

**ESTUDIO SOBRE INTEGRACIÓN DE REDES DE INSTRUMENTACIÓN  
DIGITALES EN SISTEMAS DE CONTROL PARA EL MEJORAMIENTO DE  
PROCESOS INDUSTRIALES**

DIANA ALEJANDRA RIAÑO SABOGAL

UNIVERSIDAD EAN  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERIA DE PRODUCCIÓN  
BOGOTA, D.C.  
2010

**ESTUDIO SOBRE INTEGRACIÓN DE REDES DE INSTRUMENTACIÓN  
DIGITALES EN SISTEMAS DE CONTROL PARA EL MEJORAMIENTO DE  
PROCESOS INDUSTRIALES**

DIANA ALEJANDRA RIAÑO SABOGAL

Monografía para optar por el título de  
Ingeniera de Producción

Tutor  
DIEGO ADOLFO RODRIGUEZ CANTOR, MEngPr.  
Profesor Asociado  
Automatización Industrial

UNIVERSIDAD EAN  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERIA DE PRODUCCIÓN  
BOGOTA, D.C.  
2010

Nota de aceptación

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Firma del Presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

Bogotá, D.C., 28 de Junio de 2010

*Dedico este trabajo especialmente a mi familia,  
que siempre ha estado apoyándome durante  
este proceso que es de gran importancia, tanto,  
para mi vida personal como profesional,  
a mi novio Andrei por su ayuda incondicional.*

**Diana Alejandra Riaño S.**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco sinceramente a la compañía Instrumentos & Controles S.A., por permitirme ser parte de un gran equipo de trabajo, del cual profesionalmente he tenido la experiencia de conocer las últimas tecnologías en cuanto al mejoramiento de procesos, tema fundamental que comparto en este trabajo.

Agradezco a mi familia, a mis amigos y colegas, por su gran apoyo desde que inicie mis estudios, por sus aportes, conocimientos y experiencias compartidas, las cuales han sido base de mi formación y crecimiento personal.

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	5
1. GENERALIDADES	6
1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	6
1.2. JUSTIFICACIÓN	8
1.3. OBJETIVOS	9
1.3.1. Objetivo general	9
1.3.2. Objetivos Específicos	9
2. MARCO REFERENCIAL	11
2.1. MARCO CONCEPTUAL	11
2.2. MARCO TEORICO	14
2.2.1. Tipos de control	17
2.2.2. Selección del Sistema de Control	19
2.2.2.1. Guía de selección de Sistemas de Control	20
2.2.3. Control por computador	21
3. REDES DE INSTRUMENTACIÓN DIGITALES	23
3.1. MODELO OSI	23
3.1.2. Capas del modelo OSI	24
3.1.3. Modelo paralelo OSI	25
3.2. BUSES DE CAMPO O PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN ESTANDARIZADOS	26
3.2.1. Protocolo de comunicación HART	27
3.2.2. Protocolo de comunicación PROFIBUS DP-PA	27
3.2.3. Protocolo de comunicación FOUNDATION FIELDBUS	29
3.2.4. Protocolo de comunicación MODBUS	29
3.2.5. Protocolo de comunicación DEVICENET	30

3.2.6. Protocolo de comunicación sobre ETHERNET	30
3.2.7. Protocolo de comunicación WIRELESS HART	31
3.3. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS BUSES MÁS USADOS A NIVEL INDUSTRIAL	33
3.4. CARACTERISTICAS TECNICAS DE LOS BUSES DE CAMPO	37
4. SISTEMAS DE CONTROL DISTRIBUIDO	39
5. ACTUALES SISTEMAS DE CONTROL	42
5.1. DCS SIMATIC PCS 7 del Fabricante Siemens	42
5.2. DCS SERIE I/A del Fabricante Foxboro/Invensys	44
5.3. DCS DELTA V del Fabricante Emerson Process Management	45
5.4. DCS FREELANCE 800F del Fabricante ABB	46
6. APLICACIONES EXITOSAS EN LA INDUSTRIA	47
6.1. CONTROL EN ESTACIONES DE CRUDO – ECOPETROL	47
6.2. NUEVA PLANTA PRODUCTORA – ARAUCO CHILE	48
6.3. MEJORAMIENTO DE LAS OPERACIONES DE LA PLANTA – SHELL	51
6.4. SOLUCIÓN WIRELESS EN PENNSYLVANIA POWER AND LIGHT	52
7. PROPUESTA PARA LA UNIVERSIDAD EAN	53
CONCLUSIONES	66
RECOMENDACIONES	67
REFERENCIAS	68

## LISTADO DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Control manual	11
Figura 2. Control y supervisión manual	12
Figura 3. Evolución de los dispositivos de control	13
Figura 4. Intercambiador de calor	15
Figura 5. Diagrama de bloques	16
Figura 6. Acciones PID	19
Figura 7. Arquitectura de Planta Digital	22
Figura 8. Señal del protocolo de comunicación HART	27
Figura 9. Comunicación por bus determinista de PROFIBUS	28
Figura 10. Red inalámbrica auto-organizable	32
Figura 11. Ahorro en instalación	32
Figura 12. Cuarto de control central	39
Figura 13. Presentación gráfica del proceso	40
Figura 14. Arquitectura SIMATIC PCS7 de Siemens	43
Figura 15. Arquitectura - Sistema Foxboro/Invensys de la Serie I/A	44
Figura 16. Arquitectura – Delta V de Emerson Process Management	45
Figura 17. Arquitectura – Freelance 800F de ABB	46
Figura 18. Planta de Ecopetrol - Superintendencia Apiay	47
Figura 19. Planta Celulosa Arauco de Chile	48
Figura 20. Cuarto de Control - Planta Arauco	49
Figura 21. Planta de producción de Celulosa Arauco	50
Figura 22. Arquitectura de control propuesta	54

## LISTADO DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Guía de selección de Sistemas de control	20
Tabla 2. Ventajas y desventajas de los buses de campo	37
Tabla 3. Características técnicas de los buses de campo	38
Tabla 4. Costos propuesta - Laboratorio piloto UEAN	60

## INTRODUCCIÓN

Para desarrollar y mantener una ventaja competitiva es tiempo de llevar una planta de producción a la era digital, con un sistema de automatización totalmente digital. Desde un conjunto de buses digitales al control avanzado de precisión, para facilitar la integración y optimización de los procesos.

En la industria es ampliamente reconocido conectar los sistemas de producción y automatización con un software de planificación, programación, calidad, y mantenimiento. Esto ha permitido obtener notables beneficios tales como hacer la Planta más eficiente, optimizar las cadenas de suministro, bajar los costos laborales, y reducir dramáticamente los inventarios y el tiempo de entrega. Entre los aspectos que impiden lograr tal integración se encuentran los antiguos sistemas de automatización, la falta de normas de comunicación y los costosos recursos requeridos para desarrollar y mantener esta conectividad.

En el presente trabajo se realizará un Estudio de integración de redes de instrumentación inteligente en sistemas de control para el mejoramiento de procesos industriales basado en la metodología Team Process, la cual es útil para la integración y optimización de procesos.

Como resultado se busca obtener un modelo que se pueda aplicar a cualquier organización que necesite mejorar la calidad en sus productos, la disponibilidad de la planta, aumentar el rendimiento operativo, reducir los costos de operación y de mantenimiento, optimizar la seguridad, salud y cumplimiento ambiental, reduciendo los desperdicios, el retrabajo y los costos en servicios públicos .

## **1. GENERALIDADES**

### **1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

#### **Antecedentes**

En los años 1990, las empresas tendían a eliminar procesos innecesarios y aumentar la automatización, logrando operaciones más eficientes, con menos variabilidad, y generando mayor utilidad en los procesos, sin embargo, el control era muy limitado y solo se enfocaba a la estrategia de control diseñada para el proceso, de tal modo que, se debían tomar en su mayoría decisiones reactivas sobre el control cuando este salía de funcionamiento casi siempre por errores operativos, no obstante las labores de mantenimiento sobre los dispositivos que intervenían en los diferentes procesos también eran de tipo reactivo, lo cual ocasionaba una reducción considerable en la productividad y, consecuentemente, significantes gastos y pérdidas para las compañías. Es importante resaltar que gracias al mantenimiento preventivo, en la actualidad muchas empresas han mejorado notablemente la disponibilidad de las plantas, logrando equilibrar sus gastos, costos y utilidades.

Hoy en día, debido a la fabricación competitiva, existen varias tendencias para el mejoramiento de los procesos de manufactura, principalmente:

- Incremento en las aplicaciones de control avanzado
- Aplicación continua de las tecnologías líderes
- Aumento de la “inteligencia” en campo
- Uso de Sistemas propietarios abiertos
- Integración del control y de la información en los diferentes niveles de la planta

- Control en tiempo real de las variables de gestión (costos, calidad, planificación, trazabilidad de productos, energía, entre otros)
- Incrementar ciclo de vida
- Satisfacer las demandas de los clientes, de productos de alta calidad y entrega rápida, y optimizar el periodo de retorno de sus activos de inversión mediante información adecuada en tiempo real para la toma de decisiones de la compañía.

### **Planteamiento del problema**

¿Cómo dar a conocer a los estudiantes de Ingeniería de Producción de la Universidad EAN, los fundamentos de las nuevas y actuales tecnologías líderes en automatización de procesos industriales, con el fin de que sean entendidas y finalmente sean una herramienta de apoyo para los futuros Directores o Coordinadores de Plantas de Producción existentes en el mercado colombiano?

## 1.2. JUSTIFICACIÓN

El fin de este estudio es fundamentar el por qué es necesario e importante que los estudiantes de Ingeniería de Producción de la Universidad EAN, conozcan los actuales Sistemas de control y las tecnologías de comunicación líderes en automatización de procesos tales como 4-20mA, HART, FOUNDATION Fieldbus, Profibus DP-PA, WirelessHART, entre otras, las cuales permiten el control de procesos y el mejoramiento en la eficiencia de las plantas de producción a menores costos; lo cual redundará en el incremento de la disponibilidad de los equipos, al permitir simplificar y mejorar las estrategias de mantenimiento.

La automatización de un proceso frente al control manual del mismo proceso, brinda ciertas ventajas y beneficios de orden económico, social, y tecnológico, resaltando las siguientes:

- Se asegura una mejora en la calidad del trabajo del operador y en el desarrollo del proceso; esta depende de la eficiencia del sistema implementado.
- Se obtiene una reducción de costos, puesto que se racionaliza el trabajo, se reduce el tiempo y dinero dedicados al mantenimiento.
- Existe una reducción en los tiempos de procesamiento de información.
- Flexibilidad para adaptarse a nuevos productos y disminución de la contaminación y daño ambiental.
- Racionalización y uso eficiente de la energía y la materia prima.
- Aumento en la seguridad de las instalaciones y la protección a los trabajadores.

## **1.3. OBJETIVOS**

### **1.3.1. Objetivo general**

Estudiar los principios de funcionamiento de las diferentes tecnologías de comunicación existentes para proyectos de automatización de procesos, tales como señales digitales 4-20mA(miliamperios) basadas en el protocolo HART, Profibus DP-PA y protocolos más avanzados como FOUNDATION Fieldbus, WirelessHART, entre otros; presentando adicionalmente los diferentes sistemas de control con los cuales se enlazarán las señales.

### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- Dar a conocer las tecnologías que las empresas usan actualmente para el control y mejoramiento en sus procesos, teniendo en cuenta las tecnologías de comunicación que fueron base para la creación de las actuales tecnologías líderes en automatización de procesos.
- Investigar casos exitosos donde se hayan implementado sistemas de control en conjunto con los protocolos de comunicación, donde como resultado hayan generado cambios relevantes en cuanto a desempeño de la planta, disponibilidad, mayor producción y mejoramiento de la calidad.
- Presentar una herramienta que sirva como base para que el ingeniero de producción pueda participar en la toma de decisiones del mejoramiento en la productividad de la planta, con relación a los dispositivos de control que intervienen en los procesos.

- Proponer la implementación de un Laboratorio piloto que contenga un sistema de control e instrumentación básica de control, el cual servirá para que los estudiantes de ingeniería de producción apliquen los diferentes conceptos y luego, sean capaces de proponer cambios de mejora que impacten los procesos productivos de las organizaciones.

## 2. MARCO REFERENCIAL

### 2.1. MARCO CONCEPTUAL

Antiguamente, los procesos industriales eran totalmente controlados manualmente por un operador. El operador observaba lo que sucedía con las diferentes variables de proceso tales como presión, temperatura, flujo y nivel para luego, basado en su propio conocimiento del proceso, hacía los ajustes necesarios tales como manipular una válvula o activar algún dispositivo para su control (Figura 1). Este “lazo de control” (proceso → sensor → operador → válvula → proceso) ilustra un concepto básico del control de procesos.

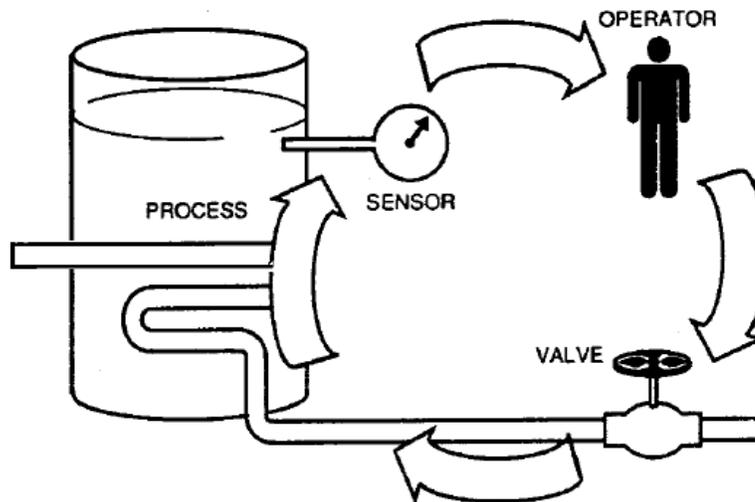


Figura 1. Control manual [1]

Sin embargo, el operador solo podía ajustar las variables de proceso que quedaban a su alcance (Figura 2), limitando la complejidad de las estrategias de control y la eficacia del proceso. Adicionalmente, el operador debía hacer la

recolección de datos manualmente, obteniendo una base de datos inexacta, incompleta y difícil de usar; de esta manera los resultados obtenidos no eran correctos para generar acciones de mejora apropiadas en el proceso o para tomar decisiones de tipo administrativo o gerencial.



Figura 2. Control y supervisión manual [2]

Después, con el desarrollo de los dispositivos de control neumático y los dispositivos de control electrónico análogo, los cuales, ofrecieron mayores beneficios que los primeros con precisión, rapidez y fácil integración, permitieron un notable avance en el control de procesos [2]. Con ésta tecnología, las variables del proceso podían ser convertidas a señales análogas apropiadas que podían ser transmitidas hacia controladores, permitiendo que un solo operador controlará múltiples lazos (grupo de variables) desde un cuarto de control.

Posteriormente, con base en las señales análogas se logra evolucionar a la era digital (Figura 3), donde surgen también los sistemas de control digitales que posibilitan el análisis en dominio del tiempo.

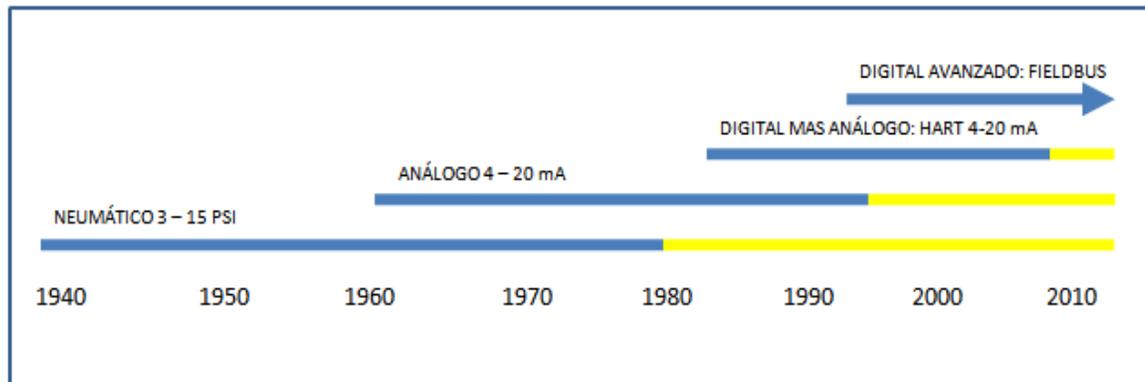


Figura 3. Evolución de los dispositivos de control

A principios del siglo pasado, y debido al avance tecnológico, donde el control de procesos se volvía más exigente, se comenzó el trabajo con modelos matemáticos más estrictos para realizar el control automático, surgiendo el análisis de la respuesta en frecuencia y el lugar geométrico de las raíces. Sin embargo, gracias al aporte de Lotfi A. Zadeh [3], en la Universidad de California en Berkeley en 1965 nace el control difuso, basado en la lógica difusa y toma de decisiones, el cual es capaz de tomar decisiones imitando el comportamiento humano y no basándose en estrictos modelos matemáticos, llevando así a la automática a un nivel más avanzado de “inteligencia”.

En la actualidad, el control automático es de vital importancia en los sistemas de control y procesos industriales. Los beneficios que se obtienen con un buen control son considerables, entre los cuales sobresalen; mayor disponibilidad de la planta, menor variabilidad en los procesos, productos de mejor calidad, menor

consumo de energía, minimización de desechos, mayores niveles de seguridad y mejores utilidades para las compañías.

Con los sistemas de control, aparecen los nuevos conceptos de PLC's (Controladores Lógicos Programables), SCADAS (Supervisión, Control y Adquisición de Datos) e interfaces HMI (Interface Humano Máquina), con los cuales se logra monitorear y/o controlar las variables de los diferentes procesos de la planta, logrando un entorno amigable para el operador [4]. El objetivo de cualquier estrategia de control es mantener una variable controlada dentro de un valor deseado conocido como punto de ajuste o "set-point", la variable controlada debe permanecer estable, de lo contrario se deben tomar acciones de carácter correctivo o preventivo dependiendo el caso.

## **2.2. MARCO TEORICO**

En general, las industrias han desarrollado varios tipos de control para sus procesos, entre los más típicos se encuentran el control de nivel, presión, flujo y temperatura. Para la implementación de estos, es necesario utilizar válvulas de control, instrumentación de campo (transmisores) y controladores.

Se denomina **proceso** a un sistema que ha sido desarrollado para llevar a cabo un objetivo determinado, logrando la transformación de un material mediante una serie de operaciones específicas [5]. Una aplicación típica es el Intercambiador de calor (Figura 4).

El **transmisor** capta la señal del proceso y la transforma a una señal neumática, o eléctrica para enviarla al controlador.

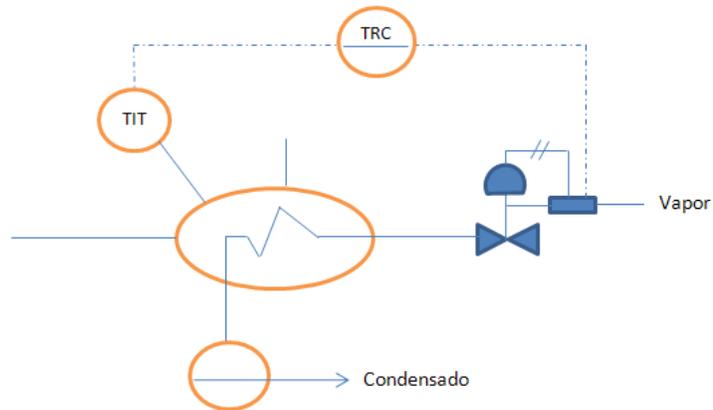


Figura 4. Intercambiador de calor [5]

El **controlador** permite al proceso cumplir su objetivo de transformación del material y realiza dos funciones esenciales:

- Compara la variable medida (temperatura de salida del intercambiador) con la de referencia o deseada (punto de ajuste) para determinar el error.
- Estabiliza el funcionamiento dinámico del lazo de control, acciones de control o algoritmos de control para reducir o eliminar el error.

La **válvula de control** varía el caudal del fluido de control (vapor de agua) que a su vez modifica el valor de la variable medida (temperatura).

En el diagrama de bloques de la (Figura 5), puede verse que hay una cadena cerrada de señales que pasan por el transmisor, controlador, válvula de control, proceso, formando lo que se llama un **lazo cerrado** de control.

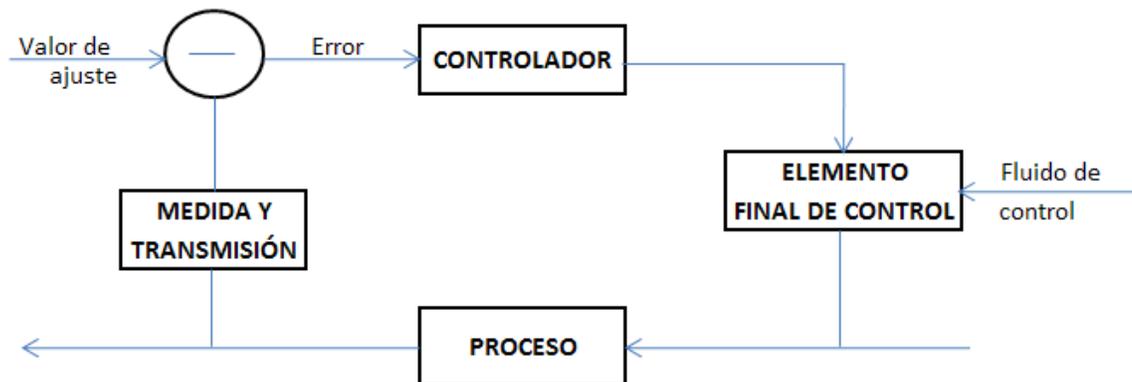


Figura 5. Diagrama de bloques [5]

Un **lazo abierto** de control carece de detector de señal de error. Un ejemplo puede consistir en el calentamiento de agua en un tanque con una resistencia determinada, donde el agua permanecerá a condiciones constantes.

Los procesos presentan dos características principales que deben considerarse al automatizarlos:

1. Los cambios en la variable controlada, debido a alteraciones en las condiciones del proceso. Un ejemplo, en el intercambiador de calor, es necesario una determinada cantidad de vapor que se condense en el intercambiador para mantener el producto (agua) a una temperatura dada.

2. El tiempo necesario para que la variable de proceso alcance un nuevo valor al ocurrir un cambio de carga. Este tiempo de retardo se debe a una o varias propiedades físicas del proceso.

### **2.2.1. Tipos de control**

En los sistemas industriales se emplea básicamente varias combinaciones de los siguientes sistemas de control [6]:

- a. De dos posiciones “On-Off” (todo o nada): En este tipo de regulación, la válvula de control adopta únicamente dos posiciones abierta o cerrada, para un valor único de la variable controlada, su ciclo es continuo y funciona satisfactoriamente cuando el proceso tiene una velocidad de reacción lenta y posee un tiempo de retardo mínimo.
- b. Control flotante de velocidad: Tiende a producir oscilaciones en la variable controlada, pero estas oscilaciones pueden hacerse mínimas eligiendo adecuadamente la velocidad del elemento final para que compense las características del proceso.
- c. Control proporcional de tiempo variable: La relación del tiempo de conexión al de desconexión final es proporcional al valor de la variable controlada.
- d. Control proporcional: Existe una relación lineal continua entre el valor de la variable controlada y la posición del elemento final de control (dentro de la banda proporcional). Es decir, la válvula se mueve al mismo valor por cada unidad de desviación. La banda proporcional es el porcentaje del campo de medida de la variable que la válvula necesita para cerrarse o abrirse.

- e. Control proporcional más integral: Actúa cuando existe una desviación entre la variable y el punto de consigna, integrando dicha desviación en el tiempo y sumándola a la acción de la proporcional.
- f. Control proporcional mas derivado: Existe una relación lineal continua entre la velocidad de variación de la variable controlada y la posición del elemento final de control.
- g. Control proporcional, integral y derivativo: La unión en un controlador de las tres acciones PID forma un instrumento controlador que presenta las siguientes características:
- Acción proporcional, cambia la posición de la válvula proporcionalmente a la desviación de la variable con respecto al punto de consigna. La señal P (proporcional) mueve la válvula siguiendo fielmente los cambios de temperatura multiplicados por la ganancia.
  - Acción integral, mueve la válvula a una velocidad proporcional a la desviación con respecto al punto de ajuste. La señal I (integral) va sumando las áreas de diferencia entre la variable y el punto de consigna repitiendo la señal proporcional según su  $\tau$  (minutos/repetición).
  - Acción derivada, corrige la posición de la válvula proporcionalmente a la velocidad de cambio de la variable controlada. La señal D (derivada) es la pendiente (tangente) de la curva descrita por la variable con lo que anticipa la posición de la válvula en el tiempo debido a la acción proporcional según el valor de  $\tau_d$  (minutos de anticipo). La señal que llega a la válvula de control es en todo momento la suma de cada una de las señales de las acciones proporcional, integral, derivada del controlador.

## 2.2.2. Selección del Sistema de Control

Las tres acciones combinadas PID actúan sobre el elemento final de control en la forma señalada en la (Figura 6).

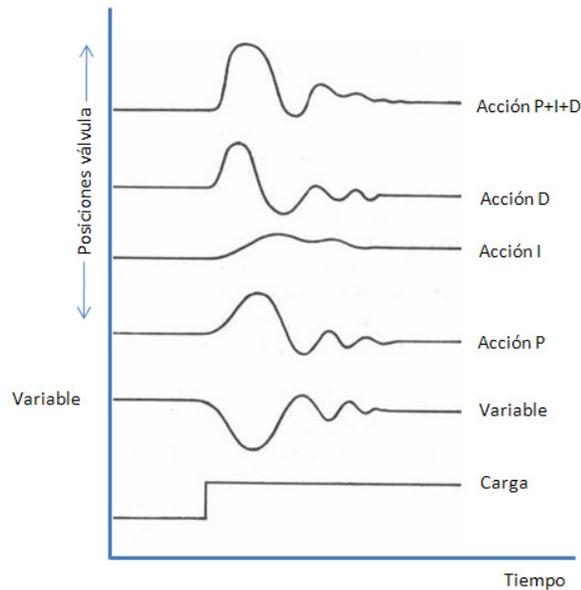


Figura 6. Acciones PID [6]

La selección del sistema de control es usualmente un compromiso entre la calidad del control que se desea y su costo, debe ser suficiente para satisfacer la tolerancia requerida en el proceso, pero no debe incluir excesivos requerimientos que eleven su costo. Los controladores digitales incorporan las tres acciones, de modo que la elección y el uso de las mismas son una decisión técnica y no económica.

### 2.2.2.1. Guía de selección de Sistemas de Control

Es una guía general para seleccionar un Sistema de control, y debe consultarse únicamente como guía de aproximación al control idóneo. (Tabla 1). Los diferentes proveedores de Sistemas de control, especificarán con más detalle la funcionalidad solicitada de acuerdo con el alcance requerido de control en el proceso.

Lazo de control	Capacitancia del proceso	Resistencia del proceso	Cambio de carga del proceso	Aplicaciones
Todo-nada	Grande	Cualquiera	Cualquiera	Control de nivel y temperatura en procesos de gran capacidad
Flotante	Media	Cualquiera	Cualquiera	Procesos con pequeños tiempos de retardo
Proporcional	Pequeña a mediana	Pequeña	Moderada	Presión, temperatura y nivel donde el offset no es inconveniente.
Proporcional +Integral	Cualquiera	Pequeña	Cualquiera	La mayor parte de aplicaciones, incluyendo el caudal.
Proporcional +Derivado	Media	Pequeña	Cualquiera	Cuando es necesaria una gran estabilidad con un offset mínimo y sin necesidad de acción integral.
Proporcional +Integral +Derivada	Cualquiera	Grande	Rápido	Procesos con cambios rápidos y retardos apreciables (control de temperatura en intercambiador de calor.

Tabla 1. Guía de selección de Sistemas de control [6]

### **2.2.3. Control por computador**

En los últimos años, la incorporación de sistemas digitales en las plantas de manufactura, han probado su valor al mejorar las operaciones, gracias al incremento de la producción y de la disponibilidad y a la reducción de los costos de mantenimiento en instalaciones de plantas de proceso de todo el mundo.

En general, industrias como las de petróleo y gas, agua, aguas residuales, no se han visto muy beneficiadas por estos avances, debido en gran medida, a los desafíos logísticos que plantea la implementación de los sistemas de control en grandes y remotas áreas geográficas. Entre los desafíos se pueden mencionar la disponibilidad de la instalación, la infraestructura de comunicaciones y la disponibilidad de conocimientos y experiencia, todo lo cual lleva a costos prohibitivos [7]. La utilización de técnicas de medición electrónicas para recolectar datos de cada sitio remoto es importante para poder reportar con exactitud el proceso remoto en tiempo real. Por otro lado, el software SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) permite tener una alta visibilidad para poder manejar y optimizar estos procesos remotos. Esta visibilidad en tiempo real sería casi imposible de alcanzar utilizando sólo gráficos de papel e instrumentación neumática.

Los avances tecnológicos hacen posible ahora la integración de los sitios remotos, abarcando cientos o miles de kilómetros cuadrados.

Los sistemas de control digital van más allá de las limitadas capacidades de las tradicionales arquitecturas SCADA al integrar datos en tiempo real, históricos y de activos provenientes de la instrumentación de campo y de los equipos asociados.

De esta manera se mejora la visibilidad, calidad, producción y disponibilidad a nivel de sistema, reduciendo los costos de operación, mantenimiento, seguridad y cumplimiento de reglamentaciones ambientales.

Otro beneficio importante es la posibilidad de optimización remota de los procesos, teniendo en cuenta que los procesos pueden ser manejados en tiempo real al poder tener conocimiento del estado de los instrumentos y así poder usar técnicas avanzadas a partir de dicha información.

En el mundo de los procesos, es bastante común que un Sistema de Control Distribuido (DCS) controle todos los procesos de una planta. En los últimos años, la instrumentación “digital” ha pasado a ser el principal reemplazo de las anteriores tecnologías de instrumentos (neumática y analógica). A través del uso de la instrumentación digital, ha surgido una Arquitectura de Planta Digital (Figura 7) que capitaliza los beneficios brindados por los mejores diagnósticos y la inteligencia predictiva, aportando valor al usuario final. Los componentes claves de dicha arquitectura son el Sistema de control, la instrumentación digital y un Sistema de Gestión de Activos.

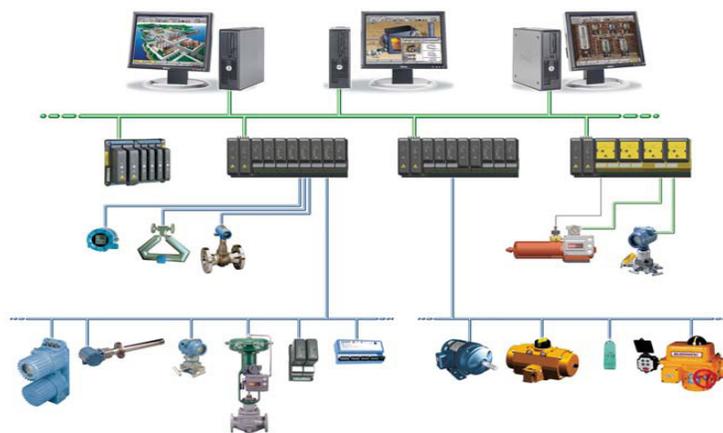


Figura 7. Arquitectura de Planta Digital [8]

### 3. REDES DE INSTRUMENTACIÓN DIGITALES

La instrumentación “digital” se refiere a la instrumentación en la cual un microprocesador maneja la conversión de una señal de campo tal como la variable de presión, temperatura, flujo o nivel entre otras, a un formato de transmisión estándar conocido en la industria como **buses de campo**, entre ellos se encuentran los protocolos de comunicación más importantes para la industria, los cuales son 4-20mA-HART, FOUNDATION fieldbus, Profibus DP-PA, Device Net, Modbus, Wireless HART, entre otros; aplicables según el tipo de proceso.

El uso del microprocesador aporta el beneficio adicional de poder guardar información valiosa de configuración en la unidad. Las comunicaciones digitales hacen incrementar aún más los beneficios, ya que también es posible guardar en el instrumento “digital” información acerca del tipo de activo, el número de tag, el número de serie o los materiales de construcción.

#### 3.1. MODELO OSI

En la actualidad, todas las redes industriales están basadas de algún modo en el modelo OSI (Open Systems Interconnection) [9]. El modelo OSI fue desarrollado en 1984 por la organización internacional de estándares, llamada ISO, la cual es, una federación global de organizaciones representando a aproximadamente 130 países.

El núcleo de este estándar es el modelo de referencia OSI, una normativa formada de siete capas que define las diferentes fases por las que deben pasar los datos para viajar de un dispositivo a otro sobre una red de comunicaciones.

La utilidad de esta normativa estandarizada, nace al existir muchas tecnologías, fabricantes y compañías dentro del mundo de las comunicaciones, y al estar en continua expansión, por tanto, se crea un método para que todos se puedan entender de algún modo. Es así, como no importa la localización geográfica o el lenguaje utilizado.

### **3.1.2. Capas del modelo OSI**

El modelo OSI se divide en siete capas, las cuales se distribuyen en dos grupos, grupo de aplicación y grupo de transporte, así:

- **Grupo de aplicación:**

Capa 7: Aplicación - Esta es la capa que interactúa con el sistema operativo o aplicación cuando el usuario decide transferir archivos, leer mensajes, o realizar otras actividades de red. Por ello, en esta capa se incluyen tecnologías tales como http, DNS, SMTP, SSH, Telnet, etc.

Capa 6: Presentación - Esta capa tiene la misión de tomar los datos que han sido entregados por la capa de aplicación, y convertirlos en un formato estándar que otras capas puedan entender. Ejemplo los formatos MP3, MPG, GIF, etc.

Capa 5: Sesión – Esta capa establece, mantiene y termina las comunicaciones que se forman entre dispositivos. Ejemplo, las sesiones SQL, RPC, NetBIOS, etc.

- **Grupo de transporte:**

Capa 4: Transporte – Esta capa mantiene el control de flujo de datos, y provee de verificación de errores y recuperación de datos entre dispositivos. Control de flujo significa que la capa de transporte vigila si los datos vienen de más de una

aplicación e integra cada uno de los datos de aplicación en un solo flujo dentro de la red física. Ejemplo TCP y UDP.

Capa 3: Red – Esta capa determina la forma en que serán mandados los datos al dispositivo receptor. Aquí se manejan los protocolos de enrutamiento y el manejo de direcciones IP. En esta capa se habla de IP, IPX, X.25, etc.

Capa 2: Datos – También llamada capa de enlaces de datos. En esta capa, el protocolo físico adecuado es asignado a los datos. Se asigna el tipo de red y la secuencia de paquetes utilizada. Los ejemplos más claros son Ethernet, ATM, Frame Relay, etc.

Capa 1: Física – Este es el nivel de hardware. Define las características físicas de la red, como las conexiones, niveles de voltaje, cableado, etc.

### **3.1.3. Modelo paralelo OSI**

Las capas del modelo OSI se pueden entremezclar [10], logrando una combinación TCP/IP, en este último modelo solo se utilizan niveles para la funcionalidad de la red. Las capas son las siguientes:

Capa 1: Red - Esta capa combina la capa física y la capa de enlace de datos del modelo OSI. Se encarga de enrutar los datos entre dispositivos en la misma red. También maneja el intercambio de datos entre la red y otros dispositivos.

Capa 2: Internet – Esta capa corresponde a la capa de red. El protocolo de Internet utiliza direcciones IP, las cuales consisten en un identificador de red y un identificador de host, para determinar la dirección del dispositivo con el que se está comunicando.

Capa 3: Transporte – Corresponde directamente a la capa de transporte del modelo OSI, y donde se puede encontrar el protocolo TCP. El protocolo TCP funciona preguntando a otro dispositivo en la red si está deseando aceptar información de un dispositivo local.

Capa 4: Aplicación – La capa 4 combina las capas de sesión, presentación y aplicación del modelo OSI. Protocolos con funciones específicas como correo o transferencia de archivos, residen en este nivel.

### **3.2. BUSES DE CAMPO O PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN ESTANDARIZADOS**

En la actualidad, los buses de campo son abiertos e interoperables con los diferentes sistemas de control y están disponibles para beneficio de la industria, con el fin de cubrir la fuerte demanda del mercado y lograr crecimiento y mejoramiento continuo en los diferentes procesos a nivel mundial.

Gracias a la Fundación HART y a la Fundación Fieldbus, entidades sin fines lucrativos, continúan desarrollando nuevos avances en la tecnología, logrando un mejor posicionamiento en el mercado; los mayores proveedores de instrumentación apoyan estos protocolos, contando con una variada gama de instrumentación para aplicaciones de medición y control.



### 3.2.1. Protocolo de comunicación HART

Es un protocolo de comunicación muy aceptado en la industria por las ventajas que ofrece [11-12], puede usarse en los existentes sistemas de control de 4-20 mA con gastos mínimos para su implementación. Debido a que HART combina la señalización analógica y digital (Figura 8), el protocolo ofrece un control notablemente rápido de la variable primaria y permite la transmisión simultánea de información que no sea de control, es decir, diagnósticos propios del equipo, utiliza dos frecuencias (1.200 Hz y 2.200 Hz). Adecuado para uso en áreas con riesgo de explosión.

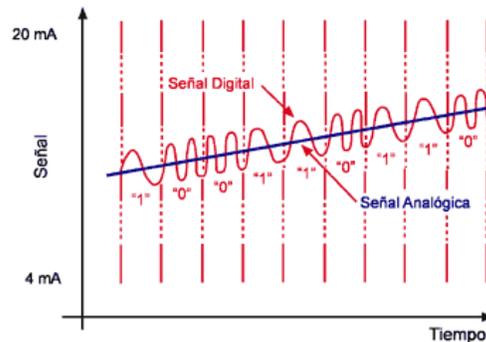


Figura 8. Señal del protocolo de comunicación HART [12]



### 3.2.2. Protocolo de comunicación PROFIBUS DP-PA

PROFIBUS permite establecer la comunicación entre el sistema de automatización (controlador) y los dispositivos instalados en campo a través de un único cable con comunicación serie [13]. Esta comunicación se caracteriza por la transferencia cíclica de datos de proceso y la transmisión acíclica de alarmas, parámetros y datos de diagnóstico (Figura 9).

La reducción de gastos en cuanto al cableado y al hardware de E/S representa un enorme potencial de ahorro. La transmisión digital de datos ofrece un contenido informativo considerablemente mayor que redonda en ventajas significativas el costo tanto en el servicio como en el mantenimiento de las plantas.

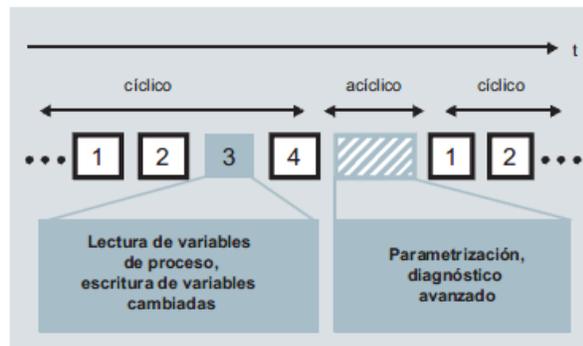


Figura 9. Comunicación por bus determinista de PROFIBUS[13]

Existen tres perfiles:

\***Profibus DP (Decentralized Periphery)**. Orientado a sensores/actuadores enlazados a procesadores (PLC's) o terminales.

\***Profibus PA (Process Automation)**. Para control de proceso, cumple normas especiales de seguridad para la industria química (áreas con riesgo de explosión).

\***Profibus FMS (Fieldbus Message Specification)**. Para comunicación entre células de proceso o equipos de automatización.



### **3.2.3. Protocolo de comunicación FOUNDATION FIELDBUS**

Un bus orientado sobre todo a la interconexión de dispositivos en industrias de proceso continuo [14]. Puede comunicar grandes volúmenes de información, ideal para aplicaciones con varios lazos complejos de control de procesos y automatización Su desarrollo ha sido apoyado por importantes fabricantes de instrumentación.

En su nivel H1 de la capa física sigue la norma IEC 11158-2 para comunicación a 31,25 Kbps, es por tanto, compatible con Profibus PA, su principal contendiente. Presta especial atención a las versiones que cumplen normas de seguridad intrínseca para industrias de proceso en ambientes combustibles o explosivos. Se soporta sobre par trenzado y es posible la reutilización de los antiguos cableados de instrumentación analógica 4-20 mA. Utiliza diversos mensajes para gestionar comunicación por paso de testigo, comunicación cliente-servidor, modelo productor-consumidor etc.



### **3.2.4. Protocolo de comunicación MODBUS**

En su definición inicial Modbus era una especificación de tramas, mensajes y funciones utilizada para la comunicación con los PLC's. Hoy, Modbus es un protocolo de transmisión para sistemas de control y supervisión de procesos (SCADA) con control centralizado [15], puede comunicarse con una o varias Estaciones Remotas (RTU) con la finalidad de obtener datos de campo para la supervisión y control de un proceso. La interface de capa física puede estar configurada en: RS-232, RS-422, RS-485.

Modbus permite el control de una red de dispositivos y enviar los resultados a un computador. Existen versiones del protocolo Modbus para Puerto serie y Ethernet (Modbus/TCP).

### **3.2.5. Protocolo de comunicación DEVICENET**



Es una red de bajo nivel, adecuada para conectar dispositivos simples como sensores fotoeléctricos, sensores magnéticos, pulsadores, etc y dispositivos de alto nivel (PLC, controladores, computadores, HMI, entre otros)[16]. Provee información adicional sobre el estado de la red, cuyos datos serán desplegados en la interfaz del usuario.

Cumple con el estándar europeo oficial EN 50323-2, que asegura la interconectividad con una gran variedad de equipos de otros fabricantes.

Una red Device Net consiste en una rama o bus principal de hasta 500 metros, con múltiples derivaciones de hasta 6 metros, cada una donde se conectan los diferentes dispositivos de la red. En cada red se pueden conectar hasta 64 nodos y cada uno puede soportar un número infinito de E/S aunque lo normal son 8, 16 ó 32.

### **3.2.6. Protocolo de comunicación sobre ETHERNET**

La norma IEEE 802.3 basada en la red Ethernet de Xerox se ha convertido en el método más extendido para interconexión de computadores personales en redes de proceso de datos [17-18]. En la actualidad se vive una auténtica revolución en cuanto a su desplazamiento hacia las redes industriales. La primera necesidad que se concibió fue justamente la originada por la razón de llevar información

voluminosa y compleja, del proceso al sistema de monitoreo y adquisición de datos. Diversos buses de campo establecidos como Profibus, Modbus etc. han adoptado Ethernet como la red apropiada para los niveles superiores.

### 3.2.7. Protocolo de comunicación WIRELESS HART **WirelessHART**

El primer estándar de comunicación inalámbrica simple, fiable y seguro para la monitorización y control de procesos [19].

Las plantas industriales que tienen una infraestructura densa, movimiento frecuente de equipo grande, condiciones variables o numerosas fuentes de interferencia electromagnética o de radiofrecuencia pueden enfrentar estos retos de comunicación. *WirelessHART* incluye varias funciones que permiten establecer una comunicación fiable en todos los entornos industriales (Figura 10), los radios cumplen con la norma IEEE 802.15.4-2006 y el ancho de banda es de 2,4 GHz de frecuencia, libre de licencia, cambia de un canal de otro dinámicamente para evitar interferencias.

Las soluciones inalámbricas inteligentes se basan en estándares abiertos, su topología está basada en una red-auto-organizada (Figura 10) logrando gran robustez en la red, reorientando automáticamente las señales que encuentran obstáculos; los dispositivos de la red alcanzan una distancia entre 300 y 800 metros según configuración.

La red es 99% segura por que usa un encriptamiento de 128-bit. Adicional, es una solución muy efectiva en costos (Figura 11) porque se reducen

considerablemente horas de ingeniería, materiales, tales como, cableado, canaletas, racks, excavaciones, etc., mano de obra, y otras operaciones.

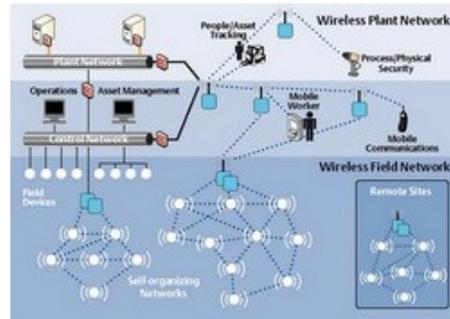


Figura 10. Red inalámbrica auto-organizable [20]

Esta solución para aplicaciones de gestión de plantas de procesos puede fácilmente añadirse a plantas existentes, mejorando la productividad, seguridad y eficiencia operacional.



Figura 11. Ahorro en instalación [20]

### 3.3. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS BUSES MÁS USADOS A NIVEL INDUSTRIAL

A continuación se presenta un consolidado con las ventajas y desventajas más relevantes de cada uno de los buses de campo más utilizados a nivel industrial:

BUS DE CAMPO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<p align="center"><b>4-20mA-HART</b></p>	<p>-El Protocolo HART permite la comunicación digital bi-direccional con instrumentos inteligentes sin perturbar la señal analógica de 4-20mA. Ambas señales, la analógica 4-20mA y las señales de comunicación digital HART pueden ser transmitidas simultáneamente sobre el mismo cable[11-12].</p> <p>-Los transmisores o dispositivos de campo multivariables pueden diagnosticar hasta 154 variables propios del equipo.</p> <p>-Se disminuye el cableado.</p> <p>-Las señales no requieren conversores analógico/digital disminuyendo el equipamiento de salas de control.</p> <p>-Amplia posibilidad de uso de información para mantenimiento y sistemas de gestión de producción</p> <p>-Bus de campo en constante desarrollo e innovación.</p>	<p>-Entrenamiento para puesta en marcha, solución de problemas y calibración podría ser requerido.</p> <p>-Requiere apropiado aterrizamiento y aislamiento de potencia para evitar errores de comunicación en la red.</p> <p>-Inversión de instrumentación.</p>

<b>BUS DE CAMPO</b>	<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
<b>PROFIBUS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Soporte de red a nivel de dispositivo, control de procesos y Ethernet[13].</li> <li>-Las Interfaces están disponibles para variadores de frecuencia y aplicaciones de centros de control de motores(Profibus DP)</li> <li>-Instrumentación de procesos disponible con dispositivos Profibus PA.</li> <li>-Instalaciones intrínsecamente seguras disponibles para instrumentos Profibus PA.</li> <li>-Los Gateways permiten integración directa para Profibus PA hacia redes Profibus DP.</li> <li>-Interfaces Host disponibles para la mayoría de sistemas PLC, DCS y PC's</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Entrenamiento para puesta en marcha, solución de problemas y calibración podría ser requerido.</li> <li>-Profibus DP no soporta instalaciones intrínsecamente seguras</li> <li>-Inversión de instrumentación.</li> </ul>
<b>INDUSTRIAL ETHERNET</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-La interoperabilidad en las capas 1 y 2 dan a la electrónica de red Ethernet un impulso industrial notable[17-18].</li> <li>-Ofrece soluciones basadas en diferentes protocolos a los fabricantes, lo cual implica un acceso a mayores mercados.</li> <li>- Hace más fácil el mantenimiento a los instaladores y diseñadores.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-La rotura del cable afecta a todos los usuarios.</li> <li>-Limites en la longitud del cable.</li> <li>-Difícil localizar fallas.</li> <li>-Al añadir usuarios baja considerablemente el rendimiento de la red.</li> <li>-Un fallo en el cable afecta a muchos usuarios, conexonado y cableado muy costoso.</li> </ul>

<b>BUS DE CAMPO</b>	<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
<b>DEVICENET</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Excelente para soportar variadores de frecuencia y convencional I/O[16].</li> <li>-Costo moderado por dispositivos.</li> <li>-Bajo costo de instalación</li> <li>-Módulos I/O permitidos para integración convencional discreta y análoga</li> <li>-Velocidades de transmisión relativamente rápidas</li> <li>-Alimentación y señal sobre el mismo cable.</li> <li>-Hasta 64 nodos direccionables</li> <li>-Amplia variedad de topología disponibles incluyendo troncal, lineal, derivaciones</li> <li>-Doble detección de direccionamiento de nodos</li> <li>-Soporta algunos diagnósticos de dispositivos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Esclavos solo pueden ser controlados por un máster.</li> <li>-No soporta instalaciones intrínsecamente seguras.</li> <li>-Entrenamiento para puesta en marcha, solución de problemas y calibración podría ser requerido.</li> <li>-Inversión de instrumentación.</li> <li>-En los últimos años, ha perdido posicionamiento en el mercado, la tecnología ha sido reemplazada por buses de campo como HART, Profibus o Foundation fieldbus.</li> </ul>
<b>MODBUS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-El medio físico de conexión puede ser un bus semidúplex (RS-485 o fibra óptica) o dúplex (full dúplex) (RS-422, BC 0-20mA o fibra óptica). Tipo comercial[15].</li> <li>-La comunicación es asíncrona y es un bus con múltiples aplicaciones.</li> <li>-La máxima distancia entre estaciones pueden alcanzar hasta 1200 m sin repetidores.</li> <li>-Protocolo ampliamente soportado por muchos PLC,DCS y sistemas de procesos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Limitado uso como bus de dispositivos</li> <li>-Limitadas capacidades de diagnóstico para las aplicaciones de dispositivos</li> <li>-Alimentación separada requerida para la operación de los dispositivos</li> </ul>

<b>BUS DE CAMPO</b>	<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
<b>FOUNDATION FIELDBUS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Excelente soporte para señales análogas I/O</li> <li>-Incorpora dispositivos discretos hacia los mismos segmentos [14].</li> <li>-Proporciona capacidades de control en el campo</li> <li>-Proporciona opciones de redundancia para la alimentación y comunicación de los dispositivos.</li> <li>-Disponible para instalaciones intrínsecamente seguras</li> <li>-Ampliamente soportado por fabricantes de control de procesos</li> <li>-Completa comunicación digital para los transmisores.</li> <li>-Elimina imprecisiones de conversiones A/D y D/A de representativas señales análogas como 4-20mA</li> <li>-Elimina la calibración de señales representativas necesarias para mejorar la precisión.</li> <li>-Dispositivos contienen informaciones de diagnósticos y capacidades de alarma</li> <li>-Certificación de interoperabilidad asegura que varios dispositivos de campo trabajen con una variedad de sistemas host sin importar el fabricante.</li> <li>-Es uno de los buses más rápidos a nivel industrial</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Limitado requerimiento de potencia en aplicaciones intrínsecamente seguras extendido para instalaciones de tipo FISCO.</li> <li>-Entrenamiento para puesta en marcha, resolución de problemas y calibración podría ser requerido.</li> <li>-Requiere apropiado aterrizamiento y aislamiento de potencia para evitar errores de comunicación en la red.</li> </ul>

<b>BUS DE CAMPO</b>	<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
<b>WIRELESS HART</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Evita totalmente el cableado simplificando las instalaciones y su mantenimiento [19].</li> <li>-Posibilidad de uso en lugares remotos o peligrosos</li> <li>-Posibilidad de instalar y usar inmediatamente aumentando la disponibilidad de la planta.</li> <li>-Topología de la red auto-organizada logrando mayor robustez.</li> <li>-Reduce costos en nuevos proyectos donde la Ingeniería, materiales, mano de obra y otros encarecen la utilidad.</li> <li>-Red 99% segura y fiable, con 128 bits de encriptamiento.</li> <li>-Se puede implementar en redes 4-20mA HART ya cableadas.</li> <li>-Aprovechamiento de más de 154 diagnósticos por dispositivo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Cada dispositivo Wireless HART, requiere baterías para su energización. La vida útil de una batería es de 8 años aproximadamente.</li> <li>-Posibilidad de interferencias radioeléctricas</li> <li>-Pérdida absoluta del sentido físico de la transmisión por obstáculos no estimados.</li> </ul>

Tabla 2. Ventajas y desventajas de los buses de campo

### 3.4. CARACTERISTICAS TECNICAS DE LOS BUSES DE CAMPO

Es importante resaltar las características más importantes de los buses de campo, para tenerlas en cuenta en el momento de seleccionar el bus de campo adecuado, dependiendo del tipo de aplicación, número de dispositivos, interoperabilidad, seguridad, crecimiento a futuro de dispositivos en la planta, entre otros. (Tabla 3).

La mejor forma de determinar si la selección tomada es la mejor respecto a un bus de campo [21], es conocerlos con el apoyo de cada proveedor y siempre realizar las comparaciones uno a uno considerando que es lo que el proceso realmente necesita, teniendo en cuenta el presupuesto estimado para cada proyecto.

Nombre	Topología	Soporte	Máx. dispositivos	Rata transm. bps	Distancia máx. Km	Comunicación
Profibus DP	línea, estrella y anillo	par trenzado fibra óptica	127/segm	Hasta 1.5M y 12M	0.1 segm 24 fibra	Master/Slave peer to peer
Profibus PA	línea, estrella y anillo	par trenzado fibra óptica	14400 /segm	31.5K	0.1 segm 24 fibra	Master/Slave peer to peer
Profibus FMS		par trenzado fibra óptica	127/segm	500K		Master/Slave peer to peer
Foundation Fieldbus HSE	estrella	par trenzado fibra óptica	240 p/segm 32.768 sist	100M	0.1 par 2 fibra	Single/multi master
Foundation Fieldbus H1	estrella o bus	par trenzado fibra óptica	240 p/segm 32.768 sist	31.25K	1.9 cable	Single/multi master
DeviceNet	troncal/puntual c/bifurcación	par trenzado fibra óptica	2048 nodos	500K	0.5 6 c/repetid	Master/Slave, multi-master, peer to peer
Modbus	línea, estrella, arbol, red con segmentos	par trenzado coaxial radio	250 p/segm	1.2 a 115.2K	0.35	Master/Slave
Ethernet Industrial	bus, estrella, malla-cadena	coaxial par trenzado fibra óptica	400 p/segm	10, 100M	0.1 100 mono c/switch	Master/Slave peer to peer
HART		par trenzado	15 p/segm	1.2K		Master/Slave

Tabla 3. Características técnicas de los buses de campo [21]

#### 4. SISTEMAS DE CONTROL DISTRIBUIDO

El concepto de “control distribuido” nace a mediados de 1975, reduciendo varios riesgos en fallas y logrando mayor robustez, permitiendo el cambio fácil del tipo de control, obteniendo mejor rentabilidad para la planta [22]. En este tipo de control, uno o varios controladores se encuentran repartidos en varios puntos de la planta donde están conectados a varias señales de proceso correspondientes, en general, a una parte homogénea de la planta. Estos controladores se distribuyen de forma adecuada y están conectados entre sí a través de una vía de comunicaciones, la cual comunica a su vez con el centro supervisor del control central (Figura 12), desde donde se tiene acceso de modo automático o manual a todas las variables de proceso de la planta.



Figura 12. Cuarto de control central [23]

La ventaja fundamental es la seguridad y economía de funcionamiento, al ser los lazos de control de cada controlador de menor longitud (por estar situado en el centro óptimo de las variables de proceso captadas) y menos vulnerables al ruido o a los daños; por otro lado, ante la posible pérdida de comunicación (que suele

ser redundante), los controladores continúan operando localmente. Además, el operador tiene acceso a todos los datos de los controladores (puntos de ajuste, variables de proceso, señales de salida a válvulas, etc.).

En el diseño de las pantallas de control deben participar tanto el proveedor como el usuario. Evidentemente, la participación de los operadores de la planta es de gran ayuda para obtener un resultado satisfactorio.

La presentación gráfica en las pantallas de control (Figura 13) puede configurarse según el requerimiento del usuario, quien podrá escoger las gráficas que representen las tuberías, tanques, bombas, y demás equipos de la planta. A parte de las entradas por teclado, el operador, aunque no tenga experiencia, puede pedir al sistema menús de ayuda, diagramas de flujo, presentación de alarmas, entre otros., sin tener que preocuparse por la sintaxis de las órdenes.

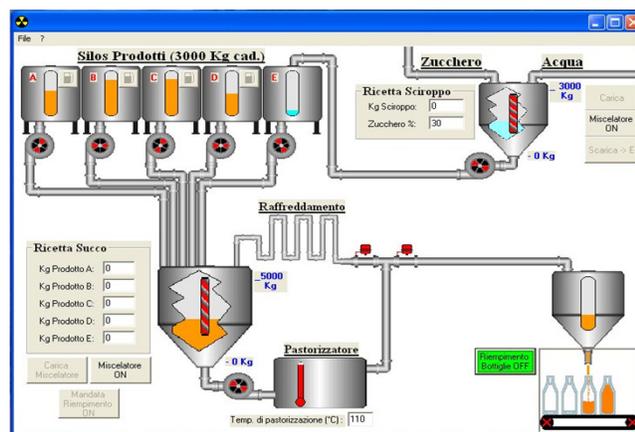


Figura 13. Presentación gráfica del proceso [24]

Dichos sistemas de control, han sido una excelente herramienta para la solución de problemas complejos en la dirección de una planta, desde los más sencillos

como tendencias de variables y su interrelación, hasta los más complejos como las auditorias y la optimización de costos de las diversas secciones de la planta.

La arquitectura distribuida de las funciones, permiten analizar y comunicar entre sí los valores de variables tales como el estado de inventario y análisis de productos (tales como materias primas y productos terminados), la automatización de la producción, el mantenimiento y la información necesaria para la Dirección; con el fin de poder tomar decisiones correctas, con relación a la optimización de la producción, mejora de la calidad en los productos, y disposición de la planta.

Los sistemas de control distribuido han evolucionado en los siguientes aspectos:

- Controladores multifunción para uso en procesos discontinuos en la modificación fácil y repetitiva de operaciones, incluyendo control lógico y secuencial, paros de emergencia, compensadores y diversos algoritmos de control.
- Sistemas de optimización de plantas coordinando múltiples controladores programables cada vez más rápidos.
- Aplicaciones recientes en el área de modernización de plantas.
- Perfeccionamiento en las vías de comunicación utilizando cables coaxiales y fibras ópticas, así como la integración de nuevos protocolos de comunicación.

Se emplean también controladores lógicos programables (PLC) que realizan fundamentalmente funciones de secuencia y enclavamiento de circuitos sustituyendo así a los clásicos circuitos de enclavamiento a relés en los paneles de control y así mismo, como complemento, pueden realizar funciones de control PID.

## **5. ACTUALES SISTEMAS DE CONTROL**

Gracias a los últimos avances y desarrollos, a continuación se presentan los Sistema de control distribuido más representativos a nivel mundial:

### **5.1. DCS SIMATIC PCS 7 del Fabricante Siemens**

Gracias a su arquitectura modular[25], construida sobre la base de unos componentes de software y hardware seleccionados del programa estándar de SIMATIC, al configurar las instalaciones con SIMATIC PCS 7, éste se puede adaptar con gran flexibilidad a los distintos requerimientos de los clientes y a las diferentes dimensiones de las instalaciones y, más adelante, puede además ampliar sin problemas la capacidad o cambiar la configuración para realizar modificaciones tecnológicas. SIMATIC PCS 7 es escalable, desde un pequeño sistema monopuesto con aprox. 160 puntos de medición, por ejemplo, la automatización de un laboratorio o una escuela de ingeniería, hasta un sistema multipuesto distribuido con una arquitectura cliente/servidor con aprox. 60.000 puntos de medición, para automatizar una gran planta de producción o varias instalaciones de producción de un complejo industrial. SIMATIC PCS 7 es idóneo para instalaciones de todos los tamaños.

SIMATIC PCS 7 usa consecuentemente nuevas y potentes tecnologías y estándares establecidos internacionalmente, entre otros muchos IEC, XML, PROFIBUS, tecnología Ethernet con gigabits, TCP/IP, OPC, @aGlance, ISA -88, ISA -95, etc.

Con su concepción orientada al futuro, la arquitectura modular y abierta basada en la tecnología más moderna de SIMATIC (Figura 14), el uso consecuente de estándares industriales y el alto rendimiento de las funciones de ingeniería de control integradas, el sistema de control de procesos SIMATIC PCS 7 hace posible el funcionamiento económico y rentable de las instalaciones de control de procesos en todas las fases del ciclo útil y teniendo en cuenta todos los aspectos: desde la planificación, la ingeniería, la puesta en servicio y la formación y el entrenamiento, pasando por la operación, el mantenimiento y la reparación, hasta la ampliación y la renovación.

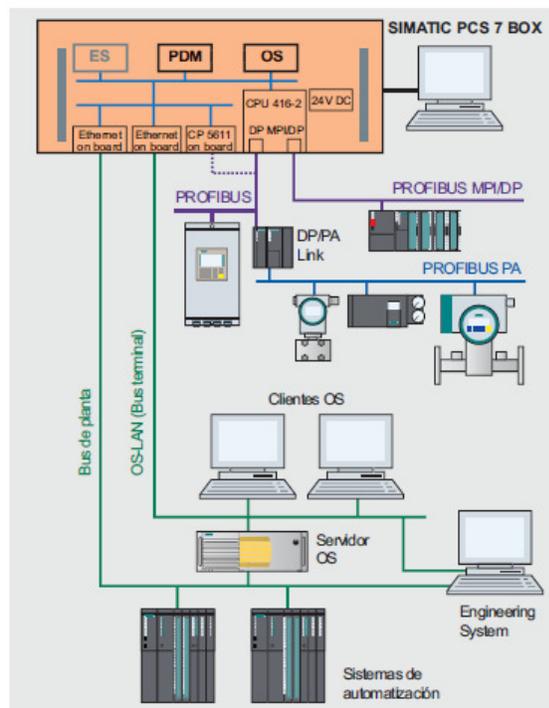


Figura 14. Arquitectura SIMATIC PCS7 de Siemens[25]

## 5.2. DCS SERIE I/A del Fabricante Foxboro/Invensys

El Sistema Foxboro/Invensys de la Serie I/A [26], combina las más avanzadas tecnologías de control, adquisición y disponibilidad de información, disponibilidad en el tiempo, debido a su filosofía de diseño basada en estándares internacionales que permiten el crecimiento del sistema, obviando el que este se vuelva obsoleto; esto lo ha ayudado a situarse en el mercado como el sistema con el mayor número de usuarios.

La arquitectura de la Red de Control de la Serie I/A integra estaciones de trabajo (workstations) con procesadores de control (CP's) a una red de alta velocidad integrada por switches, con protocolo Ethernet de 100 Mb/1 Gb. Éstas estaciones y procesadores de control, en conjunto con las tarjetas que manejan los I/O's y dispositivos para manejo de información; conforman los sistemas escalables para monitoreo, control del proceso y la integración de la información industrial.

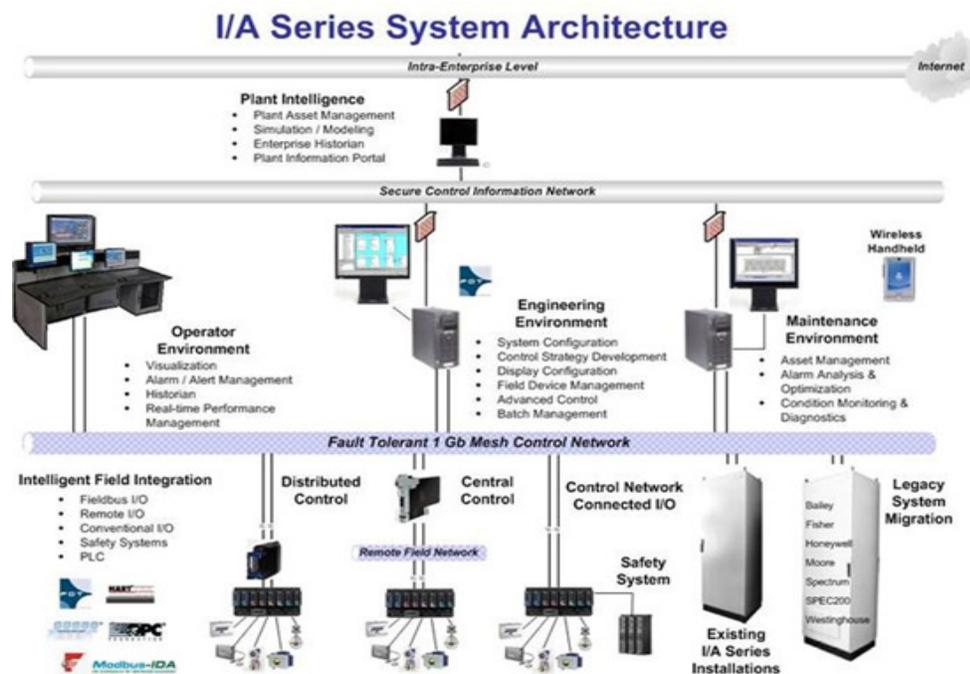


Figura 15. Arquitectura - Sistema Foxboro/Invensys de la Serie I/A [26]

### 5.3. DCS DELTA V del Fabricante Emerson Process Management

Es un Sistema de Automatización de Procesos diseñado con las últimas tecnologías de software, control y comunicaciones [27] que le permite integrar todas las capacidades de una planta inteligente a través de protocolos abiertos como Foundation Fieldbus y Hart; Dispositivos de control discreto y análogo mediante buses AS-i, Profibus, Device Net y Modbus, soporta el estándar IEC 1804-3, o EDDL (Electronic Device Description Language), que permite que todos los parámetros de un dispositivo electrónico estén accesibles al sistema, puede configurarse para unas pocas entradas/salidas hasta más de 30.000, puede tener conectividad con otros sistemas utilizando OPC y XML y posee técnicas avanzadas de control, como son: control difuso (fuzzy), control con redes neuronales, control predictivo, sintonización de lazos PID, detección de mal funcionamiento de lazos, control estadístico multivariable, optimizador de tiempo real, monitoreo de funcionamiento de equipos, simulación, y otros.

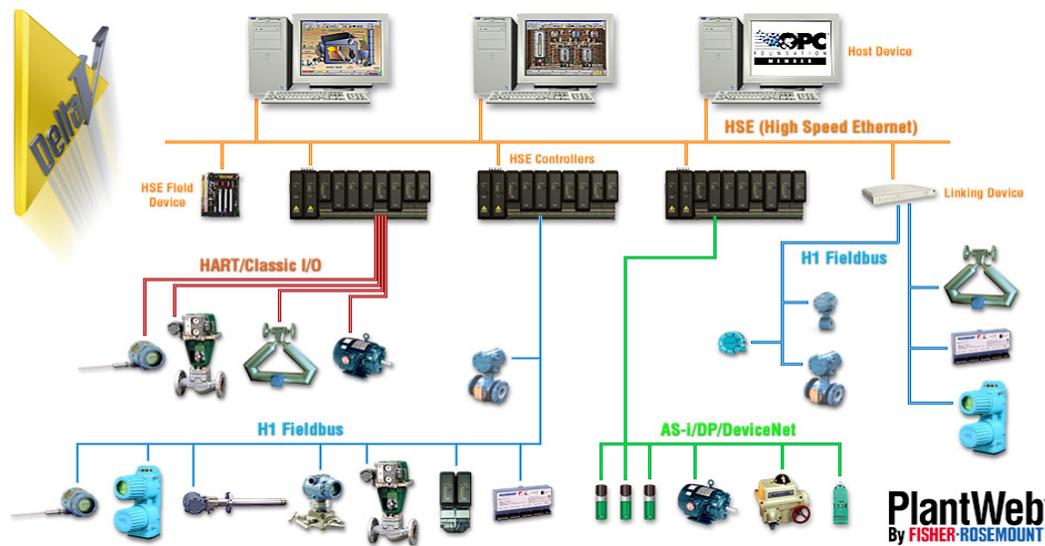


Figura 16. Arquitectura – Delta V de Emerson Process Management [27]

#### 5.4. DCS FREELANCE 800F del Fabricante ABB

El sistema de control Freelance 800F[28], ofrece una automatización rentable y fácil de usar. Es idealmente apropiado para aplicaciones que requieren de un hardware y software con precio atractivo y fácil manejo en industrias de energía, procesos o del medio ambiente.

La arquitectura del Sistema de control se divide en un nivel de operador y en un nivel de proceso. El nivel de operador contiene las funciones para operación y monitoreo, archivos y registros, tendencias y alarmas, las funciones de control de lazo abierto y lazo cerrado se procesan en los controladores. Y el nivel de proceso, consiste en varias estaciones de proceso que se conectan a unidades de E/S. Se tiene la opción de usar las estaciones de proceso ya sea en forma redundante (redundancia de CPU, redundancia de módulos de bus de campo) o sin redundancia. Además, de tener la capacidad de trabajar con buses de campo abiertos, tales como, Hart, Profibus, Foundation fieldbus, entre otros.

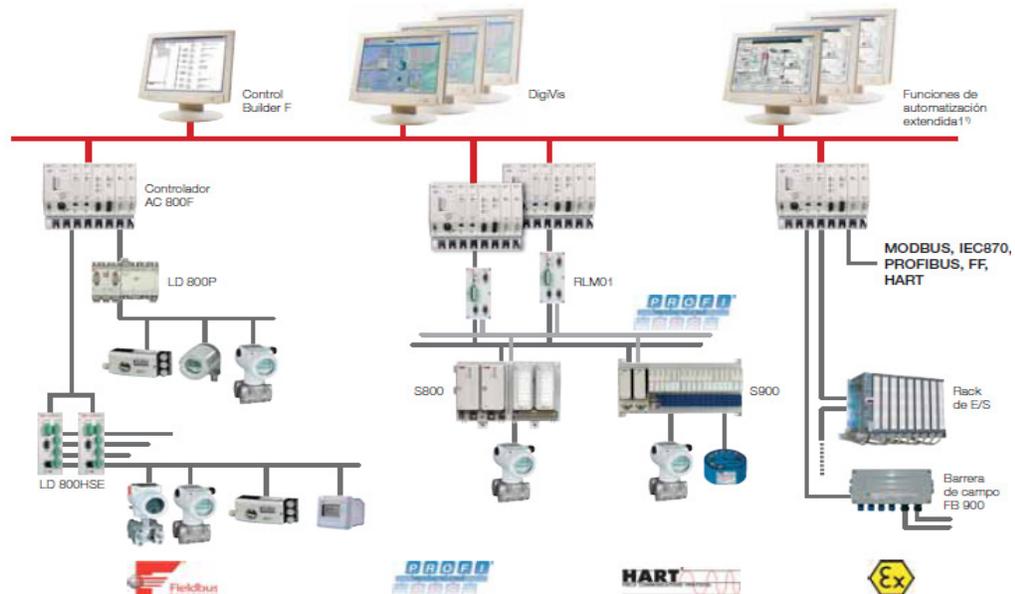


Figura 17. Arquitectura – Freelance 800F de ABB [28]

## 6. APLICACIONES EXITOSAS EN LA INDUSTRIA

### 6.1. CONTROL EN ESTACIONES DE CRUDO – ECOPETROL

Ecopetrol - Superintendencia Apiay (Villavicencio-Colombia), invierte más de USD 4.000.000, para el Control de proceso de las estaciones de bombeo y procesamiento de crudo; y para el monitoreo de las subestaciones eléctricas de las plantas térmicas de Ocoa y Suria [29].



Figura 18. Planta de Ecopetrol - Superintendencia Apiay [30]

Para dicho proyecto fue necesario el suministro de un Sistema de control Delta V con 1.600 señales, tableros y equipos, configuración, pruebas FAT, comisionamiento y puesta en servicio. Adicionalmente, se realizó una integración con el sistema de control de Rockwell existente y más de 20 equipos diferentes por comunicaciones Profibus, HART, etc., comunicación vía fibra óptica en cable de guarda red eléctrica de alta tensión, todos distribuidos en 9 diferentes locaciones en un recorrido de cerca de 100 kilómetros.

El proyecto fue un éxito total, y actualmente Ecopetrol sigue invirtiendo en similares soluciones tecnológicas para sus plantas de producción a nivel nacional.

## 6.2. NUEVA PLANTA PRODUCTORA – ARAUCO CHILE

Arauco es uno de los principales productores del mundo de pulpa kraft blanqueada y sin blanquear (Figura 18), que se destacan por su blancura, limpieza y estabilidad [31]. La pulpa blanqueada de Arauco se elabora a partir de pino radiata y eucalipto de Chile y de pino taeda de Argentina y se utiliza principalmente para la fabricación de papeles de impresión, cartón y papeles sanitarios. La pulpa sin blanquear producida en Chile proviene de pino radiata y se utiliza para fabricar papeles de envasar, productos de fibrocemento y papeles dieléctricos.



Figura 19. Planta Celulosa Arauco de Chile [32]

En el 2001, el equipo de proyectos de Celulosa Arauco de Chile tuvo que elegir la tecnología de control y automatización a instalar en su nueva planta de pulpa en Valdivia (Chile), programada para iniciar su operación a comienzos del 2004.

Sin ningún deseo de verse en la situación de reconocer que se había hecho una mala elección y tener instalada una tecnología desactualizada, el equipo de proyectos de Arauco inició una revisión cuidadosa de las posibles tecnologías de control y automatización, tratando de tomar la decisión de usar o no la tecnología

de comunicación fieldbus digital recién después de haber visitado y consultado con otras compañías que ya habían experimentado la tecnología de fieldbus en grandes instalaciones. Pero en el 2001 no había todavía grandes proyectos de fieldbus en operación.

El equipo de proyectos de Arauco estudió la tecnología, visitó algunas instalaciones y analizó en detalle la dirección tomada por los principales fabricantes de sistemas de control del mundo. Una revisión de las distintas tecnologías de buses disponibles le dio a Arauco un panorama de cómo los fabricantes de instrumentos fueron desarrollando dispositivos para los distintos protocolos, todo lo cual despertó el interés de Arauco de elegir una tecnología donde podrían ofertar varios fabricantes de instrumentos.

Puesto que todas las conclusiones del equipo indicaban que la tecnología de comunicación de fieldbus digital era el futuro, Celulosa Arauco eligió en su nueva planta de pulpa Valdivia la tecnología de **Foundation Fieldbus** para señales de proceso y **Profibus DP** para dispositivos discretos y **Device Net** para arrancadores de motores. Todas estas interfaces eran nativas en el **Sistema de Control Delta V** de Emerson Process Management.



Figura 20. Cuarto de Control - Planta Arauco [32]

El nuevo proyecto se trataba de una instalación de fieldbus de gran tamaño (Figura 18-19), con 36 controladores Delta V y 15 PLC's que utilizan cuatro protocolos de comunicaciones para conectarse con 1.500 arrancadores de motores, 2.000 dispositivos discretos, 300 variadores de velocidad, y 3.000 dispositivos de campo Foundation fieldbus.



Figura 21. Planta de producción de Celulosa Arauco [32]

Gracias a la fácil puesta en marcha de todos los dispositivos y al arranque perfecto del Sistema de control Delta V, el proyecto tuvo un éxito total a nivel nacional. Actualmente, Arauco está construyendo otra planta en Chile, donde volvió a seleccionar la arquitectura de planta digital con tecnología Foundation Fieldbus, para garantizar el éxito de este nuevo proyecto.

### 6.3. MEJORAMIENTO DE LAS OPERACIONES DE LA PLANTA – SHELL

#### Shell Nigeria



Shell Petroleum Development Company Nigeria [33], busca una solución para mejorar las operaciones de la planta y aumentar el rendimiento, así mismo, reducir costos y ganar tiempo en las labores de mantenimiento.

La solución que se propuso fue la implementación de dispositivos con protocolo de comunicación HART en todos los puntos de la planta donde se controlaban y se monitoreaban variables de proceso tales como, presión, temperatura, flujo y nivel, con el objetivo, de enlazar las señales al sistema de control existente y poder tener el control de los procesos más preciso en tiempo real.

Implementado la solución, las operaciones de la planta mejoraron considerablemente aumentando simultáneamente su rendimiento, las labores de mantenimiento fueron más rápidas, gracias a que la tecnología HART provee diagnósticos en los dispositivos logrando un mantenimiento predictivo, evitando futuras fallas en la planta. Adicionalmente, los ajustes de calibración se podían hacer desde el cuarto de control, evitando que los operadores recorrieran distancias muy largas para dicha labor.

*“Hubo mayor visibilidad de la información y del control de procesos, lo cual permitió tomar decisiones en el mejoramiento continuo de la producción y de nuestras demás operaciones. Ahora la planta es más segura, confiable, rentable y productiva!”* Awe Kayode - Jefe de Operaciones.

#### 6.4. SOLUCIÓN WIRELESS EN PENNSYLVANIA POWER AND LIGHT



*Pennsylvania Power and Light, Pennsylvania, PA.* [34], tiene varias plantas y deseaba mejorar el desempeño en las bombas que alimentan a las calderas, en dos de sus plantas. El cliente, luego de estudiar diferentes tecnologías, decidió usar la tecnología Wireless. PPL estaba consciente de que desea instalar puntos de monitoreo de presión y temperatura en las bombas que alimentan a las calderas, con el objeto de mejorar el desempeño, así como tener una mejor programación de los mantenimientos, pero la molestia de cablear bloqueaba el proyecto.

El ambiente en una planta de generación eléctrica es muy denso, en especial en la cercanía de las calderas, es un ambiente pesado para las comunicaciones inalámbricas, pero la plataforma Smart Wireless de Emerson, con su red Auto-Organizada, formó una red alrededor de los obstáculos y aún continúa desempeñándose sin problemas.

A pesar de que ellos tenían un dispositivo de Accutech instalado en la planta con una aplicación en un solo punto de medición, ellos decidieron cambiar a la plataforma Smart Wireless de Emerson.

Esta nueva relación con la tecnología y el éxito de la instalación inicial, van a permitir nuevas aplicaciones que serán agregadas en la plantas de PPL en el próximo año 2011.

## 7. PROPUESTA PARA LA UNIVERSIDAD EAN

Implementar un Laboratorio, con un Sistema de Control licenciado e instrumentación, donde los estudiantes puedan interactuar y simular el control en un sistema productivo, donde se evaluarán las condiciones del proceso, mejoras, acciones preventivas, gestión administrativa y de calidad, entre otros beneficios.

### **El Laboratorio se debe componer por:**

\*Una sala de estudio con dimensiones de 3 metros de ancho x 5 metros de largo x 2.30 metros de alto, la cual deberá contener una entrada de aire de instrumentación con un mínimo de presión de 5 psi en la línea, una entrada de agua con un mínimo caudal de 30 litros/minuto. Adicionalmente, es requerido un tanque de 1,55 metros de altura con un diámetro de 1,52 metros en la tapa por 1,22m en la base, material polietileno., capacidad 2000 litros

\*Un Sistema de control (recomendado)

\*Instrumentación de campo con protocolo de comunicación HART, para la medición de variables, tales como, temperatura, presión, conductividad y nivel.

\*Calefactor sumergible, con una temperatura máxima hasta 50 °C.

### **Especificaciones del Sistema de control:**

#### **-Descripción de la arquitectura y alcance de la propuesta**

Para la aplicación requerida se oferta un Sistema de Control DeltaV de 100 DST que incluye:

- Una estación de trabajo Professional plus la cual alberga el software “AMS Device Manager Demo Software” aplicación para universidades con todas las funcionalidades del DeltaV y AMS.

- Switches inteligentes los cuales son tan fáciles de usar como los switches no administrables, pero con todas las características de un switch administrable para redes de seguridad y monitoreo.
- Un controlador sencillo.
- El controlador cuenta con el siguiente número de tarjetas para conectar la instrumentación asociada:
  - Una [1] DI de 32 ch.
  - Una [1] DO de 32 ch.
  - Una [1] AI de 8 ch.
  - Dos [2] AO de 8 ch.
- Especificaciones técnicas. Ver tabla de costos.

**-Arquitectura propuesta:**

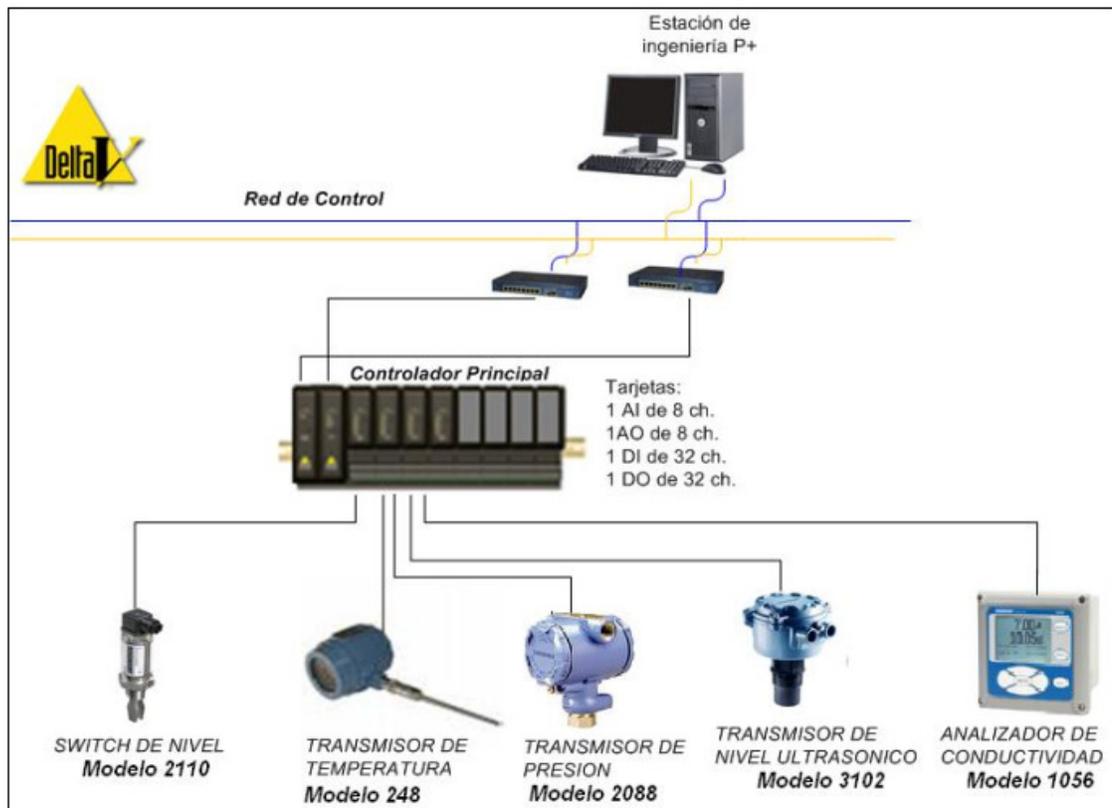


Figura 22. Arquitectura de control propuesta

## **Especificaciones de la Instrumentación:**

### **\*Para medición de temperatura en línea**

Mod. 248HANAA2XA/0068N11N00C030T26XA

#### **248 Transmisor de temperatura**

Marca: Rosemount

H Montaje en cabeza

A Protocolo de salida: HART

NA Certificaciones del producto: Sin aprobaciones

A Alojamiento: Cabezal de conexión Rosemount, DIN, IP68, aluminio

2 Entrada de cable/conducto: 1/2 pulg. NPT

XA El sensor se especifica por separado y se monta en el transmisor

#### **0068 Sensor de temperatura Thin-Film Platinum**

##### **RTD Sensor**

N Terminación del cable del sensor: Sólo sensor con cables WG 22, aislados con Teflon, 6 pulgadas

11 Tipo de sensor: Tipo para todo uso

N0 Sin Extensión

C Material: Acero al carbono

30 Longitud de inmersión del sensor: 3pulgadas

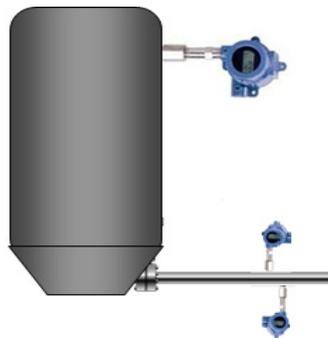
T26 Tipo de termopozo; montaje: Escalonado, roscado 3/4-14 NPT

XA Montar en opciones: Montar el cabezal de conexión y/o el transmisor al conjunto del sensor



## **Aplicaciones:**

-Control y monitoreo de temperatura en tanques, reactores, tuberías, etc.



**\*Para medición de nivel continuo**

Mod.3102HA1FRCNA

**3102 Transmisor de nivel, tipo ultrasónico con 2 relés integrales**

Marca: Rosemount

H Salida de señal: 4 - 20 mA HART

A Material de la carcasa: Aluminio

1 Conduit / Cable Thread: 1/2 pulgada - 14 NPT

F Material húmedo: PVDF

RC Conexión de proceso: 2 pulgadas, roscada NPT

NA Product Certificates: No Certification

-Integral LCD

-Compensación automática por temperatura

-Rango de medición: De 0,3 a 11 metros

-Exactitud:  $\pm 0.1$  in. ó  $\pm 0.25\%$

-Límite de temperatura de proceso: De  $-30$  a  $70$  °C

-Presión del proceso: De  $-0,25$  a  $3,0$  bar



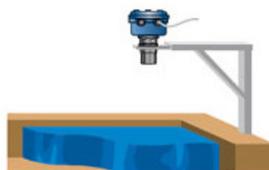
**Aplicaciones:**

-Control y monitoreo de nivel, distancia, volumen y canal abierto

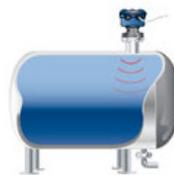
Storage Tanks: Vertical Tank



Open Air Applications



Buffer Tanks: Horizontal Tanks



Open Channel flow



**\*Para medición de presión manométrica continua**

Mod.2088G2S22A1M5

**2088G Transmisor de presión manométrica**

Marca: Rosemount

2 Rango de presiones: 0-150 psi; mínimo span 7.5 psi

S Salida: 4 a 20 mA/Protocolo Digital HART

22 Material de construcción: 316L SST,  
fluido de llenado en silicona

A Conexión de proceso: NPT 1/2-14

1 Rosca de conducto: NPT 1/2-14

M5 Indicador LCD, escala 0-100%

-Alimentación: 24v

-Límite de temperatura: De -40 a 121 °C

-Exactitud:  $\pm 0.10\%$  del span calibrado



**Aplicaciones:**

-Control y monitoreo de presión en línea; y control y monitoreo de presión hidrostática en tanque (nivel).



Control de presión  
Hidrostática en tanque



Control de presión  
en tubería

### **\*Para medición de nivel puntual en tanque**

Mod.211010DNA

#### **2110 Switch de nivel, tipo tenedor vibrante**

1 Salida de contacto: PNP/PLC Switching with Plug

0D Conexión a proceso: 3/4in NPT

NA Certificaciones del producto: Sin certificaciones de zonas peligrosas

-Rango de viscosidad del fluido: De 0.2 a 10,000 cP.

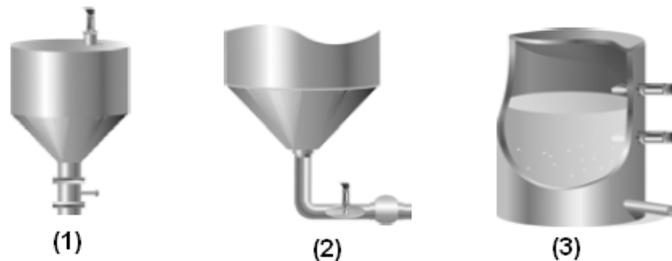
-Limite de temperatura en el proceso: 150°C

-Limite de presión en el proceso: 1.160psi

-Alimentación: 24v

#### **Aplicaciones:**

-Control puntual de detección de nivel (1), protección de bombas (2), nivel alto y/o bajo(3).



### **\*Para medición de conductividad en línea**

Mod. 1056-01-20-38-HT/226-02-56-80

#### **Analizador de Conductividad**

Alimentación: 115/230 VAC, 50/60 Hz sin relevos

Comunicación: 4-20mA HART

Mod. 226-02-56-80

Sensor de Conductividad toroidal para submersión

Materiales de construcción: PEEK, Standard

Incluye adaptador de montaje de 1" MNPT PEEK



#### **Aplicaciones:**

Usada para la medición y control de concentración de electrolitos en soluciones acuosas, tales como, ácidos, bases y sales. También para el control de diluciones, concentración de sales y minerales en el agua, etc.

**Condición del agua:** 100 - 1000  $\mu$ S/cm

**Oferta comercial del Sistema de control e Instrumentación:**

Item	Descripción	Cantidad	Valor total
<b>HARDWARE – SISTEMA DE CONTROL</b>			
	DIN-rail Mounted Bulk AC-to-24 Vdc Power Supply	2	\$ 55.474.000
	Smart 6-Port (RJ45) 10/100BASE-TX Switch with two RJ45 10/100BASE-TX Uplink Ports (FP20-6TX2TX)	2	
	Terminal Access Cable; required to setup VE6041-, VE6042-, VE6043-, VE6046-, VE6047- and VE6048-series Smart Switches	1	
	2-Wide Power/Controller Carrier	1	
	MD Plus Controller	1	
	Enhanced System Power Supply; 24/12 Vdc Input	1	
	8-Wide I/O Interface Carrier with Carrier Shield Bar	1	
	Analog Input Card: 8 Channels 4-20 mA; HART; I/O Termination Block	1	
	Analog Output Card: 8 Channels 4-20 mA; HART; I/O Termination Block	1	
	Discrete Output Card 32 Channels 24 Vdc; High Side; I/O Termination Block	1	
	Discrete Input Card: 32 Channels 24 Vdc; Dry Contact; Termination Block	1	
	Carrier Blank Cap	1	
<b>SOFTWARE – SISTEMA DE CONTROL</b>			
	ProfessionalPLUS Workstation Software 100 DST		\$ 45.882.000
	Analog Control Output 25 DSTs		
	Analog Monitor Input 25 DSTs		
	Discrete Control Output 25 DSTs		
	Discrete Monitor Input 25 DSTs		
	1-Year Guardian Support for System up to 100 DST		
	DeltaV Software Media Pack; v10.3; English		
	AMS Device Manager Demo Software; University; English (Includes 1 year of Foundation Support)		
	Precision T3500 Minitower; English Win XP Pro; 2.53GHz (min) Dual-Core CPU; One 20-inch LCD Monitor; Dual Monitor Capable; Ext. Spkrs; Two 160G (min) SATA Drives; RAID 1; 3G RAM; 16X (min) DVD-CDRW; Three Ethernet Ports		

INSTRUMENTACIÓN			
	Mod. 248HANAA2XA/ 0068N11N00C030T26XA <b>Transmisor de temperatura</b>	1	\$2,281,600.00
	Mod.3102HA1FRCNA <b>Transmisor de nivel, tipo ultrasónico con 2 relés integrales</b>	1	\$ 2,606,912.00
	Mod.2088G2S22A1M5 <b>2088G Transmisor de presión manométrica</b>	1	\$ 2,949,704.00
	Mod.211010DNA <b>2110 Switch de nivel, tipo tenedor vibrante</b>	1	\$ 606,464.00
	Mod. 1056-01-20-38-HT/226-02-56-80 <b>Analizador de Conductividad + Reactivos</b>	1	\$ 7,465,504.00
<b>Valor total de la propuesta**</b>			<b>\$116.766.184,00</b>
**Se debe incluir IVA vigente			

Tabla 4. Costos propuesta - Laboratorio piloto UEAN

Adicional, a la propuesta de implementación del laboratorio, y dando cumplimiento a los objetivos iniciales del proyecto, a continuación se presenta la herramienta básica para la selección de un sistema de control.

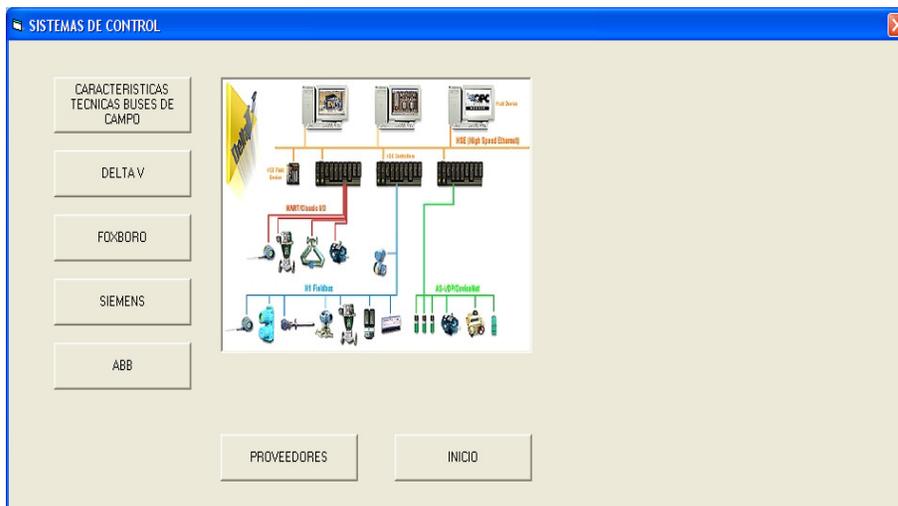
#### **HERRAMIENTA (Software): MODELO BASICO PARA LA SELECCIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL**

El objetivo de esta herramienta, es que sirva como base para que el ingeniero de producción pueda participar en la toma de decisiones del mejoramiento en la productividad de la planta, con relación a la selección del sistema de control y protocolo de comunicación o bus de campo adecuado, para lograr tal fin.

Para iniciar, el software presentará la siguiente ventana:



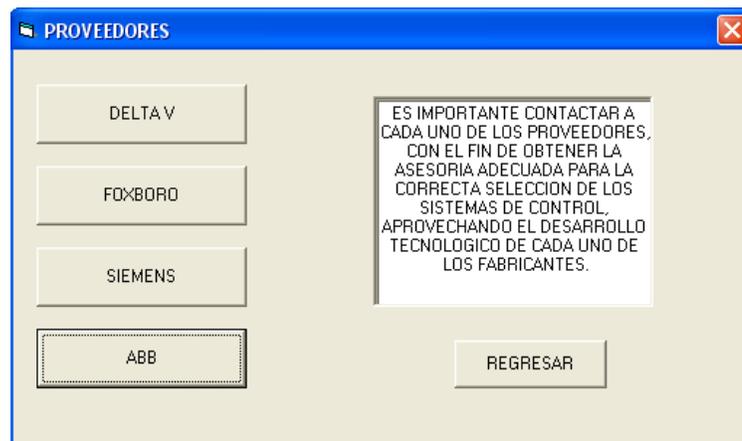
Luego, se deberá dar click sobre el botón “ENTRAR”, donde se activará la ventana “SISTEMAS DE CONTROL”.



En esta ventana se hará una breve presentación sobre las características técnicas de los principales buses de campo y Sistemas de control principales, tales como, Delta V, Foxboro, Siemens y ABB, incluyendo su arquitectura.



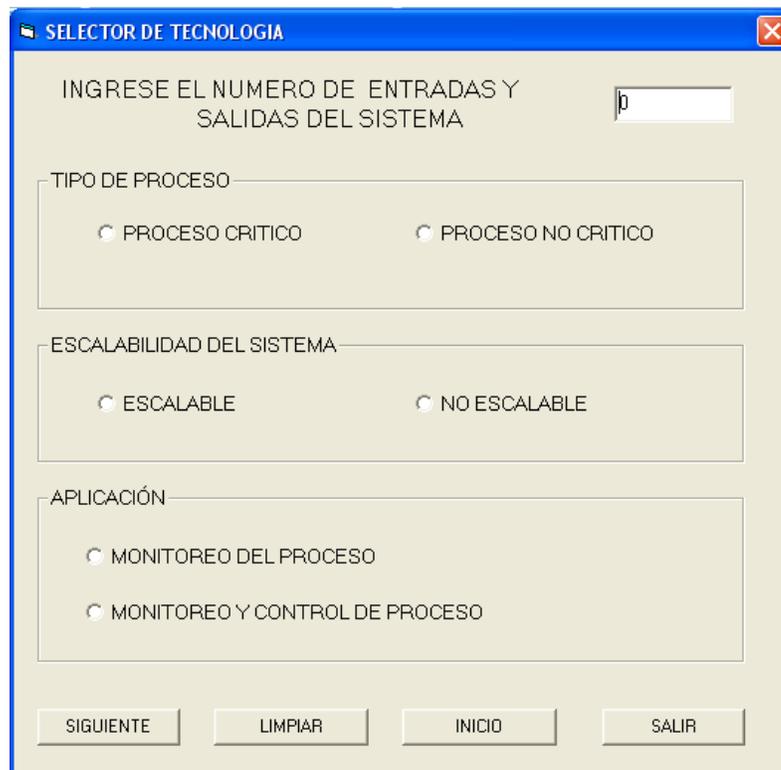
Sobre el botón “PROVEEDORES”, inicialmente se recomienda contactar a cada uno de los proveedores, con el fin de obtener la asesoría adecuada para la correcta selección de los sistemas de control, aprovechando el desarrollo tecnológico de cada uno de los fabricantes. Es importante resaltar que esta herramienta entrega información básica, la cual deber ser complementada por los proveedores.



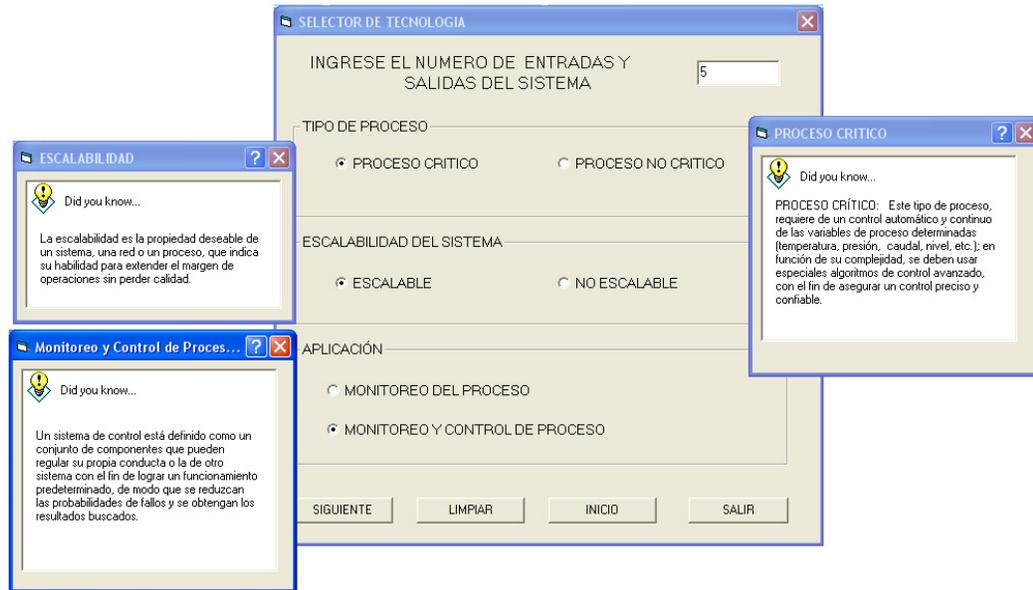
Haciendo click sobre el botón de algún proveedor, se encontrarán los datos para su contacto, representación en Colombia, dirección, teléfono y ciudad de ubicación. Dar click en “REGRESAR” y luego en “INICIO” para lograr la selección.



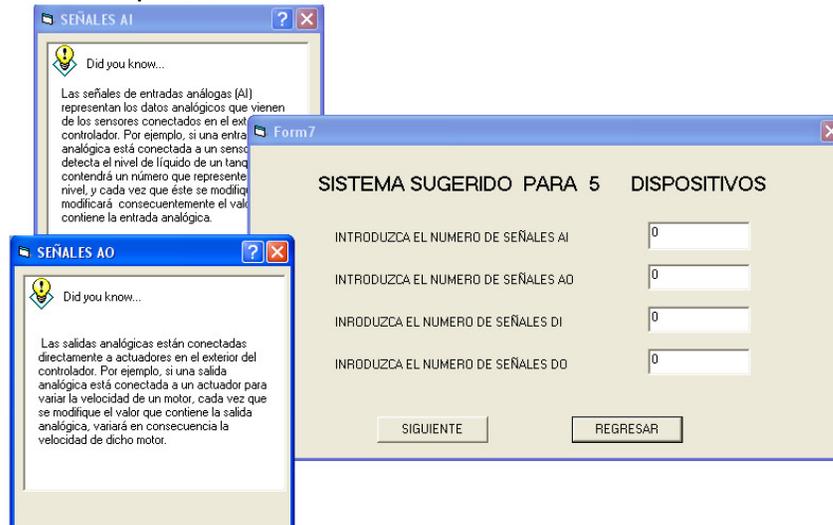
Basados en la información entregada en cuanto a los sistemas de control, y al claro conocimiento del tipo de proceso, se activará la ventana “SELECTOR DE TECNOLOGÍA”, en ella se deberán activar los campos, de acuerdo a la aplicación



Sobre la misma ventana y haciendo click sobre el tipo de proceso, o tipo de escalabilidad o tipo de aplicación, se abrirá una ventana con una breve explicación de cada caso. Luego, de seleccionar los campos, hacer click en “SIGUIENTE”.



Se activará una ventana solicitando que se especifiquen el número de señales AI (Entradas análoga), AO (Salidas análogas), DI (Entradas discretas), DO (Salidas discretas), con el fin de documentar el número de señales totales, dato importante que solicitará el proveedor de Sistemas de control. Haciendo click sobre los campos solicitados, se abrirá una ventana con una breve explicación. Luego, de seleccionar los campos, hacer click en “SIGUIENTE”.



Se activará la ventana del “Sistema sugerido para el No. de dispositivos”, donde se solicita especialmente el protocolo de comunicación a usar, dando click sobre cada uno de los protocolos recomendados, se abrirá una ventana con una breve explicación. Luego, de seleccionar el campo adecuado, hacer click en “RESULTADO”.



Activando la ventana de “RESULTADO”, aparecerá el resumen de los campos seleccionados anteriormente, sirviendo como base de pre-selección y para la toma de decisiones en las asesorías que brinden los proveedores.



## CONCLUSIONES

El estudio sobre integración de redes de instrumentación digitales en sistemas de control para el mejoramiento de procesos industriales, desarrollado en esta monografía, cumple con los objetivos planteados inicialmente.

- Se dan a conocer las tecnologías que las empresas usan actualmente para el control y mejoramiento en sus procesos, teniendo en cuenta las tecnologías de comunicación que fueron base para la creación de las actuales tecnologías líderes en automatización de procesos.
- Se presentan casos exitosos de compañías industriales donde implementaron sistemas de control y/o protocolos de comunicación líderes en automatización de procesos, y como resultado generaron cambios relevantes en cuanto a desempeño de la planta, disponibilidad, mayor producción y mejoramiento de la calidad.
- Se presenta una herramienta que sirva como base para que el Ingeniero de producción pueda participar en la toma de decisiones del mejoramiento en la productividad de la planta, con relación a la selección del sistema de control y protocolo de comunicación o bus de campo adecuado, para lograr tal fin.
- Se propone la implementación de un Laboratorio piloto que contenga un Sistema de control e instrumentación básica de control, el cual servirá para que los estudiantes de Ingeniería de producción apliquen los diferentes conceptos y luego, sean capaces de proponer cambios de mejora que impacten los procesos productivos de las organizaciones.

## RECOMENDACIONES

1. Luego, de presentar la importancia de los fundamentos de las nuevas y actuales tecnologías líderes en automatización de procesos industriales, con el fin de que sean entendidas y finalmente sean una herramienta de apoyo para los futuros Directores o Coordinadores de plantas de producción existentes en el mercado colombiano, se recomienda incluir este tema en la materia de **Estructuración de Sistemas Automatizados de VI Semestre**, según el Plan de Estudios de la carrera de Ingeniería de Producción.
2. Una vez se adopte la propuesta anterior, sería interesante implementar un Laboratorio, incluyendo un demo funcional de un Sistema de Control e instrumentación, donde los estudiantes puedan interactuar y simular el control en un sistema productivo, donde se evaluarán las condiciones del proceso, mejoras, acciones preventivas, gestión administrativa y de calidad, entre otros beneficios.

## REFERENCIAS

- [1] Control manual; [http://3.bp.blogspot.com/\\_7IbQhfcM1Fs/SZ7OnzpX68I/AAAAAAAAGM/FgJcpDF\\_GJQ/s320/fig3.jpg](http://3.bp.blogspot.com/_7IbQhfcM1Fs/SZ7OnzpX68I/AAAAAAAAGM/FgJcpDF_GJQ/s320/fig3.jpg). Accesada 01.06.2010
- [2] Control industrial. Revista Control Engineering, 2000.
- [3] Dubois, D., Prade, H. *Fuzzy sets and systems: Theory and applications*, Academic Press, 1980.
- [4] Process / Industrial Instruments and Controls Handbook, G.K. McMillan, D.M. Considine et al. McGraw-Hill 5th. ed., 1999. ISBN: 0-07-012582-1.
- [5] Introducción a los autómatas programables, Joan Domingo Peña et. al. Biblioteca Multimedia Industria. Editorial UOC, 2003. ISBN: 84-8429-028-X.
- [6] Diseño y aplicaciones con autómatas programables, Joan Domingo Peña et. al. Biblioteca Multimedia Industria. Editorial UOC, 2003. ISBN: 84-8429-030-1.
- [7] Sirgo J.A., "Redes locales en entornos industriales: Buses de campo", Universidad de Oviedo, 1997.
- [8] Diagrama Arquitectura planta digital Delta V  
[http://www.emersonprocess.com/mexico/ingenieria\\_servicio/diagrama%20delta%20v.jpg](http://www.emersonprocess.com/mexico/ingenieria_servicio/diagrama%20delta%20v.jpg). Accesada 03.06.2010
- [9] Ramón Piedrafita Moreno, INGENIERÍA DE LA AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL. 2ª EDICIÓN. Editorial Ra-Ma. 712 páginas. (2004)
- [10] Comunicaciones en el entorno industrial, J. Domingo Peña et al. Biblioteca Multimedia Industria. Editorial UOC, 2003. ISBN: 84-9788-004-8.
- [11] Artículo acerca del protocolo HART;  
<http://www.hartcomm.org/protocol/about/aboutprotocol.html>. Accesada 01.06.2010
- [12] Artículo Protocolo HART,  
<http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mv?xid=95&rank=1>. Accesada 02.06.2010

- [13] PROFIBUS, El bus polivalente para la comunicación en la industria de procesos;[http://www.automation.siemens.com/w2/efiles/pcs7/pdf/78/prdbrief/kb\\_pr\\_ofibus\\_es.pdf](http://www.automation.siemens.com/w2/efiles/pcs7/pdf/78/prdbrief/kb_pr_ofibus_es.pdf). Accesada 04.04.2010
- [14] Artículo FOUNDATION Fieldbus, Tecnología actual en buses de campo; <http://plantweb.emersonprocess.com/university/default.asp>. Accesada 04.06.2010
- [15] CORRALES Luis. "Interfaces de comunicación industrial". Escuela Politécnica Nacional, Ecuador, Quito, Mayo 2004.
- [16] Networks and Communications; <http://www.ab.com/networks/devicenet>. Accesada 02.06.2010
- [17] Revista Anales de mecánica y electricidad, Año: 2007, Vol. 84, N°3, Ethernet en la industria.
- [18] Presentación Ethernet Industrial: [http://www.isa-spain.org/images/biblioteca\\_virtual/rt%20isa%20ethernet%20industrial.pdf](http://www.isa-spain.org/images/biblioteca_virtual/rt%20isa%20ethernet%20industrial.pdf). Accesada 01.05.2010
- [19] Tecnología Wireless HART; [www.EmersonProcess.com/SmartWireless](http://www.EmersonProcess.com/SmartWireless). Accesada 01.06.2010
- [20] Catálogo Soluciones inteligentes de redes de campo inalámbricas. Mayo 2010
- [21] Revistas Automática, Instrumentación y Control de Emerson Process Management. 2000.
- [22] Control de procesos industriales. Criterios de Implantación, Antonio Creus, Colección Productiva, 1988, Marcombo.
- [23] Software de control con PLC/DCS; [www.daqsa.com.ar/Software PLC DCS/ConsolaRRRP.jpg](http://www.daqsa.com.ar/Software%20PLC%20DCS/ConsolaRRRP.jpg). Accesada 04.06.2010
- [24] Sistemas Scada - Control Supervisorio y adquisición de datos. [http://www.paginasprodigy.com/controlaplicad/ph\\_img/SCADA.jpg](http://www.paginasprodigy.com/controlaplicad/ph_img/SCADA.jpg). Accesada 03.06.2010.
- [25] Automating with SIMATIC : integrated automation with SIMATIC S7-300/400 : controllers, software, programming, data communication, operator control and process monitoring / by Hans Berger. Erlangen : Publicis MCD Verlag, 2000. Y <http://www.automation.siemens.com/mcmts/topics/en/simatic/Pages/Default.aspx>  
Accesada

- [26] Foxboro Distributed Control System - I/A Series; [http://iom.invensys.com/EN/Pages/Foxboro\\_DCSIASeries.aspx](http://iom.invensys.com/EN/Pages/Foxboro_DCSIASeries.aspx). Accesada
- [27] Sistema de control Delta V; [http://plantweb.emersonprocess.com/university/Library\\_Articles.asp](http://plantweb.emersonprocess.com/university/Library_Articles.asp) . Accesada
- [28] Sistema de control Freelance - The hybrid control system; FREELANCE <http://www.abb.com.co/product/us/9AAC115759.aspx>. Accesada
- [29] Proyecto exitosos - Catálogo Instrumentos y Controles S.A. 2010
- [30] Planta de Ecopetrol - Superintendencia Apiay; <http://www.eltiempo.com/colombia/llano/IMAGEN/IMAGEN-4730481-2.jpg>. Accesada
- [31] Catálogo de aplicaciones industriales de Emerson Process Management. 2007
- [32] Planta de pulpa y papel Arauco, Planta Valdivia; <http://www.plantavaldivia.cl/>. Accesada
- [33] Artículo Mejoramiento de las operaciones de la Planta Shell en Nigeria; [http://www.hartcomm.org/protocol/realworld/realworld\\_success\\_shell06\\_09.html](http://www.hartcomm.org/protocol/realworld/realworld_success_shell06_09.html). Accesada
- [34] Catálogo – Experiencia con soluciones inteligentes de redes de campo inalámbricas. Abril 2010