999, un nuevo SYSTEM302 fue añadido a la lista. La planta termoeléctrica de energía de Guaymas logró el inicio de su primer sistema. La una unidad de la planta es de 158.000 kW. En esta aplicación el LC700 es el responsable del inicio y fin de la secuencia de la caldera. A la fecha un total de 790.000 kW están siendo producidos en México utilizando SYSTEM302 de SMAR.

## **BIBLIOGRAFÍA**

1. LIBRO DE SMAR, Fieldbus Foundation, 1997, Cap. 1, 2, 3 y 5.
2. SMAR, The Fieldbus Reference Book, Marzo 2002, 25p.
3. ESCO ARGENTINA S.A., Automatización Empresarial, 5p, 1999,  
[www.escoarg.com.ar](http://www.escoarg.com.ar)
4. [www.fieldbus.org](http://www.fieldbus.org)
5. ING. MARIO R. MODESTI, Sistemas de Comunicación por bus de campo,  
<http://www.fieldbus.com.au/techinfo.htm#Whatfieldbuses>
6. SMAR EQUIPAMIENTOS INDUSTRIALES Ltda., Como Implementar  
Proyectos con Fieldbus Foundation, segunda ed., agosto 1998, Cap. 1, 2 y 5.