

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA**



**APLICACIÓN DE SISTEMAS DE CONTROL DISTRIBUIDO  
EN LA PRODUCCIÓN DE AZÚCAR**

**TESIS**

**PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR**

**CARLOS DIONISIO PÉREZ JALLES  
AL CONFERÍRSE EL TÍTULO DE  
INGENIERO ELECTRÓNICO**

**GUATEMALA, MAYO DE 1999**

**HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

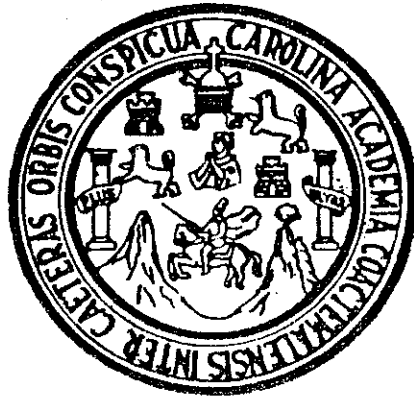
Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de tesis titulado:

**APLICACIÓN DE SISTEMAS DE CONTROL DISTRIBUIDO  
EN LA PRODUCCIÓN DE AZÚCAR**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica con fecha 5 de julio de 1995.

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'A. P. Torres', written in a cursive style. The signature is enclosed within a large, loopy oval shape.

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERIA**



**NOMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

<b>DECANO</b>	<b>Ing. Herbert René Miranda Barrios</b>
<b>Vocal 1º.</b>	<b>Ing. José Francisco Gómez Rivera</b>
<b>Vocal 2º.</b>	<b>Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez</b>
<b>Vocal 3º.</b>	<b>Ing. Jorge Benjamín Gutiérrez Quintana</b>
<b>Vocal 4º.</b>	<b>Br. Dimas Alfredo Carranza Barrera</b>
<b>Vocal 5º.</b>	<b>Br. José Enrique López Barrios</b>
<b>SECRETARIA</b>	<b>Inga. Gilda Marina Castellanos Baiza de Illescas</b>

**TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN  
GENERAL PRIVADO**

<b>DECANO</b>	<b>Ing. Julio Ismael González Podszueck</b>
<b>EXAMINADOR(A)</b>	<b>Ing. Enrique Edmundo Ruíz Carballo</b>
<b>EXAMINADOR(B)</b>	<b>Ing. Julio César Solares Peñate</b>
<b>EXAMINADOR(C)</b>	<b>Ing. Luis Arturo González López</b>
<b>SECRETARIO</b>	<b>Ing. Francisco Javier González López</b>

Guatemala, 21 de mayo de 1,998.

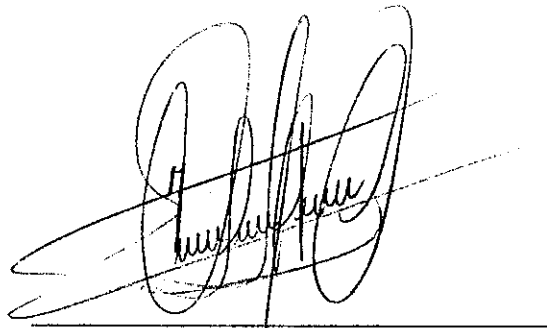
Sr.  
Ing. Julio Solares  
Coordinador Área de Electrónica  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica (EIME).  
Facultad de Ingeniería, USAC

Estimado Ing. Solares:

Por este medio hago constar a su coordinación que, he asesorado y revisado el trabajo de tesis titulada "APLICACIÓN DE SISTEMAS DE CONTROL DISTRIBUIDO EN LA PRODUCCIÓN DE AZÚCAR", presentado por el Sr. Carlos Dionisio Pérez Jalles. Este trabajo cumple con los objetivos trazados así como el soporte técnico necesario para los fines del mismo.

Por tanto, el autor de esta tesis y yo, como su asesor, nos hacemos responsables por el contenido y conclusiones de la misma.

Atentamente,

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'José Luis Alfaro Donis', is written over a horizontal line. The signature is stylized and somewhat cursive.

Ing. José Luis Alfaro Donis  
Colegiado No. 3695

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Area, al trabajo de tesis del estudiante Carlos Dionisio Pérez Jalles, titulado: Aplicación de sistemas de control distribuido en la producción de azúcar, procede a la autorización del mismo.

Ing. Roberto Urdiales Contreras

Director

Guatemala, 28 de mayo de 1,998.

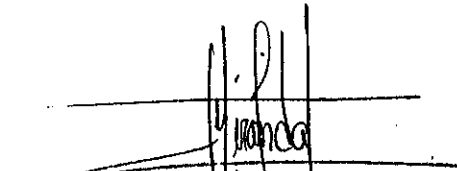


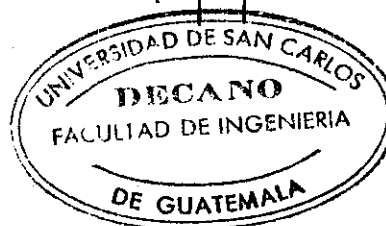


FACULTAD DE INGENIERIA

El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al trabajo de tesis: **Aplicación de sistemas de control distribuido en la producción de azúcar**, del estudiante **Carlos Dionisio Pérez Jalles**, procede a la autorización para la impresión de la misma.

IMPRIMASE:

  
Ing. Herbert René Miranda Barrios  
Decano



Guatemala, abril de 1,999.-

## **AGRADECIMIENTOS**

- Al Ing. José Luis Alfaro por su magnífica y acertada colaboración en la asesoría y revisión del presente trabajo.
- A mis compañeros de trabajo: Diego Webb Elizondo, Jorge Aceituno Peña, y Selvyn Moreno Rojas. Con especial cariño por compartir conmigo esta alegría de poder alcanzar mi meta.
- Al Ing. Carlos René Cifuentes por ser una persona muy preocupada por el desarrollo personal de su equipo de trabajo del ingenio la Unión.
- Al Ing. Sergio Guzmán por ser una luz en mi desarrollo profesional durante los años que llevo laborando en la empresa Pantaleón S.A.
- Al Ing. Raúl Rivera por sus aportes técnicos en la rama de la automatización de la industria azucarera en Guatemala.

## **ACTO QUE DEDICO**

### **A DIOS**

Por darme suficiente valor para no rendirme en los momentos difíciles.

### **A MIS PADRES**

Ing. Carlos Nicolás Pérez Rodas

Licda. Zoila Isabel Jalles de Pérez.

Por su apoyo y estímulo durante toda mi carrera.

### **A MI ESPOSA**

Ana Julia Barrios de Pérez.

Por su apoyo incondicional para culminar mi carrera.

### **A MIS HIJOS**

Carlos Andrés Pérez Barrios

James Alejandro Pérez Barrios.

### **A MIS HERMANOS**

Julio Enrique Pérez Jalles

Victoria Isabel Pérez Jalles.

### **A MI FAMILIA**

Con aprecio.

### **A GUATEMALA**

Mi patria.

### **A LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

Casa de estudios que me albergó.

### **A LA FACULTAD DE INGENIERÍA**

Por darme la semilla del saber.



## ÍNDICE GENERAL

Página

<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	<b>IV</b>
<b>GLOSARIO</b>	<b>V</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>VII</b>
<b>1. TOPOLOGÍA DE REDES UTILIZADAS</b>	
1.1 Redes punto a punto	1
1.1.1 Red en estrella	2
1.1.2 Red en anillo	2
1.2 Clasificación de buses en el sistema	2
1.2.1 Red LAN	3
1.2.2 Bus de nodo	4
1.2.3 Bus de campo	5
1.3 Red tolerante a fallas	6
<b>2. ARQUITECTURA TÍPICA</b>	
2.1 Procesadores de aplicación	8
2.2 Procesadores de estaciones de trabajo	11
2.3 Estaciones de trabajo de aplicación	13
2.3.1 Especificaciones funcionales para el AW51-A, B, y C	14
2.4 Procesadores de control	15
2.5 Procesadores de comunicación	17
2.6 Módulos de comunicación hacia terceros	18
2.7 Módulos del bus de campo en DCS's	
2.7.1 Módulos del bus de campo analógicos	20
2.7.2 Módulos del bus de campo digitales	21
<b>3. MEDIOS DE TRANSMISIÓN</b>	
3.1 Par trenzado	22
3.2 Cable coaxial	23
3.2.1 Cable coaxial de banda base	23
3.2.2 Cable coaxial de banda ancha	24

3.3 Fibras ópticas	25
<b>4. TIPOS DE COMUNICACIÓN UTILIZADOS</b>	
4.1 Máxima capacidad de transferencia de datos en un canal	27
4.2 Comunicación RS-232-C y RS-485	29
4.3 Comunicación de alta velocidad Ethernet, IEEE 802.2	33
4.5 Interfases del Sistema	
4.5.1 Interfase con una red de información.	36
4.5.2 Interfase con una red LAN	37
4.5.3 Interfase con el bus de nodo	37
<b>5. MANEJO DE SEÑALES DE ENTRADA Y SALIDA</b>	
5.1 Señales de entrada/salida	38
5.2 Módulos del bus de campo analógicos	38
5.3 Módulos del bus de campo digitales	40
<b>6. SELECCIÓN Y COMPARACIÓN</b>	
6.1 Software del sistema	41
6.2 Hardware del sistema	42
6.2.1 Redundancia	42
6.2.2 Microprocesadores	43
6.2.3 RAM's	44
6.3 Capacidades de expansión	44
6.4 Comunicaciones	45
6.4.1 Equipos de terceros	45
6.4.2 Redes comerciales	46
6.5 Medio ambiente	46

## **7. APLICACIÓN DE DCS's EN EL ÁREA DE EVAPORADORES DE UN INGENIO AZUCARERO**

7.1 Area de evaporadores	48
7.1.1 Forma de alimentación	50
7.1.2 Objetivo de la evaporación del jugo de caña	51
7.1.3 Límite entre la evaporación y el cocimiento	52
7.1.4 Ventajas de la ebullición al vacío	53
7.1.5 Límite superior de la temperatura	53
7.1.6 Límite inferior de la temperatura	53
7.2 Aplicación real	54
7.3 Logros y beneficios	57
7.4 Diagrama de bloques de un sistema marca ORSI	59
<b>CONCLUSIONES</b>	61
<b>RECOMENDACIONES</b>	62
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	63

## ÍNDICE DE FIGURAS

1	Topologías de redes más usadas	2
2	Bus de nodo	5
3	Bus de nodo redundante	7
4	Procesadores de aplicación	11
5	Procesadores de estaciones de trabajo	12
6	Procesadores de estaciones de aplicación	15
7	Procesadores de control	16
8	Procesador de comunicación	18
9	RS-232-C, con DCE y DTE	31
10	RS-232-C, entre dos DTE	31
11	Tensión entre dos conductores en RS-485	33
12	Diagrama de flujo método CSMA	35
13	Interfase con una red LAN	37
14	Diagrama de flujo de jugo en evaporadores	51
15	Diagrama de control de jugo en evaporadores	56
16	Diagrama de bloques de un sistema de control distribuido	60

## GLOSARIO

- Arcnet** Red utilizada para control con una velocidad máxima de 10 Mbaudios, en algunos sistemas de control distribuido.
- °Brix** Medida que utilizada para representar la cantidad de solidos disueltos en una mezcla de agua y caña de azúcar.
- Calandria** Parte del evaporador donde se encuentran los tubos que tienen una altura de 1/3 de la altura total del mismo, y es por donde pasa el jugo a ser evaporado.
- CRT** Abreviatura que se le asigna a los monitores de video de los sistemas de control distribuido.
- Des-amarrados** Desconexión de uno de dos equipos o módulos inteligentes que están trabajando paralelamente.
- Estación** Puesto de operación donde se puede visualizar el proceso
- I/A** Nombre que le designó la compañía Siebe y su división Foxboro a su sistema de control distribuido.
- Paquete** Conjunto de datos enviados a través de una red también conocido como mensaje.

- PID** (Proporcional, Integral y Derivativo), lazo de control con los tres tipos de acción: banda proporcional, tiempo integral y tiempo derivativo.
- PLC** (Programmable logic controller), Controladores utilizados para el manejo de señales digitales comunmente de 120 VAC.
- Touchscreen** Monitor de video que su pantalla es sensible al tacto humano para ejecutar operaciones como las de un mouse tradicional
- VT100** Terminal utilizada para elaborar diagnósticos del sistema distribuído, conocida también como Terminal tonta.

## INTRODUCCIÓN

En la década de los sesenta el control de un proceso era muy importante. Poco a poco surgieron cambios en las industrias y como consecuencia aparecieron sistemas neumáticos para después llegar a los electrónicos.

En seguida aparecieron los controladores modulares, mitad electrónica mitad neumática. Dichos sistemas requerían de tirajes de tubería de cobre para poder llevar las señales de ida y vuelta. Por lo mismo requerían de espacios muy grandes y a veces se tornaba un poco peligroso el hecho de llevar señales dentro de tuberías de cobre por las fugas que se podían producir.

Después, con el adelanto de la electrónica fueron apareciendo transmisores electrónicos, controladores totalmente electrónicos y posibilidades de estrategias de control mucho más complejas. Se logra la elaboración de un mejor control del proceso, así mismo surgieron los sistemas supervisorios que eran interfaces con los controladores modulares, pero solamente a nivel de monitoreo y modificación de una que otra variable pero en ningún momento se ejecutaba control dentro del sistema supervisor si no que siempre se lo hacían los controladores modulares.

En seguida surgió un cambio total en la rama de sistemas de control, y aparecen los primeros sistemas de control distribuido, a diferencia de todos los mencionados anteriormente éstos ejecutan el control desde una gran computadora central, poseen interface hombre-máquina a través de pantallas CRT, tienen habilidades de poder mostrar gráficas y tendencias de las variables del proceso en tiempo real e histórico, capacidad de poder comunicarse con los controladores modulares, con otros sistemas de control, y por

lo general con cualquier otro dispositivo electrónico que maneje protocolos de comunicación estándar dentro de la marca del sistema en el que se está trabajando.

En Guatemala, en donde se le ha dado mayor uso a los sistemas de control distribuido es en los ingenios azucareros, que es una de las industrias más pujantes y de mayor desarrollo en nuestro país. Este trabajo fue elaborado con la experiencia del montaje de varios sistemas de control distribuido de las marcas que se mencionan dentro del mismo; en el entorno de dos ingenios muy importantes en Guatemala tal como lo son: ingenio La Unión e ingenio Pantaleón, localizados ambos en el departamento de Escuintla.



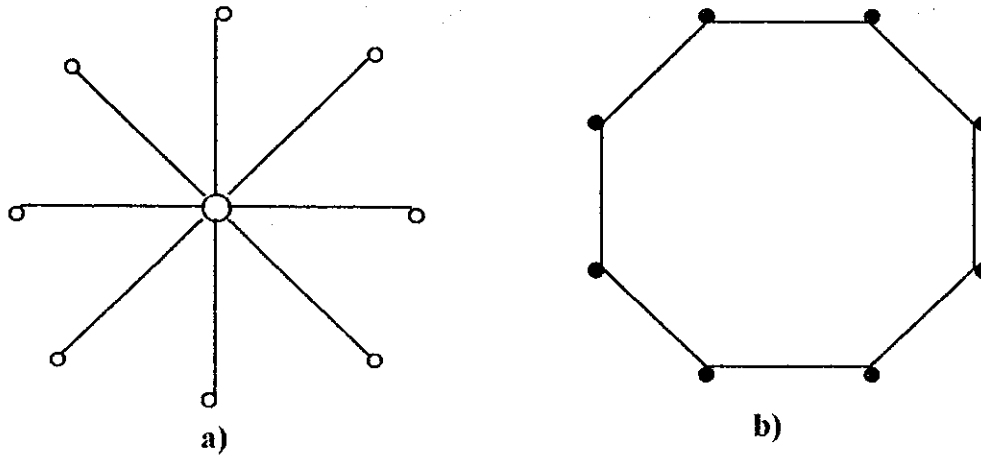
# 1. TOPOLOGÍA DE REDES UTILIZADAS

Un sistema distribuido es efectivamente un caso especial de una red, aquel cuyo software da un alto grado de cohesividad y transparencia, el usuario de un sistema distribuido no tiene conocimiento de que hay múltiples procesadores, mas bien ve el sistema como un monoprocesador virtual. La asignación de trabajos al procesador y archivos a discos, el movimiento de archivos entre donde se almacenan y donde son necesarios, y todas las demás funciones del sistema deben de ser automáticas. En un sistema de control distribuido se utilizan varias topologías de redes entre las cuales las más comunes estan:

## 1.1 Redes punto a punto

La red contiene varios cables conectando cada uno de ellos un par de máquinas, si dos máquinas desean comunicarse y no comparten un cable común, deberan hacerlo indirectamente a través de otra. Cuando un mensaje ( que en el contexto de red normalmente se denomina **paquete** ). Se envía de una máquina a otra, a través de una o más máquinas intermediarias, el paquete se recibe íntegramente en cada una de éstas. Se almacenará ahí y no continuará su camino hasta que la línea de salida necesaria para reexpedirlo esté libre. La red que utiliza este principio se denomina red **punto a punto, de almacenamiento y reenvío o de conmutación de paquetes.**

Un aspecto importante de diseño, cuando se utiliza una red punto a punto, consiste en considerar cómo deberá ser la topología de interconexión de las máquinas. En la figura 1 se muestran las dos topologías más comunes:



**Figura 1** Topologías de redes más usadas.  
a) Estrella, b) Anillo.

### **1.1.1 Red en estrella**

Cada estación está conectada con un enlace punto a punto a un elemento de conmutación central, y éste establece las conexiones entre estaciones. El elemento de conmutación central tiene la inteligencia suficiente para definir el camino entre estaciones que desean comunicarse.

### **1.1.2 Red en anillo**

Cada estación se enlaza a otras dos con un enlace punto a punto. La información se transmite en forma unidireccional, de una estación a otra.

## **1.2 Clasificación de buses en el sistema**

El bus del sistema (sistema de comunicación), es construido sobre una jerarquía de redes, con cada nivel mejorando y expandiendo el área geográfica, servicio y ancho de banda. Esta jerarquía en el sistema I/A de Foxboro consta de: **red de área local**

**Carrierband LAN, bus de nodo y bus de campo.** En ORSI que es otro tipo de DCS, la jerarquía es de una manera similar basandose en: una red de área local que también es una LAN, el bus de nodo que en este caso es una red ARCNET, y el bus de campo que está basado en un protocolo de comunicación RIO (**Remote input output**).

La red LAN es usada para integrar requerimientos de información entre nodos. El bus de nodo es considerado como la red de control dentro del sistema distribuido. El bus de campo es la red la cual controla la comunicación con los segmentos del proceso de entrada-salida del sistema distribuido.

### **1.2.1 Red lan**

Esta es una red de información no una red de control. Conocida como **red de área local** puede, geográficamente, distribuir la información aproximadamente hasta 1.8 Km. En general es usada para estaciones en un cuarto de control central con: control distribuido, información a gerencia de planta, o configuraciones de aplicación centralizada.

La máxima longitud del cable de la red Carrierband LAN es determinada por dos factores: la señal de pérdida del cable troncal de la red LAN, y del número de transformadores pasivos (acopladores) utilizados.

El cable troncal de la red LAN es el cable principal de la red el cual puede ser redundante para mayor seguridad. la impedancia de los cables utilizados debe de ser de 75 ohms. Las red LAN tienen tres características particulares:

1. Un campo de acción cuyo tamaño no es mayor de unos cuatro kilómetros.
2. Una velocidad total de datos de hasta 1.2 Mbps.
3. Una pertenencia a una sola organización.

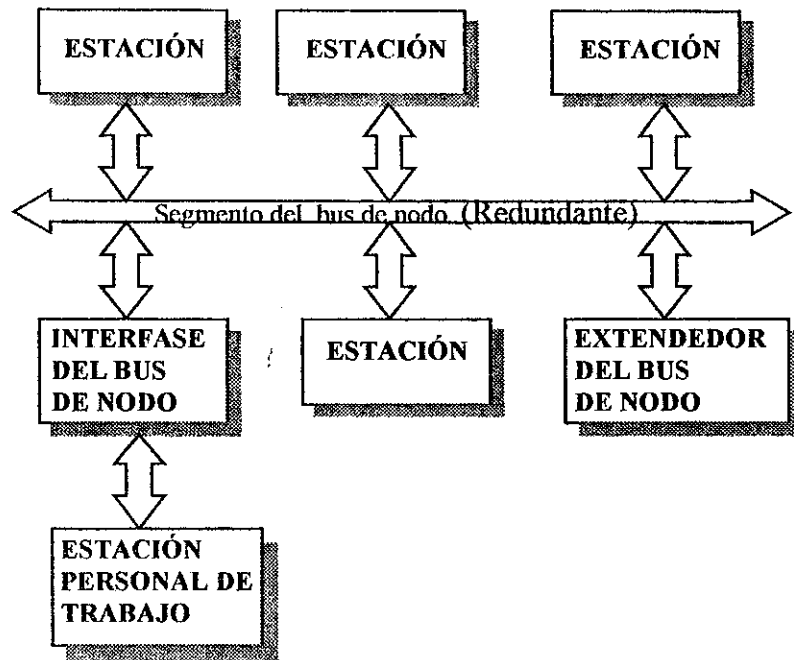
El objetivo de las LAN consiste en conectar entre sí las máquinas existentes, en otros casos fija la meta de la necesidad de crecimiento, o bien, el obtener una mejor relación costo/rendimiento de una red de estaciones de trabajo. La red LAN tiene un alto grado de confiabilidad, dicha red utiliza la norma IEEE 802.3 basada en la ETHERNET con protocolo 1-persistente CSMA/CD. También podemos mencionar la red DECnet que utiliza un protocolo muy conocido como lo es el TCP/IP.

### **1.2.2 Bus de nodo**

Es considerado como una red de control dentro del sistema de control distribuido, éste conecta hasta un número de 64 estaciones en el sistema para formar una dirección del proceso y un nodo de control. Operando en conjunto con la interfase electrónica del bus de nodo con cada una de las estaciones, esto mejora las comunicaciones redundantes par-par, distancia-limitada, alta-velocidad, entre las estaciones.

El bus de nodo puede ser completamente redundante y así estar diseñado para operar a pesar de que cualquiera de los canales falle. Cuando los mensajes se envían, las estaciones se alternan entre los dos buses redundantes. Podría ser que un bus fallara, entonces la falla es detectada por paquetes de software que monitorean el sistema configurando la estación de software para que detecten falla de cables o comunicación y todos los mensajes subsecuentes son transmitidos sobre el otro bus operacional hasta que el otro sea reparado.

Se puede observar un bus de nodo típico en la figura 2



**Figura 2.**  
**Bus de nodo**

### **1.2.3 Bus de campo**

El bus de campo coordina la transferencia de entrada-salida de las comunicaciones de datos seriales entre los módulos de entrada-salida sobre el bus de campo (módulos de campo) y sus asociados procesadores de control localizados sobre el bus de nodo. Este también puede ser redundante, con línea de grupos maestro-esclavo que emplean protocolo asíncrono el cual esta de acuerdo con los requerimientos de los estándares de EIA RS-485. El bus de campo está protegido contra errores de bit-simple, bit-doble, bit-par.

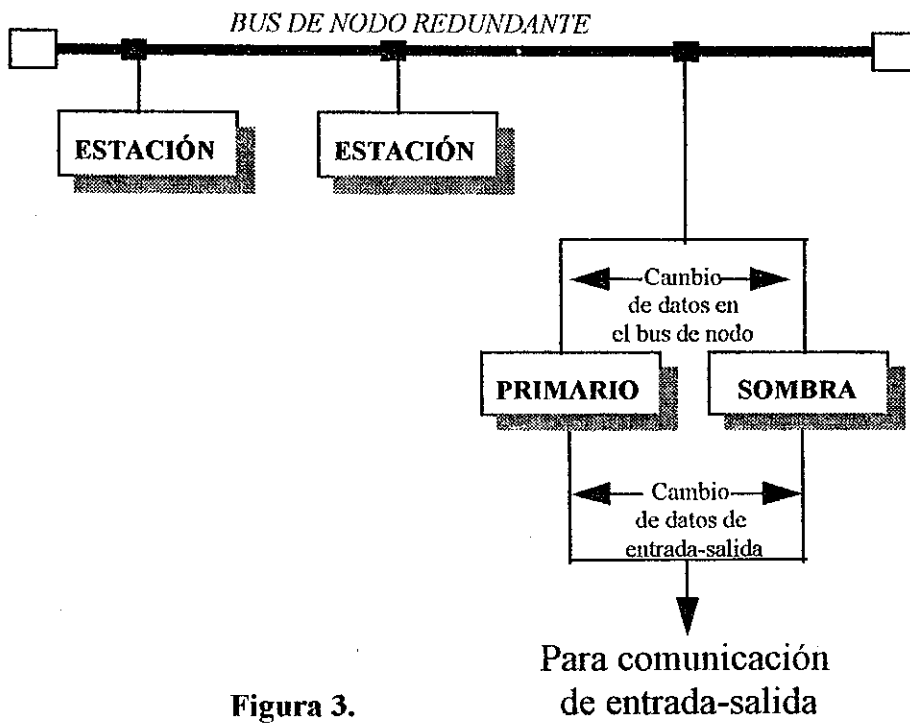
### 1.3 Red tolerante a fallas

La configuración de una red tolerante a fallas se muestra en la figura 3, consiste de dos módulos “amarrados” el uno con el otro para formar una simple y lógica estación tolerante a fallas. Un módulo en la estación tolerante a fallas es llamado el **módulo primario**, y el segundo módulo es llamado **módulo sombra**.

Cada módulo en una estación tolerante a fallas recibe entradas idénticas de sus interfaces. Como los dos módulos son idénticos, los cómputos ejecutados en los datos de entrada resulta en salidas idénticas bajo operación normal ( en el caso que no ocurre fallas). Sin embargo, ambos módulos están generando los mismos datos de salida, transmitiendo solamente los datos desde el módulo primario. El módulo sombra recibe la salida del primario y los compara con sus propias salidas.

Cuando ocurre una falla en cualquiera de los dos módulos, las salidas generadas por ambos módulos son diferentes. Este es el medio primario de detección de error. Un método de sincronización se puede emplear en el software de operación para asegurar que las salidas de cada módulo estén en sincronía. Esto asegura el mismo punto de ejecución para los dos módulos y también para la siguiente secuencia del proceso a ser ejecutado.

Cuando un error es detectado en cualquiera de los dos módulos, es confinado por el módulo y por consiguiente aislado vía diagnósticos. El segundo módulo es notificado de la falla, esto resulta en que los dos módulos vengán a ser “des-amarrados”. Quedando la operación del proceso en un solo módulo mientras el otro módulo es reparado.



**Figura 3.**  
**Bus de nodo redundante**

## **2. ARQUITECTURA TÍPICA**

La estructura de un sistema de control distribuido está constituida básicamente en dos redes: una de información o red LAN; y otra de control o BUS DE NODO, ambas son tolerante a fallas. El sistema se subdivide en una tercera red que comprende el bus de campo y a la vez está formada por varios bloques (funcionalmente hablando: "Módulos") que enseguida encontrará una descripción funcional de los bloques del bus de campo, entre ellos: procesadores de aplicación, procesadores de estaciones de trabajo, estaciones de trabajo de aplicación (estaciones de ingeniería), procesadores de control, procesadores de comunicación módulos de campo, incluyendo también los dispositivos periféricos que posee cada procesador y sus tipos de comunicación posibles.

En otras marcas, Fischer & Porter (ahora es Elsig Bailey) hace mención de: DCU = procesadores de control; XDC = estaciones de aplicación, Mips = Estación de ingeniería; CIO's = procesadores de comunicación; ALOOP = módulos de campo de señales analógicas; DLOOP = módulos de campo de señales digitales.

En ORSI una marca introducida recientemente, está: CP15/386 = procesadores de control; Server de programación = estaciones de ingeniería; COMM/DD = procesadores de comunicación; TAOP's = módulos de campo de señales analógicas; TRL's = módulos de señales digitales.

### **2.1 Procesadores de aplicación**

Los procesadores de aplicación son estaciones basadas en microprocesadores



(servidor en fila), hacen interfase con los dispositivos de almacenamiento masivo, mostrado en la figura 4, son además un recurso de datos y cómputos de propósito general. Los procesadores de aplicación son configurados por software para ejecutar varias combinaciones de las funciones del sistema tales como:

- **Funciones del sistema y manejo de la red:** coleccionan datos del sistema y ejecutan funciones estadísticas, proveen de mensajes a las estaciones, manejan todas las alarmas, y mantienen un tiempo consistente y estado de los datos en todas las estaciones.

- **Manejo de la base de datos:** envuelve el almacenamiento, manipulación y recuperación de archivos que contienen los datos recibidos y/o producidos por el sistema.

- **Solicitud de archivos:** manejo de todas las solicitudes de archivos asociados con toda la memoria en masa asignada al procesador de aplicación.

- **Datos históricos:** cuando se ha configurado el procesador de aplicación la función de historiador, éste mantiene una historia de los mensajes de aplicación errores, condiciones de alarma, valores discretos y continuos ( mediciones, setpoints, salidas, estados de interruptores).- **Soporte de pantallas y gráficas:** almacena y recupera formatos de pantallas y definiciones de campo en tiempo real.

- **Software de control de producción:** el procesador de aplicación requiere recursos como: informix dbms, historiador, hojas electrónicas, librería de propiedades físicas, librería matemática.

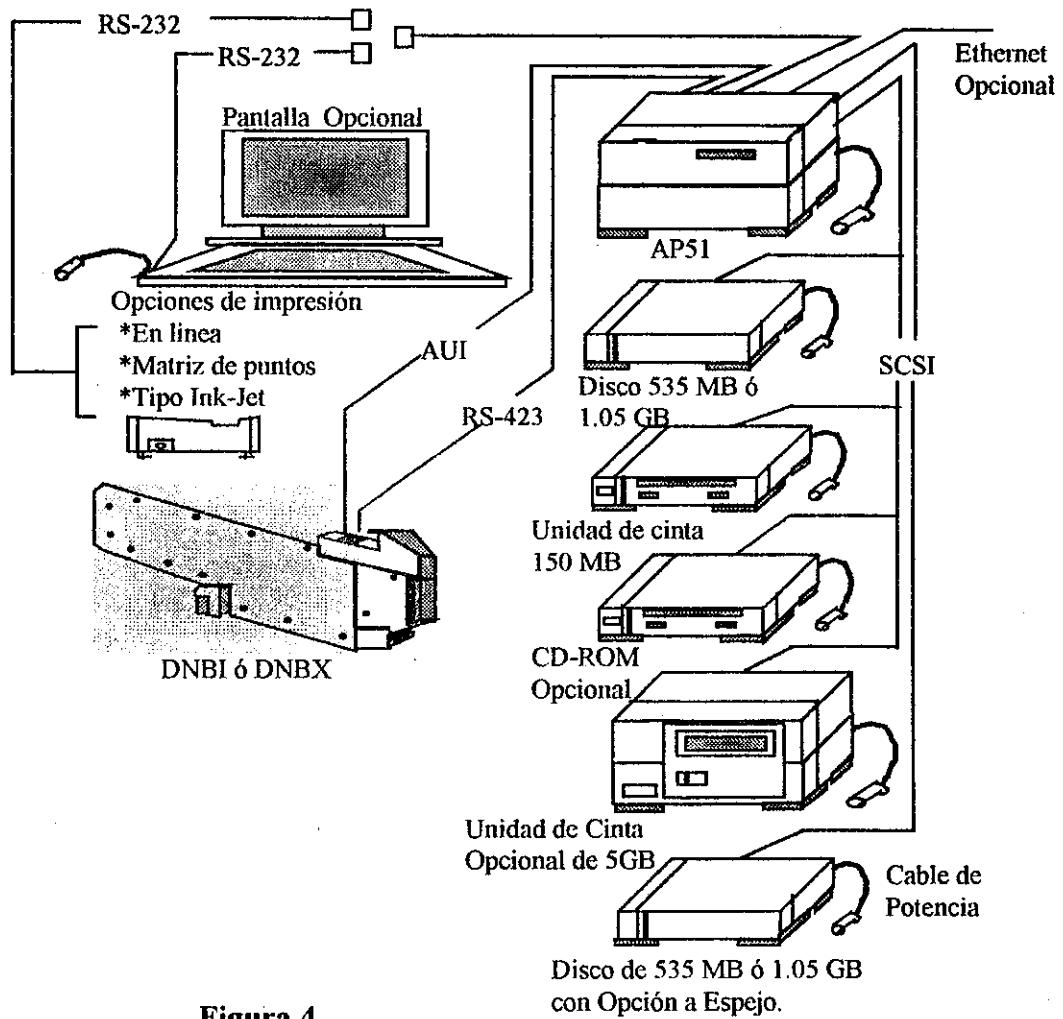
- **Configuración:** provee almacenamiento masivo para parámetros de configuración y ejecución de algunos de los procesos de configuración.

- **Facilidades del soporte:** Soporte en línea "Ayuda" y documentación electrónica.

### **Especificaciones funcionales de un procesador de aplicación (AP51 Foxboro I/A)**

Puede tener hasta un máximo de seis dispositivos conectados en SCSI tales como: un disco duro de 535 MB, 1.05 GB ó 2.1 GB con opción a disco espejo, Una unidad de cinta magnética de 150 MB ( cinta de 1/4"), unidad de cinta de 5.0 GB (Cinta de 4 mm), Un CD-ROM de 644 MB. Puede tener también un dispositivo periférico serial como: Una impresora en línea, una impresora de matriz de puntos de 80 cpi. Una impresora de matriz de puntos de 136 cpi. Una impresora a color del tipo Ink-jet. o una terminal tonta llamada dentro del sistema una VT100. Tambien cuenta con un floppy de 1.44 MB de 3.5".

Comunicaciones de red: Un puerto opcional de comunicación hacia una red Ethernet y una interfase con un Bus de Nodo Doble o extendido ( DNBI o DNBX). Contiene un procesador tipo SPARC RISC con un micro SPARC CPU de 50 Mhz, y unidad de punto flotante. Posee una memoria RAM de 16 MB con expansión 96 MB.

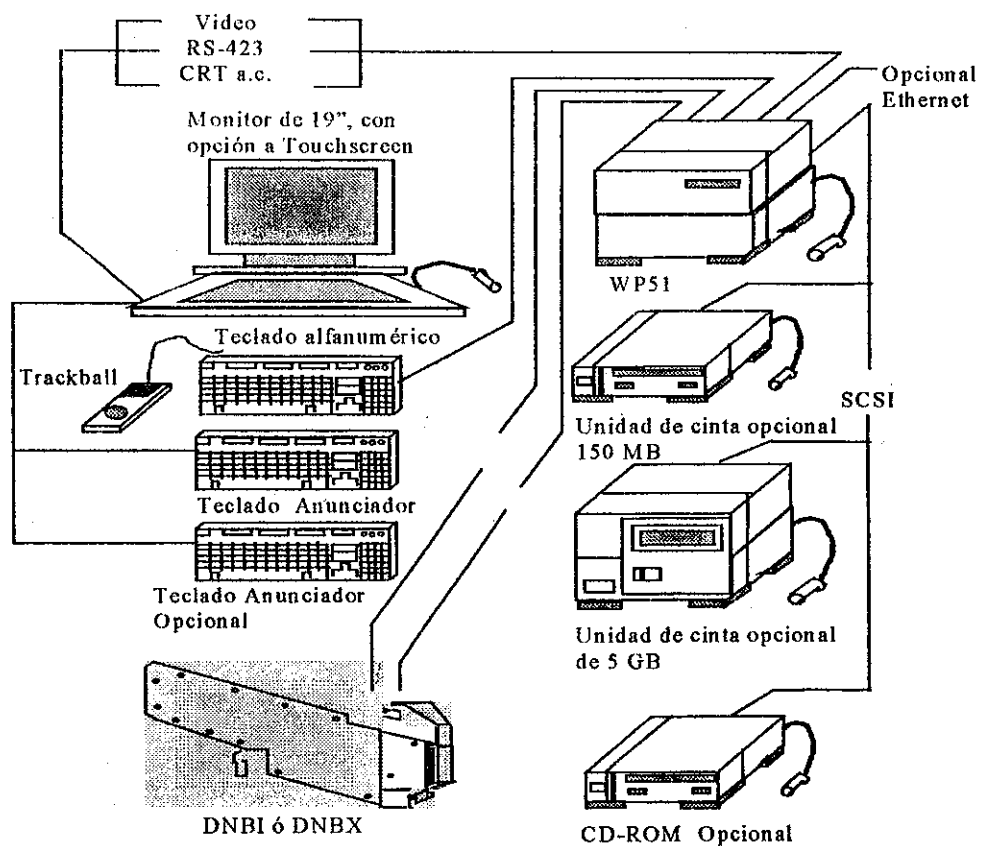


**Figura 4.**  
**Procesadores de aplicación**

## 2.2 Procesadores de estaciones de trabajo

Estos procesadores (WP's) junto con sus dispositivos periféricos, proveen un enlace entre el usuario y todas las funciones del sistema, éste recibe información de gráficas y textos de los procesadores de aplicación de otras estaciones del sistema, genera señales de video para mostrar en pantalla la información en un monitor de video. Fig. 5

Los dispositivos que pueden ser conectados a los procesadores de estaciones de trabajo (del sistema I/A de foxboro), en adición al monitor de video, incluye: pantallas de "Touchscreen", ratón o trackball, un teclado alfanumérico, el anunciador y el anunciador numérico de teclados. Estos dispositivos opcionales proveen un medio para poder introducir datos, selección y opción de pantallas, y manejo de alarmas. Las conexiones para el procesador de estación de trabajo se hacen por medio de un bus serial. Además no son totalmente tolerante a fallas.



**Figura 5.**  
**Procesadores de estaciones de trabajo**

## **Especificaciones funcionales (para el WP51 I/A de Foxboro)**

Los dispositivos periféricos (número máximo) que se pueden conectar son: 1 monitor a color de video, 1 monitor touchscreen, 1 teclado alfanumérico, 2 anunciadores o teclado anunciador /numérico, y 1 ratón o trackball. Posee tres microprocesadores: 1 procesador principal 80386SX, 1 procesador numérico 80387SX, procesador gráfico TMS34010. Con opciones de discos duros de las mismas características que un AW51 y puerto Ethernet

### **2.3 Estaciones de trabajo de aplicación**

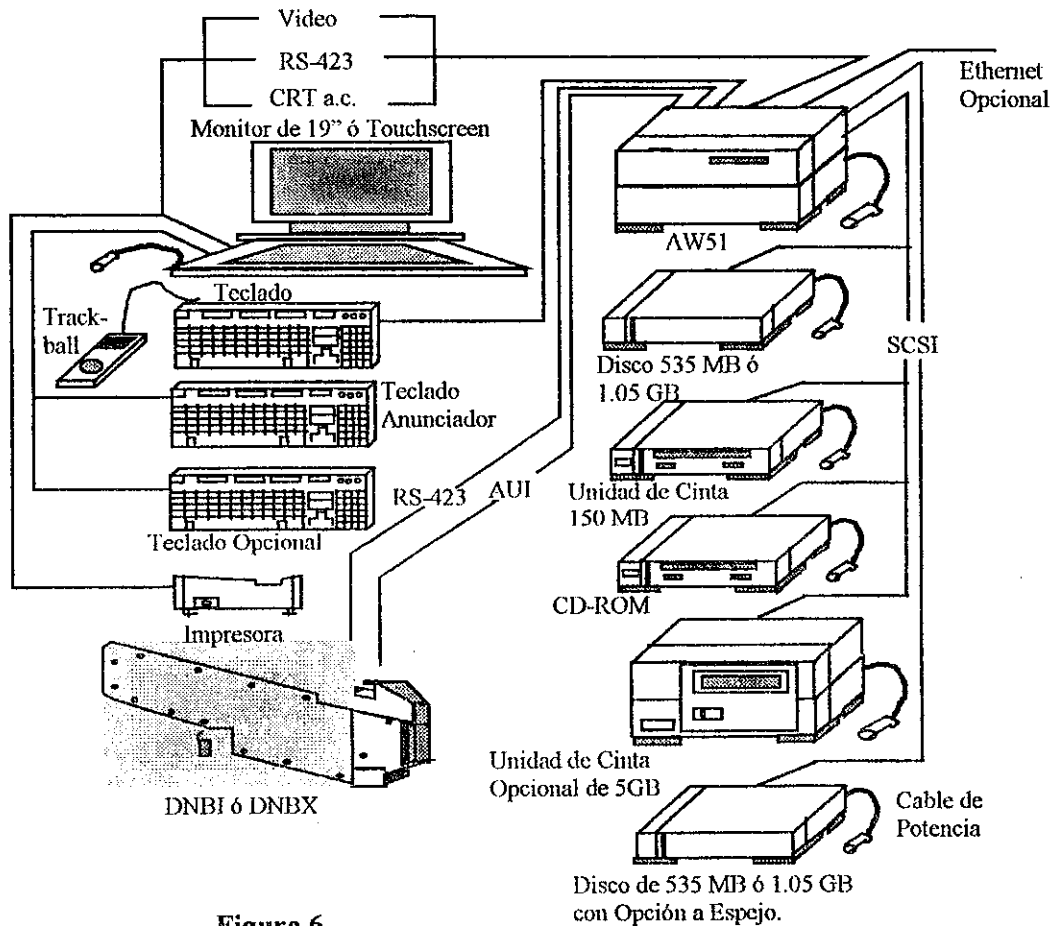
Las estaciones de trabajo de aplicación (AW's), ejecutan funciones combinadas de un procesador de aplicación (AP) y un procesador de estación de trabajo (WP) en un nodo del sistema de control distribuido. Cuando es usado como parte de un nodo, el AW sirve como procesador principal y de elemento de interfaces humano en el sistema, podemos ver un AW y sus dispositivos en la figura 6. Este trabaja en conjunto con estaciones esclavas para proveer un completo control distribuido y una amplia cobertura de información. Adicionalmente, el AW ejecuta operaciones tales como: Configuración en línea de base de datos, pantallas, configuración del sistema, configuración de estrategias de control y monitoreo del sistema.

Las aplicaciones ejecutadas por el AW tienen un rango desde funciones mínimas tales como almacenamiento de imágenes en memoria, alarmas de eventos, y datos históricos, hasta aplicaciones de gran escala tales como control avanzado y capacidades de programación de aplicaciones de grupos de terceros, manejo de bases de datos y programas de desarrollo.

### **2.3.1 Especificaciones funcionales (para el AW51-A, B y C; I/A de Foxboro)**

Los dispositivos periféricos se comunican al AW por medio de un bus SCSI y pueden ser: 1 disco duro de 535 MB, 1.05 GB ó 2.1 GB con opción a disco espejo, 3 discos duros adicionales de 535 MB o 1.05 GB, 1 unidad de cinta magnética de 150 MB (cinta de 1/4"), 1 unidad de cinta DAT de 5.0 GB (cinta de 4 mm).

El interfase periférico de video puede tener como máximo 2 monitores de video a color. Los dispositivos periféricos seriales pueden ser: 2 monitores Touchscreen, 1 teclado alfa numérico, 4 teclados anunciadores o anunciadores/numéricos, 1 ratón o trackball, 1 impresora ya sea: Impresora en línea, impresora de matriz de puntos de 80 cps, impresora de matriz de puntos de 136 cps, ó impresora a color tipo Ink-jet. Drives: floppy disk de 1.44 MB de 3.5". Comunicaciones de red: 1 interfase con bus de nodo doble o extendido (DNBI ó DNBX), 1 puerto de comunicaciones ETHERNET con soporte para una terminal X-Windows. Tipo de procesador: 1 procesador SPARC RISC con micro CPU SPARC a 50 Mhz y unidad de punto flotante. Memoria RAM: 32 MB expansible a 96 MB.



**Figura 6.**  
**Procesadores de estaciones de aplicación**

## 2.4 Procesadores de control

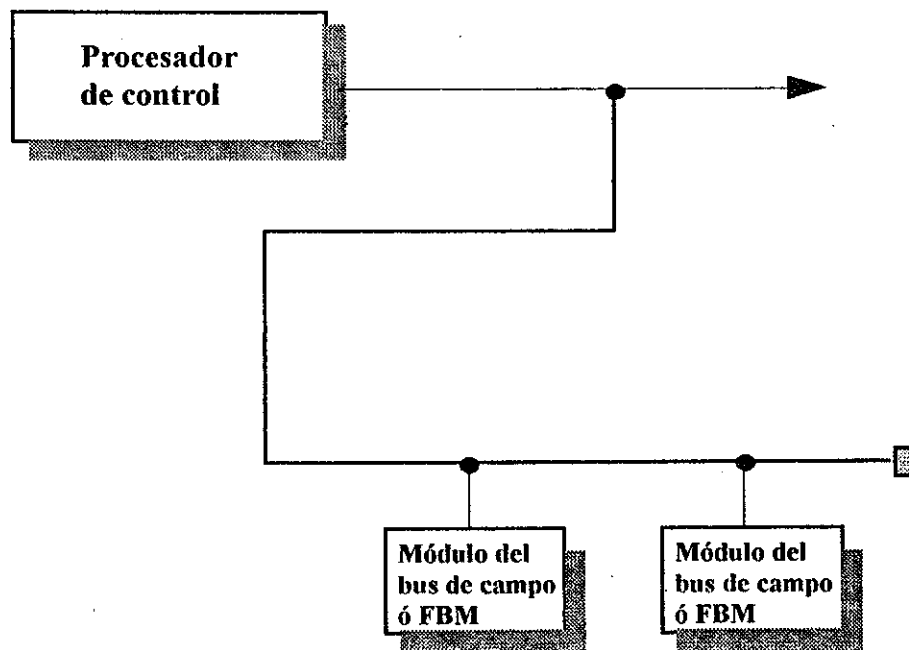
El procesador de control (CP), junto con sus módulos de campo (FBM's) asociados, ejecutan funciones de regulación, lógica, tiempo, y control secuencial. Este también ejecuta la adquisición de datos por medio de los módulos de campo, detecciones de alarma y notificaciones. Podemos observar un procesador de control en la figura 7.

El procesador de control interactúa con los dispositivos de interfase al operador

por comunicación con los procesadores de estaciones de trabajo (WP's) y/o procesadores de aplicación (AP's) con los cuales están conectados. El procesador de control procesa las variables usando algoritmos contenidos en bloques de control funcional configurados por los ingenieros de proceso para implementar las estrategias de control deseadas.

El procesador de control (exclusivamente en el caso de los sistemas I/A de Foxboro), en una configuración local, soporta hasta 24 módulos de campo (FBM's). El bus de campo puede extenderse hasta 10 mts. del procesador de control. En una configuración remota, éste soporta hasta 48 módulos de campo con el uso de aisladores de bus de campo, el bus de campo se puede extender hasta 1800 mts.

Los procesadores de control poseen una arquitectura de 32 bits y una memoria RAM de 4 MB para mayor capacidad de bloques. Se puede colocar dos procesadores de control simples para obtener un procesador de control tolerante a fallas.



**Figura 7.**  
**Procesador de control**



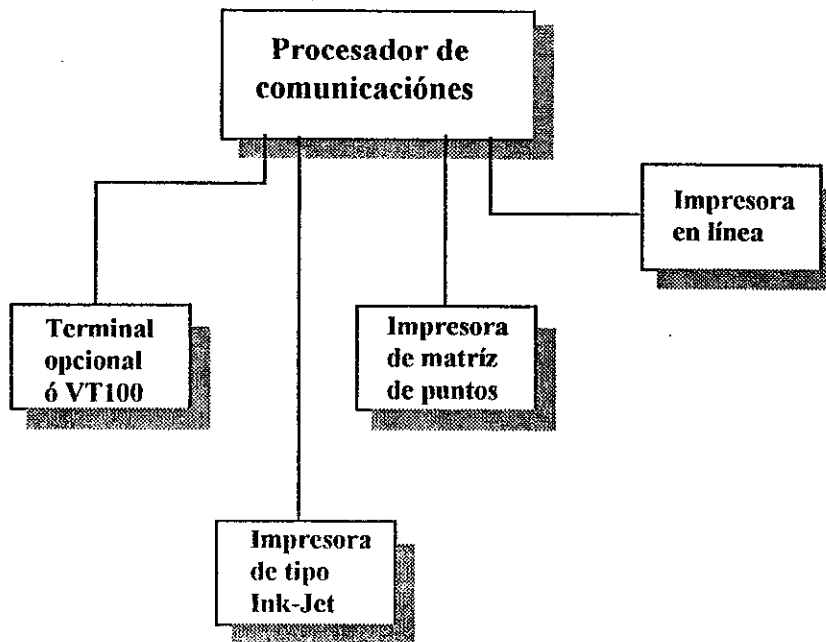
En el sistema ORSI, el procesador de control es un procesador 80486, de 32 bits y Memoria RAM de 4 MB , puede tener capacidad para 10 IOP (tarjetas multiplexoras c/u soporta 4 módulos de campo), teniendo la posibilidad de ser también tolerante a fallas.

## **2.5 Procesadores de comunicación**

El procesador de comunicación (en los sistemas distribuidos I/A de Foxboro), provee 4 puertos de comunicación RS-232-C, para dispositivos I/O terminales tales como: 1 terminal compatible VT100, impresoras blanco y negro o a color y otros dispositivos seriales asíncronos. Figura 8.

La configuración puede ser ya sea: 4 puertos seriales con ejecución de canal asíncrono hasta 9.6 Kbps, o 1 puerto con ejecución de canal síncrono hasta 64 Kbps.

El procesador de comunicación es responsable de la transacción recibida de mensajes estándar de las estaciones en la red de los dispositivos de mensaje sobre una base prioritaria. Para cada dispositivo, el procesador mantiene una tabla de caracteres de control en la cual define el juego de caracteres de control para un dispositivo en específico.



**Figura 8**  
**Procesador de comunicación**

Este lleva a cabo un mapeo de caracter por caracter desde el juego de caracteres de control estándar hasta el juego de caracteres de control reconocidos por el dispositivo.

## **2.6 Módulos de comunicación hacia terceros**

Estos son módulos de comunicación hacia equipos de terceros más conocidos como Integrators ó Gateways, y que encadenan el sistema distribuído con una red local. Entre los cuales los más importantes están:

- SPECTRUM Master Gateway
- SPECTRUM Slave Gateway
- Modicon Gateway, Integrator 30 for Modicon
- Allen-Bradley Data Highway Gateway, Integrator 30 for ABDH

- Instrument Gateway
- Foreign Device Gateway, Device Integrator 30
- INTERSPEC Integrator 30
- Siemens Gateway.

En el sistema ORSI existen drivers de comunicación hacia terceros tales como:

- APPLETH Ethernet driver applicom
- APPLPFB Profibus driver applicom
- D3964 Siemens 3964R serial driver
- DDE Dynamic data exchange interface
- DDH+ Allen-Bradley Data highway plus driver
- DFWAY Telemecanique FIPWAY driver
- DHI Hitachi HI serial driver
- DMBPL MODBUS plus serial driver
- DOS Omron sysmac serial driver
- DSGE General electric serial driver
- DSL2 Siemens SINEC L-Profibus driver
- DSMMA Mitsubishi MELSEC-A Serial driver
- DTI Texas instruments TIWAY driver
- FPSL Single loop Fischer & Porter driver
- YMXL Yokogawa DCS mXL serial driver

Módulos los cuales ofrecen el poder de comunicación del sistema hacia PLC's de diferentes marcas, controladores PID de la misma marca del sistema distribuido, o bien otros dispositivos que tengan comunicación RS-232-C, RS-485, o bien RS-422, etc.

## **2.7 Módulos del bus de campo en DCS's**

Los módulos de campo proveen la interfase entre los sensores/actuadores del proceso y el bus de campo (Fieldbus) . Hay dos tipos de módulos de campo: Los módulos de campo analógicos y los módulos de campo digitales.

### **2.7.1 Módulos del bus de campo analógicos**

Los módulos de campo analógicos convierten las señales de entrada/salida usadas por los dispositivos de campo para permitir la comunicación con éstos dispositivos por medio del bus de campo (Fieldbus). Convertidas las señales eléctricas son trasladadas de las variables físicas tales como: flujo, temperatura, presión, y entradas de pulsos. Los tipos de módulos de campo analógicos son los siguientes:

- Interfase para entrada de 0 - 20 mA
- Interfase para entrada milivolts de Termocoplas
- Interfase para entrada de RTD's
- Interfase para entrada/salida de 0 - 20 mA
- Interfase para entrada/salida de 0 - 20 mA redundante
- Interfase para entrada de pulsos y salida de 0 - 20 mA
- Interfase para entrada/salida de contactos/dc de 0 - 10 V dc
- Interfase para transmisores inteligentes
- Interfase para estaciones auto/manual simples con entrada/salida de 4 - 20 mA
- Interfase de salida de 0 - 20 mA y transmisores inteligentes
- Interfase con transmisores inteligentes con doble razón de Baudios
- Interfase de salida de 0 - 20 mA y transmisores inteligentes con doble razón de Baudios.

## **2.7.2 Módulos del bus de campo digitales**

Los módulos de campo digitales proveen la interfase entre los sensores/actuadores del proceso y el bus de campo redundante. Los FBM's digitales convierten las señales eléctricas de entrada/salida usadas por los dispositivos de campo para permitir la comunicación con estos por medio del bus de campo. Los tipos de módulos de campo digitales son los siguientes:

- Interfase de entrada de contactos dc
- Interfase de entrada para 120 VAC
- Interfase de entrada/salida de contactos/dc
- Interfase de entrada/salida para 120 VAC
- Interfase de entrada/salida para 240 VAC
- Interfase de entrada para 240 VAC
- Interfase de entrada para contactos/125 V dc
- Interfase de entrada/salida para contactos/125 V dc
- Interfase de entrada/salida para contactos/dc de alta potencia.

### 3. MEDIOS DE TRANSMISIÓN

El propósito de la capa física consiste en transportar el flujo original de bits de una máquina a otra. Normalmente, se utilizan varios medios físicos para realizar una transmisión, cada marca de sistema de control distribuido utiliza diferentes medios de transmisión para su comunicación entre los diferentes módulos y niveles del mismo, a continuación se da una breve explicación de los medios mas usados:

#### 3.1 Par trenzado

En muchas aplicaciones resulta necesario tener una conexión en línea, el medio de transmisión más antiguo, y todavía el más ampliamente utilizado, es el **par trenzado**. Este consiste en dos alambres de cobre aislados, en general de 1 mm de espesor. Los alambres se entrelazan en forma helicoidal, como en una molécula de DNA. La forma trenzada del cable se utiliza para reducir la interferencia eléctrica con respecto a los pares cercanos que se encuentran a su alrededor, y puede tener o no una malla protectora, generalmente construida con una película de aluminio. En caso de que no tengan malla se conoce como: **UTP** (Unshielded Twisted Pair, par trenzado sin malla); en caso contrario se utiliza la denominación **STP** (Shielded Twisted Pair, par trenzado mallado).

Las velocidades de transmisión oscilan de unos pocos Kbaudios a 100 Mbaudios, en distancias de algunos metros hasta una par de kilómetros. Es de bajo costo, pero de poca inmunidad al ruido. Se utilizan tanto para transmisiones analógicas como digitales, y su ancho de banda depende del calibre del alambre y la distancia que recorre.

La aplicación más usual en los sistemas distribuidos está en la conexión de los transmisores ( de flujo, presión, temperatura, nivel, etc), o de los elementos finales (válvulas, cilindros, actuadores, solenoides, etc) hacia las tarjetas de entrada de campo del sistema que seran las que convertiran la señal de los antes mencionados en señales utiles (generalmente conversion análoga - digital) para poder maniobrarlas y que los módulos procesadores de control puedan tomar acciones y decisiones.

## **3.2 Cable coaxial**

Consiste en dos conductores concéntricos, aislados por un dieléctrico. Hay dos formas de enviar una señal a través de una cable coaxial: banda base y banda ancha.

### **3.2.1 Cable coaxial de banda base**

Existen dos tipos de cable coaxial que se utilizan con frecuencia son: el cable de 50 Ohms utilizado en transmisiones digitales y el cable de 75 Ohms utilizado para transmisiones analógicas.

El cable coaxial consta de un alambre de cobre duro en su parte central, es decir, que constituye el núcleo, el cual se encuentra rodeado por un material aislante. Este material aislante está rodeado por un conductor cilíndrico que frecuentemente se presenta como una malla de tejido trenzado. El conductor externo está cubierto por una capa de plástico protector.

La señal es enviada por el cable coaxial como niveles de tensión, a velocidades hasta de 10 Mbaudios, y distancias de hasta 500 m. La construcción del cable coaxial produce una buena combinación de un gran ancho de banda y una excelente inmunidad al

ruido, se emplean ampliamente para transmisiones de redes de área local y para transmisiones de larga distancia del sistema telefónico.

En los sistemas distribuidos depende la marca es la aplicación que le dan al cable coaxial de banda base, para hacer mención como ejemplo están:

**I/A de Foxboro:** emplea la conexión de una estación de aplicación hacia una PC con emulación de una estación de aplicación, o también de un gateway hacia un equipo de aplicación de terceros (como: Allen Bradley, Modicon, Siemens, etc)

**Orsi Automazione:** este sistema tiene la arquitectura de cliente-servidor, utiliza el cable coaxial para la conexión de los ordenadores (PC's) en una red tipo arcnet hacia un distribuidor de red (HUB) llevando así la comunicación de los procesadores de control, los diferentes servidores de la red, y también en conexión con equipos de terceros.

**Elsag Bailey:** (antiguamente Fischer & Porter) lo utiliza en comunicación hacia equipos de terceros.

### **3.2.2 Cable coaxial de banda ancha**

Aquí se emplea el cable coaxial para la transmisión analógica, que se utiliza comúnmente para el envío de la señal de televisión por cable. Dado que las redes de banda ancha utilizan la tecnología patrón para envío de señales de televisión por cable, los cables pueden emplearse para aplicaciones que necesiten hasta los 300 Mhz. (en algunos casos hasta los 450 Mhz y extenderse hasta una distancia de 100 m.).

Si la transmisión va a ser digital se modula en frecuencia, utilizándose frecuencias definidas para la representación de la señal lógica. La velocidad de transmisión puede



llegar a 150 Mbps, pero las implementaciones más usuales sólo alcanzan unos pocos Mbps, debido al alto costo de las interfaces requeridas en las computadoras y otros dispositivos asociados, el alcance es de algunos kilómetros.

En los sistemas distribuidos es muy poca la aplicación de este tipo de cable, pero en algunos se utiliza en la conexión señales de video (cámaras de video) o señales de audio (sensores de sonido perceptible al humano) hacia tarjetas de video y audio respectivamente para poder incluir imágenes y sonidos reales del proceso en una pantalla de alguna estación de aplicación. También se utiliza en los enlaces Carrier LAN band para tendidos aéreos a la intemperie y subterráneos.

### **3.3 FIBRAS ÓPTICAS**

Los desarrollos recientes en el campo de la tecnología óptica han hecho posible la transmisión de información mediante pulsos de luz. Un pulso de luz puede utilizarse para indicar un bit de valor 1; la ausencia de un pulso indicará la existencia de un bit 0. La luz visible tiene una frecuencia de alrededor de 10 Mhz, por lo que el ancho de banda de transmisión de un sistema utilizando fibra óptica presenta un potencial enorme.

Consiste de una fibra flexible de vidrio o plástico que transporta luz proveniente de un diodo fotoemisor (Light Emission Diode, LED). o un diodo de inyección láser (Injection Laser Diode, ILD). Tiene una excelente inmunidad al ruido y costo relativamente alto, con velocidades de transmisión de hasta 1000 Mbps, a una distancia de 1 Km.

Al colocar un LED o un diodo láser en el extremo de un fibra óptica, y un fotodiodo en el otro, se tiene una transmisión de datos unidireccional que acepta una señal eléctrica, la convierte y la transmite por medio de pulsos de luz, después, reconvierte

dichos pulsos de luz en una señal eléctrica, en el extremo receptor.

La luz se transmite en la fibra por encima del ángulo crítico, se reflejará internamente, y existirá una gran cantidad de rayos diferentes rebotando a distintos ángulos. A esta situación se le conoce como **fibra multimodo**. Sin embargo, si el diámetro de la fibra se reduce al valor de la longitud de onda de la luz, la fibra actúa como una guía de ondas, y la luz se propagará en línea recta, sin rebotar, produciendo así una **fibra de un solo modo**.

En los sistemas distribuidos depende la marca es la aplicación que le dan a la fibra óptica, para hacer mención como ejemplo tenemos que:

**I/A de Foxboro:** conexión entre dos sistemas distribuidos cuando la distancia excede los 600 mts. entre uno y el otro.

**Orsi Automazione:** conexión entre dos sistemas distribuidos cuando la distancia es mayor que la permitida para el cable coaxial que es de 600 mts.

**Elsag Bailey:** conexión hacia una estación de aplicación a larga distancia de aproximadamente 1 Km.

## 4. TIPOS DE COMUNICACIÓN UTILIZADOS

Dentro de un sistema de control distribuido existen varios tipos de comunicación, por ejemplo la comunicación hacia equipos de terceros, estaciones manual/automático, impresoras, dispositivos periféricos, pc's como terminales, hacia los módulos del bus de campo, ó hacia un red LAN, etc. En el resto del capítulo se dará una descripción de las comunicaciones más importantes dentro del los sistemas distribuidos.

### 4.1 Máxima capacidad de transferencia de datos en un canal

Nyquist comprendió la existencia de ésta limitación fundamental y derivó una ecuación que expresaba la máxima velocidad de datos a través de un canal sin ruido, con un ancho de banda finito (año de 1924). Claude Shannon llevó a cabo un trabajo más extenso sobre lo desarrollado por Nyquist, y lo amplió para el caso de un canal sujeto a ruido aleatorio (ruido térmico).

Nyquist demostró que si una señal arbitraria se hace pasar a través de un filtro paso-bajo, con un ancho de banda  $H$ , la señal filtrada puede reconstruirse por completo mediante la obtención simple y sencilla de  $2H$  muestras por segundo exactamente. El llevar a cabo un muestreo de la línea a una frecuencia superior de  $2H$  no tiene ningún sentido porque los componentes de frecuencias más altas que dicho muestreo no pueden recuperarse, pues han sido filtrados. Si la señal consiste de  $V$  niveles discretos, el teorema de Nyquist establece que:

$$\text{La velocidad máxima de datos} = 2H \log_2 V \text{ bits/seg}$$

Por ejemplo, un canal sin ruido de 3 KHz no puede transmitir señales binarias a una velocidad que exceda los 6000 bps.

La cantidad de ruido térmico presente se mide por la relación que existe entre la potencia de la señal y la potencia del ruido, a la cual se le conoce como **relación señal-ruido**. Si se denota por  $S$  a la potencia de la señal y por  $N$  a la potencia del ruido, la relación señal-ruido es  $S/N$ . Por lo general, no es común citar la relación misma, en su lugar lo que se hace es indicarla mediante la cantidad  $\log_{10} S/N$ . La unidad de ésta expresión está dada en **decibeles (dB)**. Una relación de  $S/N$  de 10 es **10 dB**, una relación de 1000 es **30 dB**, etc.

El resultado más importante del teorema de Shannon establece que la máxima velocidad de datos sobre un canal ruidoso, cuyo ancho de banda es de  $H$  Hz y cuya relación señal-ruido es  $S/N$ , está dado por

$$\text{número máximo de bits/seg} = H \log_2(1 + S/N)$$

Por ejemplo, un canal con un ancho de banda de 3000 Hz, y una relación señal-ruido térmico de 30 dB que se utiliza comúnmente en un canal de transmisión telefónica, nunca podrá transmitir a una velocidad superior a los 30,000 bps, o sea 30 Kbps, sin importar el número de niveles de la señal o la frecuencia de muestreo que se tome. El resultado del teorema de Shannon se demostró mediante el uso de la teoría de la información y tiene una validez muy general.

Una velocidad de 9600 bps es una línea telefónica de calidad excelente, y ésta se obtiene mediante el envío de 4 bits a 2400 baudios.

## 4.2 Comunicación RS-232-C Y RS-485

La norma RS-232-C es la tercera revisión de la norma original RS-232. Fue propuesta por la Asociación de Industrias Electrónicas (Electronic Industry Association, EIA), e incluida en la recomendación V.24 del Comité Consultivo Internacional Telegráfico y Telefónico (CCITT), con unas pocas modificaciones en circuitos que rara vez se usan.

Prácticamente, cualquier computadora personal cuenta con un o varias interfaces RS-232, utilizadas para la conexión de módems, impresoras, ratones de computadora, etc. Esta norma define las características eléctricas y funcionales de la interfase entre un **equipo terminal de datos (DTE)** y un **equipo de comunicación de datos (DCE)**. Un DTE es un terminal a la cual accede un usuario. Podría ser también un sistema que se comporta en forma similar, como por ejemplo, una computadora o un PLC. Un DCE es un módem (modulador/demodulador), que codifica la información digital en tonos de audio que pueden ser transmitidos por una línea telefónica.

Los bits se transmiten en forma seriada, esto es, se utiliza un conductor para transmitir los bits uno a continuación del otro. Otro conductor es utilizado para recibir datos, y algunos conductores adicionales se utilizan para el control de la transmisión.

Desde un punto de vista **mecánico**, la norma especifica un conector de 25 pines o clavijas, conocido como **DB25**. Los 25 pines están distribuidos en dos filas, al primera de 13 pines numerados del 1 al 13, y la segunda de 12 pines, numerados del 14 al 25. El ejemplo de un circuito con comunicación RS-232-C es mostrado en la figura 9.

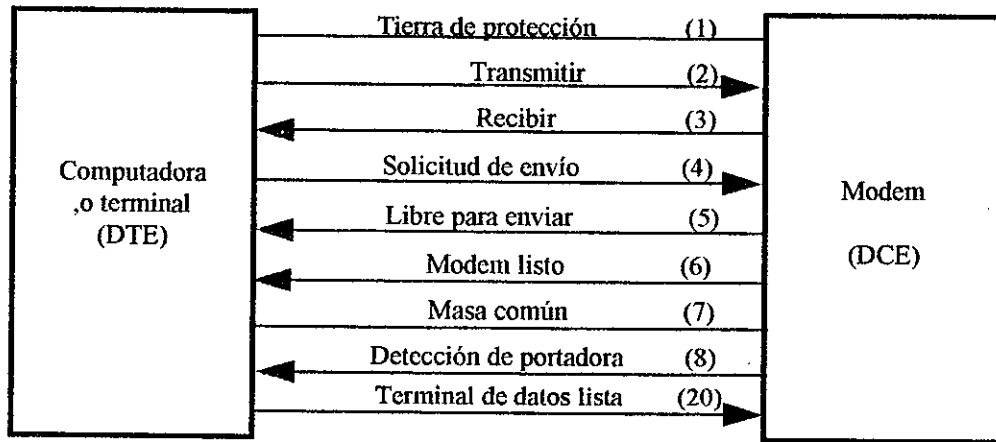
Desde un punto de vista **eléctrico**, cada uno de estos pines se pueden poner en 1 ó 0, según sea su nivel de tensión con referencia al pin 7. Una tensión inferior a -3V indica

un 1 mientras que un nivel superior a +4 V indica un 0. Todos los circuitos comparan sus niveles de tensión con un único común, que es el pin 7. Esta técnica se denomina **transmisión asimétrica**.

Desde el punto de vista **funcional**, se definen funciones para cada uno de los circuitos. Mientras el DTE está encendido pone un 1 en el pin 20, indicando que la Terminal de datos está lista, en forma similar, al ser encendido el DCE pone un 1 en el pin 6.

Cuando el DCE (modem en éste caso) detecta una señal en la línea telefónica, pone un 1 en el pin 8 (Detección de portadora, Carrier Detect). De ésta forma el DTE se entera que el DCE está recibiendo datos. El pin 4 (Solicitud de envío, Request to Send) indica que el DTE quiere enviar datos, mientras que el pin 5 (libre para enviar, Clear to Send) indica que el DCE está en condiciones de recibirlos. Los pines 2 y 3 son utilizados para transmitir y recibir datos.

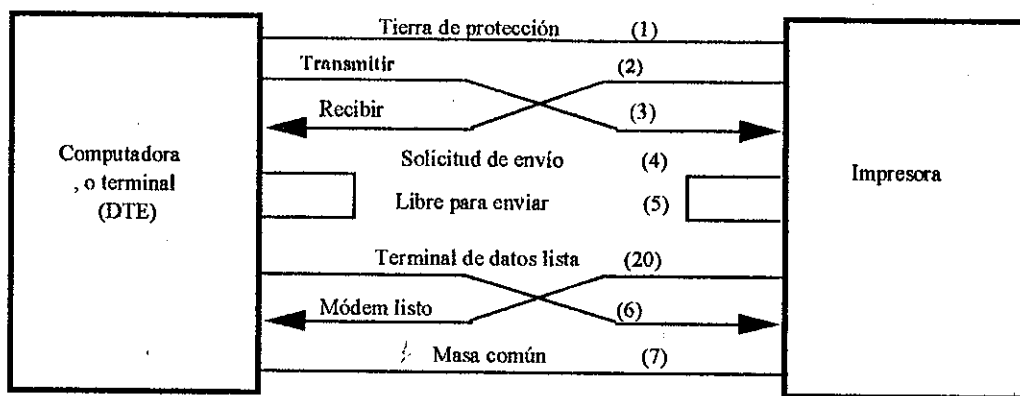
La transmisión de bits se concreta variando los niveles de tensión en el pin 2, de acuerdo a los datos a transmitir. La transmisión de cada bit puede implicar un cambio en el nivel de tensión ( de menos de -3V a más de +4V, o viceversa), dependiendo del valor del bit anteriormente transmitido. La cantidad máxima de cambios del valor de la señal por segundo está limitada por la tecnología utilizada en la instalación y se mide en **baudios** o mas conocido como **bits por segundo (bps)**.



**Figura 9.**  
RS-232-C, con DCE y DTE

Es caso común que dos equipos digitales traten de conectarse por medio de la norma RS-232-C. Como ninguno de los dos es un modem, es necesario cruzar algunos de los conductores, de otro modo, ambos intentarían transmitir por el pin, sin éxito.

El cruzamiento de cables (figura10) se hace utilizando un cable especial con los conectores convenientemente cruzados. Adicionalmente el puente entre los pines 4 y 5 hace que ambos equipos consideren que el otro está siempre disponible para transmitir y recibir.



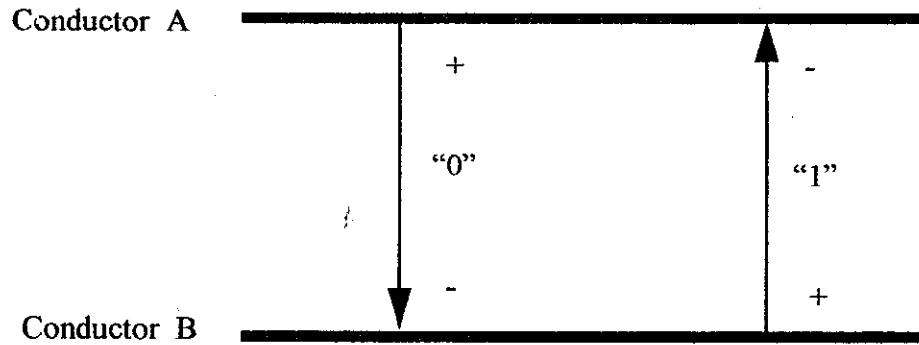
**Figura 10.**  
RS-232-C, entre dos DTE

Cuando RS-232 fue creada, la tecnología se basaba en tubos de vacío, requiriéndose niveles de tensión más bien altos ( del orden de 6 volts), e implementándose velocidades de hasta 20 Kbaudios, en distancias de no más de 15 metros. La tecnología actualmente disponible permite (y a menudo exige) alcanzar mayores distancias y velocidades. Varias normas han surgido con este objetivo, de ellas la más difundida en el ámbito industrial es la **RS-485**. Otra norma ampliamente difundida es la **RS-422**, que tiene pequeñas diferencias con la **RS-485**.

Ambas normas se diferencian de la RS-232 en que utilizan una técnica de **transmisión balanceada**. En esta técnica cada circuito tiene dos hilos, sin que exista una tierra común.

Los unos y los ceros lógicos se establecen en función de la diferencia de tensión entre ambos conductores del circuito, (figura 11). Se alcanzan así distancias de hasta 1200 mts. con velocidades de hasta 2 Mbaudios. Otro aspecto que favorece a la norma RS-485 con respecto a la norma RS-232, es que permite la conexión de varios equipos al bus de comunicaciones. Los equipos se conectan en paralelo a los dos conductores que usualmente se utilizan en la implementación de este bus. De esta forma se elimina la necesidad del uso de modems en los casos en que se deben de comunicar dos o más equipos. La implementación industrial de redes RS-485 se realiza usualmente por medio de un par de conductores conectados a borneras, sin un conector especial.





"0"  $1.5 \text{ V} < \Delta V_{ab} < 5 \text{ V}$

"1"  $1.5 \text{ V} < \Delta V_{ba} < 5 \text{ V}$

**Figura 11**  
**Tensión entre dos conductores, en RS-485**

### **4.3 Comunicación de alta velocidad ethernet, IEEE 802.2 e IEEE 802.3**

La red ethernet fue creada a mediados de los años '70 por la firma Xerox. El nivel físico está basado en un cable coaxial de 50 Ohms de impedancia, en banda base. La topología es tipo bus, con distancias de hasta 500 mts. a una velocidad de 10 Mbps, utilizándose una codificación Manchester de los datos. La subcapa de acceso al medio es CSMA/CD, según se describirá más abajo.

Ethernet se constituyó en la norma de hecho más usada en el mundo entero. En 1980 Xerox, Intel y DEC presentaron una especificación desarrollada en conjunto, conocida como Especificación Ethernet, Ethernet 1.0 o "Libro Azul", en 1983 fue aprobada como norma por el comité 802.3 de la IEEE, dentro de la norma IEEE 802.3, que agrupa a los protocolos con acceso CSMA/CD. Incluye así a Ethernet, como también

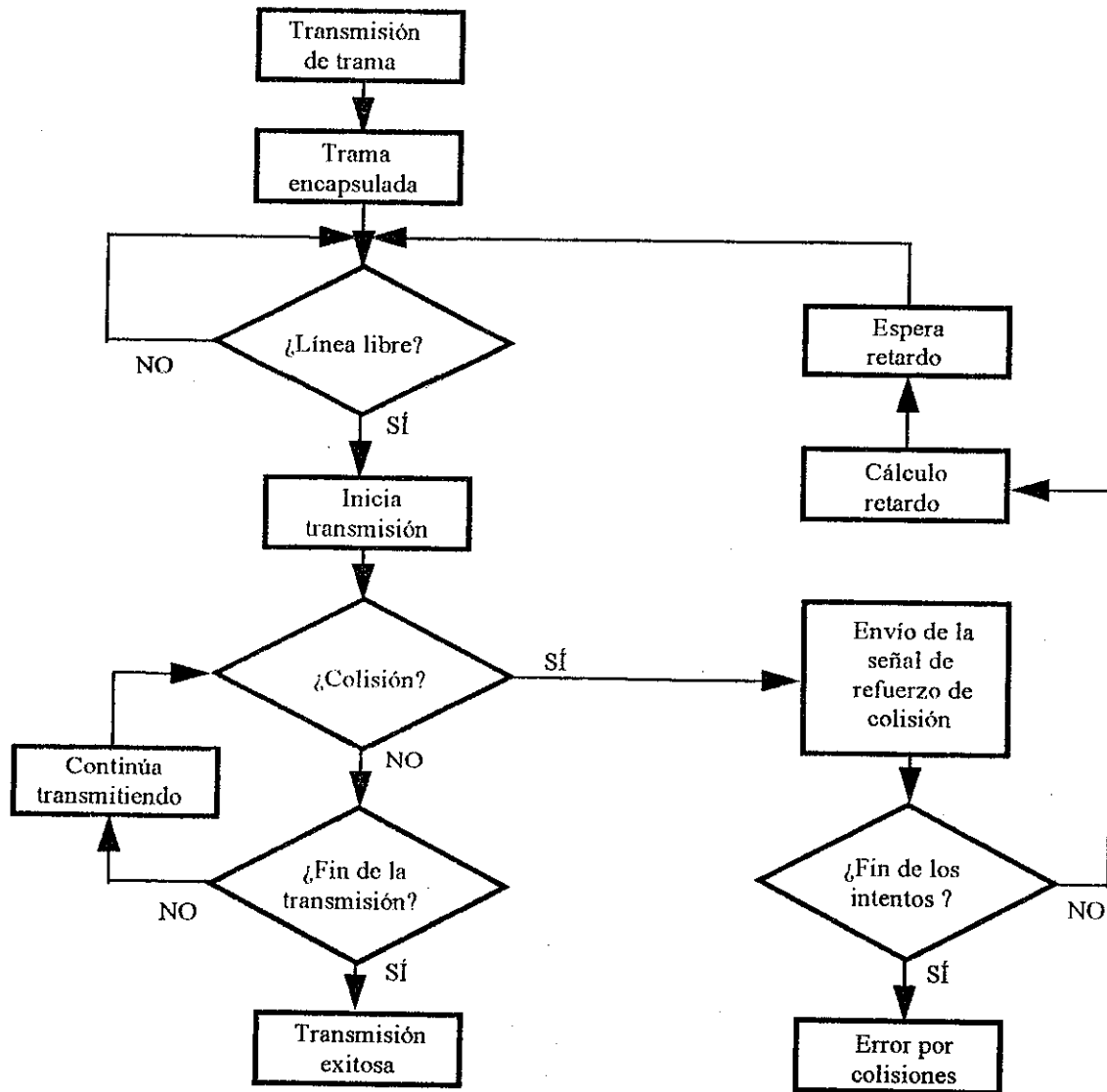
a otros protocolos con diferentes velocidades de comunicación ( de 1 a 10 Mbps), medios físicos (cable coaxial, para trenzado, fibra óptica) y topología (bus, estrella, árbol).

Debe distinguirse claramente a IEEE 802.3 (que comprende las variantes mencionadas) de Ethernet. Ethernet es un caso particular de IEEE 802.3, sobre cable coaxial de 50 Ohms de impedancia a 10 Mbps. Otra diferencia es que IEEE 802.3 cubre sólo la capa física y la subcapa de control de acceso al medio, pero no cubre la capa de control lógico de línea. En cambio, Ethernet cubre la capa física y la de enlace completas. La diferencia es formal, ya que la norma IEEE 802.2 complementa la IEEE 802.3, describiendo servicios de control lógico de línea que incluyen a los de Ethernet. El alto costo del cable coaxial requerido para la instalación de Ethernet llevó al diseño de una variante más económica, que utiliza un cable coaxial de menor calibre.

La subcapa de control de acceso al medio utiliza el método de **acceso múltiple con detección de portadora y de colisión (carrier sense, múltiple access, collision detection, CSMA/CD)**, como se describe a continuación Figura 12.

- Si el medio está libre, inicia la transmisión.
- Si el medio está ocupado (detección de portadora), espera hasta que se libere. Puesto que se utiliza la codificación Manchester, el medio está ocupado si se observan transiciones de tensión.
- Si durante la transmisión detecta una colisión (alguien más empezó a transmitir, envía una señal de refuerzo de colisión (jamming), para asegurarse que todas las estaciones detectan la colisión.

- Luego espera un tiempo aleatorio, para reintentar la transmisión. En caso que se sucedan las colisiones, la transmisión concluye por un error por colisiones.



**Figura 12.**  
**Digrama de flujo método CSMA**

Esta metodología se caracteriza por permitir que la estación que lo requiera acceda de inmediato a la red, si está libre. Como contrapartida, no puede asegurar un tiempo

máximo dentro del cual una estación accede al medio físico. Si el tráfico en la red es muy elevado, las estaciones se obstaculizarán mutuamente, intentando acceder al medio y produciendo continuas colisiones. Por tal motivo, se dice que CSMA/CD es un método de acceso al medio **no determinístico**.

## **4.5 Interfaces del sistema**

El sistema provee interfaces y una cadena de comunicación entre los nodos, la red del sistema y otros dispositivos. En seguida se da una explicación de las interfaces del sistema.

### **4.5.1 Interface con una red de información**

La interfase con una red de información (INI10), es una estación sobre la red del sistema distribuido que conecta computadores externos hacia la red del sistema vía protocolo CCITT X.25. Esto permite al equipo operar en un modo DTE (equipo terminal de datos), para establecer una interfase definida sobre las comunicaciones del sistema distribuido.

La interfase está soportada en una simple interfase síncrona, a una razón de 64 Kbps y está implementado sobre el hardware de comunicación del sistema distribuido. La interfase tiene un puerto serial DTE síncrono RS-232-C, y un adaptador para convertir un puerto DTE en un puerto DCE (equipo de comunicación de datos). La longitud del cable está limitada una distancia de 15 metros.

## 4.5.2 Interfase con una red lan

La interfase con una red Carrierband LAN, provee una conexión entre un nodo y la red LAN del sistema distribuido. La red LAN es una red que se comunica a una velocidad de 5 Mbps conforme al protocolo IEEE 802.4 token bus. La interfase LAN es una estación redundante. Este interfasa la red LAN de un lado y el bus de Nodo (Nodbus) del otro lado. En la siguiente figura se muestra una interfase con la red Carrierband LAN, (Figura 13).

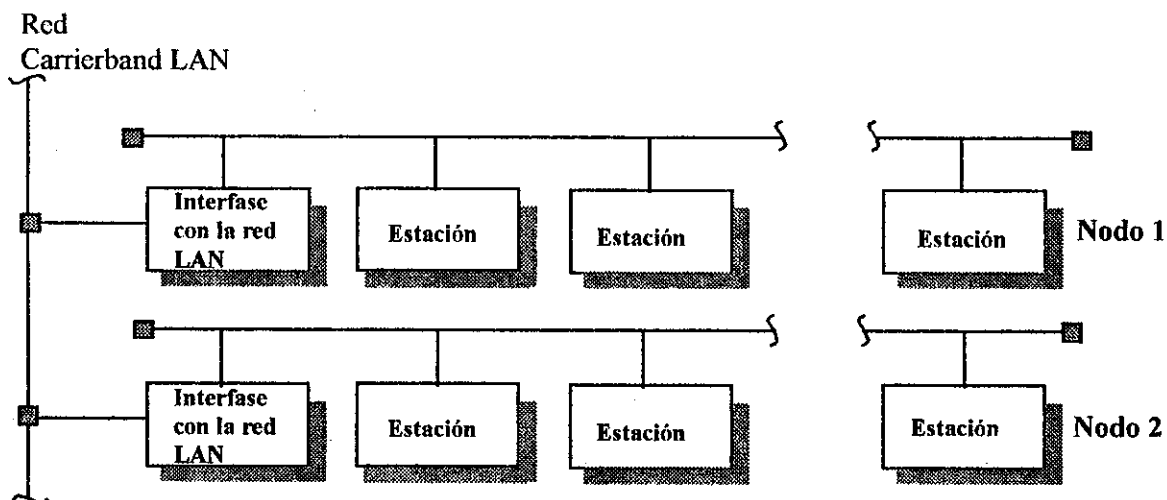


Figura 13.  
Interfase con una red LAN

## 4.5.3 Interfase con el bus de nodo

La interfase con el bus de nodo (Nodbus), es una estación sobre la red del sistema distribuido proveyendo una conexión punto-a-punto de un dispositivo compatible con protocolo IEEE 802.3 (por ejemplo una estación de trabajo, WP) con el bus de nodo (Nodbus). La PW funciona como una estación sobre un nodo. Las conexiones de la interfase entre la PW y el bus de nodo son hechas por medio de un cable de **Unidad de Acceso a la Interfase (AUI)** teniendo una longitud máxima de 50 metros.

## 5. MANEJO DE SEÑALES DE ENTRADA Y SALIDA

Es un subsistema que se basa en módulos de entrada/salida, su desarrollo fue paralelo con el de los módulos de los PLC, por lo que las descripciones realizadas para los PLC's modulares son aplicables a los DCS (Distributed Control Systems, Sistemas de Control Distribuido).

### 5.1 Señales de entrada/salida

Existen diferentes tipos de señales de entrada/salida en un sistema distribuido, y entre las más comunes podemos mencionar: Analógicas, Digitales (de contactos), RTD's, Termocoplas. Estas son manejadas por los módulos del bus de campo que reciben diferentes nombres en las variadas marcas de los sistemas de control conocidos comercialmente en nuestro medio. En seguida se dan unas explicaciones de los diferentes módulos de campo que puedan tener algunos sistemas distribuidos.

### 5.2 Módulos de campo analógicos

Proveen una interfase entre los sensores/actuadores del proceso y el bus de campo,

**Módulos de mA:** existen algunos que manejan señales de 0 a 20 mA, cada módulo acepta entradas de un **sensor analógico** de dos alambres, tal como transmisores de 4 a 20 mA o con autoalimentación con fuente de 20 mA dichos módulos ejecutan la conversión de la señal requerida para interfasar las señales eléctricas de entrada de los sensores de campo al bus de campo, también proporcionan señal en mA para los actuadores de salida tales como válvulas, pistones, cilindros, etc.

**Módulos de termocoplas:** sirven de interfase para entradas de Termocoplas/mV, cada módulo puede tener una indicación de escala completa, y aceptar termocoplas standard para varios rangos de temperaturas. Los típicos tipos de termocoplas son:

**B, E, E(EA-2), J, K, R, S, T, N,** y otras señales de milivoltios. El módulo ejecuta la conversión de la señal requerida para interfasear las señales eléctricas de entrada de las termocoplas al bus de campo.

**Módulos de RTD's:** sirven de interfase para entradas de **detectores de resistencia con la temperatura (RTD)**, cada módulo acepta ya sea sensores de RTD's de 2, 3 o 4 alambres entre un rango de 0 a 320 Ohms. Dentro del mismo módulo, las RTD's de 3 alambres no pueden ser mezcladas con RTD's de 2 o 4 alambres. El módulo ejecuta la conversión de la señal requerida para interfasear las señales eléctricas de entrada de la RTD's al bus de campo. Las RTD's más usadas son las de: Cobre, Platino (norma DIN), Platino (norma SAMA), Platino (norma IEC), o Níquel.

**Modulos de frecuencia:** sirven de interfase con entradas de pulsos, que contiene entradas de pulsos configurable, cada canal de entrada acepta un pulso con una frecuencia máxima de 12.5 Khz. Los dispositivos de entrada pueden ser tales como Vortex: (medidor de flujo basado en el principio de remolinos o vórtices), medidores para turbinas, contactos electromecánicos o de estado sólido y otros sensores con salidas similares de pulsos.

**Módulos inteligentes:** sirven interfase para transmisores inteligentes, capaz de comunicarse con transmisores inteligentes por un simple par de alambres. El módulo provee comunicación digital bidireccional entre el transmisor inteligente y el bus de campo del sistema. El sistema muestra en pantalla salidas, temperatura del transmisor (°C ó °F), y autodiagnósticos continuos.

El módulo es un transmisor local (Host), habilitando el sistema para recibir mensajes digitales desde el transmisor en unidades de ingeniería. Cada mensaje es recibido diez veces por segundo y contiene arriba de tres variables de medición en la norma "IEEE 32-bit Punto Flotante". También contiene información de seguridad, diagnósticos, y mensajes de chequeo. En algunos sistemas distribuidos la comunicación puede ser con el muy conocido protocolo "HART" o simplemente interponer una señal FSK en una señal común de 4 - 20 mA como normalmente se hace.

### **5.3 Módulos de campo digitales**

En lo general estos tipos de módulos reciben o envían señales de diferentes tipos tales como:

**Módulo de contactos dc:** sirven de interfase para contactos dc de entrada/salida, dichos módulos ejecutan la conversión de la señal requerida para interfasar las señales eléctricas de entrada on/off de los sensores de campo, o monitoreo de voltaje dc con el bus de campo.

**Modulos de contactos ac:** sirven de interfase para contactos ac de entrada/salida, por lo general los contactos son de 120 Vac. Las sobrecargas no deben de exceder de 50 Amps. de lo contrario se dañará el módulo. Por otro lado existe la posibilidad de interfasar con señales de entrada/salida de 240 Vac.



## **6. SELECCIÓN Y COMPARACIÓN**

Cuando en cualquier proceso industrial se decide instalar un sistema de control distribuido se deben tener ingenieros electrónicos a disposición para la opinión y mejor selección del fabricante del sistema a elegir, siempre y cuando cumpla con los requisitos del interesado, algunos de los criterios que se deben tomar muy en cuenta son: el software del sistema, el hardware del sistema, la capacidad de expansión, las comunicaciones y el medio ambiente, no olvidando el soporte técnico como parte fundamental en la aplicación.

### **6.1 Software del sistema**

El software de un sistema de control distribuido (DCS) debe ser de un grado de ingeniería suficientemente alto. Para una buena selección y comparación con algunas marcas, se puede considerar lo siguiente:

- Ejecute funciones muy complejas y multitarea
- Sea de una plataforma abierta
- Amigable para el operador
- Lecturas en tiempo real
- Lecturas en tiempo histórico y su manejo del banco de información
- Que se maneje en un ambiente Windows, ó XWindows
- Contenga hojas electrónicas para elaboración de reportes, y manejo de datos estadísticos
- Elaboración de gráficos en forma sencilla
- Opción a presentar en pantalla cualquier variable entrando y saliendo del sistema
- El sistema operativo sea actualizado tal como UNIX, WINDOWS NT, etc.

- Niveles de acceso basados en jerarquías (ambientes de operación)
- Configuración, programación, animación de gráficos.

Tomando en cuenta las anteriores funciones que el software de un sistema de control distribuído debe de cumplir, se puede hacer un análisis conciso de las prioridades del proceso a automatizar, las operaciones que puede llevar a cabo un sistema distribuído dice mucho de la calidad del software que el fabricante le ha incluido.

Una de las características más importantes del software de un sistema distribuído es que sea capaz de manejar lecturas de las variables del proceso en tiempo real, para poder brindarle al operador una mayor confianza, y que la respuesta del operador hacia una eventualidad no grata o una perturbación del proceso sea lo más rápida posible. Además, lo más importante es que el sistema sea compatible con las nuevas versiones que el fabricante lance al mercado, para que nuestro sistema no se quede obsoleto dentro de unos pocos años, y de esta manera tengamos acceso a los últimos paquetes de software que se encuentren en el mercado.

## **6.2 Hardware del sistema**

El hardware es la parte más vulnerable del sistema distribuido, cuanto mejor sea la tecnología con la cual está construído, tendrá más vida útil. Entre las características que debe reunir un sistema de control distribuído están: redundancia, tipos de microprocesadores, RAM's

### **6.2.1 Redundancia**

Redundancia se entiende como la ruta de trabajo de cualquier variable o comunicación dentro del sistema distribuido sea lo más confiable posible, y que si falla una

ruta exista otra ruta de acceso en caso de emergencia . Entre los módulos y buses de comunicación más importantes que deben ser redundantes están:

- Procesadores de control
- Procesadores de comunicación
- Módulos del bus de campo
- El propio bus de campo
- El bus de nodo
- Las interfaces del sistema
- La fuente de alimentación de energía.

Cuanta más redundancia tenga el sistema más alta es la inversión que tenemos que hay que hacer a la hora de adquirirlo, pero a cambio de ello se obtiene una alta confiabilidad en el control del proceso que se desea automatizar. De los elementos mencionados el que tiene mayor probabilidad de falla es la fuente de alimentación de energía, debido a la zona de alta actividad electroatmosférica en la cual se encuentra nuestro país.

## **6.2.2 Microprocesadores**

Existen varios tipos de microprocesadores dentro del mercado de la electrónica, de los tipos que podemos encontrar dentro de un sistema distribuido están:

SPARC RISC, 80386SX, procesadores matemáticos como: 80387SX Procesador gráfico como el TMS34010, Hoy en día podemos encontrar otros tipos de microprocesadores como los basados en tecnología **Pentium**. A la hora de seleccionar nuestro sistema tenemos que tomar muy en cuenta los tipos de microprocesador que tienen los diferentes módulos y procesadores de nuestro sistema distribuido, basados en

buenos criterios de ingeniería lograremos hacer una buena elección.

En el control de procesos, no es tan indispensable la alta velocidad del procesador de control debido a que los cambios en los procesos no son instantáneos y existen tiempos muertos en algunos casos, por lo que un procesador de mediana velocidad es suficiente para ejecutar un buen control.

Por otro lado, en los intercambios de información o almacenamiento de datos se requiere de procesadores de alta velocidad para tener descongestionada las vías de comunicación y accesos de información.

### **6.2.3 Ram's**

El tamaño de la memoria de acceso aleatorio (RAM) de un sistema nos dice que tan rápido y efectivamente puede realizar el intercambio de datos de los almacenamientos másivos, previos al procesamiento en la CPU, o desde otro punto de vista brinda un parámetro de la capacidad del sistema para la ejecución de cualquier programa. Cuanta más memoria ram se tenga mayores aplicaciones se pueden correr en el sistema, y se pueden elaborar más tareas a la vez. Cada vez los programas que residen en RAM son más grandes y más multitareas de redes demandan obligadamente memoria RAM para poder agilizar el trabajo.

## **6.3 Capacidades de expansión**

Este sistema debe de ser capaz de poder crecer al momento de una expansión de cobertura, crecer significa que el sistema distribuido tenga la opción de poder agregarle elementos extras con un mínimo de modificación, como por ejemplo:

- Expansión en el número de entradas
- Expansión en el número de salidas
- Número de estaciones de trabajo
- Número de estaciones de aplicación
- Opción a crecer a nivel de redes de comunicación

Cuanto más compatible sea un sistema con sus generaciones anteriores y posteriores, muchas más ventajas tiene sobre los cuales no lo son. Lo anterior indica que tanto se puede crecer en nuestro sistema, sin la necesidad de hacer grandes inversiones en reemplazar nuestro sistema antiguo por el nuevo, si no solamente incorporarle nuevos componentes y dispositivos.

## **6.4 Comunicaciones**

El poder de comunicación de cualquier sistema dice mucho, da grandes ventajas y opciones en la colocación de los dispositivos de campo pudiendo elegir varias marcas y no solamente la misma del sistema. En el campo de la electrónica hay un fabricante especialista para cada cierto tipo de sensores o dispositivos de campo, entonces sí nuestro sistema es capaz de comunicarse con otros dispositivos de otros fabricantes o redes comerciales estaremos adquiriendo un buen DCS.

### **6.4.1 Equipos de terceros**

La comunicación con equipos de otros fabricantes diferentes al fabricante del sistema distribuido es conocida como **“Comunicación hacia terceros”**. Hoy en día es de gran importancia que los sistemas distribuidos manejen los protocolos industriales del mercado para poder abarcar la mayor información posible, además la intercambiabilidad de módulos afines y hasta el enlace con válvulas y transmisores inteligentes.

## **6.4.2 Redes comerciales**

La comunicación con redes comerciales es una manera de expansión barata y ventajosa que pueden tener los sistemas distribuidos, ya que en determinados casos esto facilitaría alguna toma de decisión en casos muy especiales en los cuales se necesita involucrar a la gerencia o al personal de análisis estadísticos o control de calidad como comúnmente se les conoce, adaptando el control del proceso al manejo de costos.

Al mismo tiempo se mantiene informada la gente a nivel gerencial en cuanto a como se está llevando a cabo el proceso inculcando en ellos la implementación de mejoras o el desarrollo de planes de mantenimiento preventivo. Se puede elegir la comunicación con una red comercial como la red Novell, o puede comunicarse vía internet (que está de moda hoy en día) con el proveedor del equipo par poder pedir apoyo en caso de fallas extremas.

## **6.5- Medio ambiente**

Uno de los factores muy importantes en considerar a la hora de elegir un sistema de control distribuido DCS, es en cuanto a la resistencia al medio ambiente se refiere. Con esto se puede tomar en cuenta lo siguiente:

- Robustez del equipo
- Que el equipo sea hermético para prevenir la deposición del polvo en tarjetas electrónicas
- Material de fabricación del equipo
- Pantallas de tipo industrial
- Teclados herméticos
- Mouse ó Trackball industriales

- Tipos de conexión para las entradas del proceso, de preferencia atornilladas.

Pero aún al haber tomado en cuenta las anteriores características que se desean de un sistema distribuido tenemos que recordarnos que para cualquier equipo electrónico es indispensable tenerlo en buenas condiciones ambientales tales como:

- Aire acondicionado
- Cuarto de control con excelente iluminación y hermético
- Sistema de tierras adecuado
- Alternativas fuentes de alimentación
- Mobiliario adecuado
- UPS (Unidad de potencia ininterrumpible)

Brindándole así mayor seguridad al equipo, e incrementar su vida útil.

## **7. APLICACIÓN DE DCS's EN EL ÁREA DE EVAPORADORES EN UN INGENIO AZUCARERO**

La operación del proceso dentro de un ingenio azucarero, hoy en día debido al constante crecimiento de los mismos es muy compleja. Se hace cada vez más ineficiente mientras más controles manuales (operados por un ser humano) existan dentro del mismo. Todo ello nos lleva a la necesidad de implementar la automatización del proceso mediante la introducción de un sistema distribuido a un plan de largo plazo, el proceso de introducción es por áreas debido a la gran inversión y cantidad de trabajo que representaría hacerlo todo de una vez. En este caso se da el ejemplo de la aplicación de un DCS en el área de evaporación, principiando por el concepto de funcionamiento de un evaporador , siguiendo con la aplicación del sistema.

### **7.1 Área de evaporadores**

Esta operación se lleva a cabo en unos intercambiadores de calor llamados “Evaporadores”, los cuales están constituidos por un tubo vertical que contiene una calandria tubular cuya función es de intercambiar temperatura.

La mayoría de los evaporadores se calientan con vapor de agua que se condensa sobre los tubos metálicos. El material que se evapora (jugo de caña clarificado) circula generalmente por el interior de los tubos. El vapor que se usa es de baja presión inferior a 20 Psia. y el líquido hierve a un vacío moderado, del orden de las 30 “Hg. Al disminuir la temperatura de ebullición del líquido, aumenta la diferencia de temperatura entre el vapor condensante y el líquido que hierve, y por consiguiente aumenta la velocidad de



transmisión de calor en la calandria.

Cuando se utiliza un solo paso de evaporación, el vapor procedente de la ebullición se condensa. Este método se conoce como evaporación en **“Efecto simple”** y, si bien resulta sencillo, es ineficiente. Para evaporar 1Kg. de agua de una solución se requieren de 1 a 1.3 Kg de vapor. Si el vapor procedente de un primer evaporador se introduce como alimentación a la calandria de un segundo evaporador y el vapor procedente de éste segundo vaso se lleva a un condensador, la operación recibe el nombre de **“Doble efecto”**. El calor contenido en el vapor original se reutiliza en segundo efecto, y la evaporación que se consigue con 1Kg de vapor en el primer efecto es de aproximadamente el doble.

Procediendo de la misma manera anterior, se pueden agregar mas efectos, recibiendo el nombre de **“Evaporación de múltiple efecto”**. Con el método descrito, el consumo de vapor de la caldera y el agua de condensación del mismo se reducirán aproximadamente un número de veces igual al número de efectos que se interconecten, esto, siempre que la presión en el espacio de vapor del evaporador al que alimenta **“evaporado”** como medio de calentamiento, sea menor que en el que se genere.

En estos sistemas, el efecto en que se condensa el vapor de caldera se denomina **“Primer efecto”** y es en el que la presión en el espacio de vapor es máxima, el último efecto, es el que tiene la menor presión en el espacio de vapor, de forma que en estos sistemas, la diferencia de presión entre el vapor vivo y el condensador se extiende a lo largo del número de efectos. La presión en cada efecto es menor que en el efecto del cual recibe el vapor. Cada efecto actúa en sí, como un evaporador de simple efecto con una caída de temperatura a través de su superficie de calentamiento correspondiente a la caída de presión en dicho efecto.

## 7.1.1 Forma de alimentación

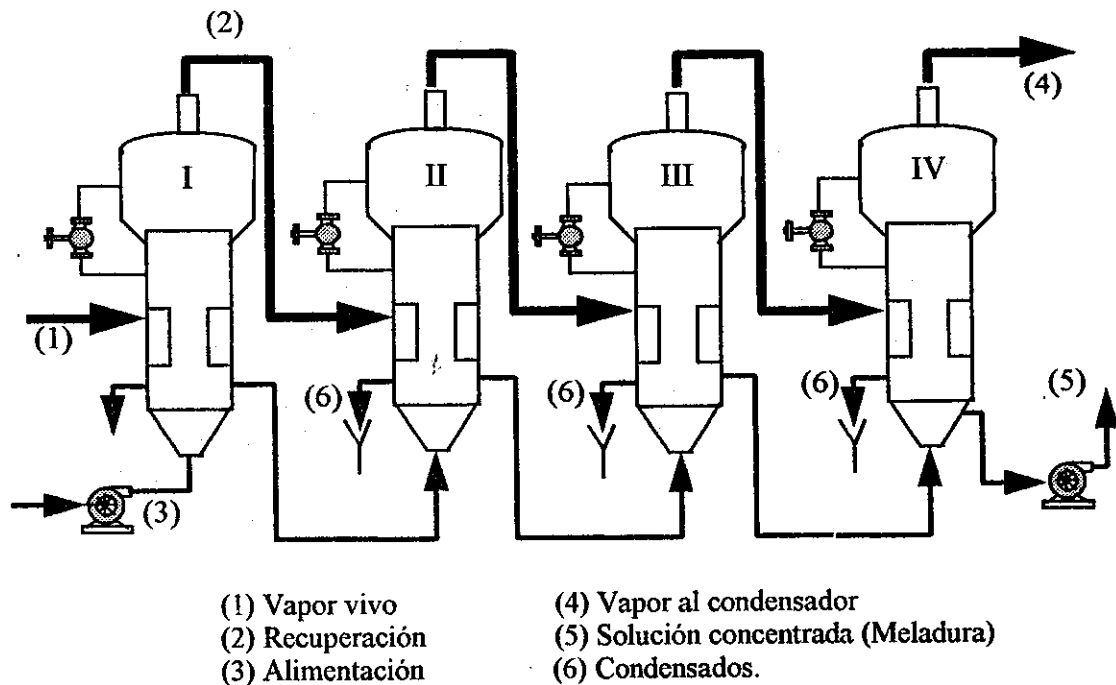
Las formas de alimentación mas usuales en los evaporadores son las siguientes:

- Directa o hacia adelante
- En contra corriente
- En paralelo
- Mixta

La forma de alimentación que se utiliza en el tren de evaporadores de un ingenio típico de Guatemala, utilizando un sistema de cuádruple efecto, es la **alimentación directa o hacia adelante**. Esta forma consiste en introducir mediante una bomba, la alimentación de jugo caliente proveniente del tanque de jugo claro y antes de los calentadores de jugo, luego bombeado para hacerlo pasar sucesivamente a través de los siguientes efectos como se muestra en la figura 14. La concentración del mismo, crece al pasar del primero al último operando con el modelo de flujo más sencillo.

Se requiere de una bomba al principio y otra al final de cada efecto, por último se utiliza una bomba para extraer el concentrado o meladura del último efecto o vaso melador. Este sistema es ventajoso cuando la solución diluída está caliente y/o cuando la concentración final de la meladura se desea lograr a la temperatura más baja, ya sea por razones de descomposición del concentrado a la temperatura más alta o bien porque se produce incrustación o cristalización.

Tiene desventajas cuando la solución diluída está fría, ya que con ello se reduce la economía de vapor, debido a que una cantidad apreciable de vapor de calderas se requiere para llevar la solución diluída a su punto de ebullición.



**Figura 14.**  
**Diagrama de flujo de jugo de evaporadores**

### **7.1.2 Objetivo de la evaporación del jugo de caña**

La clarificación del jugo produce jugo claro. En éste se encuentra el azúcar disuelto en agua, junto con algunas impurezas. Cuando se han eliminado la mayor cantidad posible de éstas, queda por eliminar el agua, éste es el objetivo de la evaporación. La concentración se lleva al máximo, tratando de dejar al líquido madre sólo el espacio libre entre los cristales. A la mezcla obtenida, de cristales y licor madre se le da el nombre de **masa cocida**.

Una masa semejante no se maneja como jugo o como meladura, por esta razón la concentración se prepara en dos etapas:

- A) La evaporación propiamente dicha que va del jugo claro a la meladura y durante la cual se obtiene un producto líquido.
- B) El cocimiento (llevado a cabo en los tachos) que comienza justamente antes de que los granos aparezcan en la meladura y que continúa hasta que la concentración es máxima.

Las impurezas permanecen en el licor madre junto con una parte de sacarosa, deben entonces separarse los cristales de azúcar de la miel (por medio de la cetrífugas), tratando de extraer de ésta el máximo de azúcar que encierra.

### **7.1.3 Límite entre la evaporación y el cocimiento**

El punto de cristalización del jugo de caña se encuentra entre 78 y 80 °Brix. Teóricamente, la evaporación podría llevarse hasta los 72 ó 75 °Brix, pero en la práctica los tacheros tienen necesidad de una meladura capaz de disolver cristales para el caso de que se formen granos falsos al principio de la templea, ésta condición es indispensable para obtener un buen cocimiento.

Por esta razón nunca se pasa un brix de 70 ° en la evaporación, ésta se ajusta para que la meladura permanezca entre los 62 a 65° Brix. Aquí se puede apreciar la importancia de una buena evaporación en la producción de azúcar. Por la gran cantidad de calor latente de vaporización del agua. Es la operación que maneja el número más grande de calorías.

### **7.1.4 Ventajas de la ebullición al vacío**

A) Aumenta la diferencia total de temperatura entre vapor y jugo, en una cantidad igual a la caída del punto de ebullición del jugo en el primer cuerpo y la del último.

B) Permite continuar la evaporación a temperaturas menos peligrosas desde el punto vista de la inversión y la coloración del jugo cuando éste está mas concentrado y viscoso.

### **7.1.5 Límite superior de la temperatura**

Existe una cierta temperatura crítica a partir de la cual el jugo se carameliza provocando a la vez una pérdida de sacarosa y una coloración que permanecerá hasta los cristales de azúcar. Esta temperatura es de 130 °C, la que debe tener el vapor de calentamiento correspondiente a unos 125 °C en el jugo.

Con la acidez normal del jugo que circula en el múltiple efecto, las pérdidas de sacarosa por inversión no son mayores al 0.1 % por hora a 110 °C, arriba de esa temperatura las pérdidas aumentan rápidamente y para mantenerlas en límites bajos en un múltiple efecto donde el jugo permanecerá por varios minutos, es conveniente no elevar la temperatura del primer efecto.

### **7.1.6 Límite inferior de la temperatura**

El límite inferior de la temperatura a la cual funciona un múltiple efecto, es aquella temperatura de ebullición que corresponde al vacío que se ejerce en el último efecto o vaso melador. El vacío o preferentemente la presión absoluta debe mantenerse entre 23 y

27 "Hg, con una temperatura entre 58 y 55 °C.

La meladura del último efecto llega a él con un brix de 40 y sale con 60 a 65 °Brix, y la temperatura media estará 50 y 55 °C.

## 7.2 Aplicación real

Los requerimientos para automatizar un sistema de evaporación dependen de las condiciones que existan en el ingenio azucarero. Este trabajo puede servir como base para aplicarlo en campo con las variaciones y ajustes que requiera la instalación respectiva y el grado de control que se requiera aplicar.

Los elementos principales para el control de un vaso son: sensor de nivel, válvula automática, y controlador PID. Podemos utilizar dos criterios para ejecutar el control, ya sea controlando el flujo de jugo a la entrada del evaporador o controlando el flujo a la salida del evaporador.

Gran parte de la nueva técnica de manejo en evaporación y el resto del proceso es la **"uniformidad de materia"**, manteniendo flujos lo más constantes posibles lo que trae consigo la estabilidad de niveles y consumos energéticos. Con esto quiere decir que el nivel se corregirá en menor proporción al movimiento de la válvula. El objetivo es mantener el nivel del vaso a una consigna predefinida por el operador a través del interface hombre-máquina (pantallas de visualización gráfica). Dicha consigna debe de ser tal que: no sea tan alta para evitar que exista la posibilidad de un arrastre de condensado contaminado con azúcar hacia la casa de calderas, ni tan baja que se quemen los tubos de la calandria debido al vapor de alimentación de modo tal que debemos garantizar la mejor operación del control y obtener la mayor eficiencia posible del evaporador.

Los transmisores de nivel más utilizados hoy en día en tanques cerrados operando bajo presión o al vacío como los evaporadores son los: **transmisores de sellos remotos**. Estos son de presión diferencial con dos diafragmas unidos al sensor por medio de un capilar flexible y relleno de un líquido (comunmente de silicone DC200, Fluorinert, etc), un sello se coloca en la parte inferior del evaporador y el otro se coloca por lo menos tres pies arriba de la calandria. Las válvulas comúnmente utilizadas son de mariposa comandadas por una señal de 4-20 mA, luego ellas poseen un convertidor de señal eléctrica a señal neumática de 3-15 psi para operar la válvula por medio de su respectivo actuador (de diafragma, pistón, etc).

En la figura 15 se muestra la automatización típica de una evaporación de cuatro efectos. La señal del caudal de jugo entrando al tren de evaporadores es medido por un transmisor de flujo (orificio, vortex, tubo magnético, magnético de inserción, etc), y se controla en función del flujo actuando el lazo PID en forma remota corrigiendo la consigna, al mismo tiempo se revisa si el nivel del tanque de jugo claro está por encima o por debajo de la consigna prefijada incluyendo una banda muerta de no modificación de caudal, si se está fuera de ella cada cierto tiempo se produce un incremento o un decremento de la consigna remota del caudal para intentar llevar el nivel del tanque de jugo claro a la zona deseada.

Si el nivel del primer vaso aumenta, empieza a funcionar el lazo de seguridad, la consigna real del flujo se ve disminuída en función del valor de la salida del lazo de seguridad con el objeto de llevar de nuevo el vaso a su nivel normal, así mismo la consigna remota de flujo se disminuye una cantidad cada cierto tiempo.

El nivel del segundo evaporador se controla con base a observar el nivel del siguiente vaso, si esta por debajo de la consigna fijada, se le permite a la válvula del segundo vaso abrir en caso contrario la válvula se empezará a cerrar dependiendo tambien

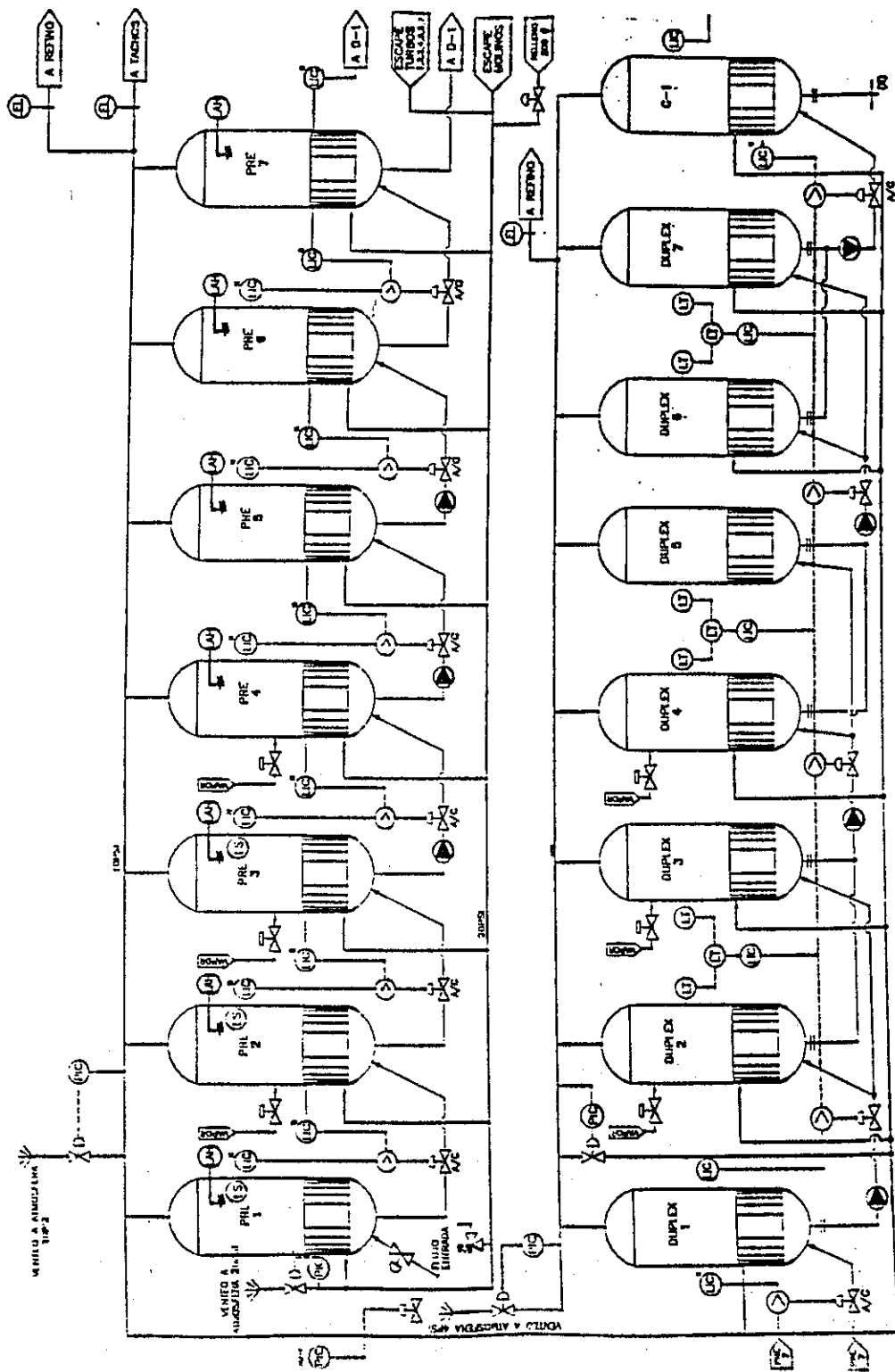


Figura 15  
 Diagrama de flujo de jugo en Evaporadores



de como se encuentre el nivel mismo del segundo vaso.

El nivel del tercer evaporador se controla de manera semejante al segundo, solo que observando el nivel del cuarto vaso. Los niveles de los vasos restantes se controlan de la misma manera, siempre viendo el vaso siguiente sin olvidar la premisa de mantener su nivel mismo a la consigna fijada. En caso el último vaso se suba demasiado, la válvula del penúltimo vaso se empieza a cerrar empezándose a llenar el mismo, esta condición hace el el vaso anterior también se empieza a llenar y así sucesivamente para atrás, trabajando de una manera escalonada hacia atrás de manera que en condiciones muy críticas puede llegar a llenarse el tanque de jugo claro ocasionando que momentaneamente se pare la molida mientras se recuperan las condiciones normales.

Por último, el vacío en los meladores (vasos del último efecto) se controla mediante un lazo PID sencillo que consta de un transmisor de presión absoluta para medir el vacío dentro del vaso y una válvula automática para poder regular la cortina de agua hacia el condensador barométrico del último vaso, debiendo mantener el vacío en un valor deseable de 26 ó 27 "Hg.

### **7.3 Logros y beneficios alcanzados**

Hoy en en día es sumamente importante producir azúcar al más bajo costo posible debido a la competencia y además el mercado es mucho más exigente que antes, de antemano la calidad también es un factor determinante. Con base en estos hechos se hace necesario introducir una automatización de alto nivel, a continuación mencionare algunos logros y beneficios que se obtienen a la hora de montar un sistema distribuido en el area de evaporación de un ingenio azucarero.

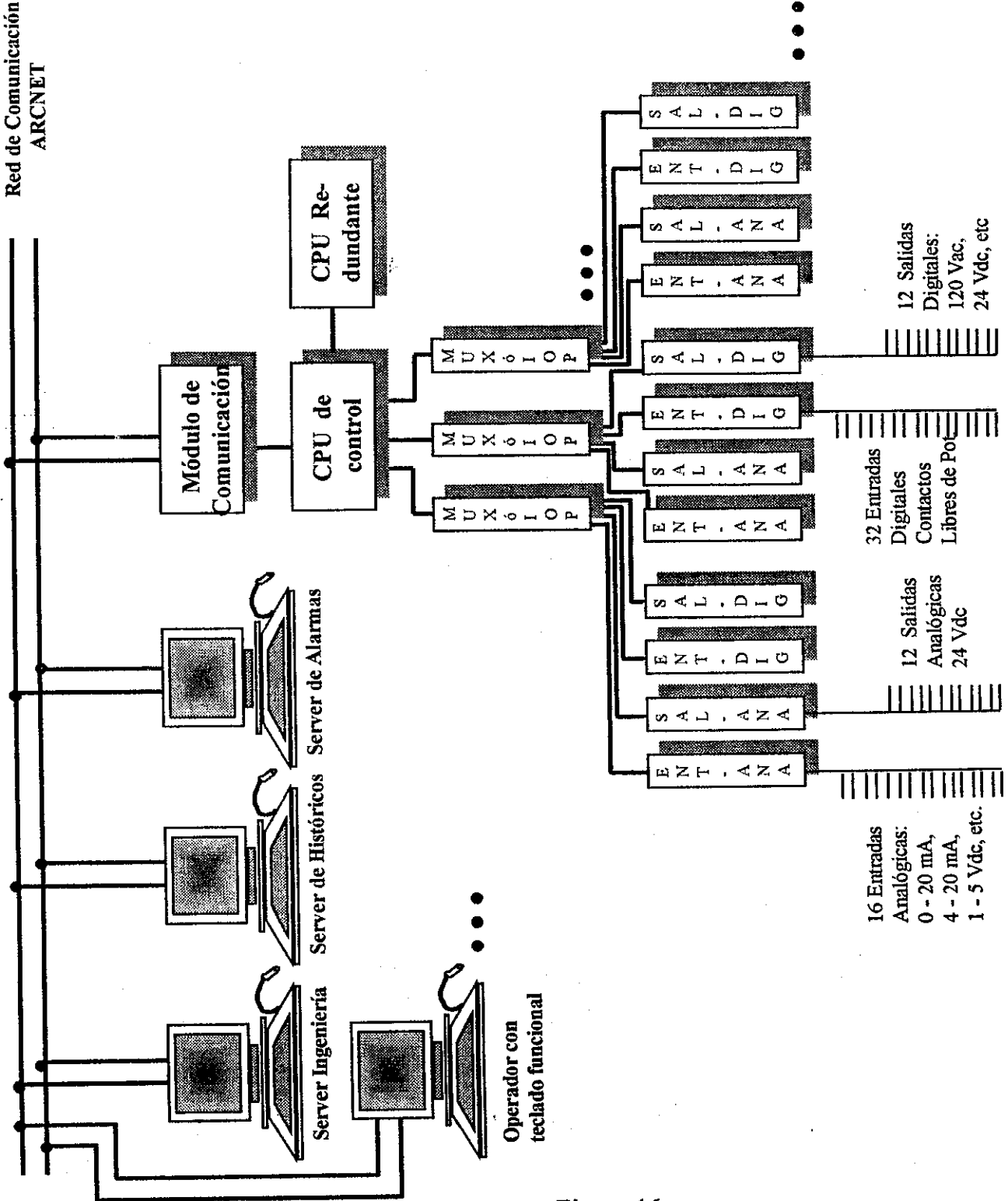
- El beneficio más importante es el lograr **estabilidad** en el proceso comparado con una operación manual que está expuesta a muchos errores humanos que en muchas ocasiones pueden provocar disturbios en el proceso.
- Algo muy importante, es prevenir la contaminación en los condensados de los evaporadores con jugo de las calandrias de los vasos que comunmente se le conoce como **arrastre de azúcar** hacia la casa de calderas. Esto significa una parada general del ingenio de por lo menos 6 a 8 horas.
- Un nivel estable en cada uno de los vasos mejora la eficiencia del evaporador aprovechando de una mejor manera la superficie calórica de cada uno de ellos.
- Uniformidad del producto
- Optimización energética y del producto
- Control de subprocesos afines (agua, vapor)
- Creación de una nueva cultura operativa
- Desarrollo tecnológico de la industria
- Macro supervisión
- Herramienta para control estadístico del procesos
- Mantenimiento preventivo y predictivo

- Centralizar información y generación de reportes
  
- Minimizar tiempos perdidos
  
- Primer paso a una red WAN corporativa

## **7.4 Diagrama bloques de un típico sistema distribuido**

En la figura 15 se puede observar la estructura básica de un sistema distribuido marca ORSI utilizado en el ingenio Pantaleón S.A. durante la zafra 1996-1997 en el área de evaporación, tomando en consideración que existen varios tipos de sistemas, se presenta un esquema bastante sencillo y fácil de visualizar.

Red de Comunicación  
ARCNET



**Figura 16**  
**Sistema de control distribuido**

## **CONCLUSIONES**

1. El historial de las variables importantes de la planta es un herramienta para elaborar análisis estadísticos del proceso y poder determinar el comportamiento de ciertos equipos llegando a aprovecharlos de forma tal que se pueden predeterminar fallas dentro de la misma operación.
2. La versatilidad de poder observar el proceso en más de una estación es un factor muy importante pues brinda la facilidad de tomar decisiones en cualquier lugar donde se encuentre una estación interface hombre-máquina.
3. La conectividad con otros equipos es muy ventajoso y la posibilidad de poderse introducir dentro de una red administrativa está al alcance de los sistemas distribuídos hoy en día. Se pueden llevar a cabo consultas o mantenimientos desde cualquier lugar remoto.
4. Las diferentes marcas de sistemas distribuídos que existen hoy en día nos brindan en lo general las mismas opciones, en lo que se diferencian básicamente es en el tipo de soporte que dan a sus clientes, y el seguimiento a cualquier proyecto elaborado.

## RECOMENDACIONES

1. El buen funcionamiento de un equipo electrónico en gran parte depende de la calidad de instalación eléctrica, especialmente la tierra física.
2. La elaboración de planos de instrumentación y documentación de los elencos de de las señales que abarca la automatización, es sumamente importante para que los técnicos puedan brindar una buena y rápida solución a los problemas que se presenten.
3. La actualización del software es muy importante para estar al día con la tecnología, así tener la oportunidad y capacidad de comunicación con software industriales de aplicaciones para control.
4. Vale la pena analizar las ventajas que se obtienen con el sistema ya en línea. El cual puede llegar a demostrar la conveniencia de seguir automatizando la fábrica.

## BIBLIOGRAFÍA

U.S.A., Wickliffe, Ohio , catálogos de la compañía BAILEY S.A.

U.S.A., Warminster, Philadelphia, catálogos de la compañía FISCHER & PORTER.

U.S.A., Massachusetts, Boston, catálogos de la compañía FOXBORO S.A.

Italia, Roma, catálogos de la compañía ORSI Automazione S.p.A.

Lorin, Harold. **Aspects of distributed computer systems** [Aspectos de sistemas distribuidos computarizados]. 2<sup>nd</sup> edition, U.S.A., John Wiley & sons, 1988

Rogers, JH. **Process automation a new refresher** [Automatización de procesos un nuevo refrescamiento]. 3<sup>rd</sup> edition, U.S.A., Mcgraw Hill. 1985

Smith, Carlos. **Control automático en procesos**, 2da edición, Colombia, FOXBORO S.A., 1992

Tanenbaum, Andrew S. **Redes de ordenadores**, 2da edición, España, Prentice Hall Hispanoamericana S.A. 1991.