



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**PROPUESTA PARA MIGRACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL APACS+ PROCESSSUITE
V3.01 HACIA SIMATIC PCS7 APACS+ OS V7.0 EN UNA PLANTA INDUSTRIAL**

Wilson Odilzar Sacalxot López

Asesorado por el Ing. José Antonio de León Escobar

Guatemala, noviembre de 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA PARA MIGRACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL APACS+ PROCESSSUITE
V3.01 HACIA SIMATIC PCS7 APACS+ OS V7.0 EN UNA PLANTA INDUSTRIAL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

WILSON ODILZAR SACALXOT LÓPEZ

ASESORADO POR EL ING. JOSÉ ANTONIO DE LEÓN ESCOBAR

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Víctor Manuel Ruíz Hernández
EXAMINADOR	Ing. Carlos Alberto Quijivix Racancoj
EXAMINADOR	Ing. Erwin Efraín Segura Castellanos
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**PROPUESTA PARA MIGRACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL APACS+ PROCESSUITE
V3.01 HACIA SIMATIC PCS7 APACS+ OS V7.0 EN UNA PLANTA INDUSTRIAL**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha noviembre de 2010.



Wilson Odilzar Sacalxot López

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

Guatemala, 18 de noviembre de 2011

Ing. Romeo López
Coordinador del Área de Electrotecnia
Escuela de Ingeniería Mecánica-Eléctrica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero López:

Por este medio le informo que he revisado el trabajo de graduación titulado "PROPUESTA PARA MIGRACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL APACS+ PROCESSSUITE V3.01 HACIA SIMATIC PCS7 APACS+ OS V7.0 EN UNA PLANTA INDUSTRIAL", elaborado por el estudiante Wilson Odilzar Sacalxot López.

El mencionado trabajo llena los requisitos para dar mi aprobación, e indicarle que el autor y mi persona somos responsables por el contenido y conclusiones del mismo.

Atentamente,



M.A. José Antonio de León Escobar
INGENIERO ELECTRONICO
COL. 8,281

Asesor



FACULTAD DE INGENIERIA

Ref. EIME 14, 2012
Guatemala, 12 de abril 2012.


Señor Director
Ing. Guillermo Antonio Puente Romero
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:
"PROPUESTA PARA MIGRACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL
APACS+ PROCESSSUITE V3.01 HACIA SIMATIC PCS7 APACS+
OS V7.0 EN UNA PLANTA INDUSTRIAL", del estudiante
Wilson Odilzar Sacalxot López, que cumple con los requisitos
establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
D Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Romeo Neftali López Orozco
Coordinador de Electrotécnica




RNLO/sro



FACULTAD DE INGENIERIA

REF. EIME 22. 2012.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; Wilson Odilzar Sacalxot López titulado: "PROPUESTA PARA MIGRACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL APACS+ PROCESSSUITE V3.01 HACIA SIMATIC PCS7 APACS+ OS V7.0 EN UNA PLANTA INDUSTRIAL", procede a la autorización del mismo.


Ing. Guillermo Antonio Fuente Romero

GUATEMALA, 04 DE MAYO 2012.





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al trabajo de graduación titulado: **PROPUESTA PARA MIGRACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL APACS+ PROCESSSUITE V3.01 HACIA SIMATIC PCS7 APACS+ OS V7.0 EN UNA PLANTA INDUSTRIAL**, presentado por el estudiante universitario **Wilson Odilzar Sacalxot López**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano



Guatemala, noviembre de 2012

/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por ser la fuerza y el amor que mueve todo cuanto hay en mi vida.
Mis padres	Felipe Sacalxot Pérez y María López Pocol por ser mi apoyo en todo momento y con su amor he llegado a este logro en mi vida.
Mis hermanos y hermanas	William, Marisol, Michael, Verónica y Robert Sacalxot por su ayuda y amor he podido llegar a cumplir una meta.
Quetzaltenango	Por ser la cuna de la cultura, lugar de grandes amigos que han estado siempre dispuestos a tenderme la mano cuando más lo necesitaba.
La Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser la fuente de conocimiento y sabiduría.

AGRADECIMIENTOS A:

**Ing. José Antonio de
León**

Por su ayuda incondicional para la realización de este trabajo.

ESINSA

Por permitirme el desarrollo del presente documento, así como, el darme la oportunidad de trabajar con toda esa gente maravillosa.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
GLOSARIO	VII
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
INTRODUCCIÓN	XV
1. SISTEMA DE CONTROL DISTRIBUIDO	1
1.1. Control distribuido.....	1
1.1.1. Definición.....	1
1.1.2. Sistemas de Control Distribuido	1
1.2. Arquitectura de un Sistema de Control Distribuido	4
1.2.1. Estructura general	4
1.3. Hardware de control	6
1.3.1. Módulos de control o procesadores.....	6
1.3.2. Módulos de entradas y salidas	7
1.3.3. Local I/O bus.....	9
1.4. Estaciones de trabajo	9
1.4.1. Estaciones de operación	10
1.4.2. Estaciones de ingeniería	13
1.4.3. Servidores.....	14
1.5. Comunicación.....	15
1.5.1. Módulos de comunicación	15
1.5.2. Protocolos de comunicación	18
1.6. Software	20

2.	APACS+ <i>VERSUS</i> SIMATIC PCS7	25
2.1.	Sistema APACS+	25
2.1.1.	Hardware de control	25
2.1.2.	Software	28
2.1.3.	Sistema Operativo	31
2.2.	Sistema SIMATIC PCS7	31
2.2.1.	Hardware de control	31
2.2.2.	Software	33
2.2.3.	Sistema Operativo	35
3.	MIGRACIÓN DEL SISTEMA Y DISEÑO DE LA AQUITECTURA DE CONTROL	37
3.1.	Escenario actual del sistema de control	37
3.2.	Hardware y software de control de APACS+ actual	38
3.3.	HMI existente	40
3.4.	Ingeniería conceptual para la nueva arquitectura y futuros crecimientos	41
3.4.1.	Estrategias de migración	41
3.4.2.	Evaluación de la disponibilidad de la arquitectura... ..	46
3.4.3.	Evaluación del ciclo de vida de los nuevos componentes	48
3.4.4.	Evaluación para la integración de nuevos componentes	52
3.5.	Ingeniería básica de la nueva arquitectura	53
3.5.1.	Selección del Sistema Operativo	54
3.5.2.	Selección del hardware informático	54
3.5.3.	Selección de los medios de comunicación	57
3.5.4.	Selección de los protocolos de comunicación	58
3.6.	Ventajas y beneficios de la migración con la primera fase	59

3.7.	Propuesta para una arquitectura de alta disponibilidad.....	61
3.8.	Actualización de hardware y software de control hacia sistema PCS7 como segunda fase de la migración	64
4.	ESTUDIO TÉCNICO ECONÓMICO PARA LA MIGRACIÓN	67
4.1.	Análisis de factibilidad	67
4.1.1.	Valor de inversión del proyecto propuesto.....	67
4.1.2.	Análisis comparativo de costo beneficio	70
	CONCLUSIONES	77
	RECOMENDACIONES.....	79
	BIBLIOGRAFÍA.....	81

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Arquitectura genérica de un DCS.....	5
2.	Ejemplo de un DCS.....	8
3.	Estación de operación.....	11
4.	Buses de campo	19
5.	Estructura general del software HMI	22
6.	Estructura de un bloque para procesar una señal.....	24
7.	ACM de APACS+	28
8.	Software de desarrollo 4-mation	29
9.	Software de operación y supervisión ProcessSuite Vision.....	30
10.	Hardware de PCS7	33
11.	Software de operación PCS7	34
12.	Arquitectura del sistema de control actual.....	40
13.	Sustitución del HMI	44
14.	Funcionamiento del DBA.....	46
15.	Arquitectura de control propuesta	47
16.	Perfiles de ciclos de vida.....	49
17.	Costo relativo y vida útil de los componentes de un DCS.....	50
18.	Ciclo de vida de los componentes de un DCS	51
19.	Integración de otros componentes	53
20.	Protocolos de comunicación APACS+ y PCS7	59
21.	Propuesta de arquitectura de alta disponibilidad.....	63
22.	Ampliación como primera parte de la modernización del sistema.....	66

TABLAS

I.	Requerimientos de hardware para PCS7 APACS+ OS	55
II.	Costos para la solución propuesta.....	70
III.	Costos e ingresos mensuales por producción mensual de azúcar	72
IV.	Flujo de caja	74
V.	Indicadores de rentabilidad.....	75

GLOSARIO

APACS+	Sistema de automatización avanzado para el control de procesos del fabricante Moore Siemens (en inglés: Advanced Process Automation Controller System).
Arquitectura de red	Se define por la red que une a todos los elementos de una estructura dentro de una entidad operativa unificada, cuyo propósito es la de trasladar datos de un punto a otro del sistema.
Base de datos	Es un conjunto de datos pertenecientes a un mismo contexto y que son almacenados sistemáticamente para su posterior uso.
Caracterización	Cálculo de la ecuación característica que determina la razón de cambio de una variable de salida con respecto a la variable de entrada o viceversa.
Controlador	Dispositivo que permite al proceso cumplir su objetivo de transformación del material y realiza dos funciones esenciales: compara la variable de medida con la referencia para determinar el error y ejerce automáticamente una acción de corrección de acuerdo con la desviación.

DCS	Sistema de control distribuido.
Disponibilidad	Se refiere a la habilidad de los usuarios para acceder al sistema, someter nuevos trabajos, actualizar o alterar trabajos existentes o recoger los resultados de trabajos previos en cualquier momento.
Driver	En sistema de control es la interfaz hacia la máquina. Maneja los protocolos de comunicación entre el HMI y los distintos dispositivos de campo.
ES	Estación de ingeniería.
Histórico	Es un conjunto de datos pertenecientes a un mismo contexto y que son almacenados sistemáticamente para su posterior uso.
HMI	Interfaz Hombre Máquina.
IEC 61131-3	Es la tercera parte de la Norma Internacional para controladores lógicos programables que pretende estandarizar los lenguajes de programación en la automatización industrial, haciendo el trabajo independiente de cualquier compañía.
Interfaz	Conexión física o funcional entre dos aparatos o sistemas independientes.
I/O	Entradas y salidas.

Migración	En automatización de procesos se refiere a la actualización o modernización ya sea de hardware o de software de un controlador de procesos para que este pueda funcionar de manera eficiente y con la disponibilidad que se requiere.
Mímico	Es una herramienta comúnmente gráfica complementaria del sistema de control que proporciona una imagen global del proceso y permite detectar de forma rápida los cambios de estado o valores fuera de límite.
Nodo	En informática y en telecomunicación, de forma muy general, un nodo es un punto de intersección o unión de varios elementos que confluyen en el mismo lugar.
OS	Estación de operación.
PID	Proporcional Integral Derivativo.
PLC	Controlador Lógico Programable.
PROFIBUS	Es un estándar de comunicaciones para bus de campo. Derivada de las palabras PROcess Field BUS.

Protocolo	Los protocolos en comunicación definen las reglas para la transmisión y recepción de la información entre los nodos de la red, de modo que para que dos nodos se puedan comunicar entre si es necesario.
Robusto	En sistemas informáticos o comunicaciones, se refiere a aquel que puede ejecutar diversos procesos de manera simultánea sin generar fallos o bloquearse.
SIMATIC PCS7	Sistemas de automatización del fabricante Siemens para el control de procesos.
Tag	Es una variable o bloque de programa que se guarda en una base de datos.
Tendencia	Es un patrón de comportamiento de los elementos de un entorno particular durante un período.
TCP/IP	Protocolo de Control de Transmisión/Protocolo Internet.

RESUMEN

En el presente trabajo de graduación se presenta la propuesta técnica y económica de la solución de la migración de un sistema de control.

En el primer capítulo se describen las características generales de los sistemas de control distribuido o DCS, de donde se podrá ver la estructura general de un DCS y las funciones de sus componentes a nivel genérico.

Posteriormente, en el segundo capítulo se detalla sobre las características específicas del DCS que se propone migrar y también de nuevo sistema de control para luego revisar las similitudes y principales diferencias tecnológicas.

En el capítulo tercero se describe la solución propuesta para realizar la migración de sistema de control, evalúa la situación actual para luego detallar estrategias a partir de las cuales puede migrarse el sistema de control, se describen también los beneficios tanto tangibles como intangibles que se esperan obtener con esta solución.

En el mismo capítulo se incluye el desarrollo de la ingeniería básica y conceptual de donde se planteará la solución para la migración, así como, la arquitectura del nuevo sistema de control, en el apartado final una propuesta para una arquitectura que proporcione alta disponibilidad para el futuro crecimiento del sistema de control.

Por último, en el cuarto capítulo se realiza un breve estudio económico para evaluar la factibilidad del proyecto con base en las mejoras que se esperan obtener de este proyecto y el tiempo de vida del nuevo sistema de control.

OBJETIVOS

General

Desarrollar una propuesta para la migración de un sistema de control tipo control distribuido de una fábrica de azúcar que pueda implementarse de manera tanto eficiente como económica, además de permitir la modernización y expansión del mismo.

Específicos

1. Conocer los fundamentos generales de los sistemas de control distribuido (DCS).
2. Analizar y describir las características principales de los sistemas de control APACS+ y SIMATIC PCS7.
3. Definir los aspectos más importantes a tomar en cuenta para una propuesta de la solución para la migración del sistema de control APACS+ hacia PCS7 para mantener la disponibilidad y permitir la modernización del mismo.
4. Describir los beneficios técnicos y económicos que ofrece la migración de sistemas de control.

INTRODUCCIÓN

La migración de los sistemas de control es una necesidad que actualmente enfrenta la industria como consecuencia de los cambios y avances tecnológicos en los campos de la electrónica e informática, que también afectan a los sistemas de control.

Estos avances también determinan el ciclo de vida de los sistemas de control distribuido y sus componentes. Creando un escenario en el cual la reposición de hardware y software de los componentes de informática se hace imposible.

Mientras la vida útil esperada del cableado y de los componentes de entradas y salidas es de 10 a 25 años, en cambio los HMI y las estaciones de trabajo o de operación es de tan solo 5 años en promedio, por lo que la migración a una tecnología más reciente se hace necesaria y presenta un reto importante tanto para el usuario como para el proveedor, en determinar la mejor opción para la ejecución de la misma.

El panorama actual trata un sistema de control distribuido denominado APACS+ con software ProcessSuite Versión 3.01, del fabricante Moore Products, ahora Siemens (Moore Products fue comprado a principios del 2000 por Siemens), el cual corre sobre la plataforma operativa Windows NT Versión 4.0. Dicha plataforma fue declarada obsoleta por el fabricante en el 2004.

El problema para el usuario se presenta cada vez que una estación de operación o servidor falla, a lo cual no se puede responder con repuestos, porque éstos deben tener controladores de dispositivos que corran sobre la plataforma obsoleta, ante tal situación no es posible conseguir dichos repuestos porque al momento todos los fabricantes de componentes de hardware para las computadoras personales y servidores, sólo producen estos para las plataformas vigentes Windows XP o 7 en su caso.

Por lo anterior expuesto, cada vez que falla una estación, el lugar de operación se pierde totalmente, sin posibilidad de recuperar la estación de operación y como consecuencia, la operación ya no es factible para el proceso asignado a dicha estación.

Ante tal situación, se plantea la alternativa de migración en las cuales se pretende conservar el hardware de control industrial y cambiar únicamente el hardware de informática y como consecuencia el Sistema Operativo junto con el software de aplicación industrial.

La importancia de la migración de sistemas de control radica en aumentar la eficiencia y la disponibilidad de los mismos, así mismo, el de proveer un manejo efectivo del ciclo de vida del sistema de control, para una migración de un sistema de control se hace necesario realizar un estudio técnico económico para determinar la solución que mejor se adapte a las necesidades actuales del usuario tanto a nivel de operación, de ingeniería, así como, en costo del proyecto.

Es importante considerar que dependiendo del tamaño del sistema a migrar, así como, la plataforma, desde la cual se desea migrar, los fabricantes presentan soluciones particulares para realizar la migración tratando de conservar los beneficios del sistema actual y adicionando los nuevos beneficios de la plataforma nueva.

Con este trabajo de graduación se busca proponer la migración del sistema de control, que presente tanto técnica como económicamente la solución para actualizar y mejorar el sistema de control existente en una fábrica de azúcar, aprovechando al máximo los recursos existentes y asegurando una modernización gradual, sin discontinuidades a nivel del sistema base instalado, a ser posible sin parar la planta o con mermas de producción mínimas.

Así también, busca proponer las bases de implementación de una arquitectura con mejor disponibilidad que satisfaga el crecimiento del sistema hacia las otras áreas de la planta y la modernización continua del sistema de control.

1. SISTEMAS DE CONTROL DISTRIBUIDO

1.1. Control distribuido

A continuación se hace una introducción al control distribuido en la industria para luego desarrollar los temas específicos referentes a los sistemas de control distribuido y cada uno de sus componentes.

1.1.1. Definición

Control digital realizado distribuyendo el riesgo del control único por ordenador en varios controladores o tarjetas de control de tipo universal con algoritmos de control seleccionable por software. Los transmisores electrónicos de campo, las tarjetas de control y la estación de operación están unidos mediante una vía de comunicación y cada componente se ubica en el lugar más idóneo de la planta.

1.1.2. Sistemas de Control Distribuido

Los Sistemas de Control Distribuido (DCS) son sistemas que como su nombre lo indica sus funciones están distribuidas más que centralizadas. Un DCS consiste en un número de módulos de microprocesadores que trabajan juntos para controlar y monitorear la operación de una planta, los módulos están distribuidos geográficamente. Esto reduce el costo de cableado y la instalación. También reduce el riesgo distribuyendo la función de control en un número de módulos pequeños en lugar de concentrarlo en un solo módulo principal.

Un DCS es una red de cómputo, se diferencia de una red de oficina o de tipo personal en que un DCS ejecuta un procesamiento en tiempo real en cambio las del tipo personal realizan un procesamiento del tipo transaccional.

La principal diferencia entre una computadora comercial y un DCS es la forma en que ejecutan sus programas.

Una computadora comercial típicamente realiza una operación de programa a la vez. El programa iniciará con datos fijos, ejecutará una serie compleja de cálculos y suministrará un conjunto de resultados. Una vez la tarea fue efectuada parará hasta que se le ordene realizar una tarea nueva.

Una computadora de tiempo real también trabaja con datos fijos, ejecuta cálculos y suministra resultados, la diferencia es que ejecuta el mismo programa repetidamente con datos actualizados, en algunos casos repetirá la operación muchas veces por segundo.

Un DCS, así como, en un Controlador Lógico Programable (PLC), está conectado a elementos primarios de control tales como, transmisores de temperatura y presión, medidores de caudal, analizadores de gas, sensores de pH y conductividad, basculas, interruptores, válvulas y motores. De estos dispositivos él recibe señales eléctricas que pueden ser por ejemplo: 4-20 mA, 1-5 VDC, 24 VAC y 120 VAC. El DCS convierte estas señales a un formato de señales digitales. Una vez convertidas estas pueden ser utilizadas para:

- Lazos de control
- Ejecutar lógica de control programada
- Monitorear las entradas
- Alarmas

- Tendencias y reportes
- Desempeñar muchas otras funciones

El término sistema de control distribuido se acuñó alrededor del concepto de que la inteligencia se encuentra distribuida en varios controladores y estaciones y contrariamente a lo que se cree a un aspecto topológico del sistema.

Los DCS se diseñan con grandes capacidades para el procesamiento analógico, es decir, señales provenientes de transmisores de variables de entradas continuas como presión, temperatura, flujo, etcétera. Así también, variables de salida como posicionadores de válvulas de control, convertidores eléctricos o neumáticos. La resolución de lazos PID y estrategias de optimización como el almacenamiento masivo de variables para registros históricos.

Debido a que un DCS es un sistema que depende de los sistemas de cómputo el aspecto de software es de vital importancia para la operación y funcionamiento sin importar la arquitectura. Como consecuencia el profesional de control no puede negar este aspecto al momento de implementar un proyecto.

Se deben evaluar varios factores como fácil expansión, obsolescencia del producto, actualización de hardware y software, compatibilidad de los sistemas, mantenimiento, entrenamiento e integración a otros sistemas de cómputo que pueden ser sistemas para manejos de activos, administrativos, etcétera. Estos son puntos claves cuando se evalúa un sistema de control tipo DCS.

1.2. Arquitectura de un Sistema de Control Distribuido

La arquitectura de un DCS es parte importante para determinar su capacidad de comunicación a todo nivel, así como, la posibilidad de crecer de acuerdo a las necesidades de la planta, a continuación se definirán los conceptos más importantes de una arquitectura.

1.2.1. Estructura general

La estructura de un DCS es regularmente referida a su arquitectura o topología de red. En términos del funcionamiento modular los DCS en el mercado tienen similares características. Por lo que en el presente trabajo se ilustra de manera genérica los diferentes sistemas que sean representativos para todos los sistemas del mercado.

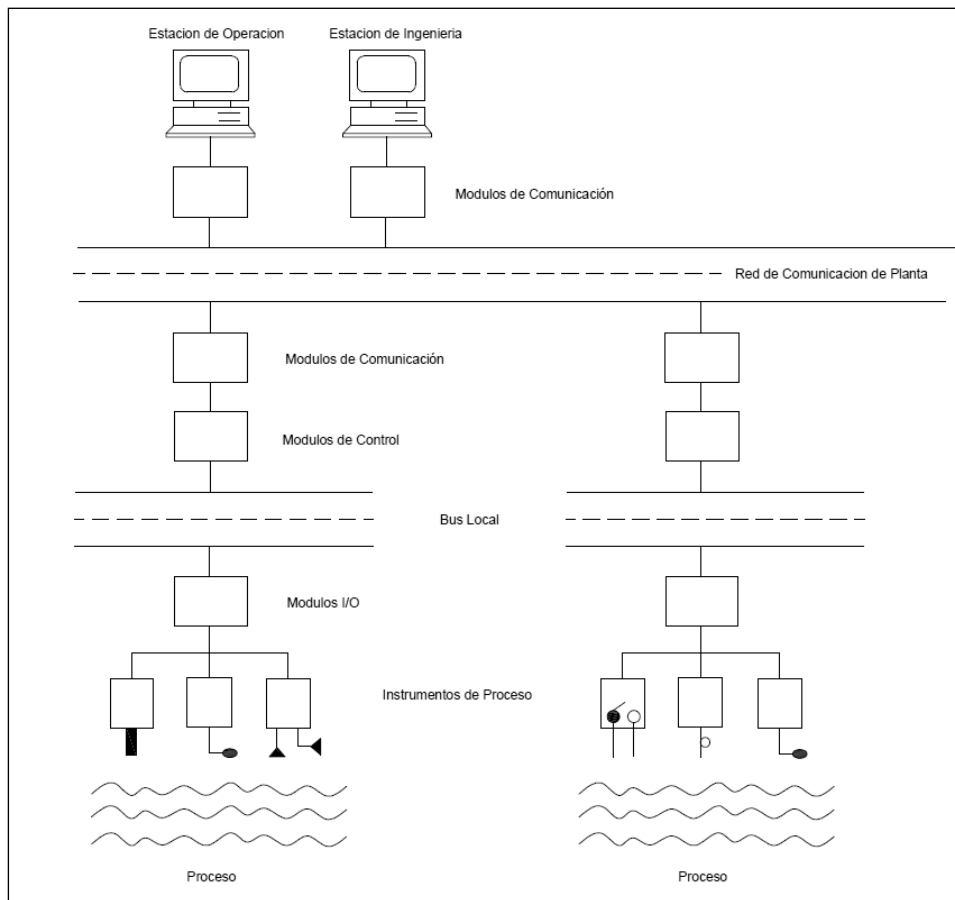
Estos módulos no representan necesariamente un componente físico ya que varios fabricantes combinan 2 o 3 funciones en un solo componente físico.

En adición a los instrumentos de procesos que son comunes a cualquier control de proceso se pueden definir seis módulos funcionales en un DCS que son:

- Módulos de control o procesadores.
- Módulos de entradas o salidas, denominados comúnmente módulos I/O.
- El local I/O bus que comunica los módulos I/O con el modulo de control.
- Estaciones de trabajo o interfaz de usuario.
- El bus de comunicación principal o la red de comunicación de planta en tiempo real.
- Módulos de comunicación.

Cada fabricante tiene su propio enfoque de cómo funcionan estos módulos en los componentes físicos suministrados. En el caso del presente trabajo se tratará de dar un enfoque genérico a la definición y descripción de cada uno de ellos para luego pasar a una descripción específica del tema que es el motivo del presente trabajo.

Figura 1. **Arquitectura genérica de un DCS**



Fuente: BEECROFT, Helen; CAHILL Jim. Fundamentals of Industrial Control. p. 8.

1.3. Hardware de control

El hardware de control de un DCS ha ido evolucionando en la medida que la tecnología de los microprocesadores lo ha hecho, siendo el microprocesador componente esencial del hardware en los sistemas de control actual, en los siguientes párrafos se darán los conceptos de los módulos que componen el hardware de control.

1.3.1. Módulos de control o procesadores

El módulo de control es el cerebro de un sistema de control distribuido. Su función primaria es la de recolectar continuamente información de los módulos de entradas y salidas, a partir de esa información realizar los cálculos y ejecutar la lógica de control necesarios, para producir una señal de salida que mantendrá la variable de proceso en los valores deseados.

En los módulos de control es en donde el DCS realiza la mayoría de las siguientes funciones:

- Caracterización de las señales de entrada y salida
- Filtrado de señal
- Alarmas para entradas y salidas
- Escalado a unidades de ingeniería
- Lógica de control
- Lógica de enclavamiento para seguridad
- Secuencias
- Control por lotes
- Manejo de información para tendencias
- Manejo de información para reportes

Los módulos de control son procesadores integrados en un microcomputador y como tal, tienen sus limitaciones pero las características importantes a tomar en cuenta para el desempeño de un controlador son:

- Memoria disponible para la configuración.
- Tiempo de inactividad disponible (basado en un tiempo de escaneo dado).
- Entradas y salidas o cargas críticas.
- Número de direcciones de software para los bloques de entradas y salidas.
- Número de direcciones de software para los bloques de control.

1.3.2. Módulos de entradas y salidas

Los módulos de entradas y salidas normalmente se abrevian I/O por el original en inglés, proveen la principal interfaz entre el DCS y el proceso que es controlado. Estos convierten la información provista por los instrumentos a una forma digital. También filtran la señal y eliminan rebotes de contactos electromecánicos, en algunos casos pueden tener capacidad para ejecutar alarmas, caracterización de señales y lógica de bajo nivel. Existen cuatro tipos de señales que conectan a los módulos I/O:

- Entradas análogas denominadas AI (por sus siglas en inglés)
- Salidas análogas denominadas de AO (por sus siglas en inglés)
- Entradas digitales denominadas DI (por sus siglas en inglés)
- Salidas digitales denominadas DO (por sus siglas en inglés)

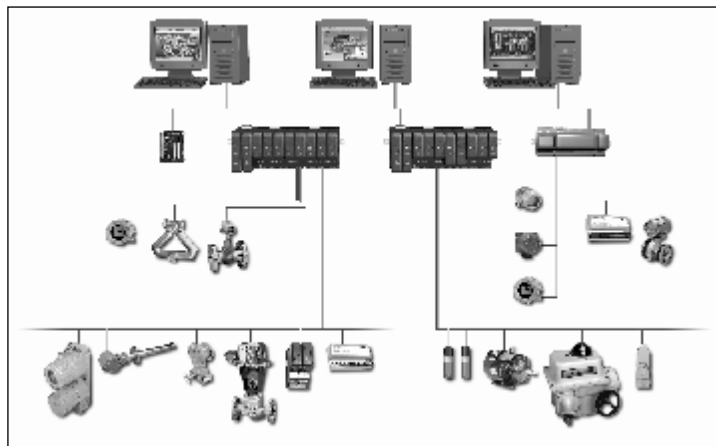
Las entradas análogas varían en los tipos de señal y las señales típicas provenientes de fuentes, tales como transmisores de 4-20 mA, 0-10 VDC, termopares y detectores de temperatura dependientes de resistencia (RTD).

Las salidas análogas son del tipo de señal continua, usualmente son de 4-20 mA, los cuales son conectados típicamente a dispositivos como válvulas, reguladores de tiro (*dampers*) y variadores de frecuencia para motores eléctricos.

Las entradas digitales son típicamente conectadas a dispositivos de 2 posiciones tales como interruptores de límite, relés y contactos de pulsos.

Las salidas digitales son contactos para cierre o apertura que operan dispositivos como válvulas y motores.

Figura 2. **Ejemplo de un DCS**



Fuente: www.emersonprocess.com. Consulta: enero de 2011.

1.3.3. Local I/O bus

El local I/O bus proporciona un puente entre los módulos de entradas o salidas y los módulos de control o procesadores, por definición está limitada en términos de extensión geográfica y la carga de datos. Normalmente opera a una velocidad más lenta que la red principal de datos en toda la planta, aunque las tasas de comunicación pueden ir desde 9 600 a 250 000 incluso hasta 1 millón de bits por segundo.

Los I/O buses pueden conectar cualquier número de módulos I/O con los módulos de control. La forma en que los I/O buses proporcionan las comunicaciones también pueden variar, pueden ser de sondeo o exploración de los módulos I/O por el procesador o ejecutan comunicaciones seriales entre módulos I/O y los módulos de control. El bus I/O también se puede organizar para comunicaciones en serie o paralelo o una combinación de ambos.

Mientras que los I/O buses en la actualidad son rara vez un cuello de botella o una limitación, se convierten en un componente crítico en caso de que fallen. La pérdida de un bus individual puede afectar el control de muchos dispositivos finales.

1.4. Estaciones de trabajo

Las estaciones son los componentes que tienen como propósito albergar el software de control de la mayoría de los DCS que se encuentran en el mercado, a continuación se describen los tipos de estaciones de trabajo a utilizados.

1.4.1. Estaciones de operación

Una estación de operación es en esencia el equipo que sirve de interfaz para el personal que opera un área de la planta con proceso en la misma planta, de acuerdo con los requerimientos actuales de producción.

El criterio primario de las primeras estaciones de trabajo (Workstation como se conoce por su nombre en inglés) fue la aceptación y utilización por parte del operador. El utilizar mímicos de paneles, fácilmente entendibles por los operadores fue la primera aproximación.

Esto se hizo emulando instrumentos convencionales para una interacción similar a la que se haría con los instrumentos reales, siendo las ventajas tanto operacionales como económicas.

Luego se añadieron gráficas de los procesos de modo tal de representar pictóricamente una unidad de proceso o una sección de un área de proceso con información actualizada de este.

El manejo de alarmas es algo que concierne al personal de operaciones, independientemente de la pantalla que se esté observando, los sistemas actuales permiten alertar al operador sobre condiciones límite de muchas variables de los procesos controlados, en variadas formas tanto visuales como audibles.

Figura 3. Estación de operación



Fuente: estación de operación de una planta industrial, cortesía de ESINSA.

El proveer información acerca de las tendencias de las condiciones de los procesos, es un área donde los DCS han sido desarrollados en forma excelente tanto por la presentación misma de estas, como por la capacidad de guardar información de miles de variables, permitiendo analizarlas en cualquier momento para mejorar la estabilidad de los procesos, las operaciones de planta, manejo de inventarios, etcétera.

A medida que las estaciones de trabajo de operaciones o estación de operador evolucionaron, el concepto de estación de trabajo universal empezó a utilizarse. Esta es una consola de operaciones que provee toda la información requerida por los operadores, tanto para la regulación de los procesos como para acceder a información seleccionada en otras operaciones para permitir al operador tomar mejores decisiones tácticas como cuándo arrancar una unidad o ajustar un proceso para compensar algún problema en el mismo.

La aparición de estaciones de operación orientadas a ventanas esencialmente ha permitido a los monitores de las mismas tener pantallas divididas en secciones escalables, actuando cada una de estas secciones como un subsistema de visualización independiente.

Supervisores u operadores pueden así ver información de diferentes programas simplemente teniendo una jerarquía de las diferentes pantallas.

Por ejemplo, un operador podría requerir un gráfico de proceso de una unidad de proceso y verlo en una primera ventana; un análisis estadístico de los últimos lotes hechos en esa unidad dirigidos a una segunda ventana; un reporte de inventario de materia prima disponible en una tercera; la tendencia en tiempo real de variables específicas en una cuarta; la formulación o receta del lote en ejecución en una quinta y el sumario del programa de producción de esa semana en una sexta.

Si se diseñan apropiadamente, varias estaciones en diferentes lugares pueden al mismo tiempo ver la misma información. En efecto, todas ellas pueden ser hechas para tener acceso independiente y total a todas las informaciones y aplicaciones de la red.

1.4.2. Estaciones de ingeniería

La estación de ingeniería es aquella que se especifica para tener las capacidades de desarrollo de las diferentes aplicaciones, implementación de nuevas configuraciones, comunicación entre los diferentes módulos así como la integración de nuevo software o hardware, para la ampliación y modernización del sistema.

Las estaciones de trabajo de ingeniería suelen ser físicamente separados de la ubicación de la interfaz del operador. Esto permite a los ingenieros trabajar de forma independiente antes, durante y después que el DCS está instalado.

Las estaciones de trabajo de ingeniería tienen las mismas especificaciones del mismo hardware que la interfaz del operador, es decir, el monitor, la electrónica, teclados, discos duros y periféricos. La diferencia clave entre la estación de trabajo de ingeniería y la interfaz del operador es el software y el desempeño en capacidad de procesamiento de la estación para ejecutar el software.

Por lo tanto, una estación de trabajo de ingeniería se podría utilizar como una interfaz de operador, si tiene el software de interfaz de operador correcto. La estación de trabajo de ingeniería se suele utilizar fuera de línea. Sin embargo, con el software adecuado se puede utilizar en la línea como una herramienta de diagnóstico.

En general, sin embargo, las funciones de ingeniería y el operador se separan, incluso mediante la colocación de las estaciones de trabajo en distintas ubicaciones físicas.

Esto es para minimizar cualquier posible interferencia de la estación de trabajo de ingeniería en la gestión del día a día de la planta.

1.4.3. Servidores

Los sistemas de los servidores deben equiparse para permitir el acceso simultáneo de múltiples usuarios y la realización de múltiples tareas, en la medida que los clientes soliciten los recursos remotos del servidor. Dichos servidores en general se configuran para ofrecer uno o más servicios de red utilizando la familia de protocolos de Internet, TCP/IP por ejemplo.

Los servidores también se utilizan para autenticar usuarios y brindar acceso a recursos compartidos. La identificación y autorizaciones se efectúan mediante la asignación de un nombre de cuenta y una contraseña a cada cliente. Para lograr mayores velocidades de ejecución, algunos sistemas cuentan con más de una CPU. Dichos sistemas reciben el nombre de sistemas multiprocesador.

Como los servidores funcionan como depósitos centrales de recursos vitales para la operación de los sistemas clientes, deben ser eficientes y robustos.

La redundancia es una característica de los sistemas tolerantes a fallas. Estos sistemas están diseñados para sobrevivir a las fallas y es posible repararlos sin interrupciones, mientras los sistemas se encuentren activos y en funcionamiento.

Por su aplicación y funciones de los servidores, se puede mencionar los servidores de datos, servidores de históricos y de alarmas.

1.5. Comunicación

La comunicación de los sistemas de control también ha evolucionado con los cambios en la tecnología, esta evolución provee diferentes soluciones que cada fabricante ofrece, se describirá de manera genérica lo que respecta a la comunicación en los siguientes párrafos.

1.5.1. Módulos de comunicación

Los módulos de comunicación son también procesadores, pero a diferencia de los procesadores de control no ejecutan estrategias de control y se encargan de administrar el flujo de información entre la red principal de datos de tiempo real, a los módulos de control y estaciones de trabajo, sirven de enlace hacia los servidores, inclusive a través de estos módulos se puede establecer comunicación con controladores de terceros y otras redes de información o administrativas.

Siempre hay un límite físico a la cantidad de datos que pueden manejar los módulos de comunicación. Este límite significa que los módulos de comunicación pueden a veces ser la fuente de un cuello de botella, sobre todo cuando son interfaz con numerosas aplicaciones de terceros o hacer frente a la creciente demanda de datos de los controladores. La especificación de comunicación redundante es casi siempre una buena idea para solventar estas limitaciones.

Si los problemas se producen, los operadores deben comprobar la tasa de comunicación y capacidad de memoria.

El rendimiento mejora si se disminuye el número de módulos de comunicación o bien se disminuye el número de dispositivos atendidos por un solo módulo. Una vez más, siempre debe haber espacio para la expansión. Los módulos de comunicación son fundamentales para el buen funcionamiento de un DCS sin ellos, el operador puede estar ciego al proceso.

La red principal de datos en tiempo real se puede considerar la columna vertebral de un sistema de control distribuido, es un componente activo por donde pasan los mensajes del sistema y los datos o archivos se transfieren, todo en tiempo real, varias veces cada segundo, actualiza las consolas, puertos de enlace y otros módulos conectados en todo el sistema.

Es probablemente una de las partes más críticas de un DCS, ya que es común a todos los componentes de toda la planta. Si la red de comunicación falla, los operadores están aislados del proceso, el enlace de comunicaciones se pierde y el control del proceso se ve afectado.

La red principal de datos es el componente que un DCS casi siempre deben tener redundancia. En este caso, redundancia no significa que una red es activa y la otra está en espera activa. Redundante significa que ambas vías están activas, lo que permite una transferencia sin perturbaciones entre las vías sin necesidad de intervención humana. Si los controladores de tráfico son parte de una red de datos, también estos deberían ser redundantes.

Los siguientes son los principales problemas que deben abordarse en la evaluación de la red principal de datos en un DCS:

- Sincronizado *versus* no sincronizado
- Determinista *versus* no determinista

- De paso de testigo contra el informe por excepción
- La variación en los tipos de protocolos (la mayoría son propietarios)
- Comunicaciones basadas en la detección de colisión o punto a punto
- Velocidad de transmisión de datos
- Distancia máxima de transmisión

La evaluación de la seguridad y la fiabilidad de una vía principal de datos no son fáciles porque muchos factores están involucrados. Y lo más importante la velocidad no lo es todo. Otros factores clave son el acceso del módulo hacia la red, el almacenamiento en búfer de mensajes, la prioridad y la eficiencia. Por ejemplo, las redes que se basan en la detección de colisiones y el informe por excepción pueden perder el 70 al 80 por ciento de su capacidad nominal cuando aumenta la carga de mensajes como consecuencia del aumento de alarmas y eventos anormales en las condiciones del proceso.

Lamentablemente, es en tales condiciones que es más importante para la red de datos su manejo de manera eficiente. En general, se debe evaluar una red de la información basada en el peor de los casos. Hay que tener en cuenta:

- El número de bloques (de entradas o salidas y lazos de control) que están conectados a la red de comunicación.
- La cantidad de tendencias y la presentación de la información que se está transfiriendo.
- El volumen de comunicaciones por enlace.
- El número de puntos de alarma.

1.5.2. Protocolos de comunicación

Un avance significativo en la utilización de la tecnología disponible por medio de la electrónica en los elementos de campo, los constituyen los buses de campo.

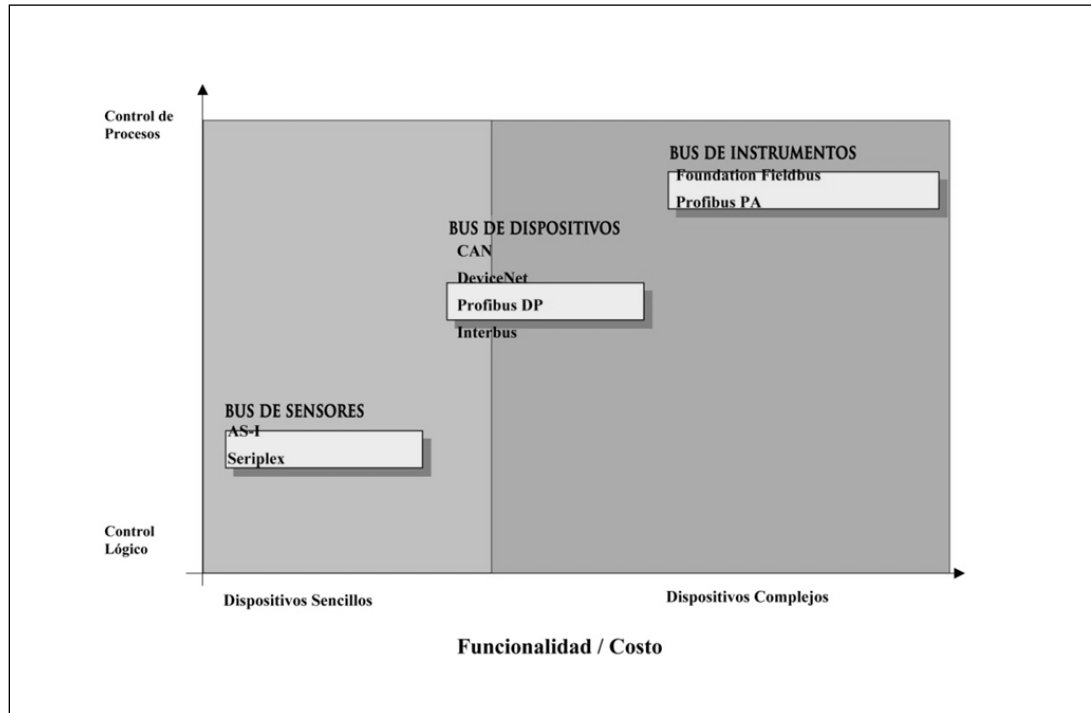
Los buses de campo establecen la comunicación, de acuerdo con los diferentes protocolos desarrollados de manera propietaria por los fabricantes o en los casos de mayor difusión por organizaciones, que buscan unificar las comunicaciones para facilitar el intercambio de información entre las diferentes áreas que pueden tener controladores de varios fabricantes.

Mientras la tecnología convencional utiliza un par de conductores por cada entrada o salida al sistema, sea esta analógica o discreta y sólo brinda información de la variable medida o variable primaria, los buses de campo van más lejos.

Usualmente, permiten la interconexión de varios elementos inteligentes sobre el mismo bus en distintas topologías y brindan información adicional a la medición de la variable primaria.

Se han desarrollado diferentes buses de campo y los más importantes son los que se muestran en la figura 4.

Figura 4. Buses de campo



Fuente: elaboración propia.

Para el caso de la red principal de datos uno de los protocolos más utilizados es el TCP/IP, utilizando una red de Ethernet industrial para establecer la comunicación.

El Protocolo de Control de Transmisión/Protocolo Internet (TCP/IP) es un conjunto de protocolos aceptados por la industria que permiten la comunicación en un entorno heterogéneo (formado por elementos diferentes). Además, TCP/IP proporciona un protocolo de red escalable y permite acceder a Internet y a sus recursos.

Debido a su popularidad, TCP/IP se ha convertido en el estándar de hecho en lo que se conoce como interconexión de redes, la intercomunicación en una red que está formada por redes más pequeñas.

TCP/IP se ha convertido en el protocolo estándar para la interoperabilidad entre distintos tipos de equipos. La interoperabilidad es la principal ventaja de TCP/IP. La mayoría de las redes permiten TCP/IP como protocolo. TCP/IP también permite el encaminamiento y se suele utilizar como un protocolo de interconexión de redes.

1.6. Software

Todos los sistemas de cómputo necesitan de software (programación) para ejecutar las tareas para las que les hayan sido asignados. Un DCS como se ha mencionado está basado en buena parte en un sistema de cómputo que debe ser programado con información de proceso, algoritmos de control y las instrucciones de interface con el operador para operar adecuadamente.

Algunas funciones de control vienen programadas de fábrica, sin embargo, una buena parte debe ser programada por el desarrollador o el ingeniero de control. Los sistemas de control vienen preparados para ser escritos con datos adquiridos del proceso, control de proceso, alarmas y pantallas de operación.

El software de control puede ser clasificado como: Sistema Operativo, software de desarrollo y aplicativo de operación, aunque muchas veces los fabricantes no los definan necesariamente de esa manera en el presente documento se hace referencia a estos términos.

El Sistema Operativo es la plataforma donde están instalados los demás software y es la base para que todo lo demás pueda funcionar y comunicarse adecuadamente.

El software de desarrollo es el que sirve para convertir un lenguaje de cómputo de alto nivel que es el que se utiliza para configurar la estrategia de control, es decir, los algoritmos de control a un lenguaje que los controladores entiendan. También puede conocerse como el software de ingeniería ya que es aquí donde se realiza la configuración tanto de hardware de control y de comunicaciones como la configuración de control.

Y el aplicativo de operación es el que se utiliza para ejecutar las funciones de interfaz del operador hacia el sistema de control, se conoce como el HMI por sus siglas en inglés Interfaz Hombre Máquina.

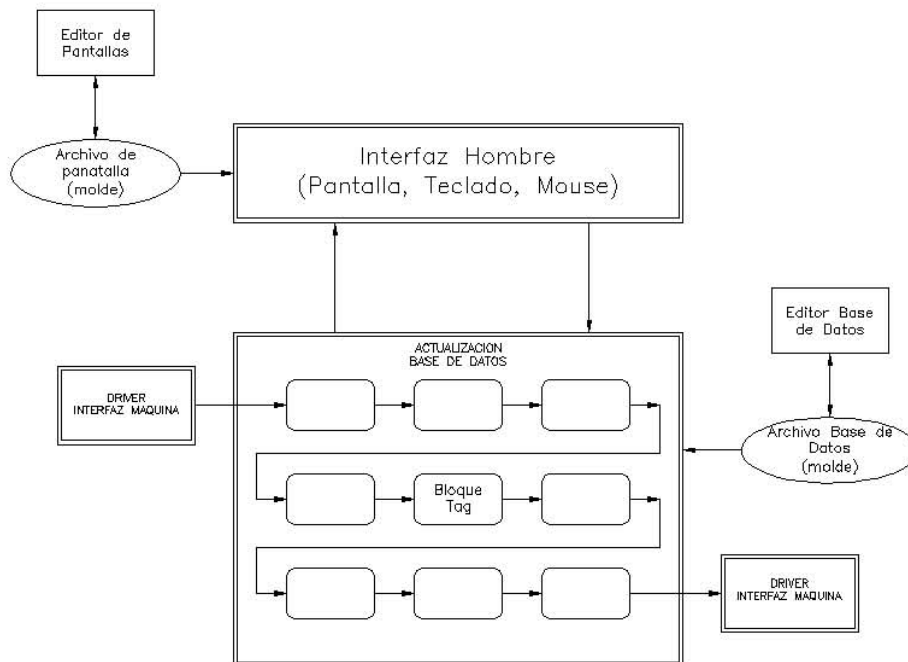
El HMI es en donde se monitorean y supervisan las variables de proceso, se gestionan las alarmas, históricos y las tendencias. En el caso de los sistemas de control distribuido está integrado en un paquete que puede ser del mismo fabricante que los demás componentes del DCS o de un fabricante diferente. Por lo general, viene integrado en una sola suite de software donde tanto el software de desarrollo o de ingeniería y el HMI comparten una misma base de datos.

Las ventajas de tener un solo paquete de HMI son las siguientes:

- Incorporan protocolos de comunicación para comunicarse con los dispositivos de campo más conocidos.
- Tienen herramientas para crear base de datos dinámicas.
- Permiten crear y animar pantallas en forma sencilla.

- Incluyen gran cantidad de librería de objetos para representar dispositivos de uso en la industria como: tanques, motores, indicadores, interruptores, etcétera.

Figura 5. Estructura general del software HMI



Fuente: www.iaci.unq.edu.ar. Consulta: febrero de 2011.

Los software de operación o HMI están compuestos por un conjunto de programas y archivos. Hay programas para diseño y configuración del sistema y otros que son el motor mismo del sistema. En la figura 5 se muestra cómo funcionan algunos programas y archivos más importantes.

Los rectángulos de la figura representan programas y las elipses representan archivos. Los programas que están con recuadro simple representan programas de diseño o de configuración del sistema; los que tienen doble recuadro representan programas que son el motor del HMI que comúnmente se conoce como el software de runtime.

Con los programas de diseño como el editor de pantallas se crean moldes de pantallas para visualización de datos del proceso. Estos moldes son guardados en archivos en la figura se representan como archivo de pantalla y almacenan la forma como serán visualizados los datos en las pantallas.

La interfaz hombre es un programa que se encarga de refrescar las variables de la base de datos en la pantalla y actualizarla si corresponde, por entradas del teclado o el *mouse*. Este programa realiza la interfaz entre la base de datos y el hombre. El diseño de esta interfaz está establecido en el archivo molde o archivo de pantalla que debe estar previamente creado.

La base de datos es un lugar de la memoria de la estación de trabajo donde se almacenan los datos requeridos del proceso. Estos datos varían en el tiempo según cambien los datos del proceso, por esta razón, se denomina base de datos dinámica. La base de datos está formada por bloques que pueden estar interconectados. La creación de la base de datos, sus bloques y la relación entre ellos se realiza a través del editor de base de datos.

La conexión entre los bloques de la base de datos y las señales del proceso se realiza por medio de *drivers* o interfaces. Estos *drivers* manejan los protocolos de comunicación entre el HMI y los distintos dispositivos de campo. Los *drivers* son entonces la interfaz hacia la máquina.

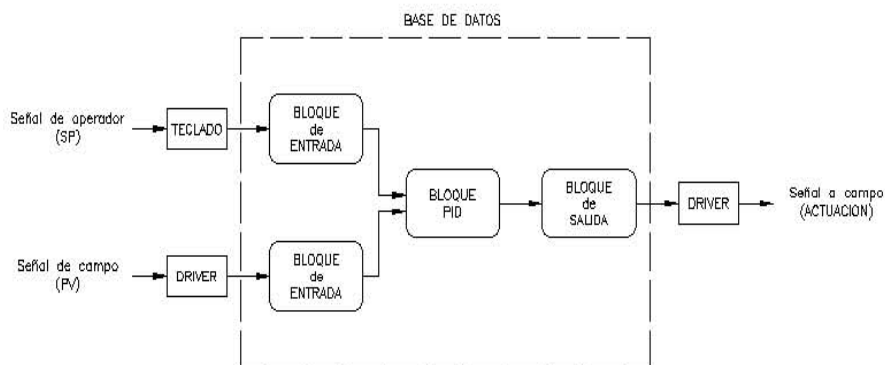
Los bloques también conocidos como *tags*, constituyen las variables de proceso internas del HMI, como se mencionó componen lo que es la base de datos.

Para agregar o modificar las características de cada bloque se utiliza el editor de base de datos. Los bloques pueden recibir información de la interfaz o de otros bloques y enviar información hacia la interfaz u otros bloques como puede verse en la figura 6.

Las funciones principales de los *tags* o bloques son:

- Recibir datos de otros bloques o *drivers*
- Enviar datos a otros bloques o *drivers*
- Establecer enlaces a la interfaz hombre (pantalla, teclado o *mouse*)
- Realizar cálculos de acuerdo con instrucciones del bloque
- Comparar los valores con umbrales de alarmas
- Escalar los datos del driver a unidades de ingeniería

Figura 6. **Estructura de un bloque para procesar una señal**



Fuente: www.iaci.unq.edu.ar. Consulta: febrero de 2011.

2. APACS+ VERSUS SIMATIC PCS7

2.1. Sistema APACS+

El sistema de control distribuido APACS+ denominado Advanced Process Automation Controller System, por sus siglas en inglés que traducido al español significa Sistema de Automatización Avanzado para el Control de Procesos del fabricante norteamericano Moore Products introducido al mercado en los 90 y que a principios del 2000 fue adquirido por el fabricante alemán SIEMENS, es un sistema muy robusto y estable en términos de control, en los siguientes párrafos se definirá lo que concierne a cada uno de los componentes principales.

2.1.1. Hardware de control

Como parte del hardware de control se tiene la fuente de poder que se encarga de alimentar al procesador, a los módulos de entradas y salidas, módulos de comunicación y módulos especiales con 24 voltios corriente directa, a través del bastidor de montaje denominado MODULRAC.

También se tiene el módulo de control del sistema APACS lo compone básicamente el procesador denominado ACM (Advanced Control Module por sus siglas en inglés) que puede interpretarse como módulo de control avanzado cuya capacidad de memoria puede ser desde 2,4 hasta 8 MB pudiendo ser o no redundante.

El módulo ACM ejecuta la configuración de control creada por el usuario, configuración que puede ser definida en una mezcla de 4 lenguajes de programación como el diagrama de bloques de función, lógica de escalera, cartas funcionales de secuencia y texto estructurado de la Norma IEC 61131-3.

Los módulos de entradas y salidas son los que actúan como interface entre las señales de campo y los módulos de control, convierten las señales de campo a datos y se conectan al controlador a través del IOBUS, un bus de comunicación propio del sistema APACS+, dedicado a la comunicación entre los módulos de control, con los módulos de entradas y salidas siendo este bus del tipo redundante, la forma de acceso es del tipo maestro-esclavo.

Entre los módulos de entradas y salidas de más uso en las aplicaciones de control de proceso de APACS+, se tienen los que se describen en el siguiente párrafo.

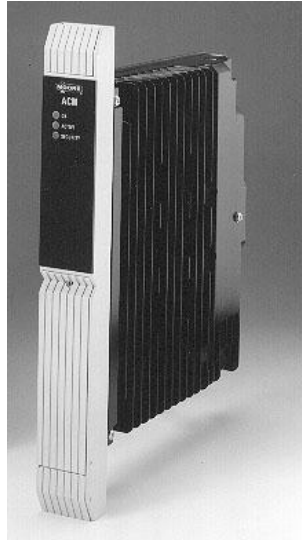
El SAM que es el módulo estándar de entradas y salidas análogas (siglas en inglés de Standard Analog Module), el SDM es un módulo configurable estándar de entradas y salidas discretas (siglas en inglés de Standard Digital Module), el VIM módulo de entradas por voltaje (siglas en inglés de Voltage Input Module) y el RTM módulo de entradas para elementos de temperatura dependientes de resistencia o RTD (siglas en inglés de Resistance Temperature Module).

El módulo de comunicación realiza las funciones de comunicación local y provee una interface a los módulos de cómputo instalado en otros, en dispositivos de cómputo o redes de computadoras a través de un bus de mayor velocidad y más determinista, en el caso de APACS se denomina MODULBUS, este bus puede conectarse a una estación a través de una tarjeta que se instala en las ranuras de expansión de la estación de trabajo.

El MODULBUS puede también ser expandido a una red más grande que puede cubrir toda una planta a un bus denominado MODULNET para esto se requieren también de tarjetas que se integran a las estaciones de trabajo y se denomina el MODULBUS Expander Module (MBX) y de requerirse una comunicación vía Ethernet se puede recurrir al uso de un módulo de interfaz de red que es el Network Interface Module (NIM).

También se disponen de módulos de comunicación especiales como el utilizado para establecer comunicación en PROFIBUS, bus de comunicación desarrollado por SIEMENS, este módulo se denomina PROFIBUS Fieldbus Module (PFM por sus siglas en inglés).

Figura 7. **ACM de APACS+**



Fuente: Moore Products. Manual en CD APACS+ QUADLOG.

2.1.2. Software

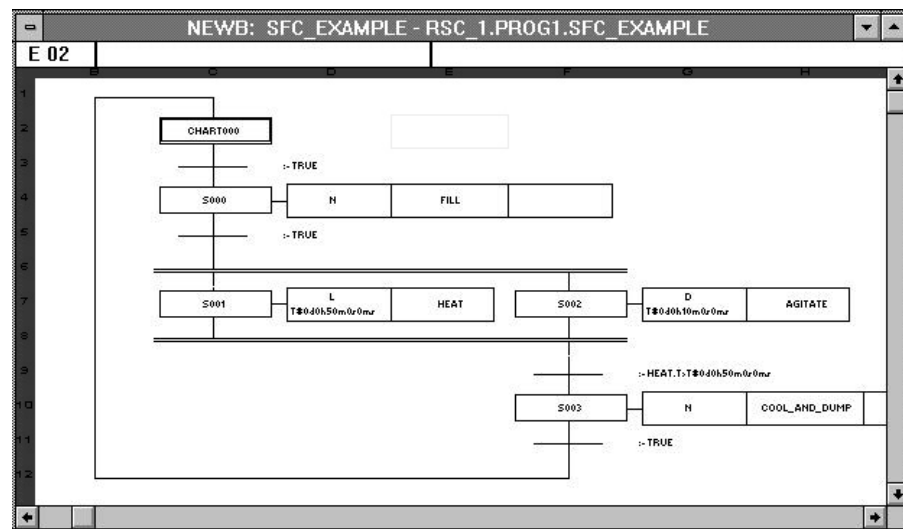
El software de APACS+ viene integrado en un paquete que se conoce como ProcessSuite, el software de desarrollo es el 4-mation creada por Moore Products, es un software gráfico basado en Windows NT y es el que se utiliza para la configuración de control de APACS+.

Las configuraciones son creadas usando elementos de cuatro lenguajes de programación como: bloques de función, lógica de escalera, cartas funcionales de secuencia y texto estructurado, de la Norma IEC 61131-3.

Para la configuración del control se debe instalar el APACS 4-mation y las herramientas de manejo de datos APACS+ I/O Server que es el software de APACS que provee la comunicación entre el controlador y el HMI.

También se tiene instalado el Database Automation Utility que es el programa encargado de generar la base de datos de *tags* o variables del HMI, en el nodo que es el servidor de datos.

Figura 8. **Software de desarrollo 4-mation**



Fuente: Moore Products. Manual en CD APACS+ QUADLOG.

El aplicativo de operación de APACS se denomina ProcessSuite Vision y es un software que se utiliza para establecer la interfaz entre la configuración de control y el operador. De esa forma el operador o usuario puede manipular las variables en el sistema, así como, obtener información del proceso, alarmas e históricos para determinar las acciones a seguir por el personal de planta.

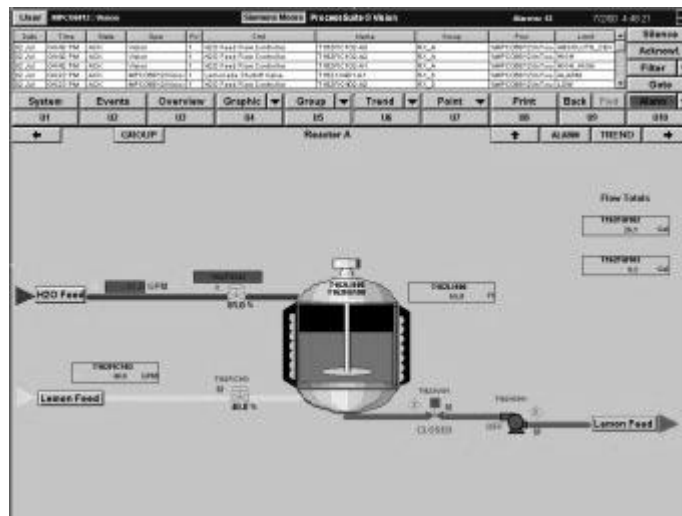
Sin embargo, el aplicativo de operación que también sirve para el desarrollo de los gráficos a través del componente de software ProcessSuite Vision, no fue desarrollado por Moore Products sino más bien es un software con tecnología Intouch del fabricante Wonderware ahora de Invensys.

Invensys es un fabricante norteamericano desarrollador del software del HMI, pero en un acuerdo entre fabricantes se integra en paquete del software ProcessSuite.

Además, también los programas para el manejo de la base de datos de *tags* para la estructura para el manejo de las alarmas, bloques de HMI y la creación de pantallas como el WindowMaker, también se tienen los programas de configuración de todos los *tags* en el módulo de control a los cuales se conectará el HMI conocido como el Tagserver.

Para la visualización y la supervisión se utiliza el componente runtime de de ProcessSuite Vision denominado WindowViewer.

Figura 9. **Software de operación y supervisión ProcessSuite Vision**



Fuente: Moore Products. Manual en CD APACS+ QUADLOG.

2.1.3. Sistema Operativo

La plataforma de cómputo en que se basan los diferentes aplicativos del sistema APACS+ es el de Windows NT del fabricante Microsoft, plataforma que entró en obsolescencia a partir del 2004 y ha sido reemplazada por nuevos Sistemas Operativos dando como resultado que al día de hoy las plataformas aceptadas para soportar diferentes software para sistemas de control son las de Windows XP, Vista y el de Windows 7 del mismo fabricante.

2.2. Sistema SIMATIC PCS7

El sistema de control distribuido SIMATIC PCS7 denominado Process Controller System, desarrollado por el fabricante alemán SIEMENS. Es un sistema de automatización tipo DCS cuyas características principales se definirán en los siguientes párrafos.

2.2.1. Hardware de control

El sistema de control distribuido SIMATIC PCS7 usa los módulos de control que son de la familia de procesadores S7-400, debido a su modularidad, su alta capacidad de expansión, extensivas opciones de comunicación, construcción sencilla o redundante, sus funciones integradas de seguridad con capacidad para conectarse a entradas y salidas centralizadas o distribuidas.

Los módulos de control del sistema pueden usar procesadores con capacidad de memoria desde 2 MB hasta 16 MB, con su respectiva fuente de alimentación que puede ser en 24 VDC o 110-240 VAC montado en un bastidor del mismo fabricante, la conexión de bus de campo PROFIBUS DP viene integrado con el procesador.

Las conexiones para Ethernet de tipo industrial pueden venir integradas con el procesador de otra manera en el módulo de comunicación respectivo.

Los módulos de entradas y salidas pueden ser centralizados o distribuidos, el modo centralizado se emplea predominantemente en aplicaciones pequeñas y en instalaciones con una reducida extensión distribuida, en el caso del modo distribuido puede realizarse con las diferentes opciones de periferia descentralizada que ofrece el fabricante, como es el caso de las estaciones de entradas y salidas remotas de la familia de dispositivos de periferia distribuida denominada ET200 por el fabricante.

Los módulos de comunicación que pueden ser integrados al sistema PCS7, permiten tener opción de comunicación hacia la periferia distribuida a través de PROFIBUS bus de campo nativo de SIEMENS.

Las comunicaciones entre procesadores hacia las estaciones de ingeniería, servidores y estaciones individuales, pueden realizarse a través de Ethernet Industrial, ya sea con protocolo propietario de SIEMENS como lo es el Profinet o uno abierto como el TCP/IP, esta red de datos el fabricante lo denomina como el Bus de Planta.

La red de datos entre una estación cliente y el servidor o entre servidores se denomina Bus de Terminales y estas comunicaciones se efectúan a través de una red de área local (LAN) de Ethernet dedicada para el manejo de información de alto volumen.

Figura 10. **Hardware PCS7**



Fuente: www.industry.usa.siemens.com. Consulta: abril de 2011.

2.2.2. Software

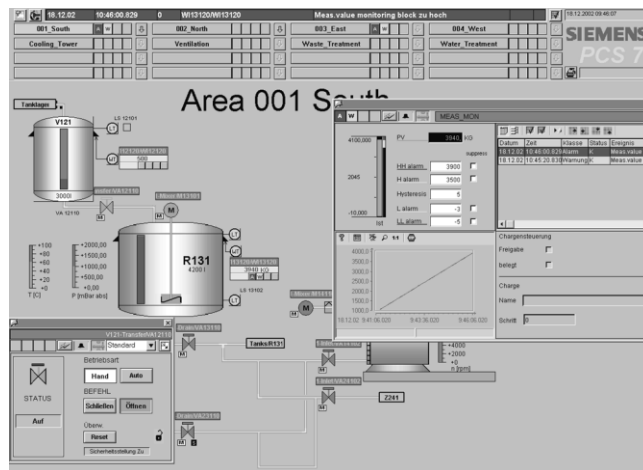
El software de desarrollo en el caso de PCS7 al igual que el sistema APACS+ viene integrado en un paquete que incluye el software de ingeniería que el caso de SIEMENS para el desarrollo y la operación viene integrado, en lo que es el SIMATIC MANAGER, que también puede integrar el software de comunicación y otros aplicativos.

El aplicativo de desarrollo de PCS7 que contiene tanto el software de configuración de los algoritmos de control, el configurador de hardware, que en el caso de PCS7 se denomina STEP 7, se instala en la estación de desarrollo denominado por el fabricante como ES (por sus siglas en inglés Engineering Station).

Es software de configuración, manejo y diseño de los sinópticos de proceso, el cual se denomina WinCC instalado tanto en la ES y en lo que se conoce como OS (por sus siglas en inglés Operator Station) Estos aplicativos al estar sobre la misma plataforma comparten la misma base de datos.

El software de operación basado en WinCC ofrece la herramienta que sirve de diálogo entre el operador y el sistema de control, así como, los mensajes de alarma para su respectivo manejo para su posterior bloqueo o habilitación.

Figura 11. **Software de operación PCS7**



Fuente: www.industry.usa.siemens.com. Consulta: abril de 2011.

En el caso de otros aplicativos específicos se puede mencionar el manejo de históricos, tendencias, el manejo de activos y el manejo de información hacia un sistema de información corporativo estos se instalan en los servidores específicos para la aplicación requerida.

2.2.3. Sistema Operativo

La plataforma de cómputo en la que se basa el sistema PCS7 es la de Windows XP Profesional, plataforma desarrollada por el fabricante Microsoft con capacidades para estaciones de trabajo, fue lanzada al mercado en el 2001 y sigue siendo soportada por el fabricante hasta el 2014 para el paquete de servicio número 3 (*Service Pack*).

Para el manejo de la base de datos el sistema también requiere de la plataforma Windows Server 2003.

3. MIGRACIÓN DEL SISTEMA Y DISEÑO DE LA ARQUITECTURA DE CONTROL

3.1. Escenario actual del sistema de control

El sistema de control distribuido APACS+ actualmente instalado, controla la fábrica del ingenio y está constituido por dos procesadores con módulos de entradas y salidas para manejar hasta 500 variables.

Existen dos estaciones de operación tipo cliente y una estación de ingeniería para el desarrollo además de un servidor de datos.

El Sistema Operativo actual es “Windows NT con Service Pack 6 la última versión estable que se tiene para este sistema de control”¹.

El panorama actual es que las estaciones de trabajo usan aplicativos de control y operación ProcessSuite versión 3.01 y están sujetos al desempeño que puede ofrecer tanto el hardware de informática como la plataforma del Sistema Operativo y debido a que el sistema necesita integrar nuevos equipos, ampliar el sistema de control o actualizar los componentes del mismo, para ser integrados para luego establecer la comunicación, estos equipos necesitan controladores que sólo son soportados por los Sistemas Operativos vigentes.

¹ <http://support.microsoft.com/kb/246009>. Consulta: enero de 2011.

En algunos casos aunque hay parches para integrarlos al sistema estos no cubren todas las necesidades. Además, el Sistema Operativo ya está obsoleto y no tiene el soporte de fabricante.

Por lo que se hace necesario el desarrollar una solución técnica y económicamente viable para modernizar el sistema de control para cubrir las necesidades actuales y soportar el futuro crecimiento de la planta.

3.2. Hardware y software de control APACS+ actual

El sistema de control distribuido APACS+ actualmente instalado en el ingenio, controla el área de la fábrica del ingenio y está constituido por dos bastidores tipo MODULRAC, el primero con procesadores ACM de 8 MB redundantes y el segundo con un procesador de 4 MB, los módulos de entradas y salidas disponibles son: 4 módulos SAM, 2 módulos RTM, 7 módulos SDM y un módulo VIM, montados en 2 bastidores o *racks* que en conjunto pueden manejar hasta 500 variables.

Existen dos estaciones de operación tipo cliente y un servidor de *tags* o bloques con las siguientes características: procesador Pentium III 933 MHz, 15 GB de memoria en disco duro, con dos particiones, una partición C de 2 GB tipo FAT en donde se instala el Sistema Operativo y otra partición D de 11.1 GB tipo NTFS, tarjeta de Ethernet 10/100 MB una integrada y la otra tipo PCI, una tarjeta de video de 16 MB AGP, 128 MB de memoria RAM, una unidad lectora de discos tipo CD-ROM 48x, 2 cables de Ethernet tipo trenzados de 25 pies de largo y 3 ranuras de expansión tipo PCI.

Además, se tiene un servidor para desarrollo o nodo de ingeniería con las siguientes características: procesador Pentium III 933 MHz, 15 Gb de memoria en disco duro, con dos particiones, una partición C de 2 GB tipo FAT en donde se instala el Sistema Operativo y otra partición D de 11.1 GB tipo NTFS, tarjeta de Ethernet 10/100 MB una integrada y la otra tipo PCI, tarjeta de modem de 56,6K, una tarjeta de video de 16 MB AGP, 256 MB de memoria RAM tipo DIMM, una unidad de lectura y escritura de discos tipo CD-ROM 8x/4x/32x, 2 cables de Ethernet tipo trenzados de 25 pies de largo y 3 ranuras de expansión tipo PCI.

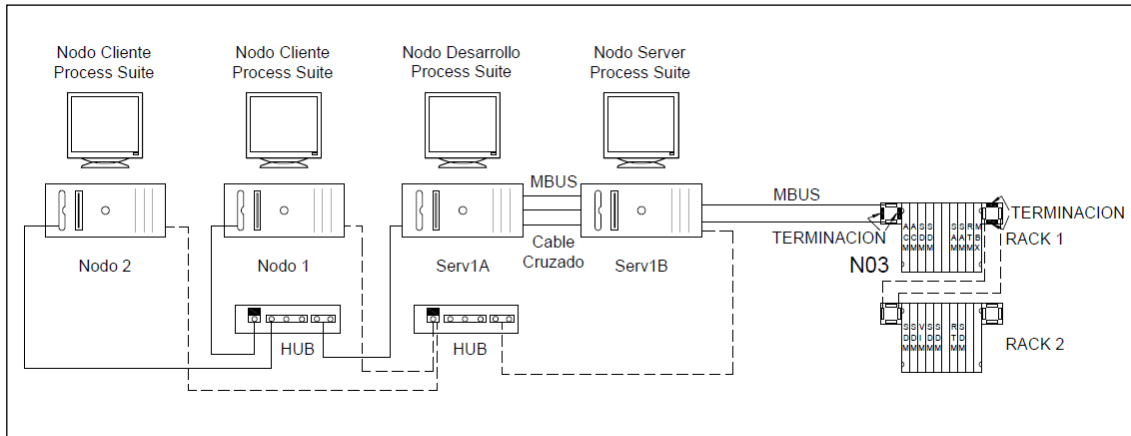
El Sistema Operativo para la estación de desarrollo y el servidor de *tags* se necesita de Windows NT Server como las plataformas donde se instalan cada uno de los aplicativos tanto de control como de operación.

El software instalado en la estación de desarrollo para el propósito tanto de configuración, diseño del HMI, creación y edición de la base de datos así como, la configuración de los algoritmos de control es el siguiente: Microsoft Office 2000, ProcessSuite versión 3.01 con sus respectivos componentes para el manejo de la pantallas, alarmas y base de datos, como lo es el Tagserver, el APACS I/O server y el Database Automation Utility.

El servidor de *tags* o APACS I/O server sirve como el lugar de almacenamiento y respaldo de la base de datos para los históricos tanto de alarmas como de eventos, por lo que, en este nodo se tienen instalados los componentes de servidor de *tags*, así como, la suite para el manejo y almacenamiento de históricos.

En la siguiente figura se puede observar un esquema de la arquitectura del sistema de control actual.

Figura 12. **Arquitectura de sistema de control actual**



Fuente: elaboración propia.

3.3. HMI existente

Para la estación de operación o cliente, el Sistema Operativo actual es Windows NT con *Service Pack 6 Workstation* para los clientes o estaciones de operación y para el servidor de *tags*, se necesita de Windows NT Server como la plataforma donde se instalan cada uno de los aplicativos, tanto de manejo de base de datos como de operación.

El software instalado en la estación de operación es el siguiente: Microsoft Office 2000, ProcessSuite Vision versión 3,01 con los componentes de Client Framework y sus herramientas para la gestión de alarmas desde y hacia los nodos de desarrollo, así también, el servidor de *tags*.

Para la visualización y la supervisión utiliza el componente *runtime* de ProcessSuite WindowViewer.

Ya que la estación de desarrollo también puede funcionar como estación de operación, tiene instalado el software con el que realiza la tarea de una estación de operación en caso de ser necesario.

3.4. Ingeniería conceptual para la nueva arquitectura y futuros crecimientos

En el siguiente apartado se desarrolla la ingeniería conceptual para la migración del sistema de control que se propone en el presente trabajo de graduación.

3.4.1. Estrategias de migración

La globalización y la competencia cada vez mayores obligan a las empresas a incrementar continuamente su productividad y acortar el tiempo necesario para lanzar sus productos al mercado. Para ello, es necesario optimizar la ingeniería y los procesos de manera continua, al mismo tiempo considerar las exigencias de la industria y las normas regulatorias.

Con el avance de la tecnología en las áreas de control de procesos, la informática, las comunicaciones y el crecimiento de la necesidad de las mismas por parte de los usuarios, provocan la necesidad de un manejo adecuado del ciclo de vida de un sistema de control.

Para que las empresas puedan seguir satisfaciendo el día de mañana las exigencias de los mercados, es necesario modernizar y ampliar ahora muchos sistemas y plantas. Teniendo en cuenta que la base instalada de hardware, aplicaciones de software y conocimientos especializados del personal operador y de mantenimiento acumulan un valor enorme.

La experiencia demuestra que para lograr el éxito en una migración es decisivo el encontrar una solución técnica adaptada perfectamente a cada planta y a las exigencias de cada proceso.

Aquí minimizar los riesgos técnicos y financieros asegurando las inversiones ya realizadas en un plazo lo más largo posible, son las consignas de la migración.

Además, hay que considerar los distintos ciclos de “vida de los componentes del sistema que en la actualidad varían desde 5 años para una estación de trabajo basada en una computadora personal, pasando por 15 años para controladores, hasta 25 años o más para los componentes I/O y el cableado de campo”².

Los escenarios de migración son muy variados, dependiendo de los factores técnicos y económicos específicos aplicables a cada proyecto de migración. Los productos de migración de cada fabricante pueden ofrecer la modularidad y flexibilidad necesarias para implementar dichos escenarios.

Varios escenarios de migración típicos pueden realizarse con estas soluciones, sin embargo, en la propuesta que motiva el presente trabajo de graduación se describe el escenario actual para luego enunciar la solución de migración.

²www.industry.usa.siemens.com/topics/us/en/apacs2020/Pages/apacs-home.aspx. ARC White Paper “Siemens Process Automation System –Migration and Modernization Strategies”. PDF. Consulta: mayo de 2011.

En el entorno actual como se ha mencionado se considera el reemplazar la estación de operación o HMI obsoleta, como parte de una estrategia de migración.

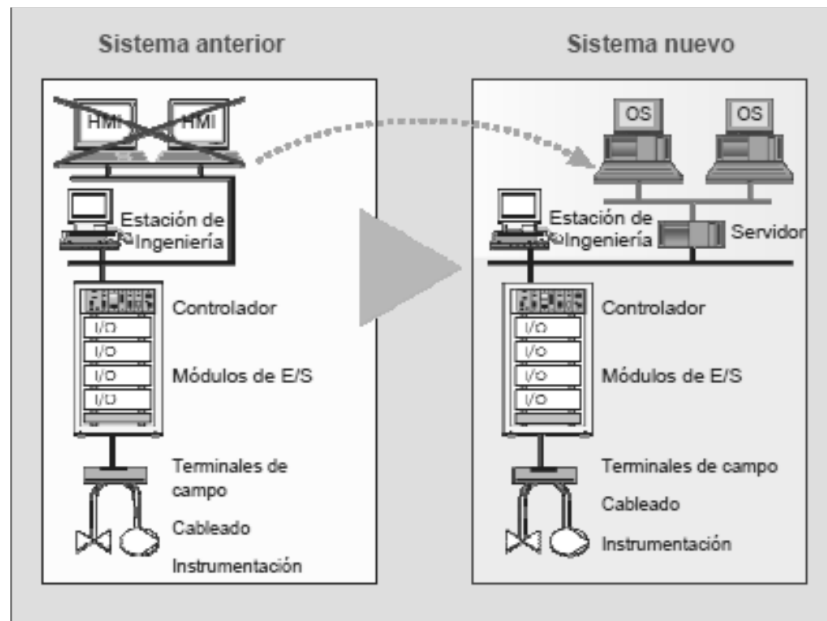
Debido a los rápidos cambios en la tecnología de la informática, el panel de operador del actual sistema es técnicamente obsoleto e incluso las piezas de reemplazo son prohibitivamente caras y llegar al punto donde incluso puedan ser comercialmente fuera del mercado.

Los cambiantes requerimientos en las plantas sobre todo la integración de la red de control con la red corporativa, seguridad de red mejorada u otras ampliaciones funcionales, también requieren una actualización de las estaciones de operación.

En este caso la estación obsoleta simplemente puede ser reemplazada por una nueva protegiendo así, las inversiones realizadas en los controladores, módulos de entradas o salidas y software de aplicación.

En la figura 13 se presenta la estrategia de migración para el caso de reemplazo de la estación de operación o HMI.

Figura 13. **Sustitución del HMI**



Fuente: www.industry.usa.siemens.com. Consulta: abril de 2011.

Esto puede realizarse según las consideraciones descritas anteriormente ya que se considera que en esta estrategia es posible al conectar la base de datos de la configuración actual desde el controlador con el nuevo HMI.

En el caso de la solución propuesta, se realiza a través de una herramienta que el fabricante denomina PCS 7/APACS+ OS DBA (por sus siglas en inglés Data Base Automation de PCS7), la herramienta Data Base Automation (DBA) sirve para generar y enlazar la base de datos para la estación de operación estándar de PCS 7.

Este componente genera la base de datos para la OS automáticamente de los datos de los controladores APACS+/QUADLOG, con la jerarquía de imágenes, las variables necesarias, los mensajes de alarma y las prioridades de alarmas, así como, las carátulas o *faceplates* y símbolos de los bloques gráficos específicos.

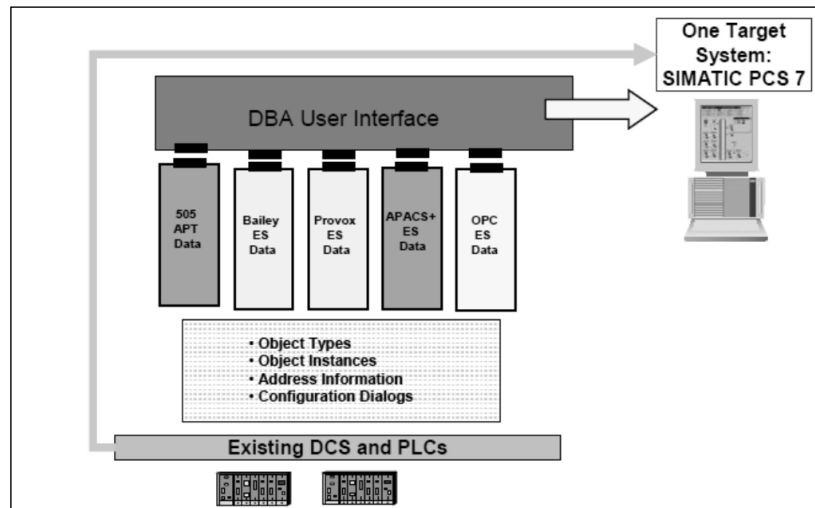
La jerarquía de imágenes constituye la base que posibilita la navegación entre las imágenes del proceso y la gestión de alarmas.

En las imágenes del proceso generadas, por el PCS 7/APACS+ OS DBA posiciona los símbolos de bloques gráficos específicos automáticamente, por ejemplo, para reguladores o entradas analógicas. A través de la base de datos, los símbolos de los bloques gráficos se enlazan con los bloques de función y carátulas correspondientes.

Las actividades de configuración manuales quedan básicamente limitadas al diseño y posicionamiento de los elementos gráficos estáticos, como por ejemplo, tuberías o tanques.

En la figura 14 se presenta un esquema del funcionamiento de la herramienta PCS 7/APACS+ OS DBA.

Figura 14. **Funcionamiento del DBA**



Fuente: www.industry.usa.siemens.com/topics/us/en/apacs2020/Pages/apacs-home.aspx. Consulta: abril de 2011.

3.4.2. **Evaluación de la disponibilidad de la arquitectura**

La arquitectura actual permite tener 2 estaciones de operación, además de la estación de ingeniería que también puede funcionar como estación de operación.

La nueva propuesta para tener congruencia técnica con la anterior, así como, para no incrementar los costos se enfocará en el diseño de una arquitectura con una estación de operación sencilla, así mismo, se tendrá una estación de ingeniería que se puede utilizar como otra estación de operación.

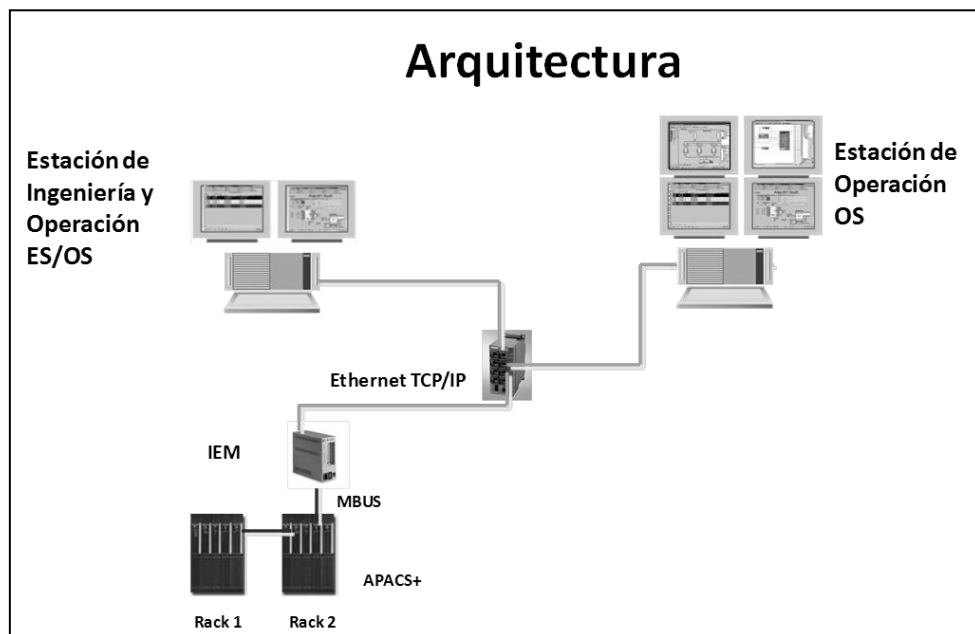
Debido a que la estación de operación está basada en tecnología moderna tanto el software como el hardware tienen capacidades para establecer una red de comunicación abierta y estandarizada.

Esta red puede ser de Ethernet Industrial que usa un protocolo como el TCP/IP manejado por la mayoría de fabricantes, sin embargo se debe resolver la comunicación con el hardware de control actual que como se describió, maneja como protocolo nativo una red de comunicación propietaria.

Lo anterior se soluciona utilizando la opción de un procesador de comunicación como el módulo industrial de Ethernet conocido como IEM (por sus siglas en inglés), para establecer un enlace entre el MODULBUS de APACS+ con la nueva red de comunicación en Ethernet TCP/IP desde y hacia las estaciones de operación e ingeniería.

A continuación se presenta la nueva arquitectura propuesta:

Figura 15. **Arquitectura de control propuesta**



Fuente: elaboración propia.

Como puede verse en la figura la nueva arquitectura podrá ampliarse y conectarse a cualquier otro sistema de control e incluso a la red corporativa de la planta por medio de un protocolo como el TCP/IP.

3.4.3. Evaluación del ciclo de vida de los nuevos componentes

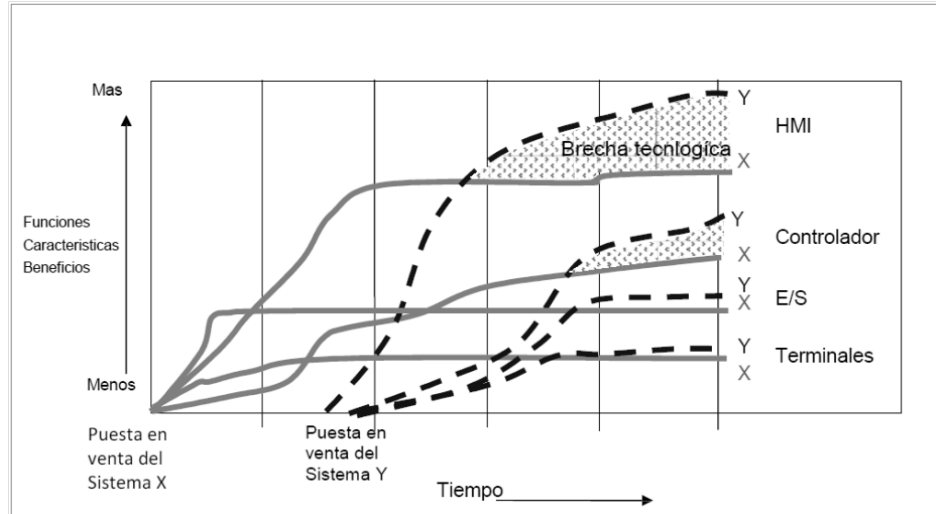
En cualquier sistema de control los componentes tienen diferentes perfiles de ciclos de vida y duración de los mismos. La figura 15 muestra un sistema típico (X), con varias partes tales como HMI, Controlador, etcétera.

Cada parte tiene un perfil del ciclo de vida diferente. Cuando un nuevo sistema (Y) es liberado, cada parte con el tiempo tendrá más funciones, características y beneficios que las mismas partes del sistema (X).

Por ejemplo esta diferencia entre el HMI y las partes del controlador del sistema se muestra como la parte sombreada de la figura 16, etiquetada como la brecha tecnológica.

La brecha de la tecnología podría ocurrir en momentos diferentes para los diferentes componentes del sistema. Para maximizar la vida útil de los activos existentes, un enfoque por etapas o fases de la migración se justifica más pues mientras algunos activos o partes del sistema pueden ser reusados otros estarán siendo reemplazados por la tecnología más reciente.

Figura 16. Perfiles de ciclos de vida

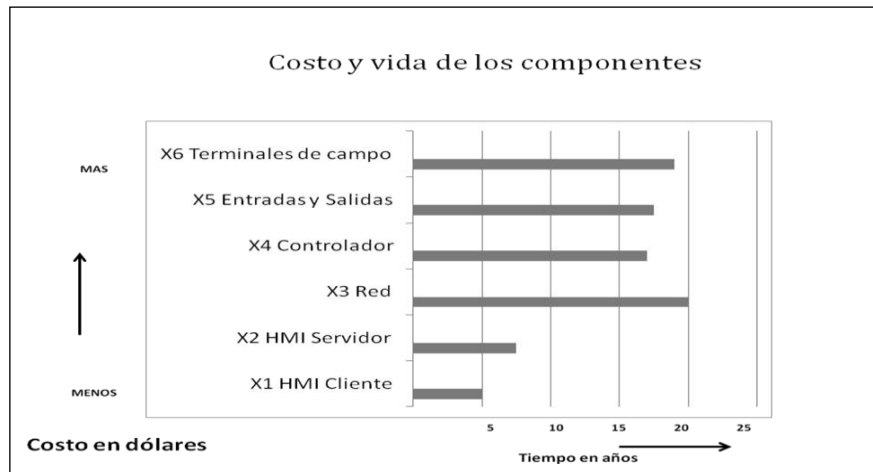


Fuente: elaboración propia.

También se tiene la siguiente figura, el costo relativo y la vida útil promedio de cada uno de los activos que representa cada parte del sistema de control. Algunos de estos costos se basan tanto en el hardware como la propiedad intelectual que representan las licencias tales como el controlador y el HMI.

Otros componentes como los paneles operador y los equipos de campo solo toman en cuenta el costo del hardware.

Figura 17. **Costo relativo y vida útil de los componentes de un DCS**



Fuente: elaboración propia.

Para que económicamente un proyecto de migración tenga el máximo retorno de la inversión los expertos recomiendan primero que siempre se busque el componente con menor vida útil pues es el más propenso a tener fallas al culminar su tiempo de vida recomendado por el fabricante.

Segundo debe enfocarse en el activo o componente con menor costo esto permite que la migración sea más simple y el tener un retorno de inversión, tercero usar la mejores herramientas para maximizar el retorno de inversión.

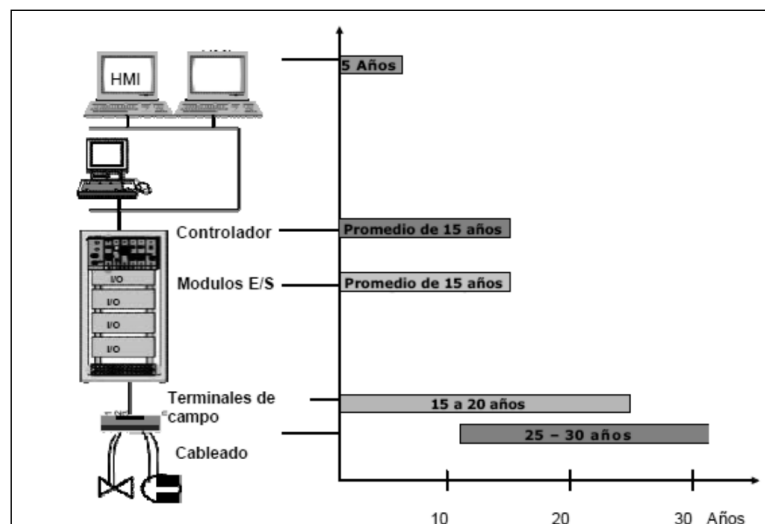
En el caso propuesto en el presente documento se enfoca en el cambio de los clientes HMI que se puede ver en la figura que representa el activo con menor vida útil y costo. Esta opción no requiere mucha ingeniería ni la intervención del usuario.

En la figura 18 se muestran los “tiempos de vida promedio de los componentes de un sistema de control”³.

La información del fabricante indica que para el nuevo hardware y software del HMI se tiene un promedio de vida útil de 5 años antes de pensar en realizar una nueva migración.

Teniendo en cuenta que durante ese tiempo deben realizarse las respectivas actualizaciones que muchas veces no representan ningún costo para el usuario.

Figura 18. **Ciclo de vida de los componentes de un DCS**



Fuente: www.industry.usa.siemens.com. Consulta: abril de 2011.

³www.industry.usa.siemens.com/topics/us/en/apacs2020/Pages/apacs-home.aspx. ARC White Paper “Siemens Process Automation System –Migration and Modernization Strategies”. PDF. Consulta: mayo de 2011.

3.4.4. Evaluación para la integración de nuevos componentes

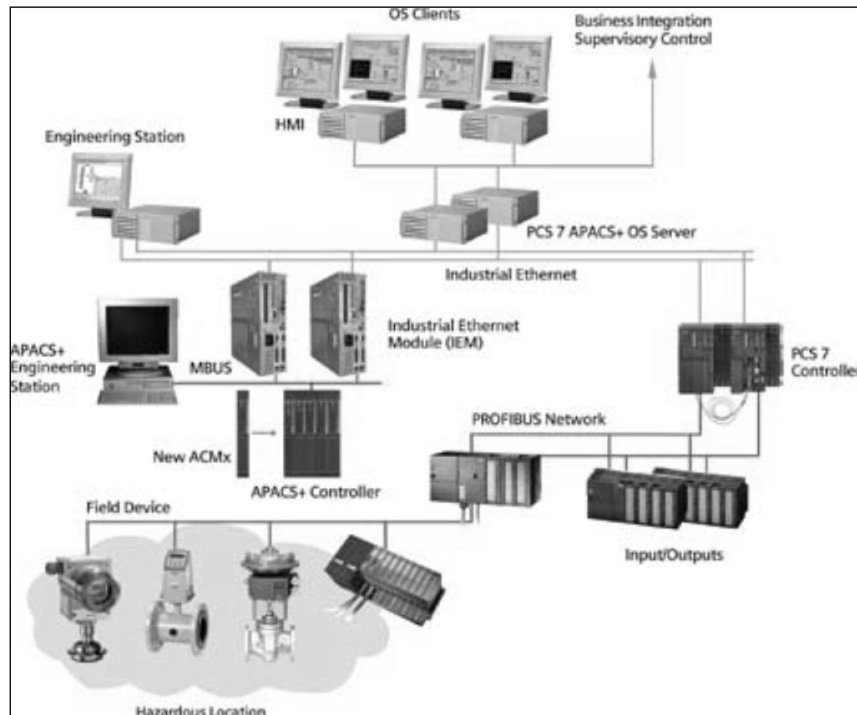
Para el enfoque de migración propuesto se busca que exista una integración tanto a nivel de componentes actuales como de nuevos, que puedan integrarse al sistema actual, este objetivo que se cumple a través de la elección de los componentes con capacidad para comunicarse tanto a nivel vertical como horizontalmente de esa manera gestionar el manejo de información con otras estaciones, incluso áreas de la planta que puedan integrarse al sistema de control.

Esto es posible, debido a que se pretende utilizar el IEM como puente o enlace de comunicación entre el bus existente que es el MODULBUS con un protocolo abierto como el TCP/IP sobre Ethernet Industrial.

Este módulo es una herramienta que ofrece el fabricante como una solución para el establecimiento de una pasarela flexible entre los sistemas de APACS y PCS7, así como, cualquier otro sistema o dispositivo que posea esta posibilidad de comunicación.

Para la integración de componentes de campo también se hace posible al utilizarse los módulos de comunicación PROFIBUS que permite la comunicación con los dispositivos de campo que puedan manejar ese protocolo de comunicación.

Figura 19. Integración de otros componentes



Fuente: www.industry.usa.siemens.com. Consulta: abril de 2011.

3.5. Ingeniería básica de la nueva arquitectura

En el apartado anterior se ha desarrollado la ingeniería conceptual de la migración, a continuación se describe la ingeniería básica para determinar los aspectos a tomar en cuenta para la propuesta de migración que se está desarrollando.

3.5.1. Selección del Sistema Operativo

Como se ha mencionado en anteriores capítulos del presente documento se debe seleccionar el Sistema Operativo, de acuerdo con los requerimientos del aplicativo de control en este caso el fabricante recomienda que el Sistema Operativo sea el de Windows XP Profesional Service Pack 3 para el caso de los clientes.

Y para el caso de implementar una arquitectura tipo cliente- servidores se hace necesario tener instalado el Windows Server 2003.

3.5.2. Selección del hardware informático

Teniendo en cuenta el Sistema Operativo a instalar, así también los requerimientos de los aplicativos del sistema de control se selecciona el hardware informático para instalar el software de control.

Como consideración más importante el hardware debe cumplir con las características según la siguiente tabla:

Tabla I. **Requerimientos de hardware para PCS7 APACS+ OS**

PCS 7/APACS+ Options System Requirements		
Recommended basic hardware configuration		
Parameters	Central engineering station with server operating system, central archive server, PCS 7 OS/SIMATIC BATCH/SIMATIC Route Control on a PC, Engineering station, OS server, OS single station, maintenance station, PCS 7 Web server, OS client, and BATCH client on a PC, BATCH server,	OS client, BATCH client, Route Control client
Basic PC (see catalog)	SIMATIC Rack PC	
Processor	Intel Core2Duo	
Clock-pulse rate	2.40	
Second-level cache (SLC)	4	
Front-side bus (FSB)	1066	
Work memory (RAM)	2.0	1.0
Hard disk	250 GB SATA RAID 1 array in servers and ES/OS single stations	250 GB SATA
Partition size	250 GB SATA in client systems C:\ 50 B	C:\ 50 B
Network adapters/Communications interfaces	<ul style="list-style-type: none"> • RJ45 on-board gigabit Ethernet • CP1613 A2 or BCE network adapter for engineering station and OS server 	<ul style="list-style-type: none"> • RJ45 on-board gigabit Ethernet
Opt. drive	<ul style="list-style-type: none"> • For all apart from engineering station: DVD-ROM • For engineering station: DVD+/-RW 	DVD-ROM

Fuente: www.support.automation.siemens.com. Consulta: mayo de 2011.

De la anterior tabla se proponen las siguientes estaciones de trabajo que pueden conseguirse en el mercado a un costo accesible, para llevar a cabo la solución de migración.

Para la estación de ingeniería:

- Un computador desktop del fabricante Dell con procesador *Quad Core* Intel E5520, de 2,26 GHz.

- Sistema Operativo Windows 7 original con *downgrade* a XP Professional Service Pack 3, con medios en español.
- Memoria de 4 GB, DDR3.
- Tarjeta de video de dual 256 MB para 2 monitores.
- Unidad óptica 16X DVD +/- RW.
- Disco duro de 250 GB.
- 2 monitores ancho de 22 pulgadas.
- Fuente de poder.
- Unidad de *floppy* drive y lector de medios 19:1 USB.
- *Mouse* óptico con *scroll*, teclado.

Y para la estación de operación que en este caso es una estación sencilla:

- Un computador desktop del fabricante Dell con procesador *Quad Core* Intel E5520, de 2,26 GHz.
- Sistema Operativo Windows 7 original con *downgrade* a XP Professional *Service Pack* 3, con medios en español.

- Memoria de 4 GB, DDR3.
- Tarjeta de video de dual 512 MB para 4 monitores.
- Unidad óptica 16X DVD +/- RW.
- Disco duro de 250 GB.
- 4 monitores ancho de 22 pulgadas.
- Fuente de poder.
- Unidad de *floppy* drive y lector de medios 19:1 USB.
- Mouse óptico con *scroll*, teclado.

3.5.3. Selección de los medios de comunicación

Para el enfoque de migración propuesto como se mencionó en el anterior capítulo se busca que exista una integración a nivel de componentes nuevos que puedan integrarse al sistema actual, lográndose este objetivo con la selección de los componentes de comunicación que permitan una estandarización y su posterior conexión con otras áreas de la planta.

La mejor opción para los medios de comunicación para un proyecto con la arquitectura propuesta, con la magnitud en cuanto a las distancias manejadas para el bus de planta, la velocidad de transmisión de datos que es de 100 Mb/s para la red de planta, es el de Ethernet Industrial.

Siendo la más económica ya que se puede manejar para una distancia que no sea mayor de los 5 kilómetros según las normas y especificaciones técnicas para esta red de comunicación.

Teniéndose la opción de cable de cobre para distancias menores a 100 metros, para distancias mayores el uso de fibra óptica se hace obligatorio para enlazarse con la red de la planta y la conexión hacia la red corporativa.

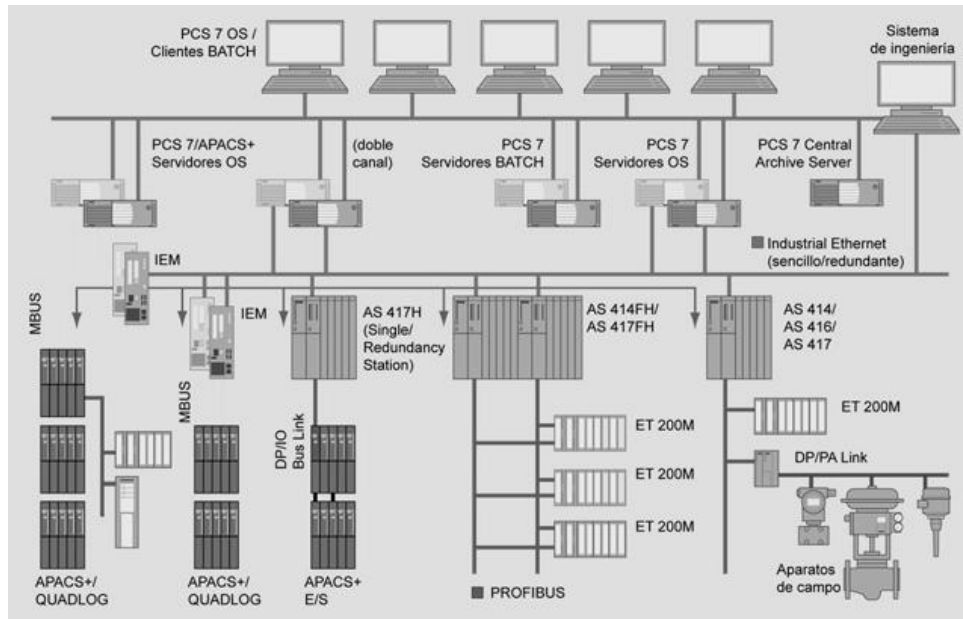
En cuyo caso se utilizarán los interruptores de red adecuados para la conversión entre medios.

3.5.4. Selección de los protocolos de comunicación

La selección del hardware de comunicación, así como, el medio para enlazar los equipos permite elegir un protocolo de comunicación abierto como el de TCP/IP sobre Ethernet Industrial, para el manejo de los datos a nivel de toda la planta.

Para la integración de componentes de campo, también se hace posible al utilizarse los módulos de comunicación PROFIBUS que permiten un enlace hacia los dispositivos con esas capacidades de comunicación.

Figura 20. **Protocolos de comunicación de APACS+ y PCS7**



Fuente: www.industry.usa.siemens.com. Consulta: abril de 2011.

3.6. **Ventajas y beneficios de la migración con la primera fase**

Las principales ventajas que se encuentran con esta fase o solución de migración están los beneficios tangibles y los beneficios no tangibles.

Entre los beneficios tangibles de la migración se encuentran los siguientes:

- **Gastos mínimos:** en comparación con una sustitución del sistema por completo minimiza el costo total de adquisición al reducir los costos de diseño, instalación y puesta en marcha.

- Riesgo asumible: el riesgo se minimiza debido a que se reduce al cambio de la estación de operación, el cual no afecta a la configuración de control que radica en los controladores que como se ha mencionado permanecerán en funcionamiento hasta que sea necesario implementar la segunda fase.
- Proporciona una transición sin problemas para las operaciones de personal a la nueva tecnología HMI: la curva de aprendizaje es corta debido a que la interfaz gráfica es similar al del sistema migrado, además se conserva la configuración de control que es el que conoce el operador.
- Nuevas posibilidades de aplicación: es posible desarrollar otras aplicaciones debido que la estandarización en la comunicación, amplía las posibilidades para integrar nuevos dispositivos.

Entre los beneficios no tangibles se pueden mencionar:

- Actualizaciones del sistema que pueden realizarse en línea sin que requiera tiempo de inactividad no planificado.
- Prolonga la vida útil del sistema de control actual y provee nuevas capacidades operacionales.
- Apertura del sistema al mundo de la tecnología de la información, al tener la posibilidad de conectarse remotamente a través de Internet.

3.7. Propuesta para una arquitectura con alta disponibilidad

En este apartado se presenta el diseño de una arquitectura basada en las tecnologías de comunicación, que la solución de migración propuesta permite desarrollar.

El punto de partida del diseño se basa en que la comunicación tanto a nivel de planta hacia los equipos como a nivel de campo tenga una alta disponibilidad con un costo asumible para el inversionista.

En el caso de la migración del sistema de control ofrece la opción de una red de comunicación abierta, tanto a nivel de planta como a nivel de campo.

La propuesta de diseño basa la disponibilidad, en los componentes que son de uso industrial, así como, en la red de comunicación por el uso de topología de anillo con redundancia de medios. El uso de conmutadores de Ethernet Industrial para que el acceso de la comunicación sea más determinista y para la administración del anillo de redundancia.

Para este caso se propone el uso de conmutadores de Ethernet tipo gestionables, con convertidor de cobre a fibra y viceversa para tener todo el anillo tanto del bus de planta, como el bus de terminales en fibra óptica.

Para la conexión a los controladores, desde los conmutadores, así como, la comunicación hacia las estaciones se propone el uso de cables de cobre para Ethernet tipo industrial.

La tolerancia a fallos tal y como se conoce hoy en día, se basa fundamentalmente en un concepto: redundancia.

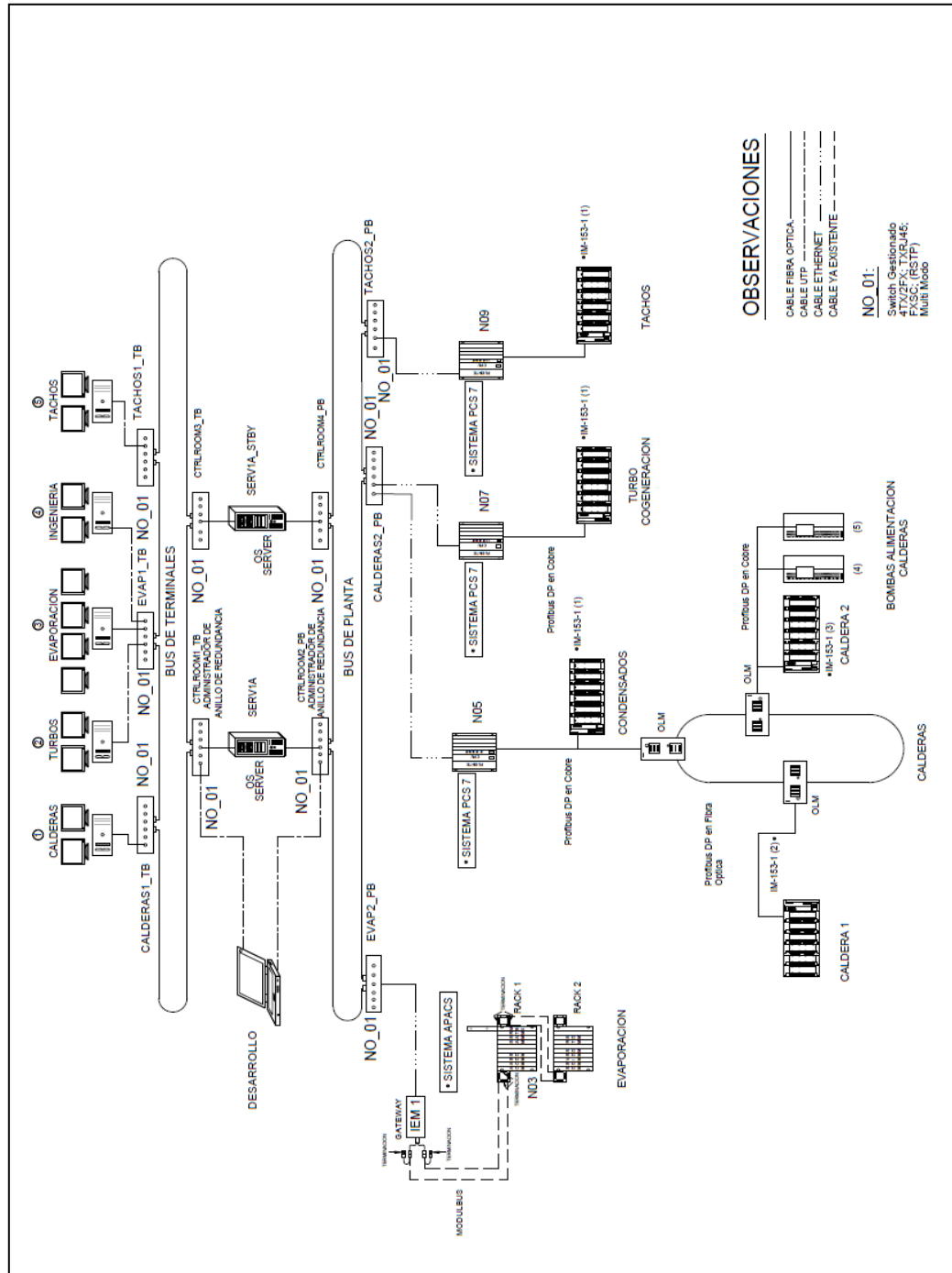
La mejor forma de asegurar la disponibilidad de los equipos y los servicios que ellos suministran de manera fiable y sin interrupción las 24 horas del día, durante siete días a la semana, es la duplicación de todos sus elementos críticos y la disposición de los elementos software y hardware necesarios para que los elementos redundantes actúen cooperativamente y de esa manera ofrecer un sistema con alta disponibilidad, pero sobretodo, con disponibilidad continua o tolerante a los fallos.

Es por eso que se propone el uso de servidores de alta disponibilidad en redundancia.

Para el caso de la red de controladores hacia dispositivos de campo para las calderas, cogeneración y tachos se propone el uso del bus de campo PROFIBUS en cobre.

Sin embargo, para un área de la planta como lo pueden ser el de las calderas, que es el área que poseen equipos críticos para la operación de la planta, también se plantea una red de comunicación a través de un anillo sólo que en este caso en PROFIBUS para esto, se propone el uso de módulos de enlace óptico (por sus siglas en inglés OLM) y luego hacia los dispositivos con bus en cobre.

Figura 21. Propuesta de la arquitectura de alta disponibilidad



Fuente: elaboración propia, con base a AutoCAD 2010.

3.8. Actualización de hardware y software de control hacia sistema PCS7 como segunda fase de la migración

En este apartado se hará una breve mención de lo que conlleva realizar la modernización completa del sistema de control como una segunda fase a la propuesta de migración que en los capítulos anteriores se menciona.

Se inicia con una ampliación de la planta existente, primero se conserva la sección del sistema de control de la planta existente, que irá modernizándose y ampliando con más secciones.

En este caso la planta existente se amplía por medio de un nuevo sistema de control. El viejo sistema se mantiene por el momento, lo que permite operación coordinada entre nuevos y antiguos, así como, una transición sin problemas a las nuevas tecnologías. Si los sistemas antiguos y nuevos se unen bajo un común nuevo operador, entonces el sistema está diseñado para garantizar que los operadores trabajan con una mirada común y la sensación para ambos sistemas.

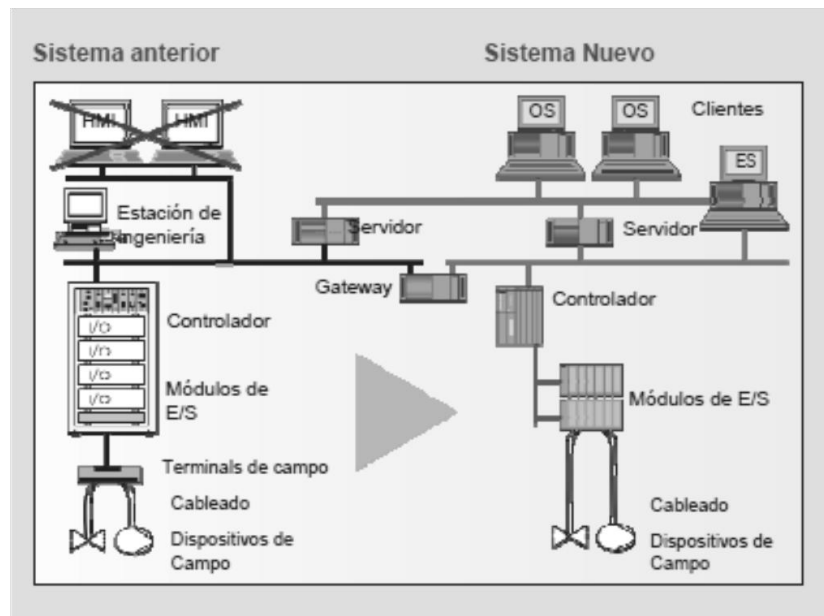
Así mismo, se tienen bibliotecas de ingeniería desarrolladas dentro del nuevo sistema de control para imitar la funcionalidad y el comportamiento del sistema a migrar, ayudan a reducir al mínimo la curva de aprendizaje para los ingenieros y operadores del sistema.

Es una modernización paso a paso lo que ofrece la posibilidad de ampliaciones funcionales, tales como nuevas tecnologías de bus de campo, la integración de la red corporativa, sin la necesidad de un reemplazo completo del sistema.

Principales beneficios:

- Aumento sencillo y gradual de la capacidad productiva.
- Permite la introducción gradual de nuevas tecnologías (por ejemplo, bus de campo) en la planta.
- Permite que diferentes sistemas de automatización estén bajo control de un HMI común.
- Proporciona una transición sin problemas para el personal de operaciones a la nueva tecnología HMI.
- Apertura del sistema al mundo de la tecnología de la información.
- En combinación con la fase 1 es posible conducir el proceso a través de un sistema de operador único para toda la planta.

Figura 22. **Ampliación como primera parte de la modernización del sistema**



Fuente: www.industry.usa.siemens.com. Consulta: abril de 2011.

4. ESTUDIO TÉCNICO ECONÓMICO PARA LA MIGRACIÓN

4.1. Análisis de factibilidad

Después de definir la problemática y establecer las causas que ameritan la solución de migración propuesta, es pertinente realizar un estudio de factibilidad para determinar los costos y beneficios, así como, el grado de aceptación que la propuesta genera. Este análisis permite determinar las posibilidades de implementar la solución propuesta.

En los capítulos anteriores se hizo un análisis de la factibilidad técnica de la solución propuesta, evaluando la tecnología existente partiendo de eso se determinaron los componentes técnicos para realizar la migración, en los párrafos siguientes se determinará la factibilidad económica de la propuesta.

4.1.1. Valor de inversión del proyecto propuesto

A continuación se presenta la factibilidad económica de los recursos para desarrollar e implementar la propuesta de migración.

Este análisis permitirá hacer una comparación entre la relación de costos de la solución propuesta conociendo de antemano los beneficios que la propuesta tiene.

En cuanto a los requerimientos mínimos para el hardware y software ya se ha hecho mención ampliamente en los capítulos anteriores, en este apartado se analizan los costos para luego determinar la factibilidad para la adquisición de los mismos.

Ahora bien, la ingeniería es un componente muy importante para la implementación del proyecto, como se ha estado mencionando en este documento, la solución propuesta permite un costo de ingeniería menor en comparación al que se debiera invertir en un cambio total del sistema o incluso la modernización total del mismo.

Para la implementación del proyecto se tiene contemplado la ingeniería en varias áreas y tareas que se pueden describir en los siguientes párrafos.

Integración de hardware y software: contempla la instalación del Sistema Operativo y de los aplicativos en cada estación de operación o ingeniería.

Desarrollo de la estrategia de control y animación: lo cual implica el desarrollo de los nuevos mímicos o sinópticos de proceso para la operación y para el control de la fábrica.

Comisionamiento: las tareas de comisionamiento son las pruebas de todos y cada uno de los instrumentos de campo, comprobar que la señal de cada instrumento llegue de forma íntegra (rango de señal y calidad de señal) al sistema de control; pruebas de todos y cada uno de los elementos finales de control, comprobar que la señal del sistema de control accione apropiadamente cada elemento final de control.

Puesta en marcha: esto contempla el arranque de la aplicación con el proceso de fabricación normal, la sintonía gruesa de los lazos de control, generación de históricos y reportes necesarios.

También se contempla un entrenamiento de configuración básica del sistema de control, dicho entrenamiento tiene una duración de 5 días laborales, en el cual se instruirá a los participantes en cuanto a la localización de fallas, conceptos de la estrategia de control y arquitectura del sistema.

Todas estas tareas se estiman realizar en aproximadamente de 12 a 14 semanas de trabajo, en días laborales de 8 horas. Realizándose algunas tareas en paralelo.

A continuación se presentan los costos del sistema propuesto tanto en el hardware como el software y también se presentan los costos de ingeniería para la implementación.

Tabla II. **Costos para la solución propuesta**

ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCION	PRECIO
1	1	HARDWARE DE COMUNICACIÓN	\$ 10 518,75
		APACS+ / QUADLOG INDUSTRIAL ETHERNET MODULE (IEM) SIMATIC PC, USB-Flashdrive, 2 GB, USB 2.0, Incluye SIMATIC PC Bios-Manager, Bootable, Metal Housing	
2	1	HARDWARE INFORMATICO	\$ 4 057,10
		ESTACION DE DESARROLLO O INGENIERIA Computador desktop DELL con dos monitores	
	1	ESTACION DE OPERACIÓN Computador desktop DELL con cuatro monitores	\$ 4 057,10
4	1	SOFTWARE DE CONTROL	\$ 8 800,00
		ESTACION DE INGENIERIA SIMATIC PCS 7/APACS+, SOFTWARE OS ENGINEERING PACK V7.0	
5	1	ESTACION DE OPERACIÓN SIMATIC PCS 7/APACS+, SOFTWARE OS SINGLE STATION PACK V7.0	\$ 4 125,00
6	1	SOFTWARE DE CONFIGURACION 4-MATION	\$ 3 437,50
		PARA APACS PARA WINDOWS XP APACS+/QUADLOG APACS+ CONTROL ENGINEERING/DEVELOPMENT STATION CD – SOFTWARE SIMATIC PC, USB-Flash drive, 2 GB, USB 2.0, Incl. SIMATIC PC Bios-Manager, Bootable, Metal Housing	
7	1	INGENIERÍA	\$ 60 816,65
		Integración de estación de Operación y de ingeniería	
		Desarrollo estrategia de control y animacion	
		Comisionamiento	
		Puesta en marcha y Entrenamiento	
		TOTAL PROPUESTA	\$ 95 812,09

Fuente: Información proporcionada por ESINSA.

4.1.2. Análisis comparativo de costo beneficio

El objetivo principal de la solución propuesta, es evitar la pérdida o falla de la estaciones de operación del sistema de control de la fábrica, que como principal consecuencia conllevaría a un paro total de la producción de la planta.

Razón por la cual se analizan los beneficios del proyecto en función a la producción estimada de la fábrica durante el período que dura la zafra del ingenio azucarero.

Ya que la pérdida de las estaciones resultará en pérdida de dinero equivalente al beneficio promedio de la producción diaria de azúcar en la planta durante el tiempo de paro.

Se evaluará de la siguiente manera, se tomará que el valor de la inversión será cubierta por los costos que representaría la pérdida de producción durante el tiempo de implementación de la solución propuesta, en este caso 3 meses aproximados según lo descrito en el capítulo anterior.

En la siguiente tabla se presentan los ingresos y egresos durante el tiempo que estaría en paro la planta, datos calculados con base en la información de producción de uno de los ingenios que menos producción tiene en Guatemala según el “informe del Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar en su boletín estadístico del 2010”⁴ y el “costo de producción por libra de azúcar según la agencia de consultoría LMC internacional”⁵, así como, el precio promedio del azúcar en el mercado internacional.

⁴ www.cengicana.org. Consulta: mayo de 2011.

⁵ www.ers.usda.gov. Electronic Outlook Report from the Economic Research Service United States Department of Agriculture. PDF. Consulta: mayo de 2011.

Tabla III. **Costos e ingresos mensuales por producción mensual de azúcar**

Cálculos de costos e ingresos por mes por producción de azúcar blanca	
Producción estimada de azúcar en quintales durante el periodo de zafra	
	943 567
Tiempo total de la duración de la zafra en días	
	134
Producción promedio por día en quintales	
	7 042
Costo de azúcar en dólares por quintal según LMC	
	\$20,12
Precio promedio del azúcar por quintal en el mercado internacional	
	\$43,00
Beneficio promedio	
	22,88
Total costo mensual por producción de azúcar	
	\$4 250 276,43
Total ingreso mensual por producción de azúcar	
	\$4 833 316,33

Fuente: elaboración propia.

También se considera la depreciación que tienen los equipos durante la vida útil que es de 5 años, por lo que, la depreciación mensual se calcularía de la siguiente forma:

DA= depreciación anual

DA = inversión/ vida útil

$$DA = \$81\,101,90/5$$

$$DA = \$17\,420,38$$

Por lo que la depreciación mensual es de \$1 451,70

Se considera un costo de mantenimiento por un día de servicio cada 3 meses, desde la puesta en marcha del proyecto cuyo valor se calcula de la siguiente manera:

Costo por hora del personal especializado \$60,00 basado en el costo de servicio promedio de una empresa dedicada a la automatización de procesos.

Por lo que el costo de mantenimiento por dos ingenieros se calcula así:

$$\text{Costo de mantenimiento} = 2 \times \$60,00 \times 8$$

$$\text{Costo de mantenimiento} = \$960,00$$

Y el flujo de caja quedaría de la siguiente manera:

Tabla IV. Flujo de caja

COSTOS DE IMPLEMENTACION	Costos de Hardware de Comunicación	Costos de Hardware informatico	Costos de Software de control	Costos de Ingeniería	Costos de depreciacion	Costos de mantenimiento	Costos de produccion	EGRESOS TOTALES
Mes 0	(\$10 518,75)	(\$8 114,19)	(\$16 362,50)	(\$60 816,65)				(\$95 812,09)
Mes 1				(\$1 451,70)			(\$4 250 276,43)	(\$4 251 728,13)
Mes 2				(\$1 451,70)			(\$4 250 276,43)	(\$4 251 728,13)
Mes 3				(\$1 451,70)	\$960,00		(\$4 250 276,43)	(\$4 250 768,13)
Mes 4				(\$1 451,70)				(\$1 451,70)
Mes 5				(\$1 451,70)				(\$1 451,70)
Mes 6				(\$1 451,70)	\$960,00			(\$491,70)
Mes 7				(\$1 451,70)				(\$1 451,70)
Mes 8				(\$1 451,70)				(\$1 451,70)
Mes 9				(\$1 451,70)	\$960,00			(\$491,70)
Mes 10				(\$1 451,70)				(\$1 451,70)
Mes 11				(\$1 451,70)				(\$1 451,70)
Mes 12				(\$1 451,70)	\$960,00			(\$491,70)
Totales	(\$10 518,75)	(\$8 114,19)	(\$16 362,50)	(\$60 816,65)	(\$17 420,40)	\$3 840,00	(\$12 750 829,29)	(\$12 860 221,78)
INGRESOS POR IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA								
	Ingresos							INGRESOS TOTALES
Mes 0								\$0,00
Mes 1	\$4 833 316,33							\$4 833 316,33
Mes 2	\$4 833 316,33							\$4 833 316,33
Mes 3	\$4 833 316,33							\$4 833 316,33
Mes 4								\$0,00
Mes 5								\$0,00
Mes 6								\$0,00
Mes 7								\$0,00
Mes 8								\$0,00
Mes 9								\$0,00
Mes 10								\$0,00
Mes 11								\$0,00
Mes 12								\$0,00
Totales	\$14 499 948,99							\$14 499 948,99
	Total Ingresos-Egresos		Ingresos - Egresos Acumulados					
Mes 0	-95812,09		(\$95 812,09)					
Mes 1	581588,2		\$485 776,11					
Mes 2	581588,2		\$1 067 364,31					
Mes 3	582548,2		\$1 649 912,51					
Mes 4	-1451,7		\$1 648 460,81					
Mes 5	-1451,7		\$1 647 009,11					
Mes 6	-491,7		\$1 646 517,41					
Mes 7	-1451,7		\$1 645 065,71					
Mes 8	-1451,7		\$1 643 614,01					
Mes 9	-491,7		\$1 643 122,31					
Mes 10	-1451,7		\$1 641 670,61					
Mes 11	-1451,7		\$1 640 218,91					
Mes 12	-491,7		\$1 639 727,21					
Totales	\$1 639 727,21							

Fuente: elaboración propia.

Ahora, aplicando una evaluación del Valor Actual Neto (VAN), utilizando una tasa de descuento de un 18%, que es una tasa que cubre tanto la inflación acumulada que es de un 8% aproximadamente, la tasa de interés bancario de un 5% y un costo de riesgo de 5%.

Luego haciendo una comparación del retorno de inversión por medio de una Tasa Interna de Retorno (TIR) se pueden encontrar los siguientes indicadores de rentabilidad.

Tabla V. **Indicadores de rentabilidad**

Tasa de Interés (tasa de descuento)	18%
VAN	Q5 419 585,36
TIR (Tasa Interna de Retorno)	605%

Fuente: elaboración propia.

Los resultados del Valor Actual Neto reflejan que el proyecto migración es aceptable.

Según el criterio de la Tasa Interna de Retorno, para que un proyecto sea elegible el resultado debe ser igual o mayor que la tasa de descuento o tasa mínima aceptable de rendimiento, en este caso es 18%. El proyecto de migración del sistema de control arroja una TIR de 605%, mucho mayor a lo mínimo esperado.

CONCLUSIONES

1. El Sistema de Control distribuido es un sistema que opera y funciona de manera que el control y la información de proceso se distribuye geográficamente, permitiendo de esa manera un mejor control del proceso.
2. Los sistemas de control distribuido se desarrollaron para monitorear el control de proceso industrial debido a su capacidad de manipular la información, así también, su facilidad de comunicación que normalmente es manejada en una red principal que se centraliza para su procesamiento y posterior manejo en las estaciones de trabajo ubicadas en el cuarto de control.
3. Los sistemas de control distribuido tanto APACS+ como PCS7 son sistemas robustos, diseñados para el manejo de gran cantidad de señales de proceso para su posterior procesamiento, pero en la parte de manejo de información y operación dependen de software que es un activo que aunque es muy flexible y poderoso, depende tecnológicamente de la vida útil de la plataforma o el Sistema Operativo.
4. Para la primera fase de la migración del sistema de control APACS+ hacia PCS7, contempla el cambio del software de operación permitiendo de esa manera la continuidad de funcionamiento de la planta debido a que esta estrategia permite un cambio sin necesitar de mucho tiempo de paro o interrupciones en la operación actual.

5. Una arquitectura de alta disponibilidad, permite que la información pueda accederse de manera continua, aún en el caso de tener un fallo en algún nodo de la red de comunicación.

6. La modernización de un sistema de control de su red de comunicación industrial, se logra realizando un buen diseño de la arquitectura de control, debido a las opciones de comunicación que permiten un enlace accesible como el uso de una red de Ethernet y un protocolo como el TCP/IP, ampliamente suministrado por los diferentes fabricantes equipos de control, permitiendo la integración de otros sistemas e incluso el acceder a la red de información corporativa.

7. El estudio de factibilidad económica da como resultado que el proyecto de migración es rentable según se puede visualizar con los indicadores de rentabilidad tanto el VAN como la TIR aplicados, los cuales indican la rentabilidad de la inversión en el primer año después de efectuada la inversión.

RECOMENDACIONES

1. Con el cambio continuo en la tecnología de los sistemas de control es necesario que el profesional de control este actualizado con la información, para proponer las mejores soluciones que ofrezcan las mejores ventajas técnicas y económicas.
2. El hardware de control debe adquirirse de manera que permita su modernización y de esa manera en el futuro, tener la capacidad de soportar la segunda fase de la migración.
3. Para la migración de sistemas de control de procesos se debe buscar la solución que pueda ofrecer las diferentes herramientas que brinden la capacidad de preservar la mayor parte de los activos existentes, evitando reemplazo de equipo innecesario.
4. Entre las consideraciones para la futura red de comunicación industrial de la planta, se sugiere la implementación de la misma, tomando en cuenta la propuesta de la futura ampliación del sistema de control en cuanto a las opciones descritas para tener una arquitectura de alta disponibilidad.

5. Para tomar la mejor decisión en la implementación de un proyecto de migración es de vital importancia que el usuario final tenga toda la información necesaria para la realización del mismo, de esa manera se evitará complicaciones innecesarias, recurrir al soporte de un especialista o integrador que conozca del tema es una buena práctica para evaluar las diferentes alternativas para la migración.

BIBLIOGRAFÍA

1. AXARNET. *Arquitectura de Redes*. [en línea]. España. 2008. www.fmc.axarnet.es/redes/indice_m.htm. [Consulta: 12 agosto de 2011].
2. BEECROFT, Helen; CAHILL Jim, *Fundamentals of Industrial Control, The Instrumentation, Systems and Automation Society*. 2a ed. USA: ISA, 2005. 54 p.
3. BELA, G. Liptak. *Process control and optimization*. Vol 2. 4a ed. USA: CRC Press, 2006. 2464 p. ISBN 0-8493-1081-4.
4. BERGER Hans, *Automating with STEP 7 in STL and SCL*. 5a ed. Germany: Publicis Publishing, 2009. 543 p. ISBN 978-3-89578-341-8.
5. BLANK, Leland T.; TARQUIN, Anthony J. *Ingeniería económica*. 4a ed. Colombia: McGraw-Hill, 1999. 740 p. ISBN 958-600-966-1.
6. CENGICAÑA. *Actualizaciones Recientes*. [en línea]. Guatemala. 2010. www.cengicana.org/Portal/Home.aspx. [Consulta: 12 junio de 2011].
7. CREUS Sole, Antonio. *Instrumentación Industrial*. 7a ed. México: Alfaomega, 2006. 775 p. ISBN 970-15-1150-2.

8. Universidad Nacional de Quilmes. *Ingeniería en automatización y control industrial: Introducción a HMI*. [en línea]. Argentina. 2011. www.iaci.unq.edu.ar/materias/laboratorio2/HMI%5CIntroduccion%20HMI.pdf. [Consulta: 12 agosto de 2011].
9. MOORE Products. *Manual APACS+ y QUADLOG*, USA: Moore Products, 1998. 1256 p.
10. SIEMENS. *Manual de comunicación, redes y sistemas de comunicación. SIMATIC NET SIEMENS*. Germany: SIEMENS, 2005. 654 p.
11. ——— *SIEMENS PCS7/APACS+OS Version 7.0, Configurations for APACS Users Study Guide, Siemens Energy and Automation*. Germany: SIEMENS, 2008. 450 p.
12. ——— *APACS+ Migration*. [en línea]. Estados Unidos. 2009. www.industry.usa.siemens.com/topics/us/en/apacs2020/Pages/apacs-home.aspx. [Consulta: 10 enero de 2011].
13. ——— *Automation Systems*. [en línea]. Alemania. 2003. www.automation.siemens.com/mcms/automation/en/Pages/automation-technology.aspx. [Consulta: 02 septiembre de 2011].
14. STALINGS, William. *comunicaciones y redes de computadores*. 6a ed. España: Prentice Hall, 2000. 750 p. ISBN 8420541109.
15. WAI, Kai Chen, *The Electrical Engineering Handbook*. 4a ed. USA: Elsevier, 2005. 1208 p. ISBN 0-12-170960-4.