



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

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RED  
POWERNET PARA EL CONTROL DE CALIDAD DE ENERGÍA  
EN UNA PLANTA DE ALIMENTOS**

**Luis Fernando Ríos Calderón**

Asesorado por: Ing. Jorge Benigno Arana Callejas

Guatemala, noviembre de 2006



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RED  
POWERNET PARA EL CONTROL DE CALIDAD DE  
ENERGIA EN UNA PLANTA DE ALIMENTOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA  
DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

**LUIS FERNANDO RÍOS CALDERÓN**

ASESORADO POR: ING. JORGE BENIGNO ARANA CALLEJAS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO ELECTRÓNICO**

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2006



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Marvin Marino Hernández Fernández
EXAMINADOR	Ing. Jose Aníbal Silva de los Ángeles
EXAMINADOR	Ing. Julio Cesar Solares Peñate
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas



## **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 Graduación titulado:

### **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RED POWERNET PARA EL CONTROL DE CALIDAD DE ENERGIA EN UNA PLANTA DE ALIMENTOS,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, el 30 de mayo de 2005.

**LUIS FERNANDO RIOS CALDERON**





## **ACTO QUE DEDICO A:**

### **Jesucristo**

Mi Dios y Salvador, a Él  
toda la honra y gloria.

### **Mis Padres**

Luis Alberto Ríos Vides  
Maria Antonieta Calderón  
de Ríos  
Gracias por la oportunidad y el  
apoyo brindado.

### **Mis Hermanos**

Carlos Alberto Ríos  
Calderón  
Martha Lucia Ríos Calderón  
Ana Elsa Ríos Calderón  
Por su apoyo brindado

### **Guatemala**



# ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES</b>	III
<b>GLOSARIO</b>	VII
<b>RESUMEN</b>	IX
<b>OBJETIVOS</b>	XI
<b>INTRODUCCIÓN</b>	XIII
<b>1. DESCRIPCIÓN DE LA RED POWERNET</b>	
1.1 Descripción general de la Red	1
1.1.1 Manufactura Integrada Computarizada	1
1.1.2 Cargas no Lineales	7
1.2 Descripción de los componentes del sistema	9
1.2.1 PONI <i>Communication Modules</i>	12
1.2.2 MINT II RS-232 <i>Converter</i>	14
1.2.3 IQ <i>Analyzer</i>	15
1.2.4 IQ-200	17
1.2.5 IMPCABLE	18
1.3 Aplicaciones generales	19
<b>2. DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE</b>	
2.1 Generalidades sobre el <i>Ethernet</i>	21
2.1.1 Redes de Área Local y redes de Área Amplia	21
2.1.2 Características de una red de Área Local	24

2.1.3	Conmutación de Paquetes de Información	28
2.2	Protocolo de comunicación de la red <i>Powernet</i>	30
2.2.1	Protocolo TCP/IP	30
2.2.1.1	Nivel Físico y de Enlace de Datos	33
2.2.1.2	Nivel de Red IP	34
2.2.1.2.1	Identificadores IP	36
2.2.1.3	Nivel de Transporte TCP	38
2.2.1.4	Nivel de Aplicación	40
2.2.1.4.1	Diferencias ente Buses de Campo y Redes Industriales	42
2.2.2	Codificación por cambio de Frecuencia FSK	44
2.2.3	Efecto de la Resistencia de Terminación de Red EOLTR	47
<b>3. DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE</b>		
3.1	<i>Waveform</i>	51
3.2	<i>E-Bill</i>	58
3.2.1	Costos de Producción	62
<b>4. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN</b>		
4.1	Diseño General de la Red	69
4.1.1	Topología	73
4.2	Implementación y puesta en marcha	75
4.2.1	Desarrollo del Proyecto	78
<b>CONCLUSIONES</b>		79
<b>RECOMENDACIONES</b>		81
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>		83

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Región no Lineal de un Transistor	7
2.	Onda de Salida de un Elemento no Lineal	8
3.	<i>IPONI</i>	13
4.	Diagrama de Conexión para el uso con una Computadora Personal	14
5.	MINT II RS-232 Converter	15
6.	<i>IQ Analyzer</i>	16
7.	IQ 200	17
8.	IMPCABLE	18
9.	Diagrama de flujo de los datos por TCP/IP	40
10.	FSK de Fase Discontinua	44
11.	Onda Portadora Modulada en FSK	45
12.	<i>Daisy-Chain</i> Cable Configuration	47
13.	Línea de Transmisión sin Terminación	48
14.	Magnitud de las Componentes Espectrales de un Variador de 1.5 Kw. de una Fase	53
15.	Forma de Onda de Voltaje con Distorsión	54
16.	Magnitud de las Componentes Espectrales de un Variador Trifásico de 1.5 Kw.	55

17.	Magnitud de las Componentes Espectrales de un Variador Monofásico de 1.5 Kw. Agregándole una Inductancia	56
18.	Magnitud de las Componentes Espectrales de un Variador Trifásico de 1.5 Kw.	57
19.	Magnitud de las Componentes Espectrales de un Variador Trifásico de 1.5 Kw. Agregándole una Inductancia	57
20.	Typical Industrial User Report	59
21.	Energy Trending of Multiple Metering	61
22.	Ubicación del IQ <i>Energy/Power Sentinel</i>	71
23.	Topología de la Red	75
24.	Ubicación de los Dispositivos	77

## **TABLAS**

I.	Integración de un sistema CIM	2
II.	Niveles de Integración CIM	4
III.	Especificaciones Técnicas	10
IV.	Comités IEEE 802	26
V.	Estándares en Redes Industriales Abiertas	27
VI.	Niveles del Modelo OSI	31

VII.	Protocolos en el nivel de Red IP	35
VIII.	Límites más alto y más bajo para cada tipo de dirección Ipv4	37
IX.	<i>Captured Waveforms</i>	51
X.	Estructura del Estado de Resultados	63
XI.	Comparación de Características y exactitud entre los Dispositivos Utilizados en <i>Powernet</i>	70
XII.	Centros de Costos	73
XIII.	Direcciones Hexadecimales de los Dispositivos	76
XIV.	Cronograma de Actividades	78





## GLOSARIO

<b><i>Powernet</i></b>	Siglas que en inglés significan: “ <i>Power Management System and Software Applications</i> ” (Sistema de Manejo de Energía en aplicaciones de <i>software</i> ).
<b><i>Ethernet</i></b>	Especificación de Red de área Local LAN, desarrollada por <i>Xerox Company</i> en 1976. Se rige bajo la norma IEEE 802.3 para redes de conexión.
<b><i>E-bill</i></b>	<i>Software</i> diseñado por <i>Powernet</i> para el control de costos por línea de producción.
<b><i>Waveform</i></b>	Siglas en Inglés de Forma de onda. Es un <i>software</i> del sistema <i>Powernet</i> .
<b><i>IPONI</i></b>	Transductor de protocolo de señales de red.
<b><i>IQ-Analyzer</i></b>	Analizador de forma de onda.
<b><i>MINT II</i></b>	Transductor de RS-232 a <i>Ethernet</i> .

<b>Transductor</b>	Un dispositivo que convierte los valores de una variable de proceso en una señal eléctrica para ser interpretada.
<b>Relays</b>	Dispositivos controlados por medio de una señal eléctrica para abrir o cerrar un contacto eléctrico con diferentes tiempos de respuesta.
<b>Trip Units</b>	Dispositivos que desconectan la máquina o el tablero de Energía de la alimentación principal debido a una falla o una fluctuación de Voltaje o Corriente (Algunos modelos son diseñados para responder a ciertos valores pico de Armónicos).
<b>Kw/h</b>	Kilovatios por hora.
<b>ISDN</b>	<i>Integrated Service Data Network.</i>
<b>Datagramas</b>	Un Datagrama es un paquete de información, al cual se le han ensamblado un campo de dirección de red y estación destino de 4 bytes.
<b>Main Run</b>	Longitud del cable mayor a 200 pies, en el cual los dispositivos Maestros y Sub-Maestros residen.

## **RESUMEN**

En la actualidad toda Industria que desee mejorar la eficiencia en el Proceso de Producción debe utilizar las herramientas tecnológicas a su alcance. La Empresa Cutler Hammer ha desarrollado el sistema de monitoreo y control llamado *Powernet* para la administración de la Red Eléctrica Industrial almacenando los datos de Energía y analizando el efecto de los fenómenos eléctricos, tales como Armónicos y Transitorios que son imposibles de analizar sin una herramienta de análisis en tiempo real. Posee además una herramienta para el cálculo de los consumos de Energía Eléctrica por unidad Producida en una Centro de Costos que forma parte de los Costos Indirectos de Producción.

El Cálculo de los Costos Indirectos de Producción en la practica sin un sistema de monitoreo en tiempo real se realiza por medio de cálculos aproximados y debido a el incremento de los sistemas de Automatización en las Industrias este dato de los costos indirectos de producción forma una mayor parte del Precio de Venta, por tanto es necesario que este cálculo se realice de la forma más exacta posible. *Powernet* da todas estas ventajas al ser implementada en cualquier industria de Producción.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Diseñar e implementar un sistema de Monitoreo de Calidad de Energía de la red eléctrica en una industria Guatemalteca de Producción de Alimentos, con la finalidad de obtener información en tiempo real sobre el estado de la red eléctrica y tener el control de los consumos de energía en distintas áreas de producción.

### **Específicos**

1. Conocer el funcionamiento de una red *Powernet* así como las distintas aplicaciones que pueden ser desarrolladas en ella.
2. Determinar la forma de comunicación de los elementos dentro de la red *Powernet*.
3. Proveer la documentación necesaria para la implementación de esta tecnología en la industria Guatemalteca de Alimentos.



## **INTRODUCCIÓN**

La administración industrial enmarca una serie de factores para optimizar los recursos y maximizar la producción, haciendo necesario el uso de computadoras para almacenar y analizar los sistemas de producción y control en tiempo real.

Se ha establecido un Sistema de Manufactura Integrada Computarizada o CIM para que la producción y manufactura se haga de una forma más eficiente a través de dispositivos de Automatización, Control Numérico y Robótica. La ventaja radica en la mayor precisión y reducción de Costos.

Considerando la situación actual que enmarcan los estándares internacionales y las tendencias hacia mercados cada vez más exigentes, es necesario el control eficiente de los recursos; para lograr una producción más eficiente con productos cada vez mejores y una industria más competitiva.





# **1. DESCRIPCIÓN DE LA RED *POWERNET***

## **1.1 Descripción General de la Red**

### **1.1.1 Manufactura Integrada Computarizada**

La Red *Powernet* es una red industrial que fue desarrollada por la empresa Cutler-Hammer, con la finalidad de realizar un monitoreo y control de las variables eléctricas en la industria en General y el cálculo de Costos Indirectos de Producción en Áreas específicas llamadas Centros de Costos.

Crea una ventana hacia las variables eléctricas de la industria las cuales son imposibles de monitorear con los sentidos humanos, debido a que estos fenómenos se desarrollan a velocidades muy altas, como es el caso de perturbaciones en la frecuencia de la red durante un tiempo muy breve o como el de un transitorio de voltaje que puede ser muy dañino para los componentes electrónicos.

Hoy por hoy la industria en General a nivel global se maneja en un entorno CIM (siglas en inglés de *Computer Integrated Manufacturing*) que es un entorno de fabricación integrada por computadoras, a fin reducir el error humano, mejorando la productividad y por lo tanto creando la necesidad de una plataforma segura para la operación de estos equipos. Es importante destacar el hecho que, por un sistema de entorno CIM se entiende que en una computadora se van a generar las ordenes de producción, monitoreo de Procesos, gráficas de tendencias de producción, control de Maquinas, etc. “Las tecnologías que se integran en un entorno CIM se agrupan en:”

**Tabla I. Integración de un Sistema CIM**

<b>Tecnología</b>	<b>Descripción</b>
Electrónica	Incluida en todos los elementos introducidos. Su complejidad varía según el nivel de la jerarquía y la función del mismo. Control por ordenador Jerarquizado y distribuido.
Mecánica	Ensamblado de distintas partes de los productos de Producción, para llegar a un producto finalizado.
De la Información	La información puede llegar de distintas partes de la fábrica: campo, ingeniería, contabilidad, almacén... Utilización de una misma fuente de datos para todos los integrantes.

Basado en la Integración de un sistema CIM<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Tabla I Integración en un sistema CIM, Comunicaciones Industriales, Ruiz, Pedro Morcillo y Julián Cócera Rueda, Paraninfo Thomson Learning, 2000, pp.7

Entre las tecnologías de entorno CIM más destacadas se encuentran:

- Diseño y Fabricación asistido por Computadora, para una mayor precisión y exactitud.
- Control Numérico (CNC) y Robótica.
- Sistemas de Control y Supervisión de la Manufactura.
- Telecomunicaciones.

Todos los sistemas que se integran a este entorno CIM buscan ventajas tales como minimizar los costos, aumentar la producción, aumentar la eficiencia de los procesos, agilizar las operaciones, minimizar el tiempo de producción y distribución de tareas, centralizar la información, estas ventajas se alcanzan muy fácilmente cuando el elemento encargado de realizar la operación es una computadora.

Con estos sistemas el flujo de información requiere un nivel de integración de todos los elementos que participan en la comunicación, desde la central donde se generan las ordenes de producción y se establecen los parámetros de las maquinas, que puede estar ubicada a una gran distancia con respecto a la planta, hasta las maquinas y elementos finales de control, así la información fluirá adecuadamente logrando una mayor eficiencia en el control del proceso. La información será transmitida de nivel a nivel según sea la jerarquía establecida, la comunicación se realizará en sentido ascendente, descendente y entre los componentes del mismo nivel, por eso decimos que se realiza en forma Vertical y Horizontal, para realizar esta integración se han definido los niveles presentados en la Tabla II.

**Tabla II. Niveles de Integración CIM**

<b>Nivel</b>	<b>Descripción</b>
Empresa	Con los datos del nivel inferior se realizan los procesos automáticos de productividad, planificación, cálculos de plazos, costes de mercado, gestión administrativa, gestión de recursos humanos, investigación y desarrollo. Coordinación de toda la corporación. Todo Tipo de recursos comerciales.
Fábrica	Control operativo de productividad de planta o fábrica. Datos de producción, conceptos estadísticos, gestión de compras, gestión de mantenimiento, inventario, análisis de costes, compras. Emite los pedidos y previsiones de ventas. Establece los costes y necesidades de cambios en ingenierías. Grandes Ordenadores, Ordenadores de Proceso.
Área	Coordinación de los elementos de control de la celda. Sincroniza los elementos inferiores. Suministra de información de cada celda. Almacena variables de proceso. Coordina los transportes. Sigue las órdenes de trabajo. Control de líneas en curso y calidad. Programas de fabricación. Automatas programables de gama alta. Ordenadores de control específico para CNC y robots.
Celda	Coordinación de los elementos inferiores. Se incorporan los elementos de control numérico, robótica y se coordina con las estaciones. Este nivel con el de estación puede fundirse en uno denominado LOCAL.
Estación	Engloba los elementos que realizan el mando y control de la máquina. Se agrupan en este nivel: Automatas programables, instrumentación, terminales de operario. Se seleccionan informaciones para los niveles superiores.
Máquina	Máquinas y elementos productivos y elementos básicos del mando control y accionamientos. Se lleva a término la producción. Se obtiene información (analógica o digital) para pasarla a niveles superiores.

Basado en la Integración de un sistema CIM<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> Tabla II Niveles de Integración en un sistema CIM, Comunicaciones Industriales, Ruiz, Pedro Morcillo y Julián Cócera Rueda, Paraninfo Thomson Learning, 2000, pp.7,8

La red *Powernet* entra en el nivel de Máquina y Estación de los sistemas CIM debido a que sirve a la vez como terminales de instrumentación y en algunos casos, dependiendo de la aplicación, funciona como un sistema de control al seleccionar disparos por fluctuaciones de voltaje que ocasionan problemas de daños a las tarjetas electrónicas; Se pueden incluir niveles superiores según sea la necesidad de la empresa, ya que si la empresa desea adquirir programas especializados para el cálculo de Costos y controles Estadísticos deberán incluirse los niveles de Fabrica y Empresa.

La Empresa Cutler-Hammer ha creado este sistema para ayudar a administrar la Energía de la industria en General. El sistema integral es ideal para administrar costos de energía, resolución de problemas de Calidad de Energía y asegurar la fiabilidad y la integridad del sistema eléctrico por medio del monitoreo en tiempo real, consta básicamente de analizadores de red, relays, trip units, protecciones para motores, dispositivos de entradas y salidas digitales, Arrancadores, Switches de Transferencia que en conjunto forman un sistema de manejo y control de la red.

La Red está diseñada para una adecuada Administración de la Energía Eléctrica. Despliega en una pantalla los costos de la Energía Eléctrica por línea de Producción, teniendo un dato mas para la persona que analiza la rentabilidad y los costos de producción de un determinado producto, evitando así cálculos con poca exactitud de los costos de energía eléctrica.

Antes de que existieran los sistemas de monitoreo en tiempo real, como la red *Powernet*, los cálculos de los costos de energía eléctrica se realizaban calculando el tiempo que la máquina había trabajado y la eficiencia de los motores con la potencia eléctrica promedio se calculaba la energía que había utilizado en ese tiempo y se multiplicaba por el precio del Kw/h para hallar el costo que había requerido esa máquina o línea de producción, este cálculo es poco exacto ya que tomamos datos promedio en un tiempo muy largo. En el sistema *Powernet* se toman mediciones periódicas de las variables voltaje y corriente y se calcula la potencia en esos instantes, estos datos quedan almacenados incluso en la hora que fueron tomados, dando la oportunidad de graficarlos y analizarlos en general o a determinada hora dando un valor de Costo de Energía muy exacto.

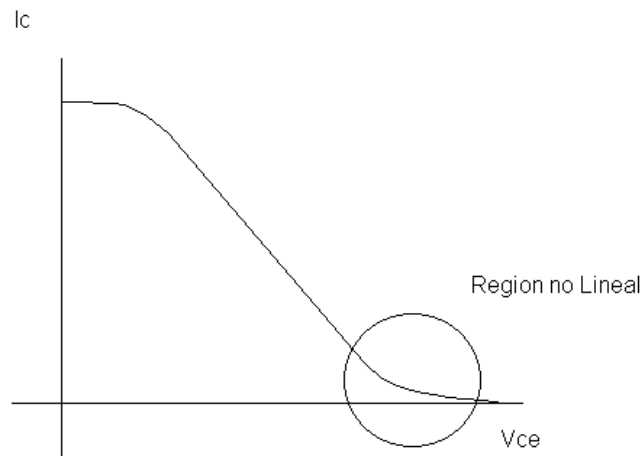
Los datos llegan a una computadora donde son analizados encontrando los puntos y las horas donde se puede ahorrar energía por medio de perfiles de carga, reduciendo el consumo, identificando horas pico para negociar precios de energía, etc.

La red no solo es capaz de desplegar costos de línea de producción, además esta diseñada para el control de calidad de Energía debido al crecimiento de cargas no lineales en la industria., lo cual se debe al aumento de la utilización de computadoras en la maquinaria actual integrándose así a los sistemas CIM y agregando el control que se debe tener de fenómenos tales como variaciones de voltaje, factor de potencia, armónicos y transitorios que son las variables que mas afectan las redes eléctricas industriales.

### 1.1.2 Cargas no Lineales

Definimos una carga no lineal como la carga que se conecta a la red eléctrica que produce múltiplos armónicos de frecuencia de la señal de entrada, esta señal a menudo es el voltaje de la línea de alimentación que puede tener distintos valores pico según sea la relación de transformación pero a una frecuencia de 60 hertz. En la gráfica 1 se presenta una región no lineal en un amplificador.

**Figura 1. Región no lineal de un Transistor**

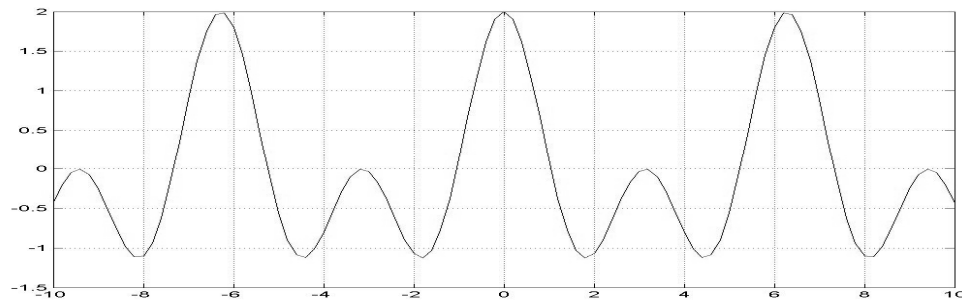


Asumamos que la señal de entrada de la subestación es una senoidal perfecta la definimos como  $A \cdot \text{Cos}(120\pi t)$  y pasa por esta región no lineal que podemos asumir que es una función cuadrática definida por  $1+x^2$  el resultado después de salir de esta región es:

$$A \cdot \text{Cos}(120\pi t) + (A \cdot \text{Cos}(120\pi t))^2$$
$$A \cdot \text{Cos}(120\pi t) + (A^2/2 - A^2 \cdot \text{Cos}(2 \cdot 120\pi t)/2)$$

Como podemos observar ha aparecido un término de doble frecuencia que el término base, es decir, si observamos el argumento del Coseno vemos que  $2\Pi ft=120\Pi t$  quiere decir que el coseno tiene 60 hertz de frecuencia, pero si observamos el término que apareció al atravesar la región no lineal tenemos que  $2\Pi ft=2*120\Pi t$  donde deducimos que la frecuencia es de 120 hertz, si la región no se comportara como una función cuadrática sino de orden mas alto que es lo que a menudo sucede obtendríamos componentes de tercero, cuarto, hasta un numero indeterminado de armónicos.

**Figura 2. Onda de Salida de un Elemento no Lineal**



En todos los elementos semiconductores existen áreas o regiones no lineales en su punto de operación creando problemas de generación de armónicos que se introducen a la red. Podemos mencionar los dispositivos de control de potencia IGBT, Mosfet, Transistor de potencia, Triac, Tiristor, GTO, entre los mas importantes y que en su mayoría se utilizan para modificar la velocidad de los motores Asíncronos, que son muy comunes en la industria.



En la red *Powernet* los datos adquiridos por los transductores integrados en los medidores digitales y viajan a través de un sistema de comunicación, en nuestro caso por medio de un cable físico (IMPCABLE) hacia la computadora donde los datos son desplegados en pantalla para ser analizados y que sean utilizados para tomar decisiones.

En la actualidad existen sistemas de monitoreo y control que pueden manipular las variables de un proceso en particular en una ubicación distinta a la de la máquina, esto se hace por medio de Internet, cuando el encargado del sistema de control necesita realizar viajes y sea necesaria su intervención. En lugares donde exista un medio altamente corrosivo que pueda destruir los cables de comunicación, la información viaja por medio de sistemas inalámbricos, como por ejemplo, radio enlaces de microonda. La red *Powernet* tiene todas las ventajas de ser un sistema que utiliza el protocolo TCP/IP con la capacidad de monitorear y modificar sus parámetros desde una central remota.

## **1.2 Descripción de los componentes del Sistema**

Existe una diversidad de componentes que la empresa Cutler Hammer ha diseñado para que sean utilizados en el Sistema Eléctrico de la Industria, algunos dispositivos poseen puertos de comunicación para ser integrados a la red *Powernet*, en general los dispositivos mas comunes de la Empresa Cutler Hammer se presentan en la tabla III.

**Tabla III. Especificaciones Técnicas**

Dispositivo	Dispositivos de Medicion					Reles de Proteccion				
	IG Analyzer	IG DP4000/4100	IG 200	Power Sentinel	Energy Sentinel	Digitrip 3000	MP-3000	iG-1000 II	IG 500	RTD Module
Voltaje (fase-fase)	X	X	X	X						
Voltaje (fase-neutro)	X	X	X	X						
Corriente de Fases	X	X	X	X		X	X	X	X	
Corriente de Neutro	X					X	X	X	X	
<b>Potencia</b>										
kW	X	X	X	X	X					
kWh	X	X	X	X	X					
kVa	X	X	X	X						
kVah	X	X	X							
Vars	X	X	X	X						
Varh	X	X	X							
FP	X	X	X	X						
<b>Demanda</b>										
Demanda kW	X	X	X	X	X					
Demanda kVa	X	X	X							
Demanda de Corriente	X	X	X			X				
Demanda kVar	X	X	X							
<b>Calidad de Potencia</b>										
THD	50	31								
THD Corriente	X	X								
THD Voltaje	X	X								
Factor de Cresta	X									
Frecuencia	X	X	X	X						
Forma de onda de Voltaje	X									
Forma de onda de Corriente	X									
<b>Otras Caracteristicas</b>										
Acceso a Setpoints	X	X	X	X	X	X	X			
Conteo de Operaciones							X	X		
Alta Carga						X	X			
Disparo Programado						X	X	X	X	
Open/Close Remoto						X	X	X		
Auxiliares										
<b>Entradas/Salidas</b>										
Entrada Digital	3	1				1	2	2		
Salida Digital	4(3)	3				5	4	4		
Entrrada Analoga	1									11
Salida Analoga	3						1	1		
<b>Modulos de Comunicaci3n</b>										
IPONI	>1.06	X					X			
BPONI	>1.05							X	X	X
INCOM			X	X	X	X	X			
EPONI Ethernet PONI	X	X								
Slot de DeviceNet				X	X					

Basado en Technical Data and Specifications<sup>3</sup>

<sup>3</sup> Tabla III Especificaciones Técnicas, Manual Electrónico Cutler-Hammer Consulting Application Guide, Cutler-Hammer, Enero 2001, pp. 26-6

Cada componente tiene una función específica ya sea de medición, de Protección o de control, dependiendo la aplicación que se desea implementar, por ejemplo si se desea monitorear una línea de producción, no nos interesaría tanto conocer la frecuencia o el factor de Distorsión Armónica de Voltaje THD sino estaríamos interesados en el consumo de Energía para tomar una decisión financiera en el Precio de Venta del Producto, estos elementos anteriores nos interesaría más conocerlos en una subestación para poder hacer una corrección en el sistema o un reclamo a los proveedores del Servicio.

Conocer el THD en una subestación es esencial a la hora de colocar equipo, por ejemplo si se coloca un banco de capacitores y el valor del TDH de Voltaje está sobre el nivel permitido, este equipo de gran costo que se ha instalado podría quedar destruido en poco tiempo, perdiendo la inversión hecha. Se podría colocar una serie de medidores a lo largo de la planta o en las líneas de Producción pero se debe analizar si es necesario hacer una inversión tal en función de la razón costo-beneficio.

Los componentes utilizados en la planta de Alimentos fueron el IPONI, MINTII RS232 *Converter*, IQ-Analyzer, IQ-220, IQ-Sentinel, cable IMPACC (Belden de 2 pares con shield), resistencias de Reflexión (EOLTR) y una Computadora Personal.

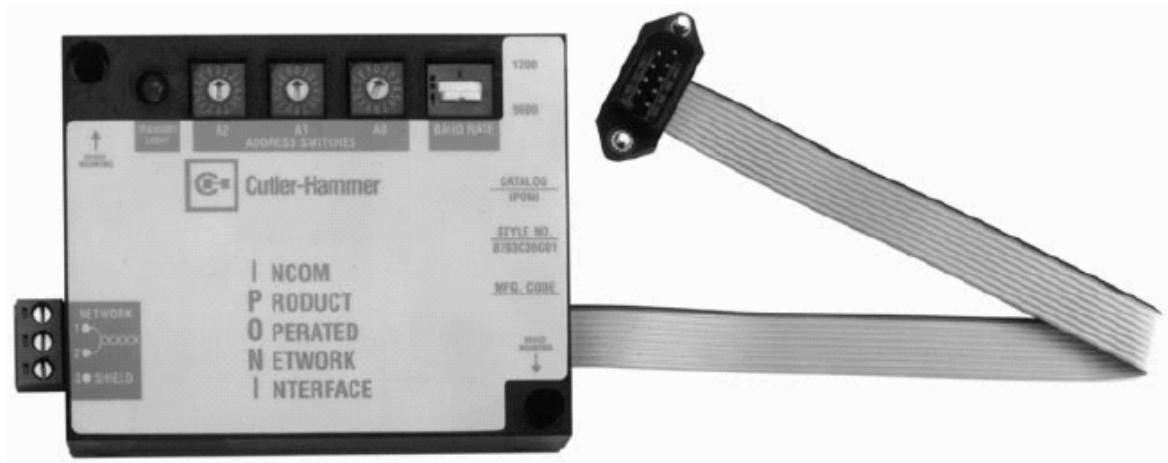
### **1.2.1 PONI Communication Modules**

Los dispositivos PONI (siglas en inglés de *Product Operated Networks Interface*) son tarjetas que están diseñados para establecer la comunicación en red de cualquier dispositivo de medición o protección del sistema *Powernet*. Los dispositivos IPONI y BPONI realizan la comunicación a través de un par trenzado de cable blindado IMPACC a una velocidad de alrededor de 10 mega baudios. Estos dispositivos regularmente toman la energía para su funcionamiento del dispositivo en donde son colocados, solo los EPONI necesitan abastecerse de energía separada del dispositivo donde sea colocado y están diseñados para que esta comunicación se realice de una forma limpia inmune al ruido típico de las áreas industriales.

Realizan una comunicación directa con el MINTII que es el dispositivo que se comunica con la computadora que despliega la información, cada dispositivo tiene un número hexadecimal de tres dígitos modificables para poder identificarlos o de una dirección IP para el caso de un *Ethernet* PONI. Opera a una Temperatura de  $-20^{\circ}\text{C}$  a  $70^{\circ}\text{C}$ , humedad de 5% a 95%, Voltaje de 20 a 30 VDC Máximo con un consumo de 50mA nominal a 100mA máximo, Velocidad de 1200 a 9600 baudios y la comunicación la realiza a través de un bloque removible de 3 terminales en el cual se conecta al cable IMPACC.

En el caso de que exista una Red de Área Local LAN ya instalada se pueden utilizar los dispositivos *Ethernet* como el WEBPONI o por fibra de vidrio como el EPONIF, estos productos *Ethernet* permiten el monitoreo por medio de Internet. Los Dispositivos PONI son de fácil instalación en los dispositivos Cutler-Hammer y se enlazan a través de un conector de 9 pines Hembra.

**Figura 3. IPONI**



**IPONI**

Tomado de Manual Cutler-Hammer<sup>4</sup>

---

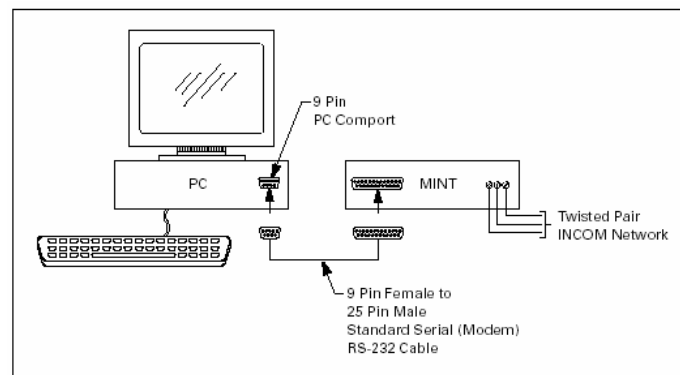
<sup>4</sup> Figura 1: IPONI Communication Modules, Manual Electrónico Cutler-Hammer Consulting Application Guide, Cutler-Hammer, Enero 2001, pp. 26-72

### 1.2.2 MINT II RS-232 Converter

El MINT II es el dispositivo que provee el acceso de la información proveniente de todos los dispositivos conectados en la red. Es el enlace entre la red y la computadora que despliega la información para ser analizada, convierte las señales que envían los dispositivos PONI a una señal RS-232.

El MINT II soporta hasta 1000 dispositivos en una red INCOM de 2591 metros de distancia máximo y funciona a 120V AC; conecta un puerto RS-232 con un conector DB-25 hembra de 1200 a 19.2k baudios aislado para 500V, soporta temperaturas de 0°C a 60°C y humedad de 0% a 95%, esta señal no solo puede ser utilizada por la computadora sino por un PLC (siglas en español de Controlador Lógico Programable).

**Figura 4. Diagrama de Conexión para el uso con una Computadora Personal**



Tomado de Manual Cutler-Hammer<sup>5</sup>

<sup>5</sup> Figura 2: Diagrama de conexión para el uso con una PC, Manual Electrónico Cutler-Hammer Consulting Application Guide, Cutler-Hammer, Enero 2001, pp. 26-71

**Figura 5. MINT II RS-232 Converter**



Tomado de Manual Cutler-Hammer<sup>6</sup>

### **1.2.3 IQ Analyzer**

Este dispositivo se utiliza para el monitoreo del sistema de Distribución Eléctrica por medio de un muestreo del Voltaje y la Corriente de cada fase. Provee y almacena información acerca de la calidad de Energía de la línea o subestación donde este colocado, provee además de entradas y salidas analógicas, relés de control que puede ser controlado remotamente. Provee información de los armónicos pares e impares hasta el 50avo componente armónico tanto de Voltaje como de Corriente con su magnitud, Angulo y fase.

La información se puede obtener a través de la red o por medio de la pantalla LCD con un menú fácil de utilizar. Provee una abundante información en tiempo real de los datos adquiridos, estos además son almacenados durante un tiempo programable para su análisis.

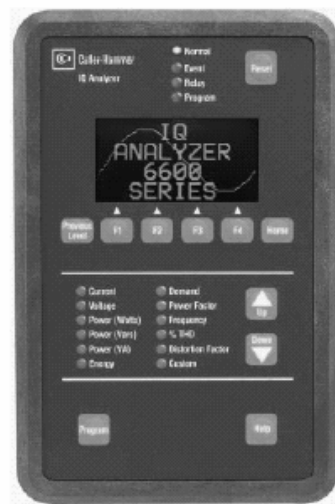
---

<sup>6</sup> Figura 3: MINT II RS-232 Converter , Manual Electrónico Cutler-Hammer Consulting Application Guide, Cutler-Hammer, Enero 2001, pp 26-71

Esta diseñado para almacenar al menos 24 parámetros con intervalos de 0.13 segundos para un total de 90,000 puntos de muestra, si se programa que almacene datos cada 15 minutos tiene la capacidad de almacenar 234 días de Datos, contiene una entrada analógica y dos digitales para conectar sensores o transductores, contiene 3 salidas análogas y 4 salidas de relé para enlazarse con alarmas o PLC's para realizar operaciones correctivas cuando es programado, contiene una fuente de DC disponible de 24 a 40 Voltios.

Los rangos máximos que permite el dispositivo son aplicaciones de hasta 500kV, PT's hasta 600V, Relaciones de transformadores de Corriente CT's seleccionable de 5:5<sup>a</sup> a 10,000:5 A, el voltaje de línea de 120 a 600 VAC.

**Figura 6. IQ Analyzer**



Tomado de Manual Cutler-Hammer<sup>7</sup>

---

<sup>7</sup> Figura 4: IQ Analyzer , Manual Electrónico Cutler-Hammer Consulting Application Guide, Cutler-Hammer, Enero 2001, pp 26-21



#### 1.2.4 IQ 200

Este dispositivo está diseñado de una forma compacta y de fácil montaje para ser colocado en un tablero secundario o centros de control para monitorear una carga específica, colocando un IQ 200 se puede monitorear la corriente, el voltaje, el factor de potencia, la potencia reactiva, activa y aparente, la medición de frecuencia y la demanda de Energía. Fue diseñado para realizar sub-mediciones en la red Industrial.

El IQ 200 puede ser fácilmente programado y monitoreado desde el panel frontal de 4 botones y su pantalla de cristal líquido de 4 líneas de 20 caracteres. Este dispositivo no almacena la información sino que está diseñado para monitoreo y transmisión de los parámetros eléctricos de sub-medición, regularmente estos dispositivos se colocan en el tablero secundario de la línea de producción que se desea analizar.

**Figura 7. IQ 200**



Tomado de Manual Cutler-Hammer<sup>8</sup>

---

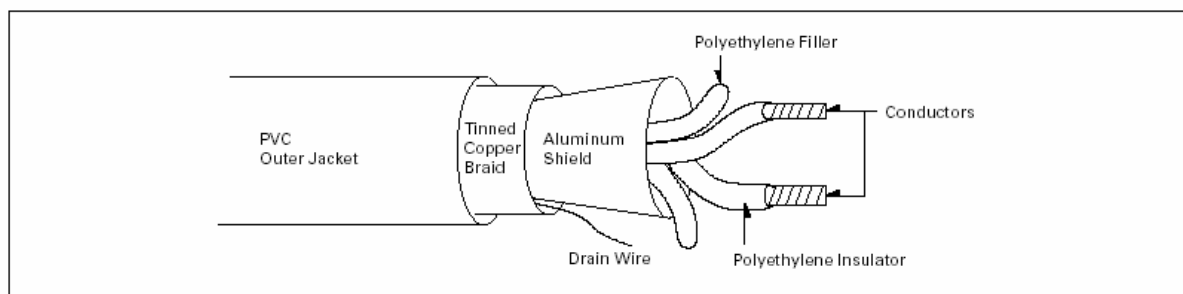
<sup>8</sup> Figura 5: IQ 200 , Manual Electrónico Cutler-Hammer Consulting Application Guide, Cutler-Hammer, Enero 2001, pp 26-6

### 1.2.5 IMPCABLE

Este es el cable de comunicaciones industriales que utiliza la red *Powernet* (siglas en inglés de *Integrated Monitoring Protection and Control Communications*), su diseño se centra alrededor del chip de comunicaciones industriales (INCOM) que utiliza Codificación por cambio de Fase (FSK) para transmitir la información.

Las ventajas de utilizar este cable es que se puede realizar un enlace de comunicación de datos a grandes distancias con una atenuación de 1.6 dB por cada 305 metros, es un cable 18 AWG con aislamiento de 600V a 80°C, tiene una impedancia de 100 ohms sintonizado a 100kHz para trabajar en forma óptima con las señales FSK que utiliza Cutler-Hammer. Este tipo de cable esta diseñado para permitir una comunicación entre alrededor de 1000 dispositivos colocados a una distancia de 3,048 metros de la unidad maestra.

**Figura 8. IMPCABLE**



Tomado de Manual Cutler-Hammer<sup>9</sup>

<sup>9</sup> Figura 6: IMPCABLE , Manual Electrónico Cutler-Hammer Consulting Application Guide, Cutler-Hammer, Enero 2001, pp 26-86

### **1.3 Aplicaciones generales**

La aplicación General de la red *Powernet* es la de monitoreo de la Calidad de Energía para detectar problemas y realizar las correcciones necesarias para mejoras en el Sistema Eléctrico y el de Administración de consumos de Energía para la toma de decisiones financieras respecto a costos de Producción y el precio de Venta, pero presenta otras características que pueden ser aplicadas en la Industria.

Esto se logra a través de dispositivos que no se han utilizado en la planta de alimentos de nuestro estudio, por ejemplo podemos mencionar Modulo de Entradas Analógicas, o AIM que se utiliza para monitorear Gases, flujos, Temperatura, Presión, Aire Comprimido, Vapor y cualquier señal que tenga una salida de 4-20mA o de 0-20mA.

En las industrias a menudo se tienen tuberías que se encuentran en lugares muy remotos pero que su contenido es esencial para que la línea de producción se mantenga funcionando y no surja un paro no programado que represente perdidas para la industria. Un ejemplo se encuentra en las plantas de fabricación de empaques Plásticos, donde las maquinas trabajan utilizando aire comprimido, si no existe un sensor de presión que de una alarma cuando surja una disminución de presión en las tuberías debido a una falla en compresores de aire, tendremos un paro total de las maquinas representando grandes pérdidas.

Con un módulo como el AIM se puede colocar en red una señal de alarma de baja presión enviando una señal digital a un sistema de automatización que encienda los compresores de aire auxiliares para evitar así el paro de la planta, o bien colocar un sensor de Vibración para turbinas o molinos de Reciclado de alta velocidad, cuya falla representa altos costos de reparación.

Existen tuberías que transportan fluidos altamente peligrosos para los operadores o los empleados de la planta, colocando un sensor de presión que detecte la caída de presión indicando una fuga en la tubería enviaría una señal de alarma para detener el transporte de este fluido y generar una alarma. Las aplicaciones para señales analógicas pueden ser muchas, dependiendo del tipo de industria en donde este instalada la red.

El modulo de Relé direccionable esta diseñado para obtener información y controlar un dispositivo que se encuentre incomunicado, este dispositivo tiene una dirección de 3 dígitos hexadecimal para poder identificarlo y contiene 1 salida de control de relé con la cual se puede abrir o cerrar un circuito remotamente y dos entradas discretas de Voltaje para enviar el estatus de alguna variable del Dispositivo Incomunicado, con un dispositivo PONI se puede integrar con éxito a la red de administración y monitoreo *Powernet*.

## **2. DESCRIPCIÓN DEL *HARDWARE***

### **2.1 Generalidades sobre redes *Ethernet***

#### **2.1.1 Redes de Área Local y redes de Área Amplia**

Las redes de Área Local (LAN) son redes cuyos dispositivos están restringidos a una localización particular o a una red en particular, por ejemplo si en una industria existen dispositivos como sensores, PLC's, instrumentos, etc, estos dispositivos conectados entre si forman una red LAN.

En un punto de vista general se les conoce a las redes de área Amplia (WAN) como las que cubren un área geográfica extensa y que por lo general requieren de la utilización de operadores externos como el servicio de telefonía ISDN para comunicación datos e imágenes, no existe un estándar definido sobre la cobertura mínima de estas redes de área amplia pero se entiende que son redes que cubren un área geográfica extensa, como mínimo mas allá de un edificio o un campus.

Las redes WAN y LAN resolverán las comunicaciones entre los niveles CIM descritos anteriormente, para realizar la comunicación entre un conjunto de plantas industriales o fabricas crearíamos una red WAN y tendríamos la opción de comunicarnos en cualquier parte donde tenga cobertura esta red WAN, incluso podríamos optar a crear una red con acceso a Internet para poder acceder a ella desde una computadora en cualquier localización, además cada una de estas redes WAN estará constituida de al menos una red LAN que intercomunica los elementos de un área específica de la planta industrial, por ejemplo una línea de producción de un producto donde se concentra una cantidad de componentes para monitoreo y control, como pueden ser sensores, PLC's, actuadores, válvulas, etc.

Este tipo de redes pueden ser diseñadas basándose en las topologías de redes ya conocidas entre las que podemos mencionar las de anillo, estrella, árbol, bus, entre las más comunes. Estas redes realizan la comunicación entre los dispositivos promedio de difusión, cada estación es transmisora y receptora y se comunica con los otros elementos sin necesidad de nodos sobre el mismo medio de transmisión, las demás estaciones pueden ver los mensajes transmitidos y por lo tanto se crea la necesidad de identificar los dispositivos para indicar el destino del mensaje o para pedir una retransmisión en caso de que exista algún error en la recepción, el único inconveniente en este tipo de transmisión es el ancho de banda para el acceso simultaneo. Otra forma de enlazar dispositivos es a través de la comunicación punto a punto donde la línea de transmisión conecta únicamente dos nodos intermedios y a través de ellos se conectan las estaciones.

Si en la industria se crea una red de área local para la comunicación entre los dispositivos de un área específica se tendrá que tomar en cuenta cuantos dispositivos se desea controlar o monitorear y con que frecuencia se desea conocer el valor de las variables obtenidas por estos dispositivos, por ejemplo para medir el consumo de Energía de una máquina específica se realiza un muestreo de la potencia cada 15 minutos dándonos espacio suficiente entre mediciones para conocer el valor de esta misma variable en otras maquinas y mandar estos datos conmutados en un mismo circuito.

En este tipo de red los datos viajan a través de un circuito que se establece previamente y que se libera al finalizar la comunicación entre los dispositivos y la central. Para realizar una comunicación de este tipo se utiliza una técnica multiplexacion de datos que se conoce como multiplexacion por división de tiempo, que no es mas que dividir el tiempo entre el numero de mensajes que se desean enviar, si algunos dispositivos no van a transmitir datos se aumenta la velocidad de transmisión debido a que se aumenta el ancho de banda y los dispositivos que necesiten transmitir datos lo hagan de una forma mas eficiente. En el caso que sea un número grande de dispositivos y que a la vez necesiten enviar información continua se utiliza otro tipo de comunicación que es el de conmutación de paquetes de información que será descrito mas adelante.

Las redes *Ethernet* TCP/IP se han convertido en el estándar mundial para enviar y recibir información, en la industria las redes *Ethernet* han cobrado fuerza debido a su alta rapidez, flexibilidad y bajos costos, además de que no es un estándar dependiente de una compañía sino que es un estándar mundial que muchos fabricantes utilizan como una red de respaldo para implementar sus aplicaciones. En el caso de *PowerNet* de Cutler-Hammer se utiliza el estándar TCP/IP *Ethernet* como una red de respaldo para el transporte de la información de una manera rápida y eficiente a través de la Industria o a través del Mundo.

### **2.1.2 Características de una Red de Área Local**

En una red industrial existen elementos conectados entre si como computadoras, Autómatas Programables, Medidores, Sensores, dispositivos de control, etc. Cada dispositivo esta situado a una distancia que en algunos casos puede ser considerablemente grande. Las distancias de separación permitidas en las redes de área local no son muy grandes debido a las atenuaciones en los cables.

En la industria las distancias entre los dispositivos para que exista una adecuada comunicación varía de 200 a 500 metros, en algunos casos se utilizan dispositivos repetidores y amplificadores para abarcar distancias mas grandes. Existen dispositivos que tienen funciones incorporadas de retransmisión de datos para ser colocados en serie a la red.



Con respecto a la Velocidad de transmisión de datos desde los dispositivos a la unidad Maestra o Servidor va a depender del tipo de transmisión que se este utilizando y la línea de transmisión donde son enviados los datos, si analizamos las redes industriales encontramos velocidades entre autómatas programables de hasta 500 Kbits/s en los niveles de campo y en los niveles de celda hasta 2 Mbits/s y con enlaces de fibra óptica hasta 10 Mbits/s que es una velocidad baja comparada a las redes de computadoras que sin estar utilizando tecnologías como ATM o ADSL que pueden llegar hasta 20 Mbits/s, las líneas de transmisión para estos datos pueden ser como en el caso de *Powernet* el cable IMPCABLE o los comúnmente utilizados Coaxial, UTP, STP categoría 3 y 5 de 2 a 4 hilos y fibra óptica multimodo de gradiente discreto.

Cuando un conjunto de dispositivos están conectados a una misma línea de transmisión pueden recibir interferencia de un dispositivo o interferir a otro, los niveles de protocolos OSI, TCP/IP tienen la función de establecer la composición de la trama de mensaje enviado para su adecuada recepción y transmisión.

Los estándares en redes de área local son establecidos por el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE), son estándares mundiales no obligatorios pero debido a la globalización en las Comunicaciones se espera que sea adoptado por los fabricantes. Estos estándares fueron desarrollados por un comité numerado como 802 que tienen su equivalente en el organismo internacional de normalización ISO 8802 y son descritos el la tabla IV.

**Tabla IV. Comités IEEE 802**

<b>Comité IEEE</b>	<b>Desarrolla</b>
802.1	General, Arquitectura, gestión, Interconexión (puentes MAC)
802.2	Control de enlace lógico: Modos de Conexión para el enlace de datos
802.3	MAC, CSMA/CD cables coaxial y trenzado. Banda base y ancha. Velocidades de 1 a 100 Mbps
802.4	Bus con paso de testigo. Cables Coaxial y fibra óptica. Ancha. Velocidades de 1 a 20 Mbps
802.5	Anillo con paso de testigo. Cable trenzado. Banda base. Velocidades de 4 o 16 Mbps.
802.6	Area Metropolitana
802.7	Redes locales en banda ancha.
802.8	Fibra óptica
802.9	Voz y Datos
802.10	Seguridad
802.11	Redes inalámbricas. Modulación FSK, PSK. Hasta 300 m.
802.12	Estrella en Malla, 100VG-AnyLAN, 100 Mbps y 4 pares trenzados.

Basado en Estándares en redes de Área Local<sup>10</sup>

Acerca de los estándares en redes industriales existe una diferencia muy marcada entre los distintos fabricantes al realizar sus diseños, esto es debido al desinterés de las Grandes Empresas en estandarizarse aunque deben cumplir con las especificaciones básicas para comunicarse con dispositivos que utilizan los buses de campo, como Profibus, DiveceNet, ModCon, etc. Los Buses de Campo son muy utilizados en la industria en autómatas programables. En General solo podemos hablar de estándares en redes abiertas.

---

<sup>10</sup> Tabla III Comités IEEE 802, Comunicaciones Industriales, Ruiz, Pedro Morcillo y Julián Cócera Rueda, Paraninfo Thomson Learning, 2000, pp.61

En la tabla V se presentan estos estándares y los niveles de Protocolos OSI específicos.

**Tabla V. Estándares en redes Industriales Abiertas**

<b>Nombre</b>	<b>Niveles de protocolos OSI especificados</b>	<b>Estandares</b>
<b>MAP</b> Manufacturing Automation Protocol	1,2,3,7	IEEE802.4
<b>Industrial Ethernet</b>	1,2,3,7	IEEE802.2 IEEE802.3
<b>Estándar Europeo</b>	1,2,7	EN50170
<b>CAN</b> Control Area Network	2	ISO11898

Basado en Estándares en redes de Área Local<sup>11</sup>

En las redes industriales los dispositivos están conectados a través de un mismo canal y este al ser desconectado produce una interrupción de la comunicación. Esta es una comunicación que se le conoce como Orientada a la Conexión, es decir que la comunicación se realiza mientras el canal de comunicación o la línea de transmisión encuentre activo. El otro tipo de comunicación es el No Orientado a la Conexión cuyo ejemplo perfecto es el de un mensaje enviado por medio del correo electrónico donde el mensaje es almacenado en un servidor y luego se establece el enlace y se descarga el mensaje. Este tipo de transmisión de información no es muy útil en la industria ya que mucha de la información que se transmite se hace en tiempo real.

---

<sup>11</sup> Tabla IV Estándares en redes industriales abiertas, Comunicaciones Industriales, Ruiz, Pedro Morcillo y Julián Cócera Rueda, Paraninfo Thomson Learning, 2000, pp.61

### **2.1.3. Conmutación de Paquetes de Información**

Muchas veces en las redes industriales es necesario enviar y recibir información de los dispositivos para conocer su estado o modificarlo en función del proceso que se lleve a cabo. Muchas veces estos mensajes son muy largos, compuestos de muchos bits, y cuando se desea realizar de manera simultánea la transmisión de varios mensajes de este tipo nos encontramos con el problema de saturación en el canal. Si se trata de una red sobre Internet, cuando el mensaje llega a un nodo de retransmisión, el mensaje debe ser totalmente almacenado antes de ser enviado nuevamente. Supongamos que debe atravesar  $N$  nodos, si llamamos  $T_m$  como el tiempo necesario para transmitir este mensaje largo, el tiempo necesario para que el mensaje llegue a su destino es  $NT_m$ , vemos que este tiempo puede ser bastante grande.

A medida que mas mensajes deben ser enviados, el tiempo en el cual el nodo se encuentra ocupado almacenando el mensaje debe ser reducido al máximo para estar disponible si alguien más desea comunicarse o enviar información. Para Resolver este problema se ha diseñado una manera de enviar un mensaje largo dividiéndolo en partes pequeñas o en paquetes de información, cuya longitud es de alrededor de 1024 bits. Esto nos permite enviar simultáneamente paquetes de información de varios mensajes los cuales por ser de tamaño pequeño, son almacenados y enviados en los nodos en un tiempo más pequeño.

Como cada paquete de información es enviado por distintos caminos, puede ser que un paquete llegue antes que otro en diferente orden del cual fue enviado, dependiendo del camino que tome, por eso es necesario adicionarle bits a el paquete enviado. Estos bits contienen información acerca de La fuente y el Origen, también se le adicionan bits de codificación y de sincronismo y cada paquete es numerado para su ensamblaje en el destino. Un mensaje enviado puede ser por ejemplo la siguiente serie de bits que podría representar la información proveniente de un sensor o las instrucciones para un PLC:

10100101001001110101101011101011

Típicamente estos mensajes son formados de múltiplos de  $2^N$  bits dependiendo del *buffer* utilizado en la Transmisión, entonces se divide el mensaje en partes iguales y se le agregan los bits de Codificación e identificación para obtener los paquetes que son enviados que son considerablemente mas pequeños que el mensaje original. Como un ejemplo, si deseamos transmitir el mensaje anterior lo dividimos en 4 partes y le agregamos algunos bits extras, según lo dicho anteriormente y cada paquete de información podría quedar de la siguiente forma:

**00101001010 01001001111 10010110101 11111010110**

Vemos que estos paquetes de información contienen en el principio el numero del paquete a la hora de armar de nuevo el mensaje original y al final un bit de paridad para detectar errores, esta no es la forma estándar de colocar los bits solo es a manera de ejemplo, notamos que estos mensajes se pueden almacenar y enviar en menos tiempo que si se enviara el mensaje original de una sola vez.

## **2.2 Protocolo de Comunicación de la red *Powernet***

### **2.2.1 Protocolo TCP/IP**

Si deseamos realizar una comunicación adecuada entre un conjunto de dispositivos conectados entre sí por medio de un mismo canal de transmisión se puede llevar a cabo por medio de las normas o protocolos que el Organismo Internacional de Normalización ISO estableció en 1978 y fue presentado en 1984 que se conoce como Modelo OSI (siglas en Inglés de *Opening System Interconnection*), o Interconexión de sistemas abiertos. El Modelo OSI tiene dos aspectos fundamentales que son la Organización por niveles o capas y la utilización de un protocolo para que se realice la comunicación entre los niveles. La estructuración de niveles permite que las funciones de un nivel sean independientes de los otros y el protocolo simplemente es el lenguaje o los estatutos y reglas para el intercambio de información entre los dispositivos o entre los distintos niveles.

El modelo OSI utiliza una arquitectura de 7 niveles que son el Nivel Físico, Nivel de Enlace de Datos, Nivel de Red, Nivel de Transporte, Nivel de Sesión, Nivel de Presentación y por último el Nivel de Aplicación. Los tres primeros niveles son los implicados directamente en la comunicación de los datos como características eléctricas, codificación y detección de errores, componentes de la red física, etc.

El nivel de Transporte es el enlace de los tres primeros niveles con los tres últimos niveles que son los dedicados a el procesamiento y presentación de la información para ser analizada por el operador o el usuario, un resumen de los niveles del modelo OSI se presentan en la tabla VI.

**Tabla VI. Niveles del Modelo OSI**

<b>Núm.</b>	<b>Nivel</b>	<b>Objetivo Principal</b>
<b>1</b>	<i>Físico</i>	Transmisión de bits. Características eléctricas y mecánicas
<b>2</b>	<i>Enlace de datos</i>	Formato de trama. Mantenimiento del enlace (establecimiento, liberación y transferencia de datos). Detección de errores.
<b>3</b>	<i>Red</i>	Encaminamiento de datos por una red. Prestaciones de la red a los datos que se transmiten. Resolución de la congestión.
<b>4</b>	<i>Transporte</i>	Intercambio de datos entre los extremos. Optimiza la calidad de los servicios del nivel de red.
<b>5</b>	<i>Sesión</i>	Control del diálogo entre las aplicaciones de los extremos
<b>6</b>	<i>Presentación</i>	Formato y transformación de datos entre las aplicaciones
<b>7</b>	<i>Aplicación</i>	Aplicaciones distribuidas específicas y su gestión

Basado en El Modelo OSI<sup>12</sup>

---

<sup>12</sup> Tabla V Niveles del Modelo OSI, Comunicaciones Industriales, Ruiz, Pedro Morcillo y Julián Cócera Rueda, Paraninfo Thomson Learning, 2000, pp.13

En los años 80 se presento una alternativa de protocolo de comunicación inspirada en el modelo OSI que se le conoce como TCP/IP que es esencial en el desarrollo de aplicaciones sobre Internet, que se han utilizado mucho en los últimos años. Por protocolo entendemos que es un lenguaje o una forma en la cual se intercambian datos dentro de los distintos niveles de una red, básicamente los protocolos cumplen las funciones de Control de Flujo de Información, Control de errores en la Transmisión, el Direccionamiento Adecuado, en algunos la descomposición y ensamblado de los paquetes de Información.

TCP significa *Transport Control Protocol* y las siglas IP significan Internet Protocol, y a el conjunto de estos protocolos se le conoce como TCP/IP; estas son dos arquitecturas de protocolos que permiten intercambiar recursos y datos a través de una red, fue diseñado con el principal objetivo de lograr una comunicación entre diferentes dispositivos en red desarrollados por diferentes fabricantes que ha sido adoptado en el mundo. En consecuencia, TCP/IP consiste en un conjunto de protocolos abiertos que todo fabricante que desee establecer una comunicación efectiva deberá adoptar en sus diseños.

Existe un sistema que se le conoce como cliente/servidor en el cual los dispositivos conectados en la red, que proporcionan un servicio determinado, se les llama servidores o dispositivo servidor y al que solicita el servicio se le llama cliente. Puede ser que el dispositivo servidor necesite un servicio y se convierta entonces en un cliente, pero existirán dispositivos que solo presten servicios y otros que solo reciban servicios, a los que realizan ambas funciones se les conoce como cliente/servidor.



Para este tipo de modelo de comunicación fue diseñado el protocolo TCP/IP donde los clientes pueden ser maquinas conectadas en la red o simplemente un programa interno en la computadora que solicite un servicio y los servidores pueden ser computadoras centrales que administren dispositivos esclavos. Los programas o rutinas que establecen la conexión, intercambiar datos y cerrar la conexión se les denomina Sockets, estos programas están diseñados en un lenguaje de alto nivel, normalmente en Lenguaje C.

#### **2.2.1.1 Nivel Físico y de Enlace de Datos**

En este nivel se encuentra la parte física de la red, como pueden ser conectores, cables, señales eléctricas, etc. Normalmente la pila de protocolos TCP/IP utiliza los medios físicos establecidos en el estándar IEEE 802.3 donde se establecen los cables y los conectores para las redes *Ethernet*.

En este nivel también están incluidos el control y enlace de datos, se crean las tramas de información que consiste en que el mensaje que se envía se convierte a un mensaje binario por medio de la Modulación de Código de Pulso (PCM) y se le agregan bits de detección de errores, bits de codificación, etc. Con estos bits que se le agregan a el código se forma la trama de datos que se envía. Los estándares para el control del enlace y modos conexión de datos es el IEEE 802.2.

### **2.2.1.2 Nivel de Red IP**

IP llamado dirección destino es un campo de dirección de red y estación destino de 4 bites que se le agrega a los paquetes de Información. El Nivel de Red IP consiste en los elementos que ayudan al transporte de información entre los distintos nodos a través de los *Routers* o encaminadores y las pasarelas o *Gateway*, para llegar a su destino final. Este nivel de Red contiene 4 aspectos en el protocolo de comunicación que se describen en la tabla VII.

Un *Router* o un encaminador es el encargado de conectar o realizar un puente entre redes LAN y de redireccionar los paquetes de información hacia su destino, este dispositivo es gestionado por el nivel de protocolo IP. Los *Routers* incorporan *software* para evaluar que camino es el correcto para enviar la información, escoge el camino menos congestionado. El *Routers* tiene una cualidad que es la de ser capaz de interpretar y modificar los paquetes recibidos en otros protocolos como el X25 y convertirlo a IP.

Una Pasarela o *gateway* es un dispositivo que realiza la comunicación de la información entre los protocolos de nivel de Transporte, Sesión, Aplicación y Presentación entre las redes. Básicamente las funciones de las pasarelas son las de Adaptar los formatos de datos de la red destino, ensamblar el mensaje con sus direcciones de origen y envío, almacenamiento de los mensajes que ingresan para retransmitirlos y la conexión física entre cada uno de los tipos de la red conectados.

**Tabla VII. Protocolos en el nivel de red IP**

<b>Protocolo</b>	<b>Función</b>
<b>IP</b> Internet Protocol	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 Incorpora la dirección de destino y de origen para la comunicación, y genera el datagrama IP, por medio de una cabecera IP. El método de direccionamiento se ve en el apartado 3.</li> <li>2 Se utiliza en las estaciones, routers y gateways de distintos fabricantes, para la interconexión de estaciones conectadas a distintas redes.</li> <li>3 Acepta los datos de la capa superior o transporte (TCP/UD)</li> </ol>
<b>ICMP</b> Internet Control Message Protocol	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 Descartar Datagramas cuyo tiempo de vida expira.</li> <li>2 Mensajes de control por la red. Ejecutar netstat -a y netstat -s.</li> <li>3 Notificación de errores en la red. (!Enlace fuera de servicio!) (!Destino inalcanzable!)</li> </ol>
<b>ARP</b> Address Resolution Protocol	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 Obtención de la dirección física que le corresponde a una dirección IP</li> <li>2 Existe en una red o en la propia estación una estación servidor de ARP.</li> <li>3 La dirección física se corresponde con la de una tarjeta de interfaz de una LAN</li> <li>4 El mensaje ARP viaja en el campo de datos de un datagrama.</li> <li>5 Uso de proxy para peticiones indirectas, desde otra estación.</li> </ol>
<b>RARP</b> Reverse Address Resolution Protocol	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 Si una estación no conoce su dirección IP, se ejecuta el protocolo RARP para obtenerla. La dirección física siempre es conocida porque es un parámetro de la tarjeta interfaz de red.</li> <li>2 Existe en la red o en la propia estación una estación servidor de RARP. Éstos mantienen una tabla de dirección IP y su correspondiente física o de red.</li> <li>3 Mediante un paquete de difusión solicitan al servidor la dirección IP.</li> </ol>

Basado en Descripción de los niveles TCP/IP<sup>13</sup>

<sup>13</sup> Tabla VI Protocolos en el nivel de red IP, Comunicaciones Industriales, Ruiz, Pedro Morcillo y Julián Cócera Rueda, Paraninfo Thomson Learning, 2000, pp.74

### **2.2.1.2.1 Identificadores IP**

Los identificadores IP son los nombres y direcciones que se les dan a los dispositivos o a las estaciones para ser reconocidas o identificadas en la red. Todas las estaciones y dispositivos deben ser identificados, incluso los *routers* y las *gateways*, en el caso de la industria cada PLC o dispositivo de control y medición que se encuentre conectado a la red debe ser debidamente identificado para que se le envíen órdenes o se reciba información de él. Es importante destacar que no se debe colocar una dirección igual para dos dispositivos, de ser así existirán problemas de identificación de los dispositivos, en el caso de *Powernet* la red no detectara ninguno de los dos dispositivos con igual dirección.

Las direcciones en Internet constan de 4 bytes pero se ha establecido que sean cuatro números separados por un punto y cada número puede ser entre 0 y 255, así una típica dirección IP sería 192.12.44.0, con esta dirección es posible identificar la estación para enviarle información o solicitar de él. Existen dos tipos de direcciones, las direcciones de red donde están conectados los dispositivos en el caso que sea una red externa o que abarque un rango amplio como el caso de las redes sobre Internet y las direcciones locales o de Estación que sirven para identificar los dispositivos dentro de la red Local. En el caso de *Powernet* se utiliza un número hexadecimal para identificación de cada dispositivo dentro de la red que sería una dirección local o de estación. Este número se selecciona con un selector de 3 dígitos en la parte de atrás de los dispositivos.

Existen 5 clases para clasificar las direcciones IP según su aplicación, esta clasificación se presenta en la tabla VIII y se describe el alcance de cada clase a continuación:

- Clase A: Esta clasificación esta hecha para redes grandes, consiste en 3 dígitos para la dirección local y uno para la dirección de red de 0 a 127.
- Clase B: Esta clasificación esta hecha para redes de tamaño medio con dos dígitos para direcciones de red que son 128 y 191 y dos dígitos para direcciones de red local.
- Clase C: Clasificación establecida para redes pequeñas. Con tres dígitos para direcciones de red que son 192 y 223 y solamente uno para la dirección de red local.
- Clase D: Esta clase esta definida para realizar multidifusión o multienvío entre computadoras.
- Clase E: Esta clasificación esta establecida para fines experimentales.

**Tabla VIII. Límites más alto y más bajo para cada tipo de dirección Ipv4**

<b>Clase</b>	<b>Dirección IP más baja</b>	<b>Dirección IP más alta</b>
A	0.1.0.0	126.0.0.0
B	128.0.0.0	191.255.0.0
C	192.0.1.0	223.255.255.0
D	224.0.0.0	139.255.255.255
E	240.0.0.0	247.255.255.255

Basado en Direcciones IP<sup>14</sup>

---

<sup>14</sup> Tabla VII Límites más alto y más bajo para cada tipo de dirección Ipv4, Comunicaciones Industriales, Ruiz, Pedro Morcillo y Julián Cócera Rueda, Paraninfo Thomson Learning, 2000, pp.78

Esta clasificación se debe a que como las direcciones de Internet son de 32 bits tenemos  $2^{32}$  o 4,294,967,296 números posibles que se pueden realizar. A esta clasificación se le llama Ipv4 aunque actualmente existe una clasificación Ipv6 para la demanda de direcciones con el crecimiento de Internet.

### **2.2.1.3 Nivel de Transporte TCP**

El nivel de transporte TCP (siglas en inglés de *Transmisión Control Protocol*) es el encargado del control de la información a través de los nodos hacia el nivel de Aplicación. Este tipo de protocolo se utiliza cuando se realiza comunicación orientada a la conexión definida anteriormente.

El protocolo TCP es el encargado de que los datos lleguen a su destino final sin errores en la transmisión, al momento en que se detecta un error o una pérdida de datos se activa una instrucción para el reenvío de esos datos erróneos o extraviados. Los distintos tipos de codificación y detección de errores no serán detallados en este trabajo de graduación, solo mencionaremos el ejemplo dado en la sección de conmutación de paquetes de información donde colocamos un bit de paridad para detectar errores en las tramas enviadas. Si vemos ese ejemplo en particular y tomamos el primer paquete enviado vemos que está contenido por el número binario **00101001010** donde el último dígito binario es un bit de paridad par.

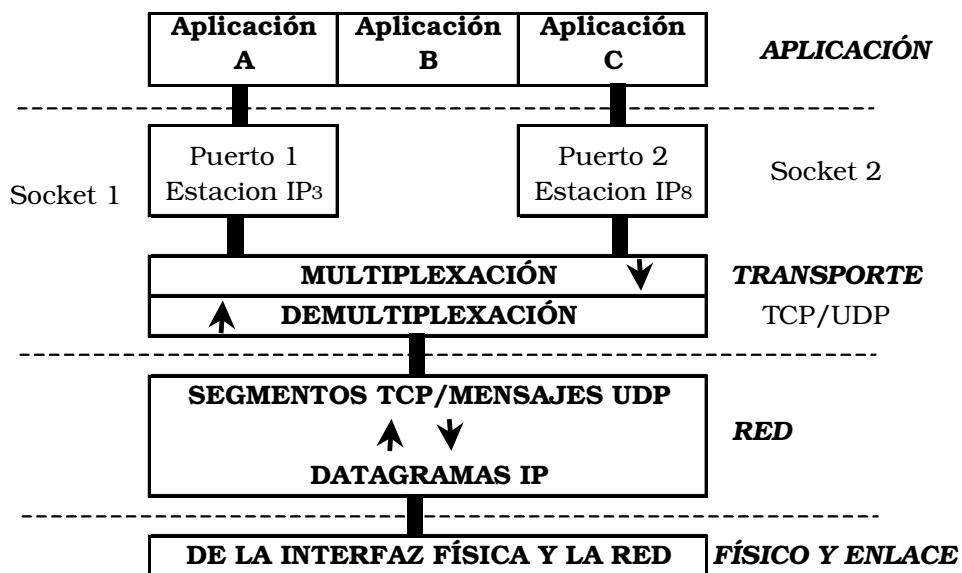
Para este caso en especial si deseamos detectar un error por medio de este bit de paridad par tomamos el último bit de la trama enviada y decimos que si hay un número par de bits agregamos un cero y si hay un número impar de bits agregamos un uno. En el caso del ejemplo **0010100101** vemos que hay un número par de unos entonces al final agregamos un cero según nuestra convención y la trama enviada quedaría de la siguiente forma:

**00101001010**

Si al recibir este dato existiera un número impar de unos el sistema detectaría que durante la transmisión ocurrió un error, **0011100101** por ejemplo, por lo tanto inmediatamente solicitaría que se reenvíe el paquete identificado como **00**, que es el identificador que le habíamos dado al inicio. Así se tendría detección y corrección de errores que es lo que el nivel de transporte realiza. Cabe mencionar que esta detección de errores es muy utilizada en la lógica digital en las computadoras.

En el caso de TCP a los paquetes se les denomina con el nombre de Segmentos, y como es una comunicación no orientada a la conexión se realiza en los tres pasos fundamentales que son el de establecimiento de la conexión, transferencia de datos y la liberación de la conexión para que alguien más la utilice. Además realiza una multiplexación de datos para enviarlos a su destino y así entregar los datos en secuencia y de una forma adecuada. La Figura 7 se muestra el diagrama de flujo de datos por TCP/IP.

**Figura 9. Diagrama de flujo de los datos por TCP/IP**



Basado en Direcciones IP<sup>15</sup>

#### 2.2.1.4 Nivel de Aplicación

El nivel de aplicación es el nivel en el cual se encuentran las distintas aplicaciones del modelo cliente servidor, donde el cliente solicita un servicio y espera una respuesta del servidor. Estas aplicaciones se pueden clasificar en RPC que son llamadas de procedimientos remotos y Conexión Remota o acceso remoto a aplicaciones externas.

<sup>15</sup> Tabla VII Límites más alto y más bajo para cada tipo de dirección Ipv4, Comunicaciones Industriales, Ruiz, Pedro Morcillo y Julián Cócera Rueda, Paraninfo Thomson Learning, 2000, pp.78



Podemos mencionar como ejemplo los navegadores www que son los que utilizamos a través de Internet en el cual solicitamos un servicio que es la información o recursos que presenta una pagina y al solicitarla la información viajara a través de la red hasta nuestra localidad realizando una comunicación que Interactúa de la manera cliente-servidor. Logramos acceder a la información a través de la URL (siglas en inglés de *Universal Resource Locator*) y la información se encuentra escrita en un lenguaje html, que es el lenguaje de Programación de las Páginas. El recurso Malito:// se utiliza si se desea enviar un correo electrónico y para acceder a páginas de información es http://.

El correo electrónico es una comunicación no orientada a la conexión que se utiliza para almacenar un mensaje y a la hora de ser solicitado se pide que lo envíen y así tener acceso a él. Tiene dos protocolos importantes para realizar esta función cliente servidor, estos son POP3 (siglas en inglés de *Post Office Protocol*) y SMTP (siglas en inglés de *Simple Mail Transfer Protocol*).

Con respecto a las aplicaciones Industriales podemos mencionar a dispositivos que realizan este tipo de comunicación a través de redes LAN pero necesitan dispositivos extras de conexión a *Ethernet* como las tarjetas PONI *Ethernet* de la red *Powernet*. Los PLC's contienen tarjetas que se conectan a él para realizar la conexión a la red *Ethernet* Industrial, esto se hace dándole una dirección IP y configurando la computadora central para la identificación del dispositivo. Se puede enlazar dispositivos industriales a través de los buses de campo, que son altamente utilizados en la industria, podemos mencionar Device Net de Allen Bradley, Profibus utilizado por Siemens, CompoBusD por Omron, etc.

#### **2.2.1.4.1 Diferencias entre Buses de Campo y Redes Industriales**

Podemos resumir los niveles de comunicación industrial en tres niveles los cuales son el nivel de Información, el nivel de Controladores y el nivel de Campo. Definimos el nivel de Información como el nivel dedicado a generar información en el caso de emitir ordenes a los distintos dispositivos y áreas de producción o para recibir e interpretar información. En el nivel de Controladores nos encontramos con sistemas automáticos que realizan una función dada y que sirven de enlace con el nivel anterior entre, estos podemos mencionar a sistemas de control automático como PID y sus derivaciones, PLC's realizando una función dada y la supervisión de la Producción. El nivel de campo lo conforman las Máquinas, Actuadores, Sensores, Variadores de Velocidad de motores Síncronos y Asíncronos, también llamados *Drivers*, en este nivel es donde se realiza la comunicación a través de los buses de Campo.

Podemos decir que las redes locales están diseñadas para establecer la comunicación entre el nivel de información e inclusive hay veces que incluye el nivel de Controladores. Debido a que en el nivel de Información se realiza la gestión de la Producción y se emiten ordenes de Producción es esencial que la persona que se dedica a Planificar y dar las ordenes pueda hacerlas a distancia de las Maquinas y de los procesos. Se puede dar el caso que esta persona maneje mas de una planta de producción y seria poco eficiente que tuviera que ir a cada Planta de producción cada ves que deseara modificar alguna orden o parámetro en la Producción.

Considerando el caso que la Persona tuviera la necesidad de viajar fuera de la planta de Producción seria altamente útil poder acceder a ella por medio de una computadora remota, en el caso de Internet o en la red de su oficina, o en el caso que maneje mas de una Planta de Producción. A el Gestor de la Producción no le interesa conocer como esta hecha la red interna de las maquinas que es área de los Buses de Campo, que consiste en redes entre los dispositivos que realizan el control donde una unidad maestra controla las unidades esclavas que se encuentren en su bus de Campo.

Un ejemplo que podemos mencionar es una Maquina de Extrusión de Polímetros totalmente Automatizada. El Bus de Campo consiste en el enlace entre los diferentes PLC's que conforman la maquina, incluyendo la instrumentación necesaria para su funcionamiento. Estos elementos están conectados a un Dispositivo Maestro que es el que gobierna toda la Maquina.

Para la Red industrial solo le interesa modificar un parámetro específico de Producción que podría ser el espesor del material extruído o la mezcla de los Polímeros pero no le interesa modificar parámetros de un PLC específico que podría ser el que controla la velocidad de un embobinador o los parámetros de Torque del *Driver* que da la velocidad del Tornillo, ya que de hacerlo los parámetros generales del sistema de control de la maquina quedarían afectados.

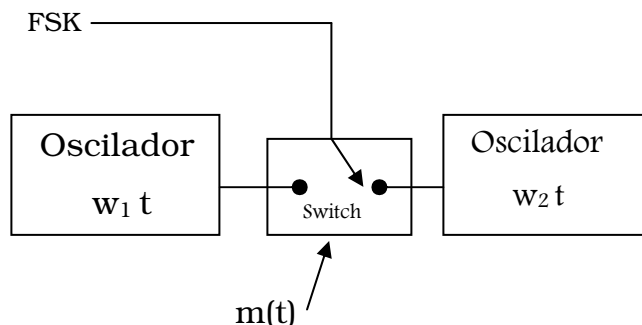
En base a la Gestión de la producción solo existe un enlace entre los dispositivos de Control Principales que pueden ser computadoras que controlan una serie de dispositivos Maestros que a su vez forman un bus de Campo entre sus dispositivos.

### 2.2.2 Codificación por Cambio de Frecuencia FSK

La comunicación se centra alrededor del chip de comunicaciones industriales INCOM que utiliza FSK (siglas en inglés de *Frequency Shift Keying*) para transmitir la información a través de la red. La codificación por cambio de frecuencia es una forma de transmitir información a través de un cable de comunicaciones, esto se logra haciendo que cambie la frecuencia de una onda portadora. Si se desea transmitir un número binario, cada 1 y cada 0 del mensaje hará que cambie la frecuencia de la onda portadora.

Existen dos formas básicas de transmisión de FSK, la FSK de fase discontinua en la cual los datos binarios, que son el mensaje que se desea transmitir  $m(t)$ , hacen que conmute un switch entre dos osciladores, y el de modulador de frecuencia, descrito mas adelante. Existe un problema en el de tipo de conmutación, ya que hay un tiempo en el que el oscilador esta conmutando y hay una discontinuidad en la onda, lo cual no es útil en la practica, se introducirá ruido debido a la conmutación. En la Gráfica 3 se representa este tipo de comunicación siendo  $m(t)$  un numero binario conformado por unos y ceros.

**Figura 10. FSK de Fase Discontinua**



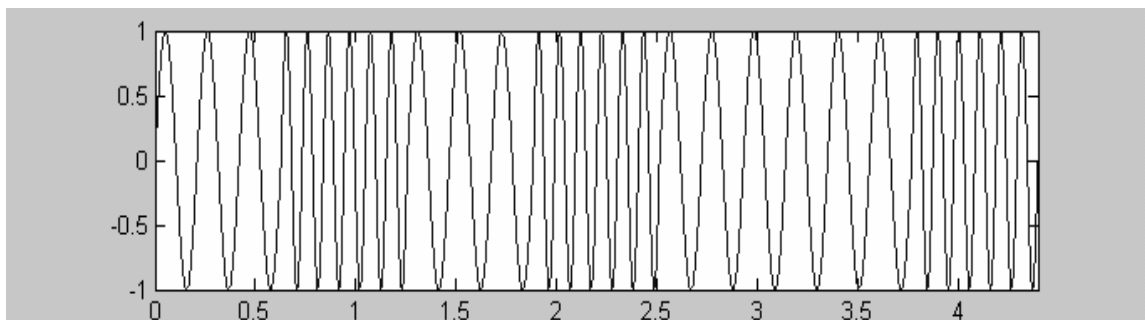
Se ha descrito la forma de comunicarse a través de FSK de fase discontinua para tomar una idea acerca del tipo de codificación, en la practica se realiza a través de un modulador de frecuencia donde el mensaje controla la frecuencia de la potadora eliminando la necesidad de esa conmutación. Las señales de salida para las dos posibilidades del mensaje que son unos y ceros están definidos en la siguiente forma:

$$M_1(t) = ACos(w_c(t))$$

$$M_2(t) = ACos(w_c + w_1)t$$

Donde  $M_1$  y  $M_2$  son las dos ondas de diferente frecuencia que se forman al realizar esta modulación,  $w_c$  que es la frecuencia angular de la onda portadora del bit 0 y  $w_c+w_1$  es la frecuencia angular de la onda portadora del bit 1. En la Gráfica 4 se aprecia la onda modulada por medio de FSK.

**Figura 11. Onda Portadora Modulada en FSK**



El mensaje transmitido es 0101001, la escala en el eje X esta dada en microsegundos. Logramos apreciar los cambios de frecuencia en la onda portadora debido al mensaje.

El ancho de banda aproximado de una señal FSK esta dado por la regla de Carson  $B_{FSK} = 2\Delta f + 2B_m$  donde  $B_m$  es el ancho de banda del mensaje o de la onda moduladora, en el caso de un tren de pulsos de una señal NRZ el ancho de banda es la frecuencia del bit o  $f_b$ , dejando la ecuación para calcular el ancho de banda como:

$$B_{FSK} = 2\Delta f + 2f_b$$

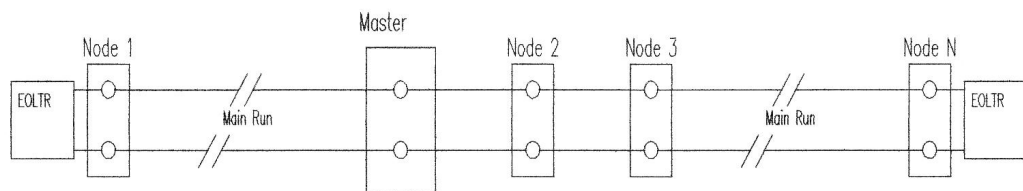
Las ventajas de utilizar el chip de comunicaciones INCOM es que los dispositivos son fácilmente enlazados a través del cable par trenzado de un precio económico y con una modulación con una buena inmunidad al ruido aditivo, los dispositivos tienen la característica de ser conectados en toma simple o en toma compleja que se muestran en la Figura 10 dependiendo de la configuración de las maquinas o los tableros en la planta. Como se aprecia en la Figura 8 las resistencias de terminación de la red se encuentran en los extremos de la rama de la red cuyo efecto será analizado mas adelante.

Los dispositivos Maestros son los únicos que envían órdenes en la red, los demás dispositivos o nodos solo responden a estas órdenes. Estos nodos son los dispositivos de la red conectados a través de las tarjetas PONI. El dispositivo maestro puede ser una computadora enlazada con una CONI *card* o cualquier dispositivo que se conecte a través de los dispositivos MINT RS-232 o RS-485 que puede ser una computadora, un PLC, un sistema SCADA, etc, aunque deben contar con el *Software* adecuado para captar e interpretar la información proveniente de los Dispositivos.

### 2.2.3 Efecto de la Resistencia de Terminación de Red EOLTR

Cada rama de la red *Powernet* e incluso algunos otros sistemas que utilizan modulación por FSK necesitan que se coloque al final y al principio de las Ramas una resistencia de Terminación de Red, en el caso de *Powernet* es la EOLTR. Vemos un ejemplo de este tipo de configuración en la figura 8.

**Figura 12. Daisy-Chain Cable Configuration**



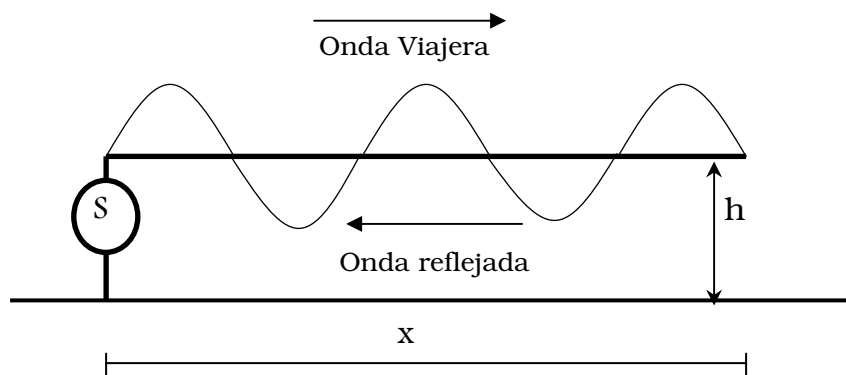
Basado en *System Configurations*<sup>16</sup>

Debido a que cada rama de la red es una Línea de Transmisión vamos a realizar el análisis basándonos en una línea de transmisión de una longitud  $x$  y que en un extremo tiene un generador senoidal, en el caso de FSK consiste en un oscilador controlado que varía la frecuencia de la onda portadora, en el otro extremo de la línea de transmisión se deja abierta. El efecto que producirá el circuito abierto en el otro extremo de la línea de transmisión es que la onda viajera que va a la derecha se refleja en el extremo abierto produciendo una onda de igual amplitud que viaja hacia la izquierda, de regreso al Generador o una onda estacionaria.

---

<sup>16</sup> Figura 8 *Daisy-Chain Cable Configuration*, TD 17513 IMPACC *Wiring Specification Base Rules, Application Notes*, Cutler Hammer, 1995, pp.3

**Figura 13. Línea de Transmisión sin Terminación**



Esta reflexión de la onda se puede evitar colocando una resistencia de Terminación igual a la resistencia característica de la línea de transmisión conectada hacia tierra. Idealmente la onda viajera que va hacia el extremo izquierdo o la onda reflejada hacia el generador no existirá. El efecto de esta onda reflejada es que puede interferir en la comunicación que se está realizando entre el dispositivo Maestro y los dispositivos esclavos produciendo errores en la transmisión.

Recordando que el coeficiente de reflexión de Tensión para una línea de transmisión con una impedancia de carga  $Z_L$  esta dada por:

$$\frac{V_1}{V_o} = \frac{Z_L - Z_o}{Z_L + Z_o} = \rho_v$$

donde  $Z_o$  es la impedancia característica y  $Z_L$  es la impedancia de carga conectada a la terminación de la Línea.



Debido a que  $\rho_V = -\rho_i$  vemos que cuando  $Z_L = Z_o$  los coeficientes de reflexión de Tensión y Corriente son cero. Esto es para el caso ideal aunque siempre habrá una onda transmitida y una onda reflejada pero de una magnitud más pequeña que no interferirá en la comunicación entre dispositivos.

Podemos decir entonces que para una línea de transmisión con una impedancia de carga conectada en su extremo existirá una onda reflejada con coeficiente de reflexión dado en la ecuación anterior y una razón de Onda Estacionaria, para la onda estacionaria que se genera. La ROET o razón de onda estacionaria está definida de la siguiente manera:

$$ROET = \frac{1 + |\rho_V|}{1 - |\rho_V|}$$

Podemos entonces comprobar que una en una línea de transmisión para uno de sus extremos en circuito abierto la onda reflejada es igual en magnitud que la onda incidente al valuar en el coeficiente de reflexión y la Razón de onda Estacionaria ROET será infinita. En el caso de una línea Acoplada con una impedancia de carga igual a la impedancia característica de la Línea de Transmisión el coeficiente de reflexión es cero por tanto no habrá reflexiones y la razón de onda estacionaria ROET es igual a uno por tanto no habrán ondas estacionarias.

El efecto de colocar la resistencia de Terminación de Red o EOLTR entre dos dispositivos hará que la onda que solicita información a un dispositivo Esclavo proveniente del dispositivo Maestro no llegue a él, ya que debido a que esa Impedancia es igual a la Impedancia característica de la Red no habrá una transmisión ni reflexión de esa onda entonces el dispositivo Esclavo no enviara información y la computadora maestra no recibirá la información.

El dispositivo esclavo aparentara no estar conectado a la red y la Computadora central no detectara el Dispositivo. Estas consideraciones deben tomarse en cuenta para que se realice una adecuada topología de red para evitar los problemas en la transmisión entre Dispositivos.

El cálculo de esta Impedancia característica depende del cable que se utiliza y de sus propiedades físicas, además de la impedancia de los dispositivos, en cada red es un valor distinto pero los fabricantes dan el valor de esta resistencia para reemplazarla en caso de daño o de que no se detecte un dispositivo o una Rama de la Red.

### 3. DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE

#### 3.1 *Waveform*

*Waveform* es un *software* que se instala en el sistema de la Red *Powernet* en la computadora Maestra y está diseñado para analizar las formas de onda de la red eléctrica industrial. La información utilizada es la que capturan los dispositivos que se muestran en la Tabla IX, estos datos son unificados y presentados en la pantalla para su análisis respectivo.

**Tabla IX. *Captured Waveforms***

Captured Waveform		Cutler-Hammer Device				
		IQ Analyzer	Digitrip 910s	Digitrip 1150	Digitrip OPTIM 1050	MPCV Relay
Currents	Phase A	●	●	●	●	●
	Phase B	●	●	●	●	●
	Phase C	●	●	●	●	●
	Neutral	●		●	●	
	Ground	●		●	●	

Basado en Manual Cutler-Hammer<sup>17</sup>

---

<sup>17</sup> Tabla VIII: *Captured Waveforms*, Manual Electrónico Cutler-Hammer Consulting Application Guide, Cutler-Hammer, Enero 2001, pp 26-57

Es importante conocer la forma de onda de las Variables Eléctricas de la industria comúnmente se analizan las formas de onda de Corriente de Línea, Fase, Neutral y de Tierra y las formas de onda de Voltaje de Línea y de Fase.

Este análisis se hace para conocer el efecto de los Armónicos de cada una de esas variables en la red industrial, como mencionamos antes los armónicos son producidos por elementos no lineales que son muy comunes en la industria en Rectificadores y Variadores de Velocidad y las formas de onda de salida no son Senoidales.

Como Norma o Estándar decimos que si de la totalidad de la carga activa de la Empresa o la planta de Producción menos que el 50% de ellas son fuentes de Alimentación que producen formas de onda no lineales no se tendrán problemas de Armónicos, pero si aumenta la proporción de estas fuentes de Armónicos se debe analizar su efecto. En la Industria actual los Variadores de Velocidad de los motores Asíncronos se han vuelto muy comunes debido su sencillez y a su bajo precio.

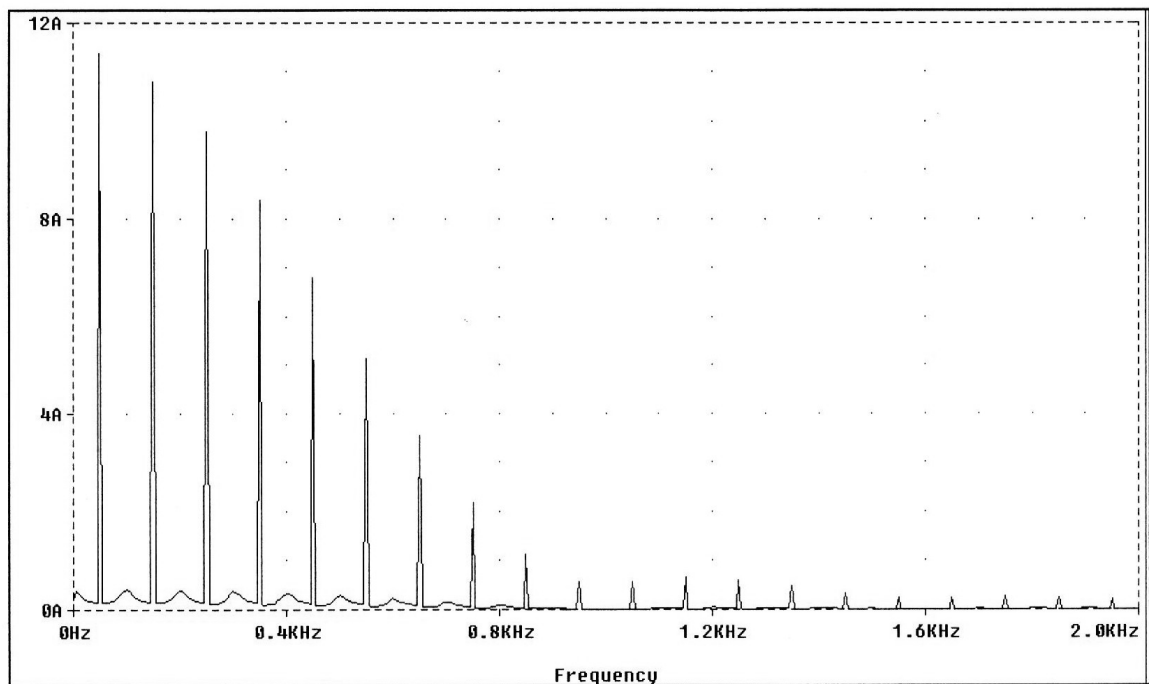
Los efectos más comunes que causan los Armónicos en la red Industrial son el aumento de la Temperatura en los conductores que produce perdidas por disipación de calor, Sobre Tensión debido a la Resonancia y calentamiento del conductor de neutro en cargas monofásicas.

En la actualidad los Variadores de Velocidad incluyen supresores de Armónicos para evitar los problemas en la Red pero no siempre se

incluyen a la hora de comprarlos debido al costo extra, los Variadores de DC incorporan una inductancia para generar bajos armónicos de corriente, en especial el 5to. y 7mo. Armónico que son cruciales. En los motores de AC se incorpora una inductancia en serie para reducir los Armónicos.

Conocer la magnitud de los componentes armónicos de las Ondas de Tensión y Corriente nos ayudan a detectar y corregir los problemas en la Red Eléctrica. En la Grafica 6 Vemos las Magnitud de las Componentes Armónicas de Corriente de un Variador de Velocidad de 1.5 Kw. de una sola fase.

**Figura 14. Magnitud de las Componentes Espectrales de un Variador de 1.5 Kw. de una Fase**

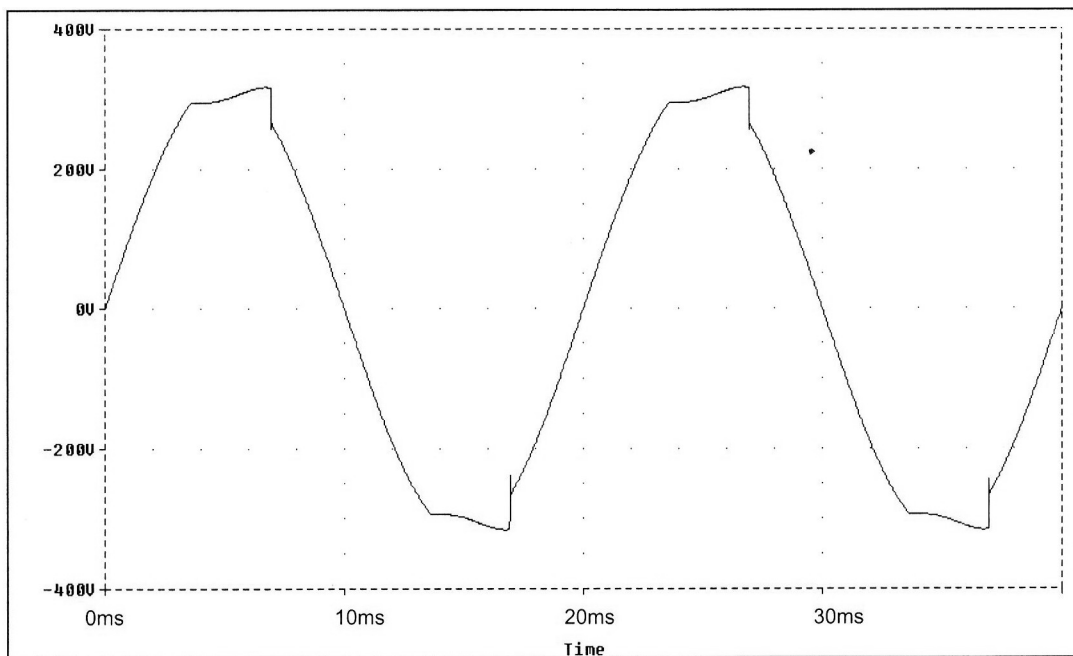


Las componentes Espectrales que se debe tener en consideración son las componentes Impares que no sean múltiplos de 3, por ejemplo la

5ta. la 7ma. la 11va. etc. En el caso que la fuente de alimentación sea un voltaje alterno de 60Hz, se debe analizar la Magnitud Espectral de los múltiplos de 60Hz. Como vemos en la Grafica 7, conocer las Magnitudes Espectrales de un Dispositivo nos da una idea de cómo éste afecta a la Red en General y así tener la capacidad de analizar la solución para un problema determinado, lo cual sin la grafica seria imposible de Determinar.

En la Grafica 7 logramos Apreciar una forma de onda de Voltaje que ha sido distorsionada debido a que hay mas del 50% de fuentes de armónicos conectados a esa rama, esta distorsión causa aumento de temperatura en los conductores y disipación excesiva de Calor en algunas Cargas.

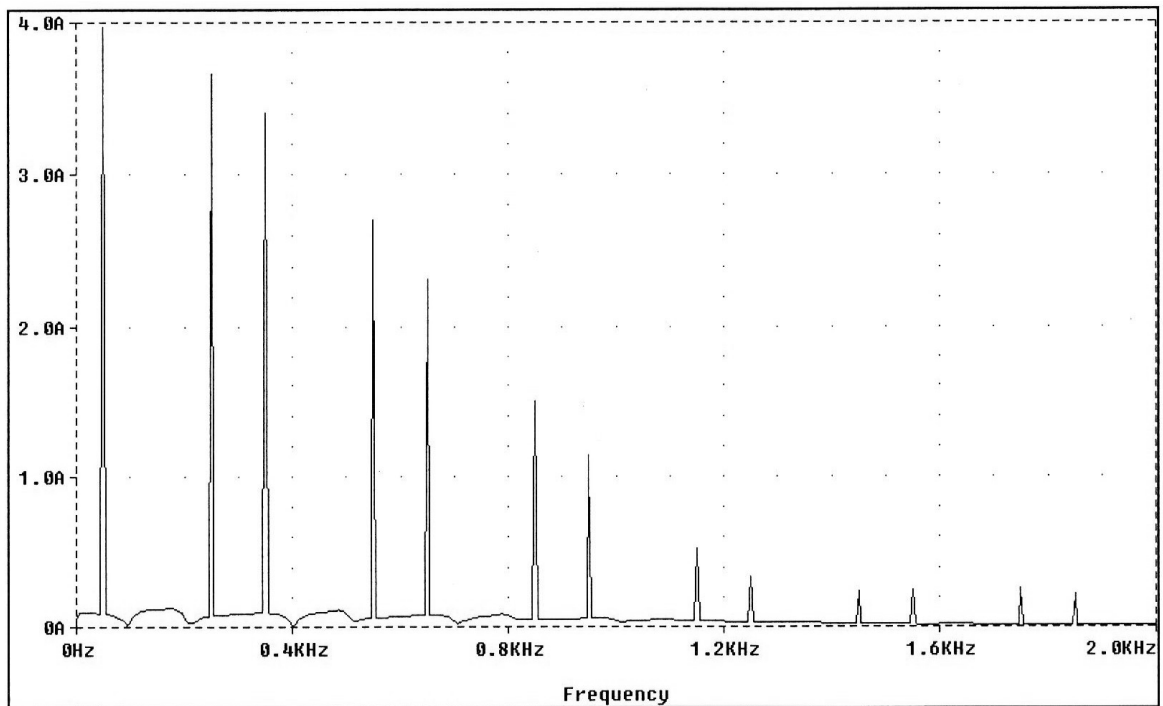
**Figura 15. Forma de Onda de Voltaje con Distorsión**



Las Magnitudes espectrales de las componentes Armónicas no siempre tienen un valor, existen casos en que aparecer componentes

que no son múltiplos de la frecuencia fundamental y componentes que son múltiplos de la Fundamental pero se cancelan entre si, por ejemplo en un sistema trifásico un Variador de 1.5kW no aparecen los múltiplos armónicos de tres. Eso se aprecia en la Grafica 8 que presenta las componentes espectrales de la entrada de un Variador Trifásico de 1.5 Kw.

**Figura 16. Magnitud de las Componentes Espectrales de un Variador Trifásico de 1.5 Kw.**

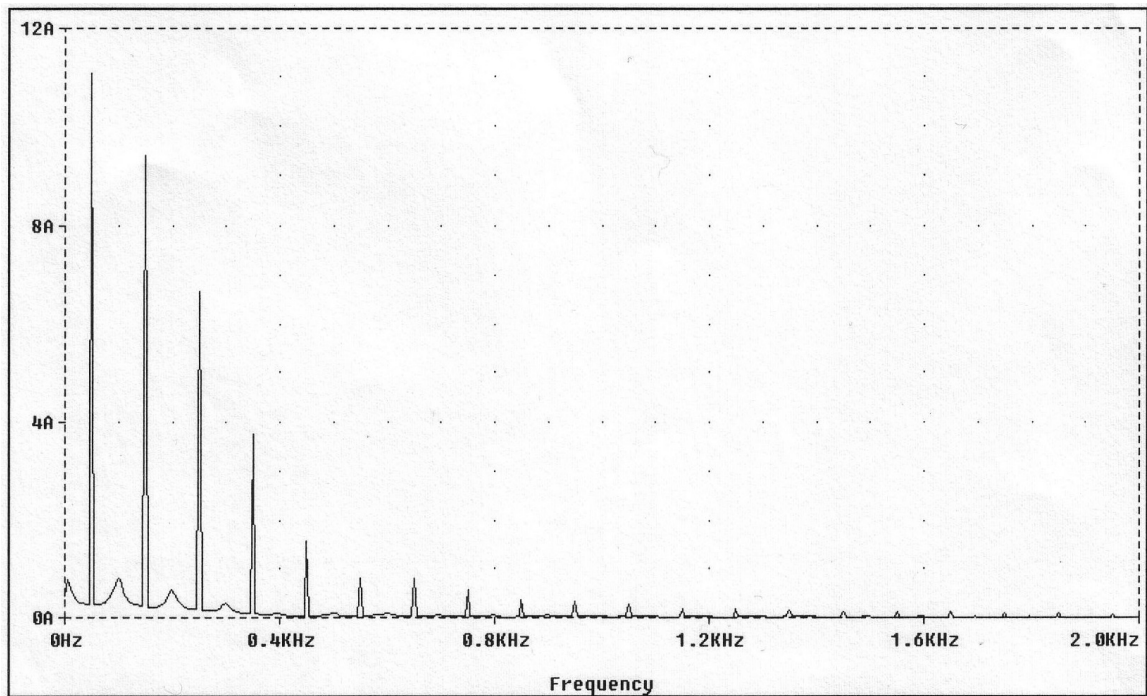


En este caso notamos que las componentes séptima y octava armónica son significantes y pueden provocar problemas a la red eléctrica.

Una vez se halla encontrado el problema se procede a hacer la corrección, luego la Persona encargada de Administrar la Red Eléctrica

puede cerciorarse que haya resuelto el problema. Por ejemplo en la Grafica 6 se observa una forma de onda de un Variador de una sola fase de 1.5Kw. al agregarle una inductancia AC la 5ta. y 7ma. componente espectral se reducen, esto se muestra en la Grafica 9.

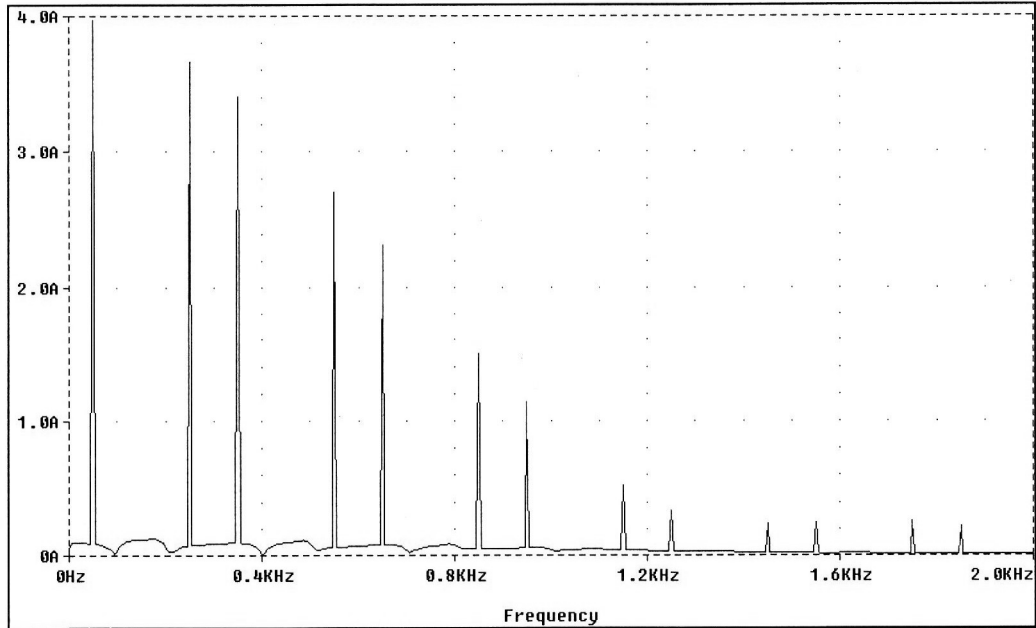
**Figura 17. Magnitud de las Componentes Espectrales de un Variador monofásico de 1.5 Kw. Agregándole una Inductancia.**



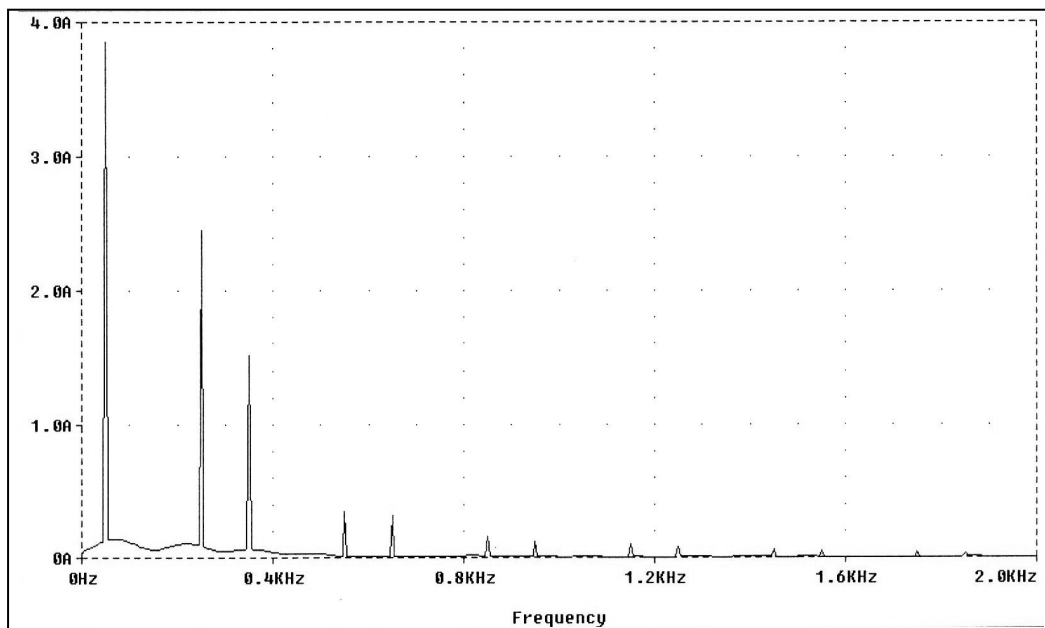
El la gráfica 10 y 11 vemos el efecto de esta inductancia en las componentes espectrales de un Variador Trifásico de 1.5Kw. Cada Solución Implementada en la Planta se podrá Justificar con la reducción de las componentes Armónicas que perjudican la Red Eléctrica por medio de una gráfica de Magnitud de Componentes Espectrales.



**Figura 18. Magnitud de las Componentes Espectrales de un Variador Trifásico de 1.5 Kw.**



**Figura 19. Magnitud de las Componentes Espectrales de un Variador Trifásico de 1.5 Kw. Agregándole una Inductancia**



Con el *Software Waveform* se pueden apreciar graficas de Magnitud de Componentes Espectrales Similares a las Anteriores solo que van a depender donde se coloca el Dispositivo de Medición, por ejemplo los *IQ-Analyzer* son colocados en las subestaciones donde se podrá observar y analizar las componentes de la subestación donde estén colocados.

En el caso de los *IQ-200* que se colocan en cada tablero de la línea de producción se puede analizar cada una de ellas y hallar una solución independiente. Si se tuviera el caso de una carga muy especial que se deseara analizar se debe colocar un *IQ-200* en ella y con una gráfica de sus componentes espectrales analizar si esta afectando a la Red o no.

### **3.2 E-Bill**

Este *software* esta diseñado para Analizar los costos de consumo de Energía de un determinado Departamento o Línea de producción con la finalidad de obtener un valor real de los Costos Indirectos de Producción a la hora de calcular el Costo de Ventas en el Estado de Resultados de una Empresa de Producción.

Provee además Reportes que son presentados a el Administrador o a el Contador y que también pueden ser enviado por correo electrónico basándose en los Kwh. y los Kw. de demanda Pico de cada línea de Producción o Área Especifica de Análisis. En la Figura 9 podemos apreciar un típico reporte dado por el Programa E-Bill.

**Figura 20. Typical Industrial User Report**

Energy User: Assembly Line 1		Part #: BR549	
Product Name: Mid-Size Sedan			
Billing Period From: 1/1/98 00:00 AM	To: 1/1/98 23:59 AM	Billing Date: 2/1/98	Due Date: 2/10/98

<b>Demand Charge – Based on Peak</b>			
Rate Period	Peak At	kW	Charge \$
On-Peak	1/22/98	303.83	240.37
<b>SubTotal:</b>			<b>240.37</b>

<b>kWh Charge</b>			
Rate Period		kWh	Charge \$
On-Peak		483.30	2,431.11
<b>SubTotal:</b>			<b>2,431.11</b>

<b>Various Utility Related Costs</b>			
Description	Method	Unit \$	Charge \$
Customer Charge	Equal Share		38.75
Peak-Period Rate Limiter Adj.	% of Total kWh		15.20
Average Rate Limiter Adj.	% of Total kWh		4.24
Economic Stimulus Credit	% of Total kWh		(583.94)
Power Factor Adj.	% of Total kWh		695.90
State Surcharge	Weight Points		87.26
Connection Charge	Weight Points		(29.45)
Equipment Renting			21.68
<b>SubTotal:</b>			<b>249.65</b>

<b>Provides Accurate Per Unit Cost Allocation</b>			
	Total Cost (\$)	Produced	Unit Cost \$
	2921.12	37 Units	78.95
<b>Product Total Cost:</b>			<b>2,921.12</b>

Basado en Manual Cutler-Hammer<sup>18</sup>

Cada empresa realiza un contrato con su Proveedor de Energía Eléctrica, algunos hacen un contrato multando a la empresa si sobrepasa un valor pico de Demanda en Kw, por eso es que el Reporte presenta este dato importante y así que se puede analizar si es determinada línea de producción es la que está dando este problema para corregirlo. En otras industrias no se tiene multa sobre este valor pico pero elevan el costo del Kwh.

<sup>18</sup> Figura 9: *Typical Industrial User Report*, Manual Electrónico Cutler-Hammer Consulting Application Guide, Cutler-Hammer, Enero 2001, pp 26-58

A su vez tiene un Área que se le llama *Energy Trend* que da un panorama histórico de cómo se comportan los consumos de Energía de los sistemas de Distribución Diseñados anteriormente. Puede ser configurado para presentar una grafica del Consumo de Energía de cada dispositivo que almacene estos datos, por ejemplo los IQ-200; Estos datos almacenados se pueden configurar para que sean almacenados Diaria, Semanal o Mensualmente.

Las Graficas de Consumo de Energía se Presentan en Diferentes colores y se puede seleccionar una carga especifica o una línea de Producción Especifica. Tiene la Particularidad que en el Reporte que genera se puede colocar un punto determinado con el *Mouse* de la computadora y en la parte de debajo de la pantalla nos dará el tiempo exacto de ese dato que hemos marcado, que podría ser un consumo excesivo o una falla. Analizando estos tiempos podemos determinar si es un operador el que no sabe utilizar la maquina o si hay tiempos muertos de Producción que no son reportados, picos de Consumo a Determinadas Horas, etc.

También existen tarifas especiales de cobro de Energía en un determinado intervalo de tiempo, ya sea durante el día o durante la noche, por ejemplo, puede ser que la tarifa por Kwh de las 7 Am a 11 Am sea de Q1.16 y que de 11 Am a 3 Pm sea de Q 2.00, por ser una hora pico, entonces nos convendría analizar el tiempo de trabajo de una maquina de alto consumo a una hora con una menor tarifa y así reducir los costos de Producción. En la Figura 10 vemos un típico reporte de consumo con *Energy Trend*.

**Figura 21. Energy Trending of Multiple Metering**



Basado en Manual Cutler-Hammer<sup>19</sup>

Son de mucha utilidad todas las ventajas que da este programa pero si se deseara hacer estos reportes con solo medidores de Potencia seria muy dificil, se tendria que hacer muestras de Potencia durante intervalos de tiempo determinados, lo cual en la practica seria muy dificil.

---

<sup>19</sup> Figura 10: *Energy Trending of Multiple Metering* , Manual Electrónico Cutler-Hammer Consulting Application Guide, Cutler-Hammer, Enero 2001, pp 26-58

Además si se deseara conocer el tiempo en que los eventos ocurrieron sería más cuestión de suerte que cuando ocurra un pico de Demanda de Potencia alguien pueda estar en el instrumento de medición y lograr captar este valor. Lo mismo ocurre cuando se desea calcular el costo de Energía Eléctrica de cada línea de Producción que se vuelve muy difícil al no tener un record histórico de los Consumos de Energía. En la siguiente sección vamos a analizar como se calculan los costos indirectos de Producción y su efecto en el Estado de Resultados y en el Precio de Venta del Artículo.

### **3.2.1 Costos de Producción**

El Estado de Resultados o Estado de Perdidas y Ganancia es un informe de los ingresos y Gastos correspondientes a un periodo determinado de Tiempo. Regularmente este periodo de tiempo es el año contable donde se realiza el cierre de Cuentas y se analiza el Periodo para comprobar si hubo Ganancias o Pérdidas. El resultado final del Estado de Resultados es la Utilidad Neta que corresponde a las Ganancias o Perdidas del Periodo contable.

El análisis de los costos de Producir un determinado producto es esencial a la hora de darle un precio para la venta, si se calcula mal el costo del Producto existirá la posibilidad de vender a un precio muy bajo y no obtener poca ganancia, por el contrario si el precio es excesivo la competencia podría tomar a nuestro cliente y la empresa podría tener perdidas innecesarias.

La estructura del estado de resultados se presenta en la Tabla X donde se aprecian los Costos de Producción en la línea de Costo de Ventas. A las Ventas netas se les resta el Costo de Ventas o el Costo de Fabricación de los Productos vendidos y ese resultado que es la Utilidad Bruta es la cantidad que debe servir para cubrir los gastos, los intereses de los Préstamos, el pago de impuestos y debe quedar ganancias para repartir entre los Accionistas. Hemos colocado una tasa impositiva de 35% de impuestos pero eso depende de la industria y del País donde se encuentre la empresa, normalmente esta tasa impositiva esta determinada por el valor de las utilidades Brutas y se paga un impuesto base mas un porcentaje del excedente.

**Tabla X. Estructura del Estado de Resultados**

<b>Estado de Resultados</b>	
Ventas Netas	Q1,000,000.00
(-) Costo de Ventas	Q580,000.00
(=) Utilidad Bruta	Q420,000.00
(-) Gastos	Q10,000.00
(=) UAI	Q410,000.00
(-) Intereses	Q5,000.00
(=) UAI	Q405,000.00
(-) Impuestos 35%	Q263,250.00
(=) Utilidad Neta	<b>Q141,750.00</b>

Como habíamos mencionado antes es esencial conocer el costo de Fabricación de un producto determinado que se pone a la venta para obtener un rendimiento deseado. En el estado de resultados de la tabla X se ha determinado una ganancia de 42% y un costo de Producción o de Ventas de 58% para un Precio de Ventas de 100% que incluye el costo del Producto y la ganancia que queremos obtener al venderlo.

Ahora vamos a describir que se compone este Costo de Ventas o este Costo de Producción de los Productos para la Venta. Los Costos de Materiales Directos mas la Mano de Obra Directa mas los Gastos Indirectos de Producción conforman el Costo del Producto.

El producto final para la venta esta hecho de un conjunto de materiales que son transformados o simplemente utilizados para hacer este producto final, el costo de estos materiales que son parte integral del Producto final se les conoce como Costo de Materiales Directos. Para poner un ejemplo podemos tomar un determinado producto y ver qué elementos o que materiales fueron utilizados para su fabricación.

Una simple bolsa impresa del Supermercado tiene Materiales que han sido transformados para crearla, inicia con algún tipo de Polímetro que en una Maquina Extrusora forma la bolsa que luego de ser cortada va el área de impresión donde se le coloca el Slogan o el Emblema del Supermercado.

Analizando los materiales que se utilizaron podemos calcular el costo de materiales directos, para el ejemplo anterior se debe incluir la mezcla de polímetros utilizados para crear la bolsa y se le debe agregar la tinta que se utilizo y solvente para diluir la tinta, también se debe incluir la película que se coloca en la maquina impresora con el Slogan o el Emblema y así incluir cada material utilizado para tener el producto terminado. Llevando un adecuado control de inventario por orden de producción se puede hacer este cálculo de una manera fácil y muy exacta.



El Costo total de los Materiales utilizados se divide dentro de la cantidad de unidades producidas se obtiene así un costo de materiales directos por unidad Producida, este costo solo es una parte del costo total del producto.

El Costo de los Salarios de los Operadores o de los empleados que están directamente ligados a la transformación de los Materiales en el Producto Final se clasifican como Costo de Mano de Obra Directa. En el caso de nuestro ejemplo los costos de Mano de Obra directa son los sueldos de los operadores de las maquinas Extrusoras, los operadores de las cortadoras y las Impresoras que participan en la transformación de los materiales para esa orden de producción determinada.

En la práctica se hace por medio de las horas hombre trabajadas en esa orden de Producción y se divide este total de costos de horas trabajadas dentro de las unidades producidas y se le agrega este costo al Costo de Producción igual que el costo de Materiales Directos. El cálculo de este costo de Mano de Obra directa no es difícil de realizar ya que las órdenes de Producción tienen hora de inicio y hora de fin, aunque haya cambio de turno o almuerzos se puede calcular el costo por horas trabajadas del Producto Final.

Los sueldos del Personal Administrativo, en el caso de los Gerentes, Supervisores y todo el Personal de la empresa que no participa directamente en la Transformación de los Materiales no se incluyen en el Costo de mano de Obra Directa sino que se incluyen en los Gastos Administrativos que está localizado en la parte de gastos del Estado de Resultados.

Para completar el Costo de Producción debemos agregarle los costos por Gastos Indirectos de Producción, todos los costos que se incluyen en el Proceso de Producción que no sean los dos anteriores se les da este nombre.

Podemos incluir en estos Costos Indirectos de Producción a la Depreciación de la maquinaria, Seguros de la Fábrica, Servicios Públicos. Además debe incluirse los pagos a los empleados por hora extra y el tiempo no productivo en el momento de ocurrir un paro no programado debido a una falla o a falta de materiales y se debe incluir los Servicios de la Fábrica, en los que se cuenta la Energía Eléctrica.

Como vemos algunos elementos de estos Gastos Indirectos de Producción se pueden calcular de una manera sencilla pero en el caso de que no se tenga un sistema como *Powernet* los costos de Energía Eléctrica se hacen complicados. A menudo se recurre a un método para la aproximación de los costos de gastos indirectos de Producción. Se le llama Asignación de Costos que consiste en asignarle los Costos de Gastos Indirectos a un objeto de costos como por ejemplo a una orden de Producción.

Los Gastos Indirectos de Producción se le pueden asignar a una orden de producción utilizando un índice predeterminado de Gastos Indirectos de Producción. La idea consiste en tomar la totalidad de los gastos indirectos de producción por año y se divide dentro de una actividad base de las órdenes de producción, como puede ser las horas trabajadas. Así se tendrá una cantidad aproximada de gastos indirectos por hora trabajada que se le agrega al costo del Producto.

Estos procedimientos dan un valor aproximado de estos costos de indirectos de producción pero no son del todo exactos, como vimos anteriormente, por tanto puede ser que al final del periodo contable tengamos un excedente o un sobrante. Este excedente o sobrante se registra en una cuenta de Gastos indirectos de Producción sobre absorbidos con asiento acreedor o Gastos indirectos de Producción bajo absorbidos con saldo deudor.

Las herramientas de la actualidad hacen que estos Cálculos se hagan de la forma más sencilla y exacta posible. Debido al incremento de dispositivos de Automatización Industrial los Costos de Gastos Indirectos conforman un alto porcentaje del Costo del Producto ya que se ve reducida la cantidad de Mano de Obra Directa involucrada en la Creación del Producto. Por tanto mientras más exacto sea el valor de los Costos Indirectos de Producción tendremos un Valor del Costo del Producto más exacto para poder analizar su Precio de Venta.

Antes las maquinas debían ser operadas por dos o tres personas, dependiendo de su complejidad pero con los modernos sistemas de CIM se ha reducido el numero de Operadores, incluso existen centrales de control donde un solo Supervisor puede Administrar Líneas de Producción y Ensamblaje. Por tanto E-Bill se convierte en una muy buena herramienta para calcular la parte de los Costos Indirectos de Producción donde se ve involucrado el Consumo de Energía Eléctrica y así mejorar el procedimiento para el cálculo del Costo de Producción.



## 4. DISEÑO E IMPLEMENTACION

### 4.1 Diseño General de la Red

El Diseño General de la Red se Baso en las Necesidades que la Industria de Alimentos deseaba satisfacer. Se deseaba Monitorear y Almacenar los Valores de Potencia para utilizar la herramienta E-Bill y conocer los Costos de Energía y a la vez conocer los valores de Voltaje, Corriente, Demanda en cualquier instante y aprovechar las ventajas de *Waveform*.

En las Líneas de Producción o Centros de Costos no era necesario conocer los Valores de variables como Distorsión Armónica de Corriente y Voltaje, entradas y salidas de Control o una pantalla para desplegar las graficas de las formas de onda, pero en las subestaciones si era necesario conocer estos valores. Se tomo la decisión de utilizar la serie IQ-200 en ves de la serie IQ-100 en los tableros de las líneas de Producción debido a que la serie IQ-100 esta diseñada solamente para realizar mediciones, no para Transmitir datos. En la Tabla XI se hace una comparación entre los dispositivos de la serie IQ-100, IQ-200, IQ *Analyzer* y el IQ *Energy/Power Sentinel* que es el dispositivo que se agregó en el Generador de Emergencia.

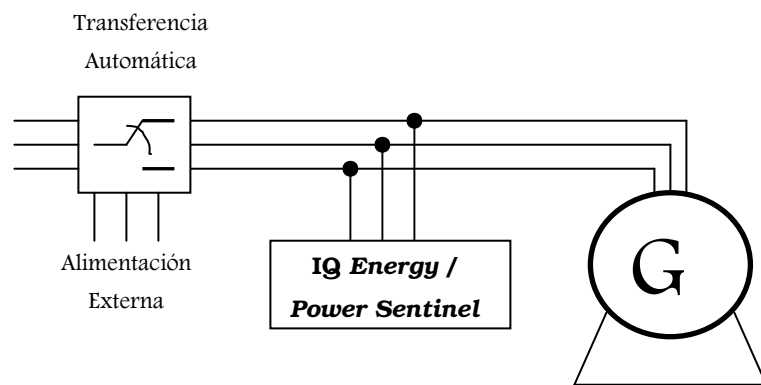
**Tabla XI. Comparación de características y exactitud  
entre los Dispositivos Utilizados en Powernet**

<b>Dispositivo Características</b>	<b>IQ Analyzer</b>	<b>IQ-200</b>	<b>IQ-100</b>	<b>IQ Energy / Power Sentinel</b>
Voltios	± 0.2%	± 0.5 %	± 0.5 %	± 0.5 %
Amperios	± 0.4%	± 0.5 %	± 0.5 %	± 0.5 %
% Corriente Nominal	3-800 %	1-200 %	1-200 %	-
Watts	0.40%	±1.0%	-	±1.0%
Vars	0.40%	±1.0%	-	±1.0%
VA	0.40%	±1.0%	-	±1.0%
Fp Aparente	0.80%	±2.0%	-	±2.0%
Frecuencia	0.01 Hz	±0.1% Hz	±0.1% Hz	±0.1% Hz
THD Voltaje	50avo	-	-	-
THD Corriente	50avo	-	-	-
Watts/Hora	0.50%	±1.0%	-	±1.0%
Var-Horas	1%	±1.0%	-	-
VA-Horas	0.50%	±1.0%	-	-
Demanda de Corriente	± 0.2%	±0.5%	-	-
Demanda en Watts	± 0.4	±1.0%	-	±1.0%
Demanda en VARS	± 0.4	±1.0%	-	-
Demanda en VA	± 0.4	±1.0%	-	-
Salidas Analogas	4 de 0 a 10 V o 4-20mA	-	-	-
Display de Formas de Onda	Local / Computadora	-	-	-
Comunicaciones	Ethernet RS- 232 RS- 485	Powernet RS-485	-	Powernet
Almacenamiento de Datos	90,000 datos	Solo Transmite	-	Solo Transmite

Como vemos cada dispositivo tiene una exactitud y unas características distintas, fueron diseñados para una aplicación específica. En el caso de los tableros de las líneas de Producción se escogió el dispositivo de la serie IQ-200 para transmitir los Datos a la Computadora y una medición menos exacta que el dispositivo que se encuentra en cada una de las subestaciones que es el de la serie IQ Analyzer.

Se decidió colocar un IQ Analyzer en las subestaciones debido a que tienen salidas digitales haciendo algunas recomendaciones. Como el sistema esta diseñado para dar alarmas de Valores peligrosos de las variables eléctricas se recomendó que ese dispositivo pudiera activar el *Shunt-Trip* del *Braker* Principal o bien colocar alarmas audiovisuales en el cuarto de control principal para tomar medidas. Por ejemplo si existe una falla en una de las fases es necesario que se desactive la alimentación Principal o una variación en la frecuencia de alimentación.

**Figura 22. Ubicación del IQ Energy/Power Sentinel**



Como vemos en la figura 12, entre el Generador y la Transferencia Automática se agrego un IQ *Energy/Power Sentinel*, que es un dispositivo mas sencillo que los de la serie IQ-200, esto se hizo porque se deseaba comparar el costo de Energía total calculado por *Powernet* y el costo total que cobra el Proveedor de Energía.

Cuando ocurra una falla en la alimentación Principal de Energía este dispositivo se encenderá con el Generador de Emergencia se obtendrán los costos en el Tiempo de Emergencia, que son los que medirá este dispositivo. Tomando los costos totales calculados por *Powernet* menos los costos en el Tiempo de Emergencia se obtendrá el total de la Energía utilizada por la Planta que tendría que ser el mismo que el del Proveedor.

En la tabla XII están descritos los Centros de Costos que le interesaba a la Industria de Alimentos conocer sus Costos Indirectos de Producción. No se incluyeron todas las líneas de Producción en este diseño debido a que como es una Industria que se fue formando por Etapas, muchas de las líneas de Producción no están eléctricamente independientes, es decir que no están conectadas a un solo tablero de distribución sino que se encuentran conectados en una serie de tableros dispersos.

La decisión de no independizar esas las líneas de Producción para incluirlas en este proyecto se tomo debido a que la Industria de Alimentos tiene pensado expandir sus operaciones a un Local más amplio. El espacio del lugar donde se encuentra ubicada la Planta de Producción no es suficiente y con las nuevas líneas de Producción que se espera implementar seria infructuoso hacerlo en este momento.



**Tabla XII. Centros de Costos**

(1) TORTRIX	(8) CUARTOS MAQUINAS
(2) TORTILLA/RANCHERITO	(9) NAVE 1
(3) PAPA	(10) SERVICIOS
(4) NAVE 2	(11) VENTAS
(5) SÉMOLA	(12) OFICINAS
(6) PELLET	(13) PREPARACION DE
(7) NAVE 3	CEREAL

La industria de Alimentos solicito que el *software* instalado tenga la capacidad de manejar 32 dispositivos, aunque en este proyecto inicial solo se utilizaron 13 debido a la expansión futura de la industria.

#### **4.1.1 Topología**

El diseño de la Topología de la red se baso en la ubicación de las áreas de Producción que los Directivos de la Industria de Alimentos deseaban monitorear y de la ubicación del lugar donde se ubicaría la computadora principal. Inicialmente se pensaba colocar la computadora en la parte central de la Planta pero se tendría que construir un lugar para colocarla.

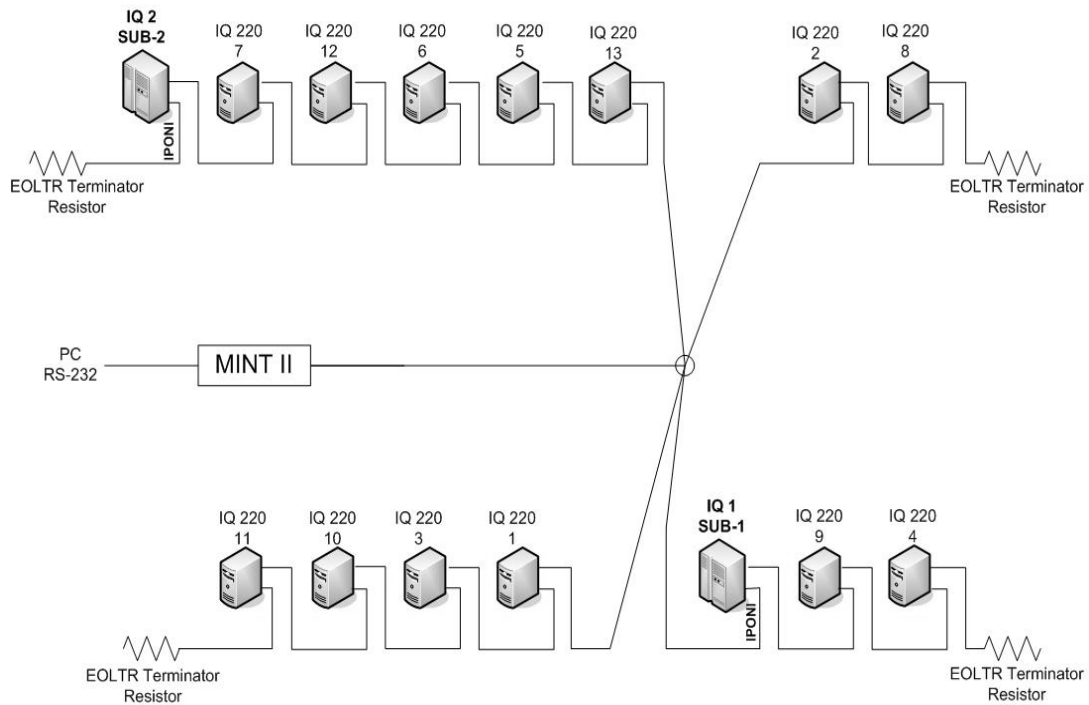
Debido a la existencia en la parte sur de la Planta de un lugar donde se encontraban instaladas las Pantallas de control para los PLC de algunas líneas de Producción Automatizadas se decidió colocar la computadora central en este lugar, además tenía la ventaja de que como este lugar estaba acondicionado para conectar computadoras con sistemas de Protección, Temperatura adecuada y Tierra Física no fue necesario hacer instalaciones adicionales para implementar el sistema. Se puede apreciar en la figura 12 la localización exacta de la computadora en la Planta de Producción.

La figura 11 muestra la topología de la red. Vemos que son cuatro ramas y cada una de ellas con su resistencia de terminación para evitar reflexiones de las ondas enviadas por el dispositivo maestro. Las distancias en metros están especificadas en la Figura 13 que es el plano general de la Planta de Producción, específicamente el área de Producción.

El nodo central se hizo directamente en el dispositivo MINT II ya que las cuatro ramas de la red llegaban a el lugar donde se había instalado la computadora y debido a que la distancia total si se colocaran todos los dispositivos en serie seria mayor a la que recomienda el Fabricante se opto por esta topología para que haya una buena transmisión y recepción de la Información.

La topología de la red en General va a depender de la ubicación de los dispositivos y de las dimensiones de la Planta de Producción. A la hora de realizar el diseño se deben tomar en cuenta estas consideraciones para evitar problemas futuros.

**Figura 23. Topología de la Red**



## 4.2 Implementación y Puesta en Marcha

Inicialmente era necesario realizar la instalación física de los dispositivos y la instalación del cableado para llevar la señal a la computadora central. Este proceso está detallado en la sección de Desarrollo del proyecto.

Una vez que la parte física de la red fue instalada se procedió a la colocación de la computadora central que ya contenía el *software* necesario para su funcionamiento con los dispositivos y que incluía las especificaciones de capacidad de dispositivos y monitoreo solicitados en la venta.

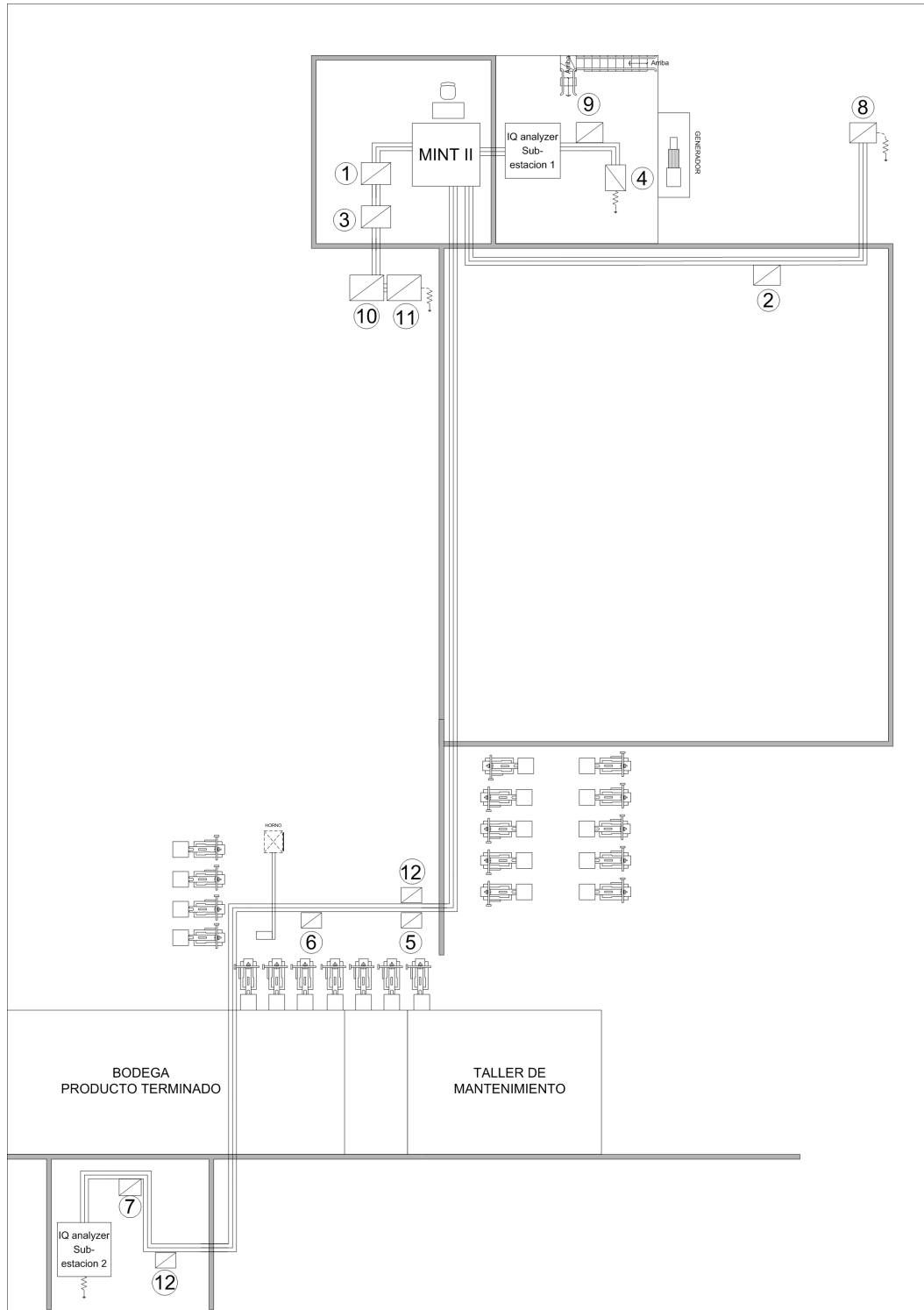
Luego que la parte física se había finalizado se procedió a darle una dirección hexadecimal a cada dispositivo para que no existiera conflicto en la comunicación con la Computadora central. En la parte de atrás de los dispositivos existe un selector que contiene 3 números que van del 0 a la letra F dando la dirección de tres dígitos hexadecimales para cada dispositivo.

En la Tabla XIII se encuentran detalladas las direcciones hexadecimales dadas a los dispositivos de las líneas de producción y de los dispositivos de las subestaciones. La numeración de los dispositivos de la serie IQ-200 corresponde a los centros de Costos de la tabla XII.

**Tabla XIII. Direcciones Hexadecimales de los Dispositivos**

<b>Reel IQ</b>	<b>Hex Adress</b>
<i>IQ Analyzer</i> Subestacion 1	101
IQ 200 - 1	102
IQ 200 - 2	103
IQ 200 - 3	104
IQ 200 - 4	105
IQ 200 - 5	106
IQ 200 - 6	107
IQ 200 - 7	108
IQ 200 - 8	109
IQ 200 - 9	110
IQ 200 - 10	111
IQ 200 - 11	112
IQ 200 - 12	113
<i>IQ Analyzer</i> Subestacion 2	114
IQ 200 - 13	115

**Figura 24. Ubicación de los Dispositivos**



### 4.2.1 Desarrollo del Proyecto

El proyecto se desarrollo en acuerdo a las siguientes actividades:

**Tabla XIV. Cronograma de Actividades**

Fecha Realización	Actividad Realizada
Julio 2000	Se instalo el primer IQ Analyzer en el panel del Breaker principal de la Subestación #1, con el propósito de poder "supervisar" los parámetros eléctricos en el punto mismo.
Agosto 2000	Se menciona por primera vez el concepto de PowerNet y dejo la inquietud en la administración de Ingeniería y mantenimiento de la planta.
Noviembre 2000	Ante el éxito y los beneficios obtenidos con el IQ Analyzer de la subestación #1, se instalo también uno de estos en al subestación #2 para obtener también información en el punto.
Junio 2001	El interés por PowerNet se acentuó y fue así como en el mes de junio fueron adquiridos 10 IQ's de la serie 2000 con la intención de iniciar el proceso de análisis de red.
Julio 2001	Se instalo el primer IQ analyzer en el panel del Breaker principal de la Subestación #1, con el propósito de poder "supervisar" los parámetros eléctricos en el punto mismo.
Julio 2000	Se inicio la instalación de todo lo que se constituiría en el hardware del sistema, utilizando para ello, fundamentalmente tuberías Hg Galvanicas de 3/4" $\Phi$ que interconectaron todas las cajas en las cuales fueron montadas.
Marzo 2002	Se invento operar el sistema desde un PC acoplada al sistema por el transmisor MINT II pero lamentablemente el computador se saturaba inmediatamente y el programa no alcanzo el éxito.
Marzo 2002	Debido a las necesidades de producción de la empresa en plena expansión fue necesario cancelar el proyecto temporalmente (alrededor de 2 años), es importante destacar el hecho que se disponía de poco tiempo para ejecutar conexiones del y al sistema y peor aun para las pruebas.
Finales del 2004	Se retomo el proyecto y fueron inhibidos en el mismo: a. 5 IQ's adicionales, 2 de los cuales monitorearían los generadores de emergencia. B. Software actualizado con capacidad de administrar 32 equipos y opciones de operación de alarmas, visualización de curvas y facturación de consumos de energía adicionales a la función de monitoreo inicial.
Junio-Agosto de 2005	Fueron determinados el nuevo hardware y todo el nuevo cableado (de acuerdo con el plano) y a principios de septiembre de 2005 se realizaron las primeras pruebas oficiales con resultados bastante halagadores.
Septiembre 2005	Se hizo oficial la entrega total y definitiva del proyecto, no sin antes darle a los ingenieros de mantenimiento un curso de principios y utilización del sistema PowerNet.

## CONCLUSIONES

1. El sistema *Powernet* no sólo tiene la capacidad de almacenar y desplegar los valores instantáneos de las variables Eléctricas de la red Industrial y calcular los costos de consumo de energía sino que también puede ser utilizado para el control de dispositivos por medio de reles y medición de variables tales como flujo, temperatura, caudal, etc. Este control depende del dispositivo que se utilice en la Red.
2. La forma de comunicación entre los dispositivos se realiza a través del chip de comunicación industrial INCOM que utiliza codificación por cambio de frecuencia FSK, esto hace que exista una buena transmisión libre de ruido en los ambientes industriales de alta interferencia electromagnética.
3. Para que las Industrias Guatemaltecas de Producción tengan un mayor control de sus sistemas eléctricos se hace necesario implementar un sistema de monitoreo y control en tiempo real, ya que las variaciones y los fenómenos que ocurren en la red eléctrica ocurren en un tiempo muy breve y sus efectos pueden ser muy perjudiciales.





## **RECOMENDACIONES**

1. Se debe tomar en cuenta la exactitud y las características de cada dispositivo cuando se desee implementar este sistema en una Industria de Producción. Cada aplicación requiere un dispositivo específico. En el caso de la industria de alimentos en los centros de Costos se utilizó el dispositivo de la serie IQ-200 debido a que no se necesitaba realizar ningún tipo de control y tener la posibilidad de enviar los datos a través de la Red.
2. El cálculo de los Costos Indirectos de Producción se debe hacer de la forma más exacta posible, ya que con el aumento del uso de dispositivos de Automatización estos costos indirectos de producción son un porcentaje cada vez mayor del Precio de Venta de un Producto.
3. Cuando se coloquen los dispositivos se debe cerciorar que no sea colocada una resistencia de terminación EOLTR entre dos dispositivos, de lo contrario el sistema no detectara los dispositivos que se encuentren después de la resistencia de terminación.

4. Se debe colocar una dirección hexadecimal distinta a cada dispositivo, de lo contrario existirá un conflicto en el *software* y no reconocerá ninguno de los dos dispositivos aunque se encuentren conectados de manera correcta en la Red.
  
5. La topología de la red va a depender de la localización de los centros de Costos y de las subestaciones que se desea monitorear, la ventaja de este sistema es que se pueden colocar los dispositivos en serie haciendo una sola rama o bien una configuración de estrella con un nodo central.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Krauss, John D. **Electromagnetismo**. México: tercera edición. McGraw Hill. 1986. pp. 829.
2. Horngren, Charles y otros. **Introducción a la Contabilidad Financiera**. México: séptima edición. Editorial Person Education. 2000. pp.704.
3. Gitman, Lawrence. **Principios de Administración Financiera**. México: décima edición. Editorial Person Education. 2003. pp.676.
4. Morcillo Pedro, Julián Cócera Rueda. **Comunicaciones Industriales**. España. Paraninfo Thomson Learning. 2000. pp.303.
5. Ziemer, R. E. **Principles of Communications**. Estados Unidos de Norte América: quinta edición. Editorial John Wiley & Sons Inc. 2002. pp.629.
6. Taub Herbert, Donald Schilling. **Principles of Communication Systems**. Singapur: segunda edición. Editorial McGraw-Hill. 1986. pp. 751.