

# **ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

## **SEDE – LATACUNGA**



### **CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN**

**Diseño e Implementación del Sistema de Instrumentación y Monitoreo  
para los Tableros de Control y Generadores de la Central Illuchi 1 de la  
Empresa Eléctrica provincial de Cotopaxi ELEPCO S.A.**

**DIEGO FERNANDO JARAMILLO RUBIO  
FRANKLIN GONZALO MEDINA SALAZAR**

**Latacunga, Octubre del 2007**

## **CERTIFICACIÓN**

**Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado en su totalidad por los señores: Diego Fernando Jaramillo Rubio y Franklin Medina.**

---

**Ing. Galo Ávila**  
**DIRECTOR DEL PROYECTO**

---

**Ing. Mario Jiménez**  
**CODIRECTOR DEL PROYECTO**

## **DEDICATORIA**

Este trabajo está dedicado a mis padres, Aníbal y Michita, por todo su amor, por su gran corazón y capacidad de entrega, por su apoyo en los momentos más difíciles y por sus palabras de aliento para seguir adelante en toda circunstancia, pero sobre todo por enseñarme a ser responsable, gracias eternamente.....

A DIOS, por ser mi principal guía, por darme la fuerza necesaria para salir adelante y lograr alcanzar mi destino.

**DIEGO FERNANDO**

## **AGRADECIMIENTO**

Doy mi más sincero agradecimiento a:

Mi familia, con especial amor a mis padres que siempre me han dado todo, especialmente amor y comprensión.

A mis hermanas: Eleny que siempre me ha brindado su apoyo incondicional, Lorena que siempre me ha brindado su amistad.

A los profesores de la Carrera de Ingeniería Electrónica e Instrumentación de la ESPE-L, por las sabias enseñanzas impartidas.

A mis amigos que siempre me han acompañado en las alegrías y tristezas...

**DIEGO FERNANDO**

## **DEDICATORIA**

Este sencillo trabajo, pero grande en su significado, lo dedico con el mas grande amor y cariño a mi esposa e hijos que son el punto de apoyo para seguir adelante, ya que con su abnegación y sacrificio diario han hecho posible la culminación del presente trabajo.

**FRANKLIN GONZALO**

## **AGRADECIMIENTO**

Mi agradecimiento más sincero y reconocimiento a todos y cada uno de los maestros de esta noble institución educativa.

A la empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi, que me ha facilitado los medios necesarios para el desarrollo del presente trabajo.

A dios, a mis padres y a mi familia que con su diario sacrificio y mi voluntad de superación, han difundido en mí la herencia más sana y pura que los padres pueden dejar a sus hijos.

¡ el estudio !

**FRANKLIN GONZALO**

## CONTENIDO

### INTRODUCCIÓN

#### CAPITULO I

#### SISTEMA DE GENERACIÓN

1.1	Generalidades.....	.....
1.1.1	El Sistema Eléctrico.....	.....
1.1.2	Síntesis Histórica de las Centrales Hidroeléctricas de Latacunga.....	.....
1.1.2.1	Primera Central Eléctrica.....	.....
1.1.2.2	Segunda Central Eléctrica.....	.....
1.1.2.3	Tercera Central Eléctrica.....	.....
1.1.2.4	El Proyecto de Rayo Filo.....	.....
1.1.3	Recursos Energéticos Disponibles en El Sistema de Elepco S.A.....	.....
1.1.3.1	Central Illuchi 1.....	.....
	a) Obras Civiles.....	.....
1.2	Especificaciones del Generador.....	.....
1.2.1	Generalidades de la Turbina Pelton.....	.....
1.2.1.1	Turbinas Pelton de Eje Horizontal.....	.....
1.2.2	Generador.....	.....
1.2.2.1	Partes fundamentales.....	.....

1.3 Especificaciones de los Medidores de Energía.....	
1.3.1 Unidad de Protección de Generadores	GPU
2000R.....	
1.3.1.1 Características Generales.....	
a) Diseño Interno.....	
b) Especificaciones del Procesador.....	
c) Reloj con Batería de Respaldo.....	
d) Capacidades Nominales y Tolerancias.....	
e) Seguridad.....	
f) Protección contra Escritura.....	
g) Opciones Avanzadas.....	
h) Software AlphaPlus.....	
i) Componentes Físicos.....	
j) Sensores de Corriente y Voltaje del GPU.....	
1.3.2 Medición.....	
1.3.2.1 Valores de Carga.....	
1.3.2.2 Valores de Demanda.....	
1.3.2.3 Valores Máximos y Mínimos.....	
1.3.2.4 Función de Medición de 3a. Armónica.....	
1.3.3 Funciones de Protección .....	
1.4 Especificaciones de los Interruptores .....	
1.4.1 Interruptores de Circuito de Energía.....	
1.4.2 El reto de un interruptor.....	
1.4.3 Descripción General de los Interruptores.....	
1.4.3.1 Circuitos de Energía.....	
a) Cámara de arco.....	
b) Resistencias de Inserción.....	
c) Conexión.....	
1.4.3.2 Mecanismos de Operación.....	
1.4.3.3 Control.....	
1.4.4 Medios de Interrupción.....	

1.4.4.1 Aceites minerales.....	
1.4.4.2 Aire comprimido.....	
1.4.4.3 Hexafluoruro de azufre, o SF6.....	
1.4.5 Tipos de Interruptores.....	
1.4.5.1 Interruptores de Aceite.....	
a) Principio de Funcionamiento.....	

## **CAPITULO II**

### **ADQUISICIÓN, ACONDICIONAMIENTO DE DATOS Y CONTROL DE LOS INTERRUPTORES**

2.1 Generalidades.....	
2.1.1 Procesamiento de Datos en Tiempo Real (RT) .....	
2.1.1.1 Elementos de un Sistema RT.....	
2.1.1.2 Características de un Sistema RT .....	
2.1.1.3 Requisitos de un Sistema RT.....	
2.1.1.4 Control en Tiempo Real .....	
a) Factores a tener en cuenta .....	
2.2 Adquisición, Procesamiento de Datos .....	
2.2.1 Etapas de la Adquisición de Datos del Sistema.....	
2.2.2 Acondicionamiento de Señales.....	
2.2.3 Digitalización de Señales.....	
2.2.3.1 Convertidor A/D D/A.....	
2.2.4 Introducción a la Instrumentación Virtual .....	
2.2.5 Diseño de Instrumentos Virtuales.....	
2.2.6 Interfaz Hombre Máquina (HMI) .....	
2.2.6.1 Funciones de un Software HMI.....	
2.2.6.2 Tareas de un Software de Supervisión y Control.....	
2.3 Comunicaciones .....	
2.3.1 Transmisión de Datos.....	
2.3.1.1 Transmisión Análoga.....	
2.3.1.2 Transmisión Digital.....	
2.3.2 Modos de Transmisión .....	

2.3.2.1	Transmisión Sincrónica / Asíncrona.....	
a)	Transmisión Sincrónica.....	
b)	Transmisión Asíncrona.....	
2.3.2.2	Transmisión Serie / Paralelo.....	
a)	Transmisión de Datos en Serie.....	
b)	Transmisión de Datos en Paralelo.....	
2.3.2.3	Transmisión simplex / semiduplex / Full duplex.....	
a)	Simplex.....	
b)	Semiduplex o Half Duplex.....	
c)	Full Duplex.....	
2.3.3	Protocolos De Comunicación.....	
2.3.3.1	Protocolo Modbus.....	
a)	Principales Características.....	
b)	Formatos Modbus.....	
c)	Campo de Función.....	
d)	Respuesta de Error.....	
e)	Códigos de Error.....	
2.4	Interfaces Serie.....	
2.4.1	Interfaz serial RS-232.....	
2.4.1.1	El Puerto Serial de una PC.....	
a)	Conexión de las líneas.....	
2.4.2	Interfaz RS-422-A Y RS-423-A.....	
2.4.2.1	Conexiones RS-422.....	
2.4.2.2	Utilización en entornos Industriales.....	
2.4.3	La Interfaz RS-485.....	
2.4.3.1	Parte Física.....	
2.4.3.2	Aplicaciones.....	
2.4.4	Comparación entre Normas.....	
2.5	Control de los Interruptores.....	

## **CAPITULO III**

### **ANÁLISIS Y DISEÑO**

3.1 Descripción del Sistema.....	
3.2 Diagrama de Bloques .....	
3.3 Diseño del Sistema HMI .....	
3.3.1 Pantalla Principal .....	
3.3.2 Pantalla de visualización de los Valores de Carga.....	
3.3.3 Pantalla de visualización de los valores Máximos y Mínimos.....	
3.3.4 Pantalla de visualización de las Gráficas de los Valores de Carga.....	
3.3.5 Pantalla de visualización de las Alarmas de los medidores.....	
3.3.6 Pantalla de Control ON/OFF de los interruptores.....	

## **CAPITULO IV**

### **IMPLEMENTACIÓN, PRUEBAS EXPERIMENTALES Y RESULTADOS**

4.1 Cableado para Comunicación entre los Sistemas de Medición y la Pc.....	
4.1.1 Cableado entre el Conversor RS – 232 y la PC .....	
4.1.2 Cableado entre el Conversor RS-232/RS-485 y los Medidores GPU 2000R.....	
4.1.3 Colocación de las resistencias de terminación en los medidores GPU 2000R.....	
4.2 Programación del HMI.....	
4.2.1 Programación de la Pantalla Principal del HMI.....	
4.2.2 Programación de la Pantalla de visualización de los valores de carga.....	
4.2.3 Programación de la Pantalla de visualización de los valores Máximos y Mínimos.....	
4.2.4 Programación de la Pantalla de visualización de las Gráficas de los valores de carga.....	

4.2.5	Programación de la Pantalla de visualización de las Alarmas de los medidores.....
4.2.6	Programación de la Pantalla de Control ON/OFF de los interruptores.....
4.3	Pruebas Experimentales.....
4.4	Análisis Técnico Económico.....

## **CAPITULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1	Conclusiones.....
5.2	Recomendaciones.....

### **BIBLIOGRAFIA**

### **ANEXOS**

## INTRODUCCIÓN

El presente proyecto de tesis tiene como finalidad desarrollar el “Diseño e Implementación del Sistema de Instrumentación y Monitoreo para los tableros de control y generadores de la Central Illuchi 1 de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi (ELEPCO S.A.)”.

En la central Illuchi 1 la adquisición, procesamiento y acople de datos en tiempo real se recopila información para entregarla a los diferentes centros de apoyo como son CENACE (Centro Nacional de Control de Energía), subestaciones y para tomar decisiones inmediatas en cuanto a su manejo.

Los datos son presentados y procesados en una PC a través de un software especializado, en donde está una interfaz adecuada para el operador. Por lo cual, el Instrumento Virtual diseñado cuenta con un panel frontal, en la pantalla de la PC, que indica la generación de energía eléctrica del sistema y otras variables eléctricas, como son: voltaje y corriente rms; potencia activa, real y reactiva; factor de potencia, frecuencia. Teniendo en cuenta que estas cantidades medidas son almacenadas en una base de datos generada en el intervalo de tiempo que el operador o la Empresa lo requiera, todo esto para obtener una mayor precisión y exactitud debido a que estas cantidades pueden ser visualizadas de manera inexactamente por los operadores; además de una interfaz para el Sistema de Mando y Control para la apertura y cierre de interruptores de cada generador.

Esto permite que los operadores observen, analicen, y maniobren de mejor manera el comportamiento de los generadores e interruptores de dicha Central.

El sistema además grafica en tiempo real e histórico los datos obtenidos de los medidores de energía e indica las alarmas ocurridas, mejorando la seguridad en la Central Eléctrica y Subestaciones para colaborar con la prevención de accidentes de trabajo y ampliar el estudio de la automatización de sistemas de control. Cabe indicar que la Central Eléctrica Illuchi 1 cuenta con cuatro generadores y sus respectivos interruptores.

El proyecto se encuentra dividido en cinco capítulos, el primero y el segundo capítulo forman el marco teórico que sirve como fundamento para el posterior desarrollo de los capítulos siguientes.

En el primer capítulo se define el sistema de generación de energía eléctrica, de la Central Eléctrica Illuchi 1, los generadores de energía eléctrica, medidores de energía y los interruptores de potencia de la Central.

En el segundo capítulo se define la Adquisición y procesamiento de datos, las comunicaciones, las interfaces serie y el control de los interruptores.

En el tercer capítulo se realiza el Análisis y el Diseño del sistema implementado, la descripción y diagrama de bloques del mismo, así como el diseño del HMI.

En el cuarto capítulo se realiza la Implementación del Sistema, las pruebas experimentales, los resultados, así como también se define el cableado para la comunicación entre los sistemas de medición y la PC, la programación del HMI y el análisis técnico económico.

En el capítulo final se indican las conclusiones y recomendaciones en base al trabajo desarrollado.

La automatización está introduciendo rápidamente en una nueva era, se ha dicho que el elemento básico en ésta tecnología, el microprocesador, cobrará mayor importancia que la máquina de vapor, la cual en su propio tiempo puso los cimientos para la revolución industrial.

Cada día los procesos se automatizan en base a sistemas HMI, sistemas SCADA, convirtiéndose en el pilar fundamental de la seguridad y optimización de recursos para la industria.

Los equipos controlados por PC logran mayor productividad, proporcionando datos exactos y evitando se provoque la destrucción del mismo y lo más importante protegen al personal de situaciones peligrosas.

## **CAPITULO I**

### **SISTEMA DE GENERACIÓN**

#### **1.2 GENERALIDADES.**

##### **1.1.4 El Sistema Eléctrico.**

En la actualidad es imposible imaginar la vida sin energía eléctrica, la costumbre de encender y apagar el interruptor de la luz y otros aparatos que muy rara vez se piensa de donde viene esta electricidad; pues bien, un tipo de centrales generadoras son las **HIDROELÉCTRICAS**, éstas son plantas encargadas de convertir la energía del agua en energía eléctrica, pero más específicamente, la **TURBINA** es la encargada de transformar esa energía hidráulica en energía mecánica, para posteriormente convertirla en energía eléctrica con un generador.

Las estaciones de generación eléctrica, generalmente se encuentran localizadas usualmente en áreas remotas, lejos de los principales centros de consumo, generando energía por medio de la transformación de otras formas de energía (mecánica, térmica, solar, nuclear, etc.).

La electricidad generada se transporta por medio de líneas de transmisión y se distribuye a los consumidores por medio de una red de distribución. Por lo que siempre tiene que estar disponible, sin ninguna interrupción para el consumidor, aún cuando no lo use continuamente.

Las empresas eléctricas dividen su red de distribución en dos grandes categorías:

- La Red de Transporte.
- La Red de Distribución

Las líneas de transmisión están hechas de conductores que puedan ser utilizados en instalaciones aéreas o cables subterráneos.

A la salida de las estaciones de generación, las subestaciones de transformación aumentan el nivel de voltaje de producción a un alto voltaje necesario para que puedan llevar eficientemente la electricidad sobre grandes distancias, para luego nuevamente transformar el nivel de voltaje a uno menor para que el consumidor final goce de este vital factor como es la electricidad.

#### **1.1.5 Síntesis Histórica de las Centrales Hidroeléctricas de Latacunga<sup>19</sup>.**

Como consecuencia de las iniciativas y venciendo toda suerte de dificultades e incomprendiones, los latacungueños, a través de la Municipalidad, entran a la etapa de la electrificación, el 11 de abril de 1.909.

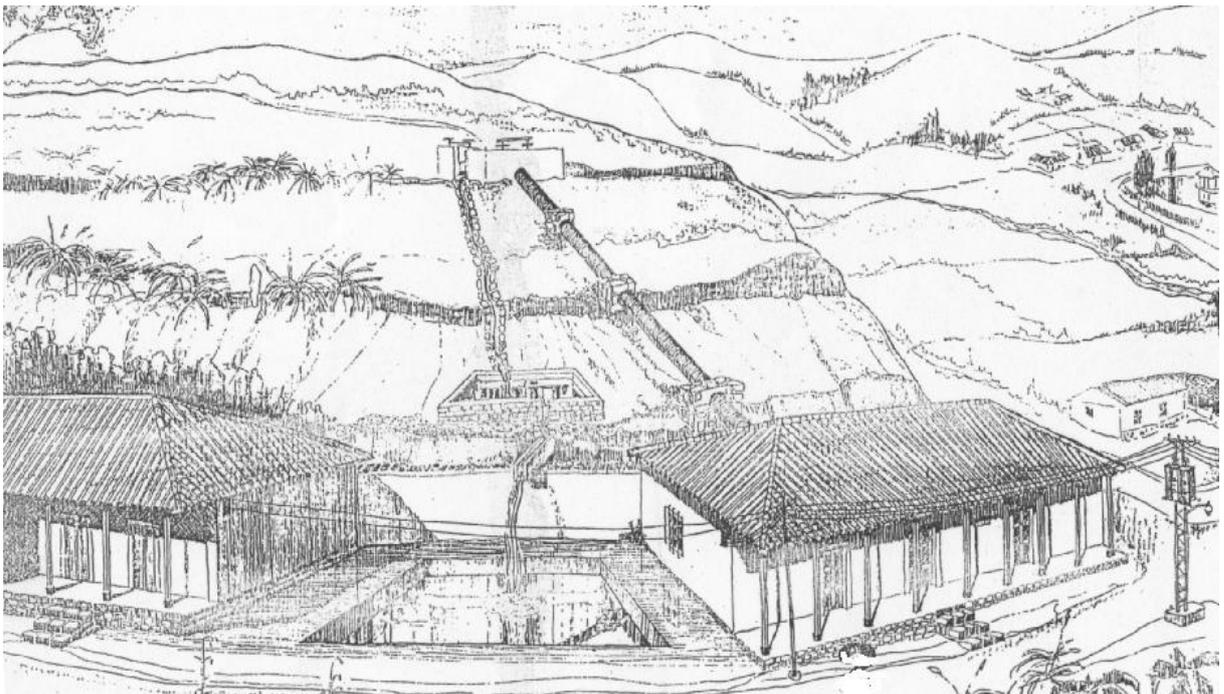
---

<sup>19</sup> Folleto Memoria Descriptiva de Elepco S.A

### 1.1.5.1 Primera Central Eléctrica.

La primera central hidroeléctrica de la ciudad de Latacunga estuvo localizada al sur-oriente, tras del antiguo Estadio Municipal, hoy parte del Campus de la ESPEL.

La figura 1.1 muestra las construcciones de la primera planta con el pequeño reservorio en la parte superior, la tubería de abastecimiento, la acequia de descarga hacia una pequeña piscina entre la Casa de Máquinas a la derecha, y las bodegas, a la izquierda.



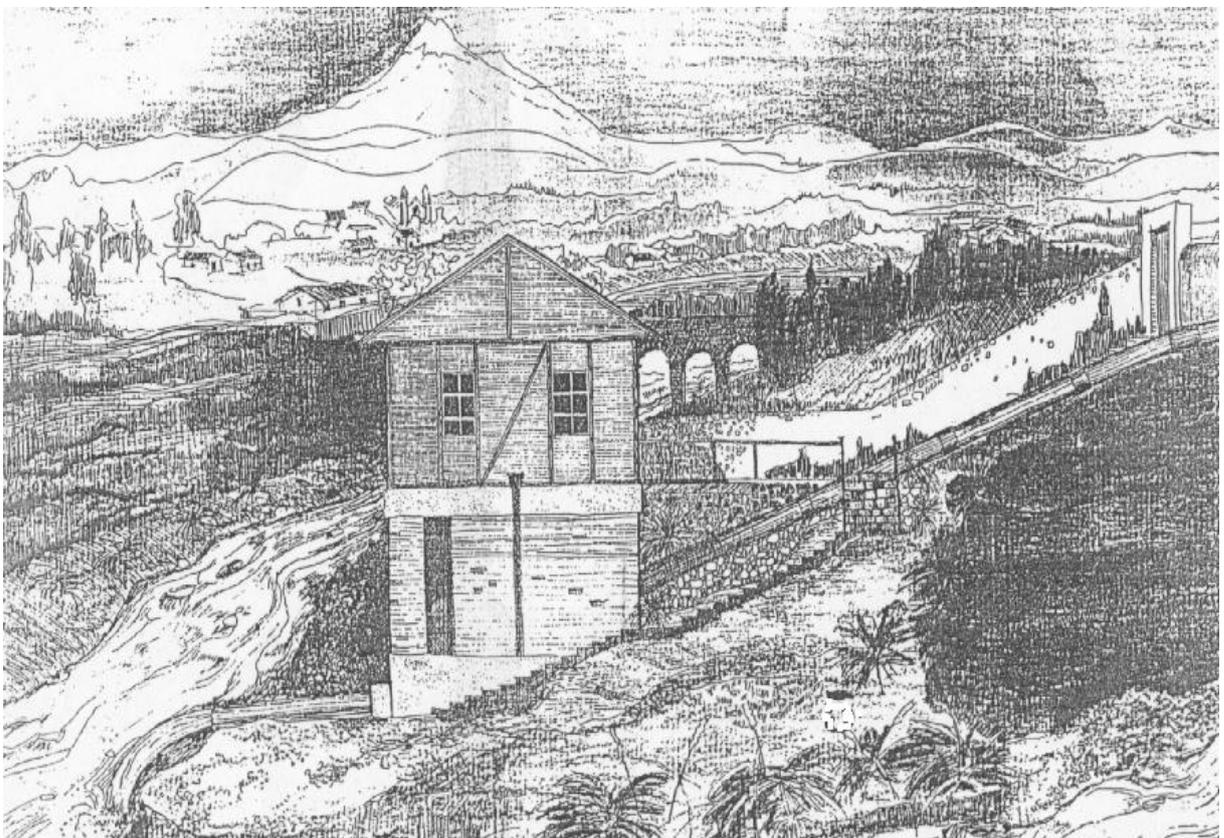
**Figura 1.1** Primera Central Eléctrica

Desde la pequeña piscina de descarga, las aguas continuaban por acequias de regadío para los huertos ubicados al sur del local de la ESPEL, hoy convertidas en nuevas urbanizaciones. La potencia de esta Planta fue de 30 Kw.

### **1.1.5.2 Segunda Central Eléctrica.**

Se ubicaba en la confluencia de los ríos Yanayacu y Cutuchi, costado norte, en una construcción de dos plantas: abajo la casa de máquinas, y arriba la vivienda del operador-cuidador; como se indica en la figura 1.2.

Se inaugura en el año 1.935 en la presidencia del Concejo Municipal del Sr. Don Luis Fernando Ruiz. La maquinaria hidroeléctrica, de fabricación alemana, y el edificio que guarda la nueva maquinaria de la potente instalación hidroeléctrica municipal, es construido de cemento armado.



### **Figura 1.2** Segunda Central Eléctrica.

Su potencia fue de 300 Kw. Su funcionamiento duró hasta el año 1.953, casi los veinte años que fueron previstos. El edificio fue donado a la Casa de la Cultura para el funcionamiento de la Radiodifusora, por lo que fue necesario remodelarlo, siendo el autor de esta historiografía el ejecutor, a partir de 1.966, adoptando la fisonomía que tiene actualmente.

Una compuerta automática permitía la captación de las aguas del Yanayacu destinadas a mover la turbina de la nueva planta eléctrica. Esta permitía llenar el reservorio, desde el cual se desarrollaba la tubería de descarga al dínamo, puesta en servicio en 1.934, meses antes de la inauguración oficial.

#### **1.1.5.3 Tercera Central Eléctrica.**

Una vez que la ciudad empieza a crecer, se piensa en la necesidad de incrementar el servicio eléctrico, pues las dos plantas son insuficientes, a pesar de su buen estado de funcionamiento.

Es así que en el año de 1.943, el Sr. Cesar Moya Sánchez, presidente del Concejo Municipal; y como tal, gestiona la contratación de estudios previos con el ingeniero alemán Max Rueff para “la instalación de una poderosa planta eléctrica”.

Luego de algunos inconvenientes y al transcurrir algunos años el Sr. Dr. Rafael Cajiao Enríquez, quien inicia sus labores el primero de diciembre de 1947 como Alcalde, y vencidos todos los obstáculos, se firma con Max Muller y Cía. Aprovechándose las aguas del río “Illuchi” para el funcionamiento de las poderosas turbinas; debiendo instalarse dos

grupos de 700 Kw cada uno. Se consigue inaugurar la nueva planta eléctrica el 25 de noviembre de 1.951.

Por último, el 7 de abril de 1.952, la Casa Max Muller y Cía. notifica al Concejo que la planta se encuentra funcionando desde algunos meses atrás, por lo que solicita la recepción oficial, ante lo cual se resuelve recibirla el 15 de mayo, fecha además que es importante porque coincide con la resolución de vender las plantas 1 y 2 y la decisión de emprender con los trabajos para la instalación del segundo grupo de la planta hidroeléctrica “Illuchi 1”, es así que en 1.955 entró en operación el tercer grupo de 1.400 Kw.



**Figura 1.3** Panorámica de la Central Illuchi 1.

#### **1.1.5.4 El Proyecto de Rayo Filo.**

El Proyecto Rayo Filo constituye la culminación de la Tercera Planta Eléctrica de Latacunga.

Hace tres décadas atrás aproximadamente, y por iniciativa de Don Rafael Cajiao Enríquez, se inicio la construcción del túnel de Rayo Filo, con el objeto doble de captación de las aguas que van alimentar al río Langoa, para su aprovechamiento hidroeléctrico y su posterior utilización en regadío.

El objetivo de este proyecto era el de captar las aguas desde vertientes naturales y canalizarlas a través de un túnel que atravesará el Cerro Rayo Filo y posteriormente irá a alimentar el canal de Dragones que desemboca en la zona central de recolección de las centrales hidroeléctricas “Illuchi”.

Esta obra fue adoptada por ELEPCO S.A., se pudo culminar al fin, satisfaciéndose una vieja aspiración de la Provincia de Cotopaxi. La sección del túnel perforado es de tipo BAUL de 1,85 mts de altura por 1,5 mts de base y de una longitud aproximada de 340 mts.; de manera que, junto a los 260 mts que ya estaban abiertos, y que fueron readecuados, dan una longitud total de 600 mts. El caudal obtenido es de 200 litros por segundo, con los cuales actualmente se generan 8'059.200 KW-H mensual.

Prácticamente, con esto termina una etapa de la historia de Latacunga. Desde principios del siglo, hasta mediados del mismo; cincuenta años para consolidar la electrificación, desde la primera a la tercera central hidroeléctrica municipal.

#### **1.1.6 Recursos Energéticos Disponibles en El Sistema de Elepco S.A**

La Empresa Eléctrica Cotopaxi para llevar a cabo su actividad dispone de centrales hidroeléctricas propias como muestra la Tabla 1.1 que por su potencia instalada no logra abastecer su creciente demanda, por lo cual se encuentra adicionalmente con el suministro desde el SNI<sup>20</sup> a través del mecanismo impuesto por el mercado eléctrico mayorista.

---

<sup>20</sup> SNI= Sistema Nacional Interconectado

<b>SECTOR</b>	<b>CENTRAL</b>	<b>POTENCIA KWA</b>
LATACUNGA	Central Eléctrica ILLUCHI N° 1	5.244
	Central Eléctrica ILLUCHI N° 2	6.500
LA MANA	Central Eléctrica el Estado.	2.125
PUJILÍ	Central Eléctrica Angamarca.	375
PANGUA	Central Eléctrica Quinzaloma.	1.000

**Tabla 1.1** Centrales de generación de ELEPCO S.A.

#### **1.1.6.1 Central Illuchi 1.**

##### **b) Obras Civiles.**

**Captación.-** Al ser centrales hidroeléctricas, el agua se la capta en reservorios naturales (lagunas) que recogen el producto de vertientes existentes en las zonas correspondientes de páramo de la cordillera oriental andina. Las mismas que alimentan a la red de canales: la Esperanza, Dragones, Retamales, Yagzil hasta llegar a las lagunas: Salayambo, Yanacocha, Piscacocha, Chaloacocha.

**Adicción.-** A partir de Salayambo mediante canal abierto se llega con el líquido elemento hasta los reservorios y tanque de presión de la central Illuchi 1 ubicado a 3.700 msm.

**Presión.-** Iniciándose en el reservorio de la central Illuchi 1, cuya capacidad de almacenamiento es de 300 metros cúbicos, catalogándose como “embalse de pasada”, permite el acceso del agua a la tubería de presión constituida por tres tubos de 25 pulgadas de diámetro y 1200 m de longitud que conducen el agua a las turbinas de la central No 1.

**Transporte.-** Constituido por líneas de transmisión: Central 1 – S/E<sup>21</sup> el calvario a 22 KV y una longitud de 12 Km.



**Figura 1.4** Central de Generación Illuchi 1.

## 1.2 ESPECIFICACIONES DEL GENERADOR<sup>22</sup>

Están constituidas por los grupos Turbina – Generador; están instalados 2 grupos de 862 KVA, 2 grupos de 1750 KVA con una potencia firme de 4200 KW ubicada en el sector de Pusuchisi cuyas características son:

---

<sup>21</sup> S/E= Subestación .

<sup>22</sup> Estudio Preliminar de Gestión Energética y Ambiental para La Central Hidroeléctrica Illuchi No 1

- Marca Teodoro Bell – año 1.951
- Turbinas Pelton de eje horizontal
- Caída neta 290 mts.
- Caudal: Grupos de 872 KVA – 305 lts/seg.
- Grupos de 1750 KVA – 600 lts/seg.
- Regulador de velocidad 100/225 Kg.
- Tubería metálica de presión de 1200 mts y 558 mm de diámetro.
- Año de fabricación 1950.

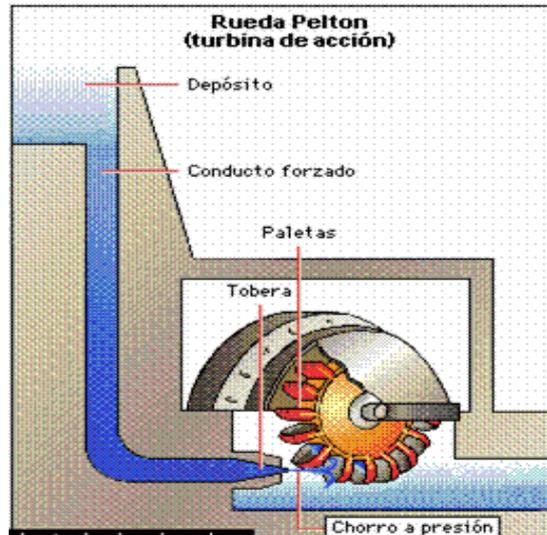
La turbina es el alma de una central hidroeléctrica y dependiendo de la turbina que se use es la cantidad de electricidad que se produzca.

### **1.2.2 Generalidades de la Turbina Pelton<sup>23</sup>.**

La turbina PELTON debe su nombre al ingeniero norteamericano Lester Allen Pelton (1.829-1.908). En 1.880 patentó una turbina con palas periféricas de muy particular diseño, de tal manera que el chorro proveniente de la tubería golpea el centro de cada pala o cuchara con el fin de aprovechar al máximo el empuje del agua.

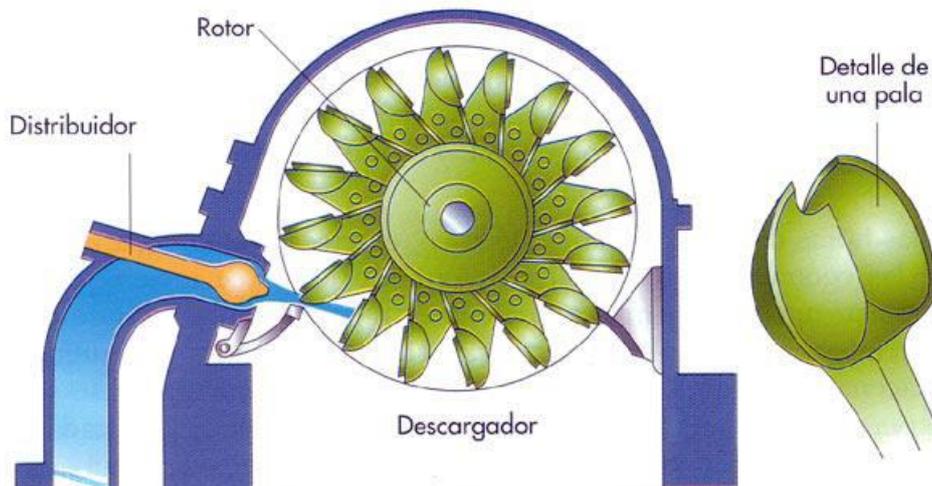
---

<sup>23</sup> [http://members.tripod.com/mqhd\\_ita.mx/u3.htm](http://members.tripod.com/mqhd_ita.mx/u3.htm)



**Figura 1.5** Esquema básico de una turbina PELTON.

A las cucharas y palas se les nombran **ÁLABES**. El álabe tiene la forma de doble cuchara, con una arista diametral sobre la que incide el agua produciéndose una desviación simétrica en dirección axial, buscando un equilibrio dinámico de la máquina en esa dirección.



**Figura 1.6** Detalle de la forma de la pala y la forma en la que incide el chorro en ella.

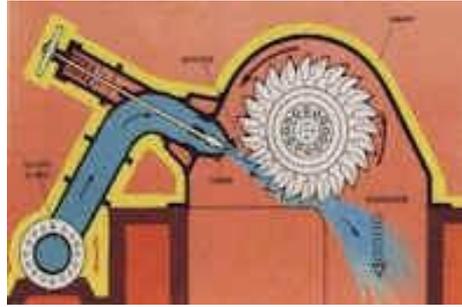
### ***1.2.1.1 Turbinas Pelton de Eje Horizontal:***



**Figura 1.7** Palas Pelton de eje Horizontal.

En este tipo de turbinas Pelton se facilita la colocación del sistema de alimentación en un plano horizontal, lo que permite aumentar el número de chorros por rueda (4 a 6); con esto se puede incrementar el caudal y tener mayor potencia por unidad. Se acorta la longitud del eje turbina- generador; se amenguan las excavaciones; se puede disminuir el diámetro de rueda y aumentar la velocidad de giro, se reduce en fin el peso de la turbina por unidad de potencia.

En esta disposición solo se pueden instalar turbinas de uno o dos chorros como máximo, debido a la complicada instalación y mantenimiento de los inyectores. Sin embargo, en esta posición, la inspección de la rueda en general es más sencilla, por lo que las reparaciones o desgastes se pueden solucionar sin necesidad de desmontar la turbina.

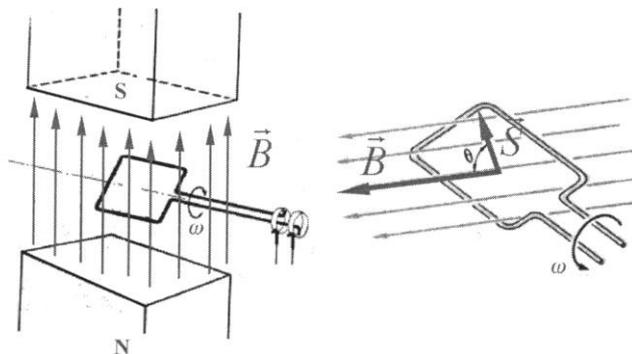


**Figura 1.8** PELTON de 1 chorro eje horizontal<sup>24</sup>.

### 1.2.3 Generador.

Un generador consta, en su forma más simple de:

- Una espira que gira impulsada por algún medio externo.
- Un campo magnético uniforme, creado por un imán, en el seno del cual gira la espira anterior.



**Figura 1.9** Campo magnético y espira.

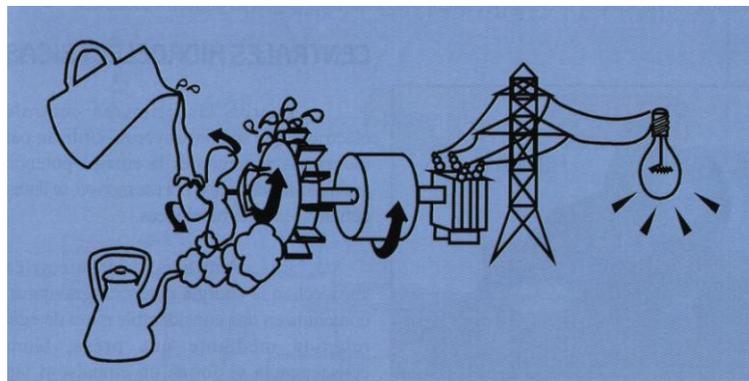
<sup>24</sup> [http://members.tripod.com/mqhd\\_ita.mx/u3.htm](http://members.tripod.com/mqhd_ita.mx/u3.htm)

A medida que la espira gira, el flujo magnético a través de ella cambia con el tiempo, induciéndose una fuerza electromotriz, y si existe un circuito externo, circulará una corriente eléctrica. Para que un generador funcione, hace falta una fuente externa de energía (hidráulica, térmica, nuclear, etc.) que haga que la bobina gire con una frecuencia deseada.

### 1.2.2.1 Partes fundamentales:

- **El estator:** Armadura metálica, que permanece en reposo, cubierta en su interior por unos hilos de cobre, que forman diversos circuitos.
- **El rotor:** Está en el interior del estator y gira accionado por la turbina. Está formado en su parte interior por un eje, y en su parte más externa por unos circuitos, que se transforman en electroimanes cuando se les aplica una pequeña cantidad de corriente.

Cuando el rotor gira a gran velocidad, debido a la energía mecánica aplicada en las turbinas, se produce unas corrientes en los hilos de cobre del interior del estator. Estas corrientes proporcionan al generador la denominada fuerza electromotriz, capaz de producir energía eléctrica a cualquier sistema conectado a él.



**Figura 1.10** Grupo Turbina-Generador → Consumidor Final.

Todas las centrales eléctricas constan de un sistema de "turbina-generador" cuyo funcionamiento básico es, en todas ellas, muy parecido, variando de unas a otras la forma en que se acciona la turbina, o sea, dicho de otro modo en que fuente de energía primaria se utiliza, para convertir la energía contenida en ella en energía eléctrica. Teniendo la Central Illuchi 1 los siguientes generadores.

Generador 1 y 2: Pot. 872 KVA;  $\cos\phi$  0,8; con una excitación de 35 V, 235 Amp, RPM 1200-2200.

Generador 3 y 4: Pot. 1750 KVA;  $\cos\phi$  0,8; con una excitación de 58 V, 224 Amp, RPM 900-1620.



**Figura 1.11** Generadores de la Central Illuchi 1.

# 1.3 ESPECIFICACIONES DE LOS MEDIDORES DE ENERGÍA

## 1.3.1 Unidad de Protección de Generadores GPU 2000R.

La unidad de protección de generadores GPU 2000R ofrece además de protección a los generadores la funcionalidad de un medidor, es un contador polifásico de energía eléctrica registrador integral totalmente electrónico. Colecta, procesa y almacena el consumo de la energía utilizada por los diferentes usuarios.

Este medidor cumple los estándares IEC<sup>25</sup> para la medición de energía eléctrica, y está destinado al uso por parte de empresas eléctricas y clientes industriales.



Figura 1.12 GPU 2000R.

<sup>25</sup> International Electrotechnical Comisión: Standares Internacionales y conformidad valorada para gobernar, negocios, y para toda la sociedad eléctrica, electrónica y tecnologías relacionadas.

El GPU 2000R puede ser programado utilizando el software de soporte de ABB (AlphaPlus), en cualquiera de las siguientes ubicaciones:

- En la fábrica.
- En el almacén del distribuidor.
- En el sitio de instalación.

### **1.3.1.1 Características Generales<sup>26</sup>.**

#### **a) Diseño Interno.**

La parte fundamental del GPU-2000R es el procesador de señales digitales (DSP), que es un microprocesador optimizado para realizar cálculos rápidos en base a los datos muestreados y la unidad de procesamiento central (CPU).

El CPU, un procesador de 32 bits, efectúa todas las funciones lógicas y los algoritmos de protección. La Figura 1.13 muestra un diagrama en bloques de la unidad.

---

<sup>26</sup> Manual de Instrucciones  
1MRA589765-MIB

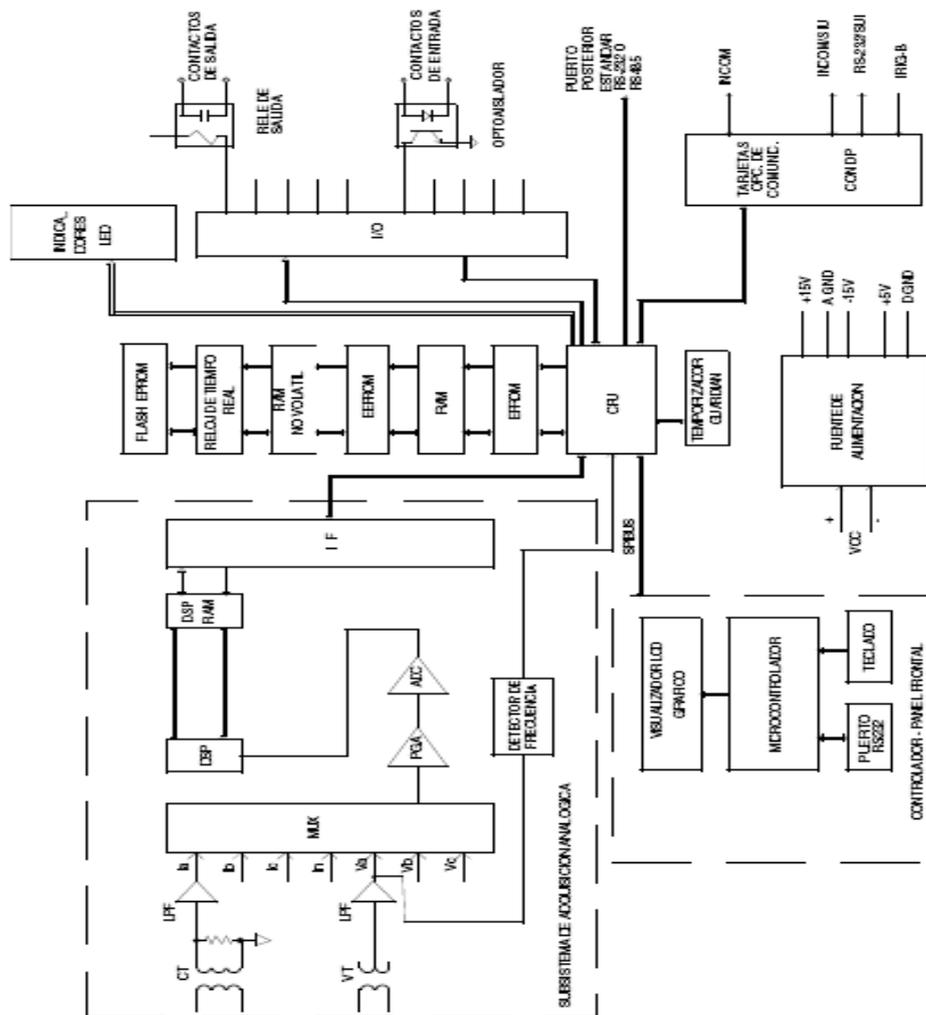


Figura 1.13 Diagrama de Bloques de la Unidad.

## b) Especificaciones del Procesador

La capacidad de procesamiento del GPU-2000R ofrece un verdadero ambiente multitarea que combina protección, medición y control. Los componentes de hardware de la unidad incluyen:

- CPU: Microprocesador Motorola 68332 de 32 bits, 16 MHz
- CPU RAM: 64 K de almacenamiento temporario para el CPU.

- DSP: un procesador de señales digitales de dispositivos analógicos, de 16 bits, que maneja toda la adquisición analógica y la medición de parámetros de entrada. Así mismo, efectúa todas las iteraciones aritméticas de las señales digitales de entrada convertidas.
- EEPROM: almacena todos los ajustes de las funciones de protección.
- Convertidor analógico a digital (A/D) de 16 bits.
- FLASH EPROM: almacena la programación del CPU.
- DSP RAM: 16 K de memoria para el almacenamiento temporario de los valores aritméticos del DSP.
- Reloj de tiempo real con batería de respaldo

### **c) Reloj con Batería de Respaldo**

Un reloj interno marca el tiempo de las fallas en el Registro de Fallas, de los eventos en el Registro de Operaciones y de los valores en el registro del Perfil de Carga. Bajo operación normal, este reloj es alimentado por el GPU-2000R.

### **d) Capacidades Nominales y Tolerancias**

Las capacidades nominales y tolerancias del GPU-2000R son las siguientes:

#### **- Circuitos de Entrada de Corriente**

- Entrada nominal de 5 A, 16 A continuos y 450 A por 1 segundo
- Entrada nominal de 1 A, 3 A continuos y 100 A por 1 segundo
- Cargabilidad de entrada: 0.245 VA a 5 A
- Cargabilidad de entrada: 0.014 VA a 1 A
- Frecuencia: 50 ó 60 Hz

- **Rango de Voltaje de los Circuitos de los Contactos de Entrada**

- Rango de 24 Vcc a 280 Vcc

- **Circuitos de Entrada de Voltaje**

Los voltajes nominales están basados en los ajustes de configuración de las conexiones de los TPs

**Cargabilidad**

- 0.04 VA para V(A-N) a 120 Vca

**Voltaje**

- Conexión en **Estrella**: 160 V continuos y 480 V por 10 segundos
- Conexión en **Delta Abierta**: 260 V continuos y 480 V por 10 segundos
- Entrada **Vo** 160 V continuos y 480 V por 10 segundos

- **Circuitos de los Contactos de Entrada (Cargabilidad de Entrada)**

- 2.10 VA a 220 Vcc y 250 Vcc

- 0.52 VA a 125 Vcc y 110 Vcc
- 0.08 VA a 48 Vcc

– **Requisitos de Energía de Control**

- Rango de 70 a 280 Vcc

– **Capacidad Nominal de los Contactos de Salida**

- | <b>125 Vcc</b>    | <b>250 Vcc</b>    |
|-------------------|-------------------|
| ▪ 30 A de disparo | ▪ 30 A de disparo |
| ▪ 6 A continuos   | ▪ 6 A continuos   |

– **Temperatura de Operación**

- $-40^{\circ}$  a  $+70^{\circ}$  C. Las temperaturas de operación inferiores a  $-20^{\circ}$  C pueden impedir el contraste en el visualizador tipo LCD.

– **Humedad**

- Según ANSI 37.90<sup>27</sup>, hasta 95% sin condensación.

---

<sup>27</sup> Revisión de ANSI 37.90, “Relés y Sistemas de Relés asociados con Aparatos de Energía Eléctrica” lista y define las clases de relés.

- **Inmunidad a Transitorios**

- Capacidad de soportar impulsos transitorios:
  - Pruebas de transitorios rápidos y SWC según ANSI C37.90.1 e IEC 255-22-1 clase III y 255-22-4 clase IV<sup>28</sup> para todas las conexiones excepto puertos de comunicación o AUX.
  - Puertos de comunicación aislados y puertos AUX según ANSI 37.90.1, usando únicamente la Onda de Prueba SWC oscilatoria y según IEC 255-22-1 clase III y 255-22-4 clase III.
  - Prueba de soportar voltajes de impulso según IEC 255-5<sup>29</sup>.
  - Prueba de interferencia electromagnética (EMI) según norma ANSI C37.90.2<sup>30</sup> - 1995 para ensayos.

- **Capacidad Dieléctrica**

- Todos los circuitos a tierra excepto los puertos RS232 no aislados.  
2828 Vcc por 60 segundos (Equivalente a 2000 Vca)

- **Peso (Unidad GPU-2000R)**

- Sin la caja 5.36 kg. (11.80 lbs)
- Con la caja 5.67 kg. (12.51 lbs)

---

<sup>28</sup> Revisión ANSI C37.90.1 e IEC 255-22-1, clase III y 255-22-4 clase IV “prueba rápida de transitorios” y “Capacidad de soporte de frentes de onda (SWC) “.

<sup>29</sup> Revisión IEC 255-5: “Prueba de soportar voltajes de impulso”

<sup>30</sup> Revisión ANSI C37.90.2: “Prueba de interferencia electromagnética (EMI)”.

#### **e) Seguridad.**

El GPU 2000R es antifraude. Las claves de acceso (passwords) pueden ser incorporadas para prevenir acceso no autorizado a los datos del medidor.

#### **f) Protección contra Escritura.**

El GPU 2000R puede ser programado en fábrica para proteger ciertos parámetros e información de programación contra alteraciones o modificaciones futuras.

#### **g) Opciones Avanzadas.**

Hay algunas funciones avanzadas disponibles, como la tarjeta electrónica principal y otras son utilizables como componentes instalables así:

- Registros detallados de fallas y de operaciones.
- Interfaz Hombre-Máquina (HMI) (Panel Frontal).
- Relés de salidas programables.
- Puertos de comunicaciones (Figuras 1.14 y 1.15):
  - Com1 y Com3      RS-232.
  - Puerto Auxiliar      RS-485.

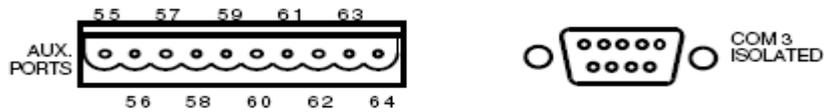


Figura 1.14 Puertos de comunicaciones.

Nota: El Com1 trasero está desactivado en la parte posterior; éste está activado en la parte frontal del GPU 2000R.

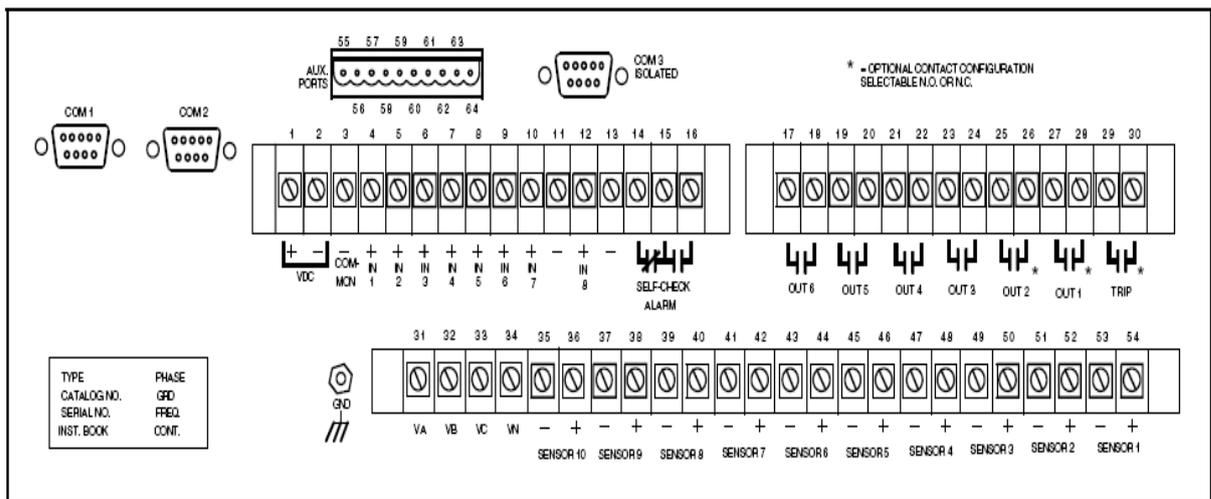


Figura 1.15 Puertos de comunicaciones y Contactos de entrada y salida.

- Protocolos de comunicaciones:
  - **Standard 10 Bits** a través del Com1 y Com3.

Esta es una codificación específica ASCII (asincrónica) de 10 bits como protocolo de comunicaciones.

- **Modbus** a través del Com 3 y el Puerto auxiliar.

Este es un Standard Industrial. El protocolo permite a un solo dispositivo master comunicarse con muchos dispositivos esclavos. La interfase física del protocolo Modbus es independiente. El Protocolo Modbus tiene dos emulaciones: RTU y ASCII. El GPU 2000R puede ser configurado para ambas emulaciones.

#### **h) Software AlphaPlus.**

El medidor requiere el software de soporte ABB, que permite programar los parámetros operacionales del medidor. El software de AlphaPlus es un software de fácil uso que soporta todos los medidores ABB.

#### **i) Componentes Físicos.**

Los componentes físicos del medidor GPU 2000R consisten en lo siguiente:

- Cubierta de ensamble.
- Ensamble de la caja.
- Cubierta.
- Ensamble electrónico.

#### **Cubierta de ensamble.**

El medidor está encerrado dentro de una caja rectangular convencional (ver Figura 1.16).

Las dimensiones están en: Pulgadas  
[milímetros]

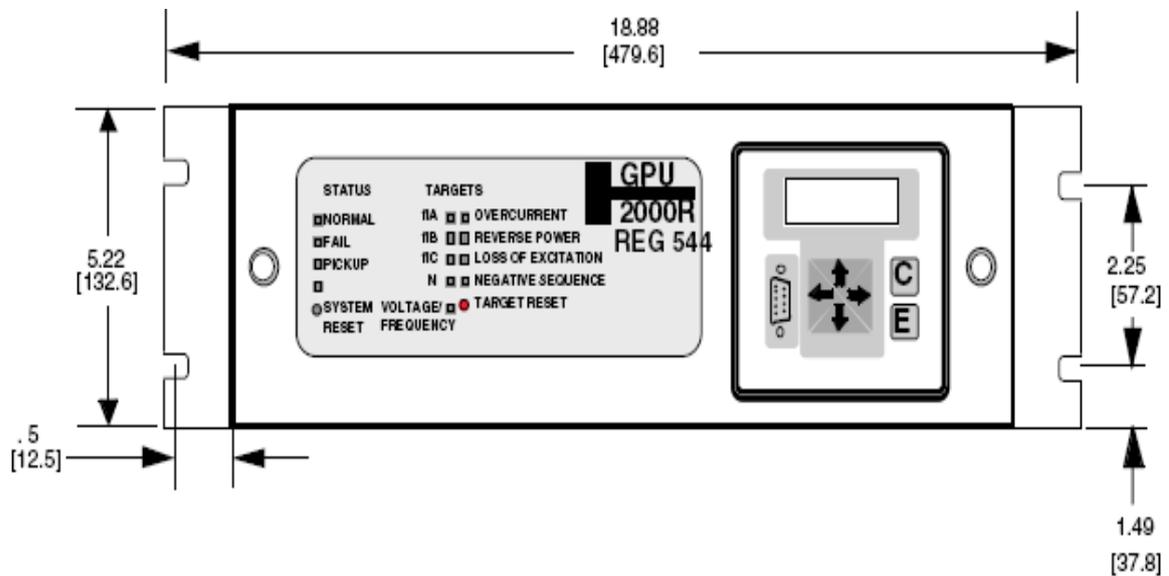


Figura 1.16 Dimensiones de la caja contenedora del GPU 2000R.

### Ensamble electrónico.

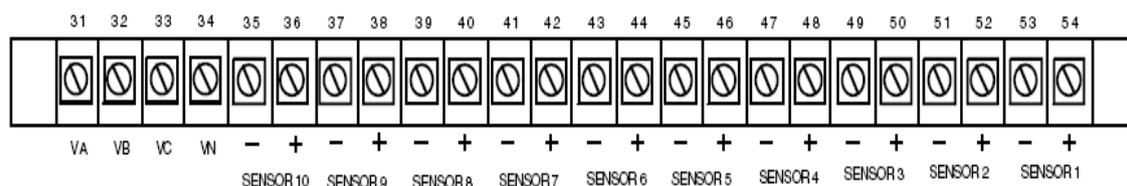
La cubierta del medidor encierra los siguientes componentes electrónicos:

- Pantalla de cristal líquido (LCD).
- Switches.
- Pulsadores.
- Placa característica.
- La cubierta también acomoda los siguientes componentes electrónicos opcionales:
  - Tarjeta de comunicación RS-232/485.
  - Tarjeta electrónica de relés.

## j) Sensores de Corriente y Voltaje del GPU.

Las corrientes y voltajes de líneas son sensadas utilizando sensores de corriente especiales y divisores de voltaje resistivos respectivamente.

La multiplicación y otros cálculos son desarrollados utilizando un circuito integrado propio del medidor. Este circuito integrado es un procesador de señal digital (DSP) con convertidores analógico-digital incorporados (A/D) capaces de muestrear cada entrada de voltaje y corriente.



**Figura 1.17** Disposición de las entradas de los sensores del GPU 2000R.

### - Sensores de Voltaje.

El ensamble electrónico recibe cada señal de voltaje a través de divisores resistivos para asegurar que se mantenga un nivel de voltaje lógico lineal. Esto también sirve para minimizar el desfase dentro un amplio rango dinámico de variación de voltaje.

El circuito integrado del medidor dentro del ensamble electrónico, muestrea las señales parciales de voltajes de entrada, provistas por los divisores resistivos, a fin de proveer una medición adecuada del voltaje.

## - **Sensores de Corriente.**

El ensamble electrónico recibe cada señal de corriente a través de sensores de corriente que poseen devanados de precisión, a fin de reducir la proporcionalidad lineal de corriente. El circuito integrado del medidor dentro del ensamble electrónico, muestrea las señales parciales de corriente de entrada, a fin de proveer una medición adecuada de corriente.

### **1.3.2 Medición<sup>31</sup>**

El Interfaz Hombre-Máquina (HMI) muestra continuamente las magnitudes de corriente eficaz (rms) para  $I_a$ ,  $I_b$ ,  $I_c$  e  $I_n$  y las magnitudes de voltaje eficaz (rms) para  $V_{an}$ ,  $V_{bn}$  y  $V_{cn}$  (TPs conectados en Estrella) o para  $V_{ab}$ ,  $V_{bc}$  y  $V_{ca}$  (TPs conectados en Delta). Para que el HMI pueda mostrar los valores primarios correctos, se debe introducir las relaciones de los TCs y TPs y el tipo de conexión de TP (Estrella fase a tierra o Delta fase a fase, voltaje nominal) en los Ajustes de Configuración (Configuration Settings).

Usar el menú de medición para confirmar la continuidad de la corriente y el voltaje a través de cada sensor de entrada. El voltaje  $V_{an}$  ( $V_{ab}$ ) se muestra con ángulo de fase de  $0^\circ$  y se usa como referencia para los demás ángulos de fase de voltaje y corriente. El HMI permitirá también desplazarse por los numerosos parámetros del sistema listados abajo.

Los componentes de voltaje de secuencia medidos del GPU-2000R ( $V_1$  y  $V_2$ ) se derivan de los voltajes de línea a neutro [fase a neutro], sin importar si la unidad está conectada en configuración Estrella o Delta. Suponiendo una condición equilibrada:

---

<sup>31</sup> Manual de Instrucciones  
1MRA589765-MIB

- En configuración Delta, el ángulo del voltaje de secuencia positiva (V1) se adelanta a Vab en 330°.
- En configuración Estrella, el ángulo del voltaje de secuencia positiva (V1) es igual a Van (V1 = Van = 0°).

### **1.3.2.1 Valores de Carga.**

- Corrientes de Fase Ia, Ib e Ic
  - Amperios
  - Grados
- Corriente de Tierra In
  - Amperios
  - Grados
- Voltajes de Fase Van, Vbn y Vcn para TPs conectados en Estrella
  - Kilovoltios
  - Grados
- Voltajes de Fase Vab, Vbc y Vca para TPs conectados en Delta
  - Kilovoltios
  - Grados
- Kilowatts por fase y trifásicos para TPs conectados en Estrella y trifásicos para TPs conectados en Delta.
- KiloVARs por fase y trifásicos para TPs conectados en Estrella y trifásicos para TPs conectados en Delta.
- Kilowatt-horas por fase y trifásicos para TPs conectados en Estrella y trifásicos para TPs conectados en Delta.
- KiloVAR-horas por fase y trifásicos para TPs conectados en Estrella y trifásicos para TPs conectados en Delta.
- Corrientes de secuencia cero (I0), positiva (I1) y negativa (I2).
  - Amperios.
  - Grados.
- Voltajes de secuencia positiva (V1) y negativa (V2).
  - Kilovoltios.

- Grados.
- Factor de potencia.
- Frecuencia.

### **1.3.2.2 Valores de Demanda**

- Corrientes de demanda (fase y tierra) en amperios.
- Kilowatts de demanda.
  - Por fase y trifásicos para TPs conectados en Estrella.
  - Trifásicos para TPs conectados en Delta.
- KiloVARs de demanda.
  - Por fase y trifásicos para TPs conectados en Estrella.
  - Trifásicos para TPs conectados en Delta.

### **1.3.2.3 Valores Máximos y Mínimos**

- Corrientes máximas y mínimas (de fase y tierra) en amperios.
- Registro de fecha y hora para las corrientes máximas y mínimas (de fase y tierra).
- Kilowatts máximos y mínimos.
  - Por fase y trifásicos para TPs conectados en Estrella.
  - Trifásicos para TPs conectados en Delta.
- Registro de fecha y hora para los kilowatts máximos y mínimos.
- KiloVARs máximos y mínimos por fase y trifásicos para los TPs conectados en Estrella; trifásicos para los TPs conectados en Delta
- Registro de fecha y hora para los kiloVARs máximos y mínimos

Las corrientes de demanda se calculan usando una función log10 y amperímetros de demanda térmica en réplica.

Los kilowatts y kiloVARs son valores promedio que se calculan usando los kilowatt-horas, kiloVAR-horas y la Constante de Medición de Demanda seleccionada. La Constante de Medición de Demanda es un intervalo de tiempo que se puede programar para 5, 15, 30 ó 60 minutos.

#### **1.3.2.4 Función de Medición de 3a. Armónica**

La medición se realiza para el voltaje aplicado en los terminales 35-36 de la unidad. El voltaje de operación del 27G deberá definirse por debajo del valor mínimo de tercera armónica percibido bajo cualquier condición de carga durante la operación normal de la máquina. La función de medición de tercera armónica incluye la retención de los valores mínimos y máximos y las condiciones de la corriente de carga en los respectivos momentos.

#### **Visualizaciones de Medición del Interfaz Hombre-Máquina**

Abajo se presentan ejemplos de pantallas del interfaz hombre-máquina (HMI) para los valores medidos de carga, de demanda y máximos/mínimos capturados por el relé. (Ver figura 1.18)

**Valores de Carga**

Ia-L:	320	∠	344
Ib-L:	318	∠	224
Ic-L:	320	∠	104
IN:	0	∠	0
Ia-N:	320	∠	344
Ib-N:	318	∠	224
Ic-N:	320	∠	104
IG:	0	∠	0
Iop-A:	0	∠	0
Iop-B:	0	∠	0
Iop-C:	0	∠	0
kVan:	7.80	∠	0
kVbn:	7.80	∠	240
kVcn:	7.80	∠	120
V0:	0	∠	0
VBUS:	7.80	∠	0
kW-A:			2396
kW-B:			2380
kW-C:			2396
kW-3P:			7172
kVAR-A:			692
kVAR-B:			695
kVAR-C:			699
kVAR-3P:			2093
kWHr-A:			575040
kWHr-B:			571065
kWHr-C:			576110
kWHr-3P:			1722215
kVarHr-A:			165440
kVarHr-B:			164997
kVarHr-C:			165225
kVarHr-3P:			495662
I0:	0	∠	0
I1:	320	∠	344
I2:	2	∠	
kV1:	7.80		
kV2:	0.00		
PF:	0.00	Lagging	
Freq:	60.03		

**Valores de Demanda**

Ia:	305
Ib:	297
Ic:	302 ↓
IN:	8
kW-A:	2283
kW-B:	2225
kW-C:	2247
kW-3P:	6750
kVAR-A:	664
kVAR-B:	655
kVAR-C:	662
kVAR-3P:	1978

**3a. Armónica**

Max:	03/02/98	16:22
V <sub>0</sub> MAX	12.2	
at Ia	1344	∠ 104
at Ib	1344	∠ 0
at Ic	1344	∠ 0
at IN	0	∠ 0
Min:	02/17/98	08:23
V <sub>0</sub> MIN	4.6	
at Ia	56	∠ 0
at Ib	55	∠ 240
at Ic	56	∠ 120
at IN	0	∠ 0
Reset MinMax ?		

**Valores Máximos/Mínimos**

Max Ia:	425	08/20/94	16:25
Min Ia:	55	08/03/94	04:10
Max Ib:	405	08/20/94	16:30
Min Ib:	46	08/02/94	04:22
Max Ic:	415	08/20/94	16:18
Min Ic:	52	08/03/94	03:55
Max IN:	38	08/15/94	15:46
Min IN:	0	08/03/94	03:17
Max kW-A:	2983	08/20/94	16:25
Min kW-A:	432	08/03/94	04:10
Max kW-B:	2843	8/20/94	16:32
Min kW-B:	361	08/02/94	04:21
Max kW-C:	2913	08/20/94	16:19
Min kW-C:	408	08/04/94	03:55
Max kW-3P:	8885	08/20/94	16:23
Min kW-3P:	1140	08/02/94	03:58
Max kVAR-A:	1425	08/20/94	16:27
Min kVAR-A:	-120	08/03/94	04:02
Max kVAR-B:	1379	08/20/94	16:28
Min kVAR-B:	-117	08/02/94	04:24
Max kVAR-C:	1392	08/20/94	16:17
Min kVAR-C:	-124	08/03/94	03:52
Max kVAR-3P:	4160	08/20/94	16:19
Min kVAR-3P:	-355	08/02/94	04:12

**Figura 1.18** Valores medidos por el GPU 2000R.

### 1.3.3 Funciones de Protección

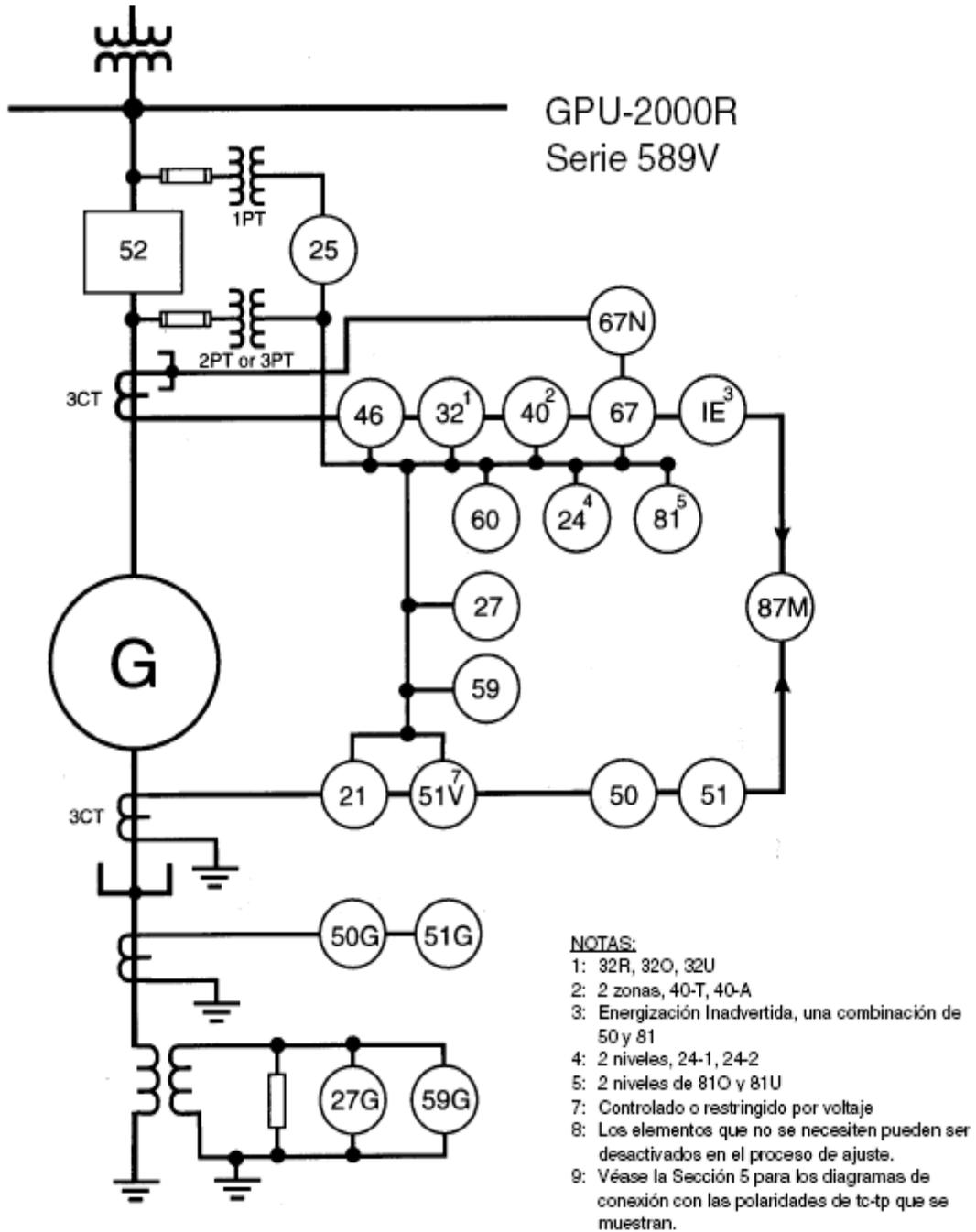


Figura 1.19 Elementos de Protección incluido en la unidad GPU 2000R.

<b>24</b>	Voltios por Hertz
<b>25</b>	Comprobación de Sincronismo
<b>27</b>	Bajo Voltaje
<b>27G</b>	Bajo Voltaje de 3a. Armónica de Tierra del Estator
<b>32R</b>	Potencia Inversa
<b>32O</b>	Sobrepotencia
<b>32U</b>	Baja Potencia
<b>40</b>	Pérdida de Excitación
<b>46</b>	Desequilibrio de Fase/Secuencia Negativa
<b>50P</b>	Sobrecorriente Instantánea de Fase
<b>50G</b>	Sobrecorriente Instantánea de Tierra
<b>50IE</b>	Energización Inadvertida
<b>51G</b>	Sobrecorriente Temporizada de Tierra
<b>51P</b>	Sobrecorriente Temporizada de Fase
<b>51V</b>	Sobrecorriente Temporizada Dependiente del Voltaje
<b>59</b>	Sobrevoltaje
<b>59G</b>	Tierra del Estator
<b>60</b>	Falla de Fusible
<b>67</b>	Sobrecorriente Temporizada Direccional de Fase
<b>67N</b>	Sobrecorriente Temporizada Direccional de Tierra
<b>81O</b>	Sobrefrecuencia
<b>81U</b>	Baja Frecuencia
<b>87</b>	Diferencial de Máquina

# 1.4 ESPECIFICACIONES DE LOS INTERRUPTORES

## 1.4.1 Interruptores de Circuito de Energía<sup>32</sup>.

Los interruptores son vitales para el funcionamiento seguro de una red eléctrica; la red eléctrica necesita cambiar constantemente la configuración de los circuitos.

Los interruptores de potencia de Alta Tensión<sup>33</sup> se utilizan en las redes de suministro de energía eléctrica para unir o separar partes de dichas redes, bien sea en condiciones normales de servicio o en caso de averías. Son necesarios en los generadores de electricidad, donde se ha de poder conectar y desconectar toda la potencia de una central eléctrica (gigavatios de electricidad), y en líneas de transmisión, en subestaciones, para dirigir el flujo de energía con tensiones de más de 1.500 kV. En el caso de producirse avería, el interruptor ha de separar las partes defectuosas de las redes, a ser posible, en el mismo instante de producirse.

Las redes están vigiladas por relés de protección, que, en caso de detectar un cortocircuito, envían un impulso de desconexión a los interruptores correspondientes. Es interesante que los relés realicen una protección selectiva, es decir, que eliminen a ser posible, solamente la parte de línea comprendida entre dos interruptores.

---

<sup>32</sup> <http://www.zensol.com/VE/compartir-pruebas-tiempo1.htm#1>

<sup>33</sup> [http://profesormolina2.webcindario.com/electromec/prot\\_linea\\_elec.htm](http://profesormolina2.webcindario.com/electromec/prot_linea_elec.htm)

Un interruptor puede controlar varios GVA de potencia en fracciones de segundo. Es tal la importancia de este dispositivo, que se han invertido decenas de miles de millones de dólares en su desarrollo durante los 100 últimos años.

#### **1.4.2 El reto de un interruptor<sup>34</sup>.**

Cuando se corta un cable bajo corriente, ésta se ve obligada a circular a través de una sección progresivamente menor de hilo. Esta concentración de la corriente produce calor y una posible vaporización del hilo remanente. Pero, incluso cuando se ha cortado el cable por completo, puede seguir circulando corriente a través de un arco eléctrico que se forma en los gases ionizados (plasma) entre los contactos abiertos. La corriente *sólo puede interrumpirse entonces mediante un interruptor capaz de extinguir este arco.*

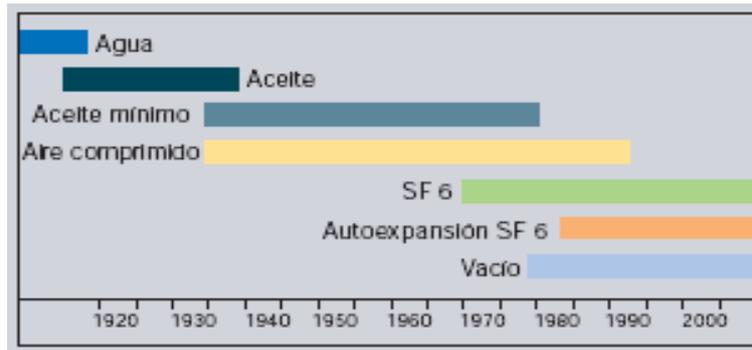
Los arcos eléctricos tienen una energía enorme: su temperatura puede superar los 50.000°C y se pueden dar presiones de hasta 100 MPa contenidas en un volumen de menos de un litro. El intenso calor del arco se puede dispersar mediante la aplicación de un gas a alta presión o mediante el flujo gaseoso causado por la vaporización del medio interno, que se produce como resultado de la formación del arco.

En la figura 1.20 se resumen los diversos tipos de interruptores utilizados durante los 100 últimos años por ASEA y Brown Boveri y, más recientemente, por ABB.

---

34

[http://library.abb.com/global/scot/scot271.nsf/veritydisplay/047b0b97ebd23dbcc125728f004cf83e/\\$File/75-78%201M720\\_SPA72dpi.pdf](http://library.abb.com/global/scot/scot271.nsf/veritydisplay/047b0b97ebd23dbcc125728f004cf83e/$File/75-78%201M720_SPA72dpi.pdf)



**Figura 1.20** Resumen de los interruptores usados por años.

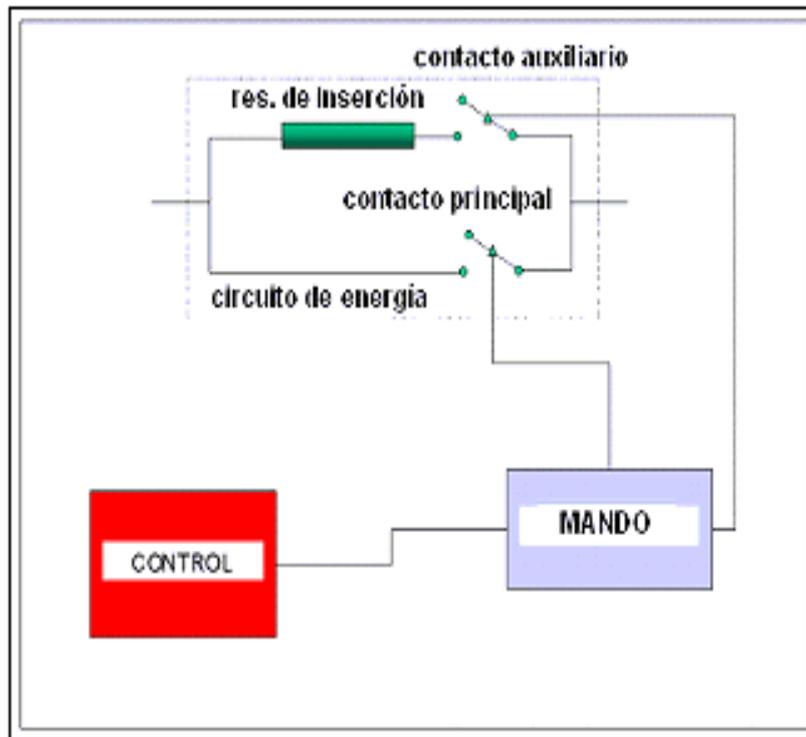
En los comienzos del desarrollo, pronto aparecieron interruptores de agua y aceite, que operaban a niveles muy bajos de corriente y tensión.

### 1.4.3 Descripción General de los Interruptores.

Su estructura puede dividirse en:

#### 1.4.3.1 Circuitos de Energía.

Es donde la corriente principal fluye o es interrumpida, e incluye:

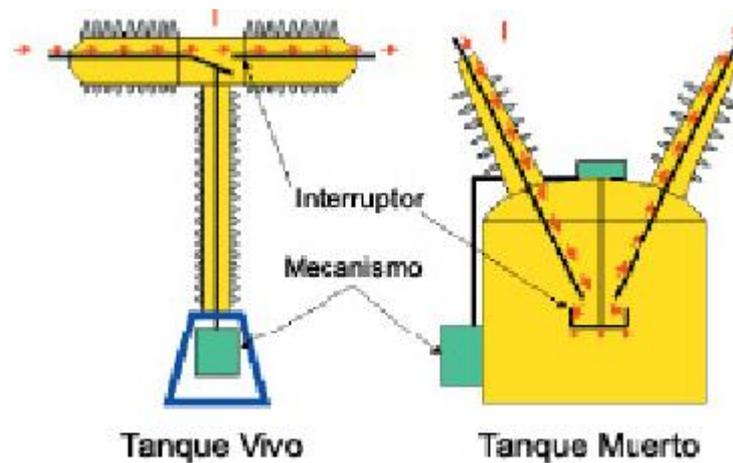


**Figura 1.21** Circuito de Energía.

**a. Cámara de arco.**

La cámara de arco es un volumen cerrado que contiene un contacto fijo, un contacto móvil y un medio de interrupción. Se establece una corriente cuando el contacto móvil toca al contacto fijo y se interrumpe cuando éstos se separan. Se crea un arco cuando los contactos se separan. El medio para la interrupción es responsable de extinguir el arco y de establecer el nivel nominal de aislamiento entre los contactos abiertos. Se pueden conectar varias cámaras en serie para soportar mayores niveles de voltaje; en este caso se instala un condensador de mayor capacidad en paralelo con cada cámara para balancear el voltaje a través de los contactos cuando éstos se separan.

La corriente pasa a través del material conductor en la cámara de interrupción. Se unen varias partes para formar el material conductor. Las diferentes uniones forman los contactos eléctricos.



**Figura 1.22** Circulación de Corriente por la cámara de arco<sup>35</sup>.

## b. Resistencias de Inserción.

La modificación abrupta de las características del circuito cuando opera el interruptor, produce impulsos de voltajes picos, siendo el nivel determinado por las características del circuito. Estos impulsos pueden alcanzar niveles muy altos y deben reducirse.

Un método muy conocido es el cierre y apertura de las resistencias en dos o tres etapas:

### - En la Apertura.

Los niveles de impulsos de voltaje son aceptables cuando interrumpen corrientes nominales o corrientes de cortocircuito, pero pueden ser muy peligrosos cuando interrumpen corrientes de pequeñas capacitancias o corrientes inductivas.

<sup>35</sup> [http://www.zensol.com/Articles/Zensol\\_EneFeb2007.pdf](http://www.zensol.com/Articles/Zensol_EneFeb2007.pdf)

#### - **En el Cierre.**

La abrupta energización de un circuito siempre genera impulsos de voltaje con niveles habitualmente moderados, a excepción de los cierres o recierres sobre líneas largas y sin carga donde los impulsos pueden alcanzar niveles extremos en función de la longitud de la línea, del momento de cierre o de recierre, y de la discrepancia de los tres polos.

#### **c. Conexión.**

Se coloca una resistencia con un valor predeterminado en serie con un contacto auxiliar. Ambos se instalan en paralelo con la cámara principal de arco.

El switch auxiliar está programado para cerrarse unos milisegundos antes que los contactos principales en el cierre y para abrir unos milisegundos después de la apertura de los contactos principales en el disparo. A este retraso programado se la llama tiempo de inserción.

#### **1.4.3.2 Mecanismos de Operación.**

Es donde se desarrolla la energía requerida para separar los contactos y para extinguir el arco. Incluye accesorios llamados acumuladores de energía para almacenar la energía necesaria.

Algunos ejemplos de acumuladores son:

- Resortes.
- Cilindros cargados de nitrógeno.

Los mecanismos de operación más comunes en los interruptores son:

- Operados por resortes.
- Operados hidráulicamente.
- Operados neumáticamente.

#### **1.4.3.3 Control.**

La orden para operar el interruptor se lanza desde la parte de control del interruptor, en la forma de un impulso eléctrico con una duración de una fracción de segundo. Luego la orden es amplificada en el mecanismo de operación para completar la operación del interruptor capaz de interrumpir las corrientes de cortocircuito.

El control incluye:

- Bobinas de cierre y de apertura.
- Sistemas de relés de control.
- Manómetros y switches de presión.
- Sistemas de vigilancia y de alarmas.
- Sistemas de reinflación para restaurar la energía que se consume en la operación.

#### **1.4.4 Medios de Interrupción**

Uno de los mayores factores que influyen en la capacidad de los interruptores es el medio de interrupción. Esto afecta el concepto y diseño de los interruptores. Un gran número de substancias tienen calidades aceptables como para servir como medios de interrupción.

Debido a sus excelentes propiedades de ruptura y de aislamiento que llevan a diseños económicos y de alto rendimiento éstos medios de interrupción son:

##### **1.4.4.1 Aceites minerales.**

El aceite mineral tiene una excelente capacidad de interrupción y de aislamiento, especialmente cuando es muy puro, como cuando se utiliza con ciertos equipos tales como los condensadores o los transformadores, los cuales son equipos de cierre herméticos. Sin embargo, los interruptores tienen orificios de ventilación y el aceite está en contacto con el arco.

Por lo tanto, se encuentra en el aceite del interruptor una cierta cantidad de impurezas, en la forma de humedad y diversos tipos de suciedad, incluyendo partículas de carbón. Esto disminuye significativamente sus propiedades de aislamiento. Por lo que se torna imperativo monitorear el estado en que se encuentra el aceite dentro del interruptor en servicio, para reemplazarlo periódicamente en función del número de interrupciones que se deban realizar con este equipo. El criterio para reemplazar el aceite dependerá de la estructura de los interruptores, la cual es indicada por el fabricante.

#### **1.4.4.2 Aire comprimido.**

La calidad del aislamiento del aire aumenta rápidamente con su presión. En la práctica podemos contar con una interrupción del voltaje de hasta 90 kV entre contactos separados por presiones de 1 cm a 10 bars, y 1.5 veces este valor para la misma distancia a una presión de 20 bars. El aire comprimido era usado principalmente para lograr interrupciones en los diseños antiguos de interruptores neumáticos.

Más tarde fue utilizado como aislamiento entre los contactos después que éstos eran abiertos, siendo colocados dentro de una cámara de aislamiento diseñada para resistir la presión del aire. Esto reduce significativamente la distancia entre los contactos abiertos.

#### **1.4.4.3 Hexafluoruro de azufre, o SF<sub>6</sub>.**

Ciertos gases, llamados electronegativos, tiene mayor calidad de aislamiento que el aire. Entre ellos está el hexafluoruro de azufre, SF<sub>6</sub>, que ha tenido mucho éxito en el diseño de aparatos eléctricos porque tienen excelentes propiedades de aislamiento e increíbles propiedades de extinción de arco. Son cinco veces más pesados que el aire, sin olor, sin color, no es inflamable y no es tóxico cuando está nuevo. Su esfuerzo dieléctrico es tres veces la del aire dieléctrico.

El SF<sub>6</sub> es un gas en temperaturas normales, y a la presión atmosférica se vuelve líquido a -60°C, y a 20 bars se vuelve líquido a 20°C, lo cual es muy negativo para sus calidades de aislamiento.

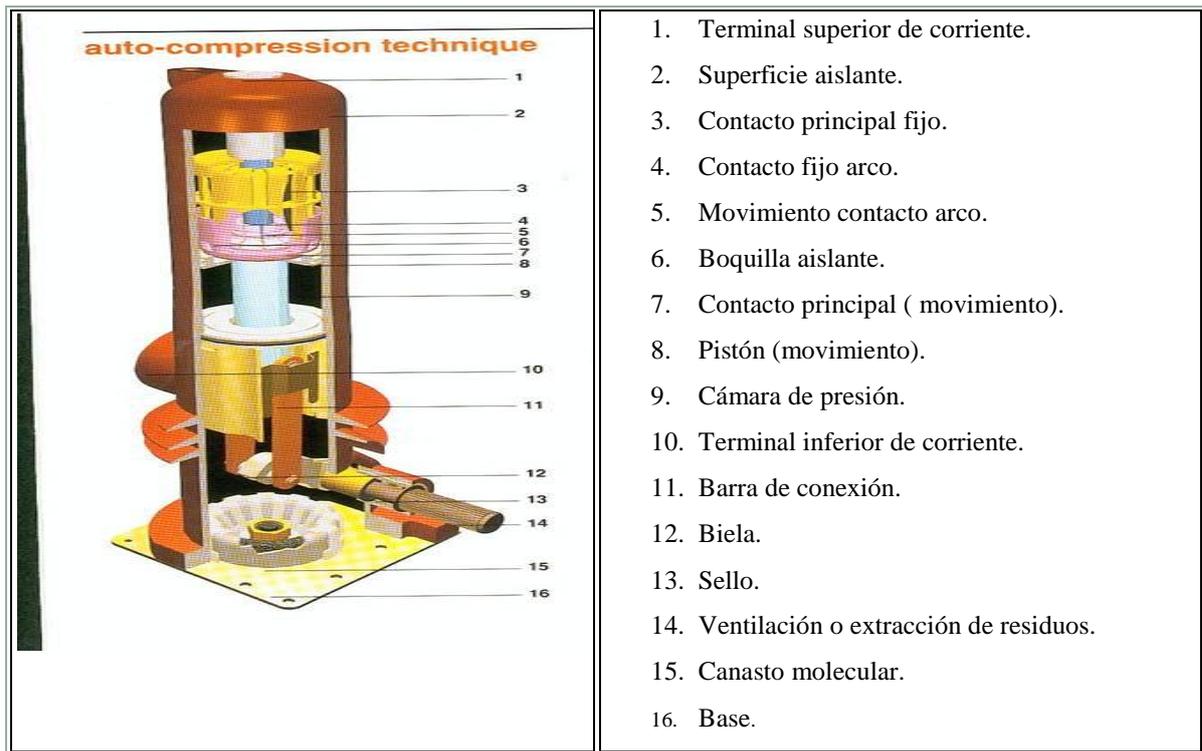


Figura 1.23 Ejemplo interruptor SF6 en el mercado<sup>36</sup>.

#### 1.4.5 Tipos de Interruptores.

*El presente proyecto de tesis detallará concretamente los Interruptores de Aceite ya que estos son los utilizados en la Central Illuchi 1.*

Los interruptores están clasificados en familias de acuerdo al tipo de medio de interrupción usado. El principal problema de estos se deriva de la naturaleza misma de su existencia.

Un interruptor debe interrumpir desde corrientes débiles capacitivas o inductivas hasta elevadas corrientes de cortocircuitos, y extinguir los potentes arcos eléctricos resultantes.

<sup>36</sup> [http://patricioconcha.ubb.cl/eleduc/public\\_www/capitulo1/interruptores.html](http://patricioconcha.ubb.cl/eleduc/public_www/capitulo1/interruptores.html)

El problema es entonces, esencialmente, *un problema en el arco*. Otro inconveniente son los impulsos de sobretensiones; esto se relaciona a la naturaleza del circuito donde esté instalado.

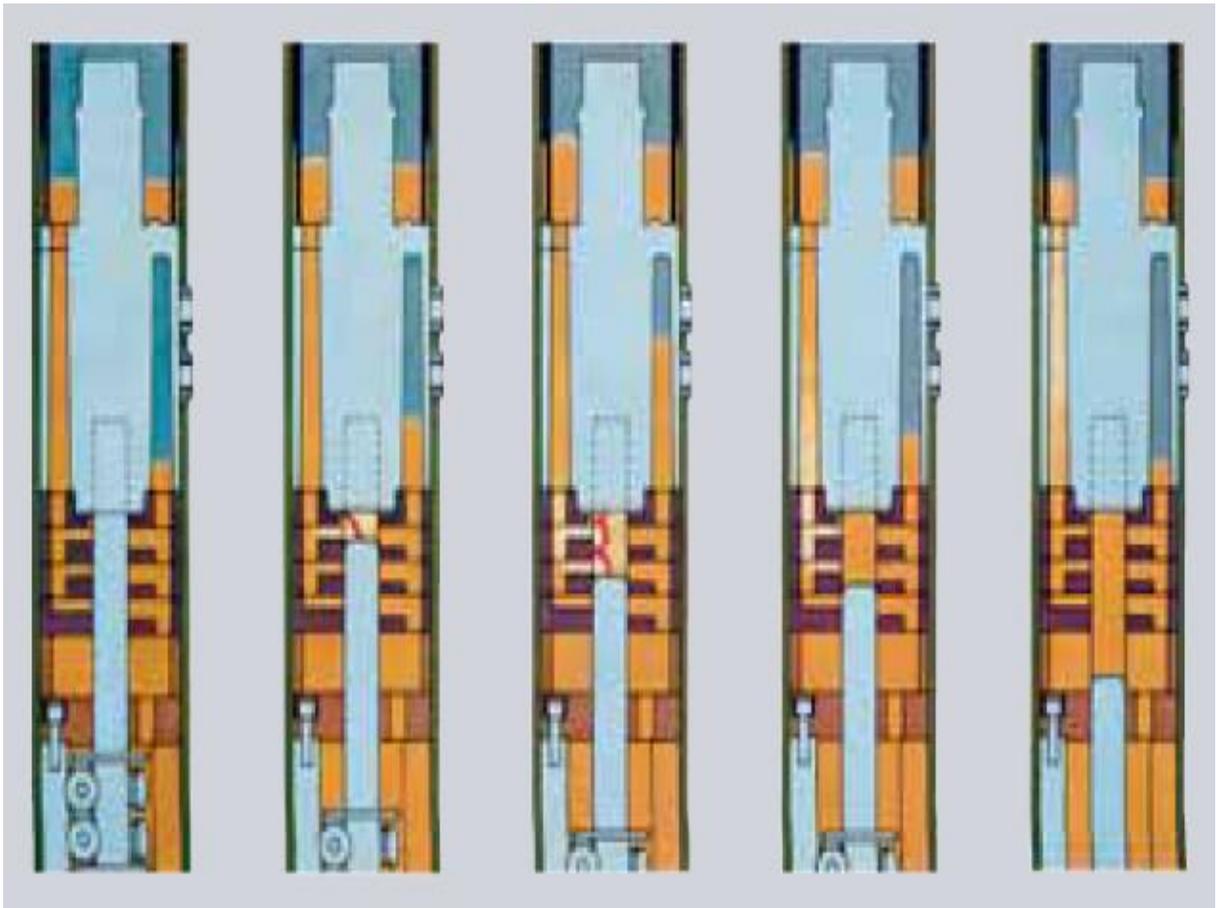
#### **1.4.5.1 Interruptores de Aceite.**

En un interruptor de aceite, el arco descompone parte del aceite en gases compuestos de 70% Hidrogeno y 20% Acetileno, y también produce partículas de carbón.

##### **a) Principio de Funcionamiento**

Los contactos en estos interruptores inicialmente estaban integrados en un gran depósito, lleno del medio elegido. En estas condiciones, la formación del arco originaba la ionización del medio con producción de hidrógeno. Cuando la corriente se aproximaba a cero (por ejemplo, cada 10 ms en un sistema alterno a 50 Hz), la elevada presión del medio vaporizado comprime el canal del arco lleno de gas.

Esto hacía que el medio entre los contactos de apertura perdiera casi toda su conductividad, extinguiendo, por tanto, el arco. El principio en que se basa este interruptor se muestra en la figura 1.24.



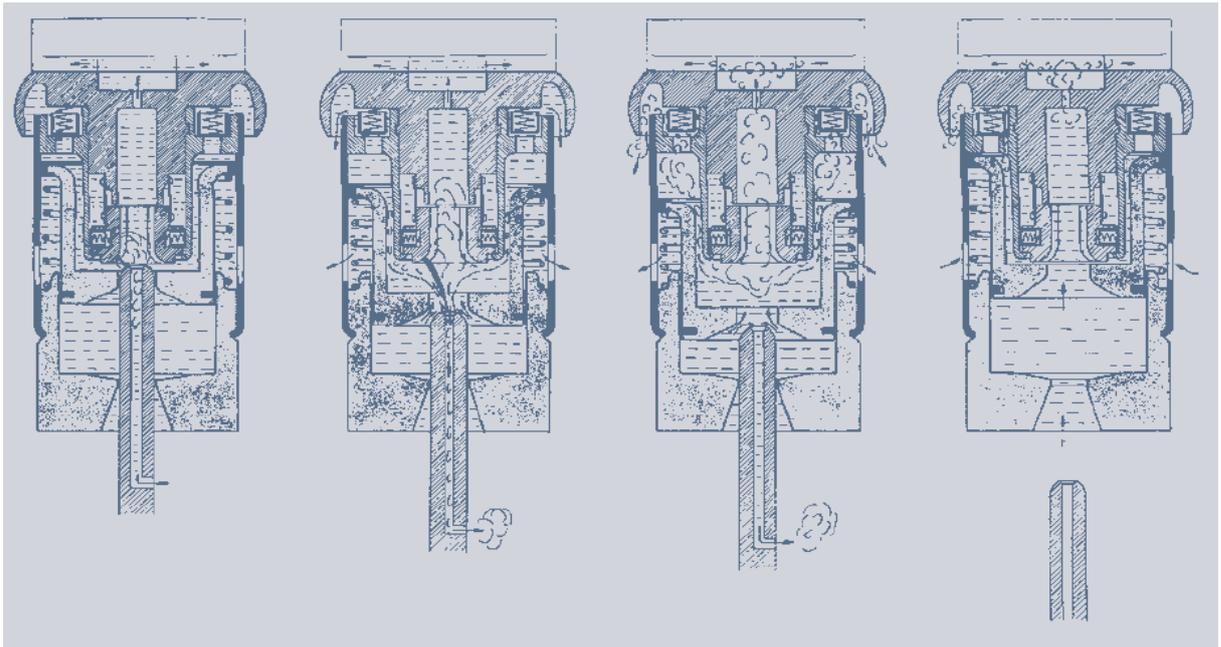
**Figura 1.24** Secuencia de apertura de contactos de un interruptor de mínimo aceite en corriente de cortocircuito.

En resumen, cuando la corriente forma un arco en el aceite, el medio se vaporiza y se forma una burbuja alrededor del arco.

Este gas a alta presión, que es hidrógeno en casi un 80 por ciento, inhibe la ionización y se desplaza por los canales que rodean el arco. Esto aumenta la convección en el aceite, que ayuda a refrigerar los residuos del arco cuando la corriente está próxima a cero. Este principio de convección inducida por el arco fue usado después en el interruptor de “autoinyección”.

Los interruptores de mínimo aceite funcionan mejor con altas corrientes, que provocan un aumento brusco de presión y fuerte convección.

Con corrientes más bajas, durante el funcionamiento normal, el efecto de autoinyección no puede desarrollarse completamente sin la ayuda de un pistón móvil que favorezca la convección.



**Figura 1.25** Funcionamiento de la cámara de compresión durante el corte de corriente.

En estos interruptores, en el momento de la apertura la corriente forma un arco y la presión en la cámara superior crece notablemente, haciendo que se desplace el pistón entre las dos cámaras. En un punto determinado, una abertura en el pistón pasa por el contacto móvil, originando un fuerte flujo axial de aceite desde la cámara inferior, que enfría el arco. El aceite es un buen aislante eléctrico y, cuando se abre el interruptor, puede aislar la tensión de la red a través de los contactos.



**Figura 1.26** Interruptores de Potencia de la Central Illuchi 1.

## **CAPÍTULO II**

### **ADQUISICIÓN, ACONDICIONAMIENTO DE DATOS Y CONTROL DE LOS INTERRUPTORES.**

#### **2.5 GENERALIDADES.**

##### **2.1.1 Procesamiento de Datos en Tiempo Real (RT) <sup>37</sup>**

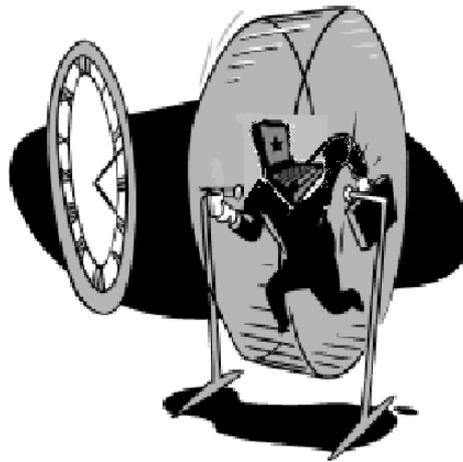
Un sistema en tiempo real es un sistema informático que interacciona repetidamente con su entorno físico, respondiendo a los estímulos que recibe del mismo dentro de un plazo de tiempo determinado, invariante y constante.

Para que el funcionamiento del sistema sea correcto no basta con que las acciones sean adecuadas, sino que tienen que ejecutarse dentro del intervalo de tiempo especificado. Un sistema de tiempo real debe de ser capaz de procesar una muestra de señal antes de que ingrese al sistema la siguiente muestra.

---

<sup>37</sup> <http://www.esnips.com/doc/fdb1e6dc-0f3a-4c5f-acff-079959edfcf6/InstrumentacionVirtualIndustrial.pdf>

Estos sistemas responden a estímulos externos dentro de un tiempo finito y especificado, configurando directamente el procesador del computador de forma tal que la prioridad del sistema operativo sea atender las instrucciones del software de tiempo real en los períodos de tiempo determinados para tal acción.



**Figura 2.1** Animación Tiempo Real.

#### **2.1.1.1 Elementos de un Sistema RT:**

- **Medición:** Es el proceso de adquisición, monitoreo, u obtención de la información acerca del estado actual del proceso.
- **Control:** Ejecución del algoritmo de control de acuerdo a los valores medidos.
- **Actuación:** Envío de señales para alterar el estado actual del elemento final de control.
- **Interfaz:** Interfaces de la PC con el operador.

#### **2.1.1.2 Características de un Sistema RT:**

- **Concurrencia:** Quiere decir que estos sistemas se componen de un conjunto de actividades las cuales están realizándose en paralelo.

- **Dependencia del Tiempo:** Se pueden ejecutar tareas en respuesta a señales externas o periódicamente.
- **Fiabilidad y Tolerancia a Fallos:** Deben funcionar aún en presencia de fallos o averías parciales (normalmente mediante elementos redundantes).
- **Interacción con el Hardware:** Para su conexión con el exterior.
- **Manipulación de Números Reales:** Adquiridos de medidas del exterior mediante interfaces.
- **Eficiencia:** Es deseable una implementación eficiente.
- **Tamaño y Complejidad:** Suelen ser grandes y por lo tanto es deseable usar técnicas modulares.

#### 2.1.1.3 Requisitos de un Sistema RT:

- **Brindar fiabilidad:** Se debe evitar los errores o fallas en el sistema.
- **Brindar seguridad:** Solo personal autorizado debe ser capaz de entrar y modificar atributos del programa.
- **Ser concurrentes:** Es decir que debe poder ejecutar diversas acciones en forma paralela.
- **Ser interactivos:** Deben ser capaces de manejar herramientas para manipular parámetros temporales, y dispositivos de entrada/salida.

#### 2.1.1.4 Control en Tiempo Real

El diseño de un controlador en tiempo real consiste en implementar las funciones matemáticas correspondientes al algoritmo de control deseado, usando el software y el sistema operativo RT adecuado para el proceso que se desea controlar.

a) Factores a tener en cuenta:

- Concurrencia o paralelismo potencial, es decir la ejecución de múltiples procesos.
- Escoger el software adecuado para la implementación del algoritmo.
- Sincronización: Es la satisfacción de condiciones de interdependencia en la acción de diferentes procesos.
- Comunicación entre procesos, dispositivos, y computadora.

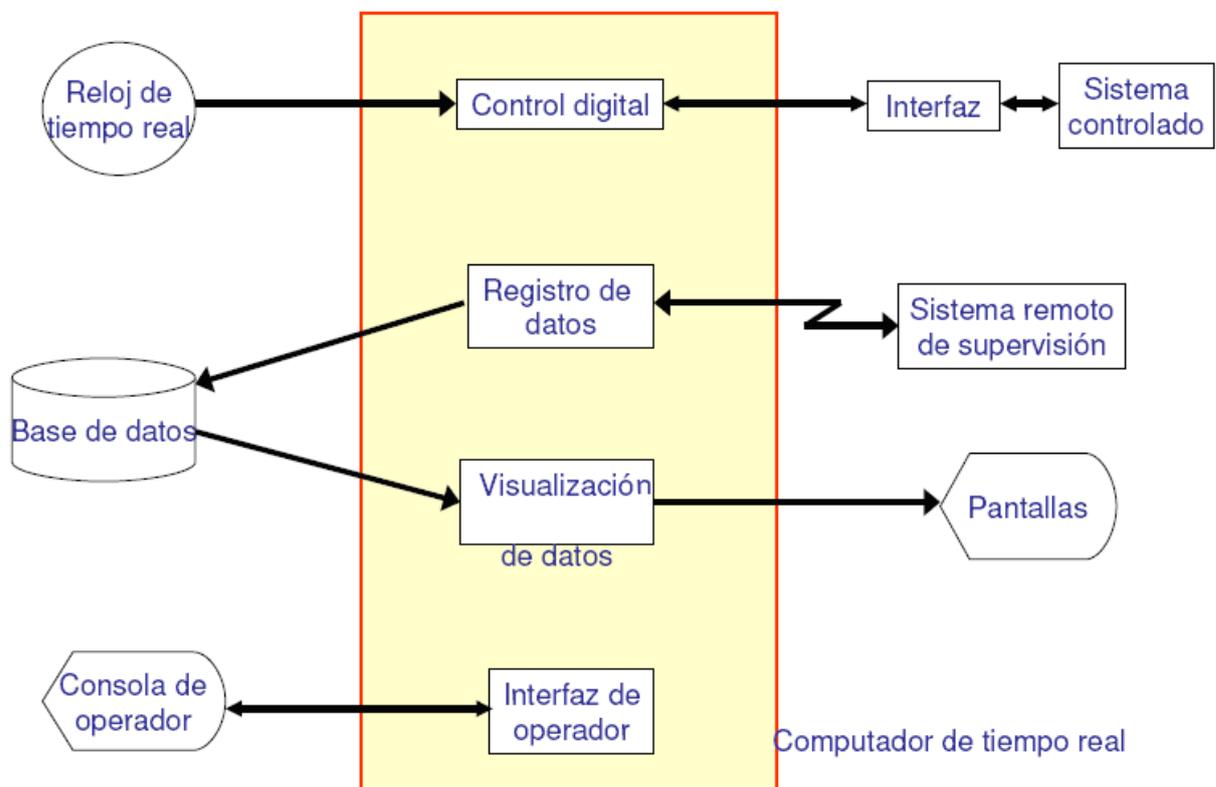
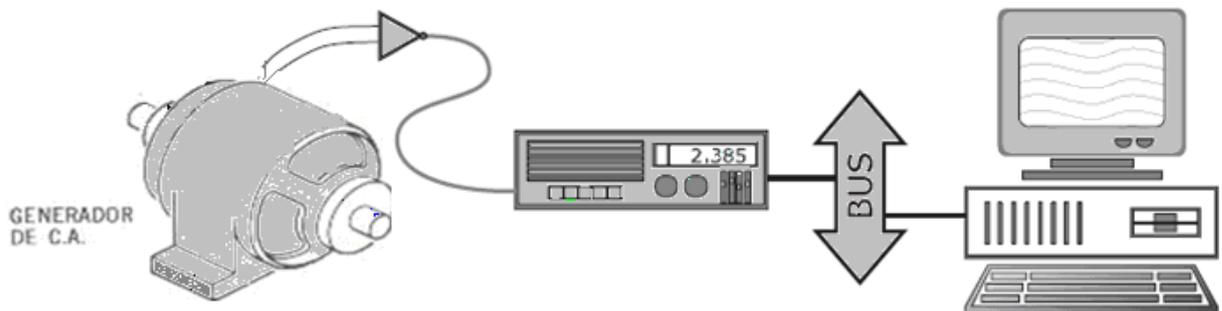


Figura 2.2 Estructura de un Sistema de Tiempo Real <sup>38</sup>.

La medición de una variable de un sistema cualquiera involucra los siguientes elementos:

<sup>38</sup> <http://laurel.datsi.fi.upm.es/~ssoo/STR/>

- Un sensor que responda a la variable deseada.
- Una etapa electrónica de condicionamiento de la señal.
- Instrumentación, para cuantificar la señal.
- Bus de comunicación.
- Un ordenador que controle los instrumentos y almacene los datos.



**Figura 2.3** Esquema general de un sistema de medición informatizado<sup>39</sup>.

La salida que proporciona el sensor no siempre se puede conectar directamente al aparato de medida. Los motivos son variados; es necesario entonces “preprocesar” la señal antes de que llegue al instrumento.

Durante la última década, el funcionamiento de las redes de ordenadores ha cambiado enormemente. Hace diez años, las redes de ordenadores se consideraban como herramientas extrañas para la investigación y sólo las utilizaban algunos especialistas.

Hoy en día, es más común ver que los ordenadores, considerados en una escala que va desde los ordenadores personales hasta los superordenadores, se encuentren como parte constitutiva de una red.

<sup>39</sup> [http://fisica.unav.es/~angel/smad\\_2005\\_c.pdf](http://fisica.unav.es/~angel/smad_2005_c.pdf)

En estos días casi todo el mundo conoce los objetivos de las redes de computadores: compartición de recursos, intercambio de información entre dos unidades de la red, conseguir una transmisión fiable y lo más rápida posible, reducción de los costos.

El realizar la medición de energía eléctrica, estriba en el hecho de que esta no se puede almacenar, por lo que se hace necesario tener una medición exacta en los consumos de energía.

## 2.6 ADQUISICIÓN, PROCESAMIENTO DE DATOS<sup>40</sup>.

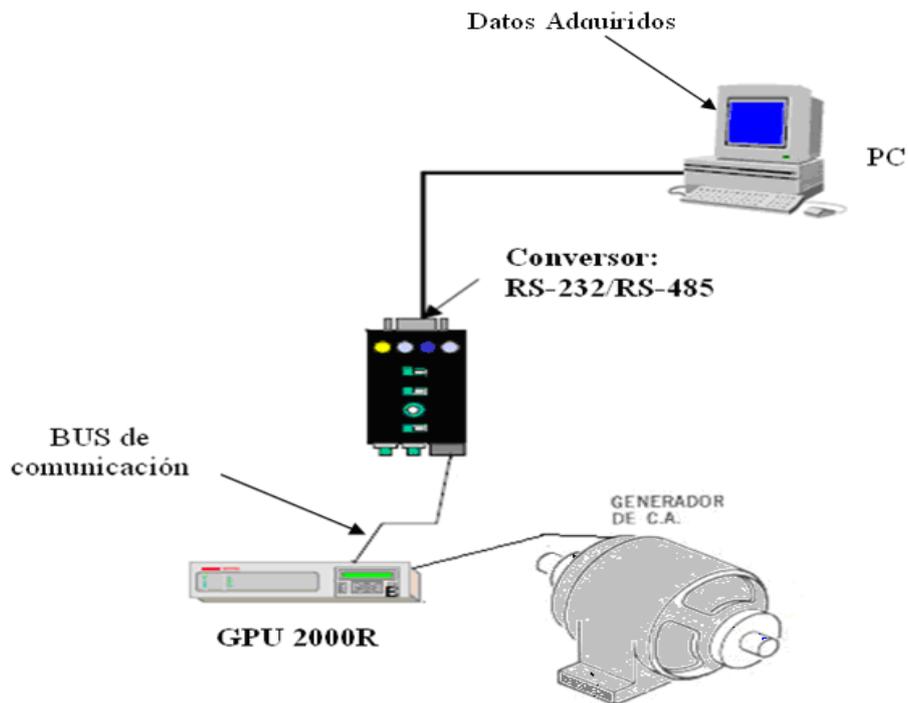
La medición de la generación eléctrica es de suma importancia e interés por parte de las diferentes centrales hidroeléctricas, termoeléctricas, etc., siendo el GPU 2000R uno de los instrumentos empleados para dicha medición y protección, los cuales proporcionan una medición precisa.

Es importante mencionar que debido a la forma de procesamiento de la información en los diseños digitales, se pueden incluir características adicionales a los Medidores, lo que los hace más versátiles.

El presente proyecto de tesis muestra las ventajas del procesamiento digital de la información apoyados de una computadora personal y lenguajes de programación gráficos.

---

<sup>40</sup> <http://www.esnips.com/doc/fdb1e6dc-0f3a-4c5f-acff-079959edfcf6/InstrumentacionVirtualIndustrial.pdf>



**Figura 2.4** Sistema de Adquisición de datos utilizado.

La adquisición de datos consiste básicamente en captar una señal física y llevarla a una computadora, esto significa tomar un conjunto de variables mensurables en forma física y convertirlas en tensiones eléctricas, de tal manera que se puedan utilizar o puedan ser leídas en la PC.

Es necesario que la señal física pase por una serie de etapas que le permitan a la computadora ser capaz de interpretar la señal enviada. Una vez que las señales eléctricas se transformaron en digitales dentro de la memoria de la PC, se las puede procesar con un programa de aplicación adecuado al uso que el usuario desea.

De la misma manera que se toma una señal eléctrica y se transforma en una digital dentro del ordenador, se puede tomar una señal digital o binaria y convertirla en una eléctrica, de esta manera la PC puede enviar señales hacia dispositivos actuadores.

### 2.2.1 Etapas de la Adquisición de Datos del Sistema.

La señal física pasa por una serie de etapas para poder ser leída por la computadora, estas son:

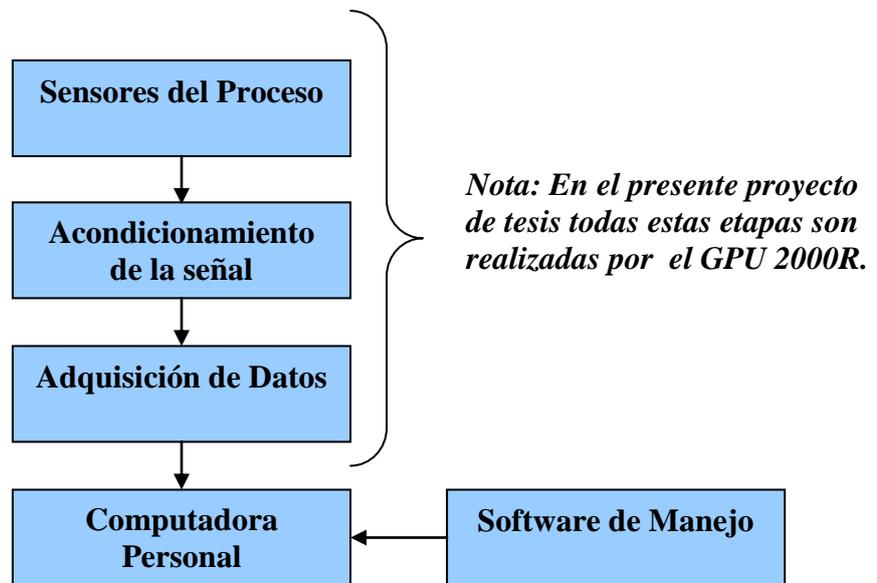


Figura 2.5 Etapas de la Adquisición de Datos.

#### - Etapa de sensores:

Las corrientes y voltajes de líneas son sensadas utilizando sensores de corriente especiales y divisores de voltaje resistivos respectivamente.

#### - Etapa de acondicionamiento:

Contiene circuitos electrónicos encargados de transformar las señales de sensado en nuevas variables eléctricas, de forma que sean más fáciles de tratar por el resto de etapas

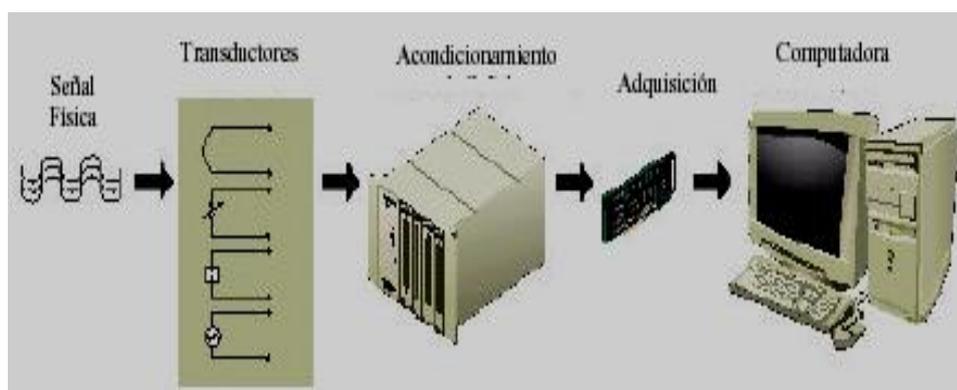
del sistema. La multiplicación y otros cálculos son desarrollados utilizando un circuito integrado propio del medidor. Este circuito integrado es un procesador de señal digital (DSP) con convertidores analógico-digital incorporados (A/D) capaces de muestrear cada entrada de voltaje y corriente.

– **Etapa de adquisición:**

Efectúa la transformación de la información analógica a un formato digital, lo que hace posible un posterior procesamiento y almacenamiento.

– **Etapa de procesamiento:**

Tiene lugar dentro de la computadora, consiste en la realización de operaciones sobre la información digital obtenida: decisiones para el control de un sistema, detección de situaciones de alarma, corrección de medidas, almacenamiento y reportes de información, etc.



**Figura 2.6** Sistema General de adquisición de datos<sup>41</sup>

<sup>41</sup> <http://www.redeya.com/electronica/tutoriales/adatos/adquisicion.html>

## 2.2.2 Acondicionamiento de Señales.

El acondicionamiento de señales, incluye funciones como amplificación, filtrado, aislamiento eléctrico y multiplexeo.

Por lo general las señales eléctricas de campo vienen contaminadas de ruido, armónicos, caídas de voltaje o corriente, y otros fenómenos que distorsionan la señal. Además el común de las tarjetas de adquisición de datos están diseñadas para recibir señales de corriente en un rango de 4-20 mA y/o señales de voltaje en un rango de -5 a 5 Vdc., por tanto es necesario que las señales eléctricas sean limpiadas y llevadas dentro de estos rangos.

El acondicionamiento de señal es opcional, porque dependiendo de cada señal y/o aplicación, se puede o no requerir amplificación, atenuación, filtraje, aislamiento, etc. de cada señal.

Si la señal está en el rango de los +/- 5Vdc y no se requiere de aislamiento o filtraje, la misma puede ser conectada directamente a la tarjeta de adquisición de datos. En esta etapa de acondicionamiento podemos encontrar estas subetapas, aunque no todas están siempre presentes:

### - **Amplificación.**

Para conseguir la mayor precisión posible la señal de entrada deber ser amplificada de modo que su máximo nivel coincida con el máximo nivel que el convertidor o tarjeta pueda leer, de este modo se aprovecha todo el rango del dispositivo.

- **Aislamiento.**

El aislamiento eléctrico entre el transductor y el ordenador, es importante para proteger a estos de transitorios de alta tensión que puedan dañarlo. Un motivo adicional para usar aislamiento es el garantizar que las lecturas del convertidor no son afectadas por diferencias en el potencial de masa o por tensiones en modo común. Cuando el sistema de adquisición y la señal a medir están ambas referidas a masa pueden aparecer problemas si hay una diferencia de potencial entre ambas masas, apareciendo un "bucle de masa", que puede devolver resultados erróneos.

- **Multiplexado.**

El multiplexado es la conmutación de las entradas del convertidor, de modo que con un sólo convertidor podemos medir los datos de diferentes canales de entrada. Puesto que el mismo convertidor está midiendo diferentes canales, su frecuencia máxima de conversión será la original dividida por el número de canales muestreados.

- **Filtrado.**

El fin del filtro es eliminar las señales no deseadas de la señal que se está observando. Las señales alternas, tales como la vibración, necesitan un tipo distinto de filtro, conocido como filtro antialiasing, que es un filtro pasabajo pero con un corte muy brusco, que elimina totalmente las señales de mayor frecuencia que la máxima a medir, ya que si no se eliminasen aparecerían superpuestas a la señal medida, con el consiguiente error.

- **Excitación.**

La etapa de acondicionamiento de señal a veces genera excitación para algunos transductores, como por ejemplos las galgas extensiométricas, termistores o RTD, que necesitan de la misma, bien por su constitución interna, (como el termistor, que es una resistencia variable con la temperatura) o bien por la configuración en que se conectan (como el caso de las galgas, que se suelen montar en un puente de Wheatstone).

- **Linealización.**

Muchos transductores presentan una respuesta no lineal ante cambios lineales en los parámetros que están siendo medidos. Aunque la linealización puede realizarse mediante métodos numéricos en el sistema de adquisición de datos, suele ser una buena idea el hacer esta corrección mediante circuitos externos.

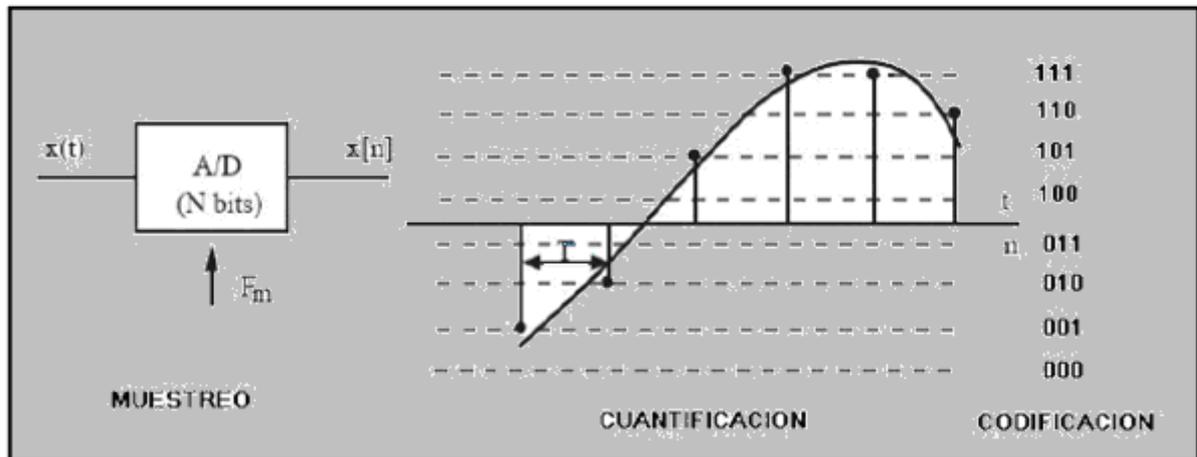
## **2.2.3 Digitalización de Señales**

### **2.2.3.1 Convertidor A/D D/A.**

Las señales son las ondas que permiten la comunicación de un punto a otro, las señales eléctricas pueden ser continuas (analógicas) o discretas (digitales).

Los instrumentos de campo se comunican por lo general mediante señales analógicas, mientras que la computadora y demás dispositivos electrónicos trabajan con señales digitales. Por tanto el paso de un tipo a otro tipo implica una conversión.

Un convertidor Analógico/Digital es un dispositivo que presenta en su salida una señal digital (binaria) a partir de una señal analógica de entrada, (normalmente de tensión) realizando las funciones de muestreo, cuantificación y codificación.



**Figura 2.7** Etapas de un convertidor A/D.

En la etapa de muestreo, el convertidor toma muestras de la entrada a un ritmo regular dado por la frecuencia de muestreo  $F_m$  o, lo que es equivalente a tomar una muestra en un tiempo  $T = 1/F_m$ .

Según la Condición de Nyquist, la frecuencia de muestreo mínima debe ser de dos veces la frecuencia de la onda analógica que se quiere discretizar.

La cuantificación implica la división del rango continuo de entrada en una serie de pasos ( $2^N$ ) donde  $N$  es el número de bits, de modo que para infinitos valores de la entrada la salida sólo puede presentar una serie determinada de valores. Por tanto la cuantificación implica una pérdida de información a menor cantidad de bits.

La codificación es el paso por el cual la señal digital se ofrece según un determinado código binario, de modo que las etapas posteriores al convertidor puedan leer estos datos adecuadamente.

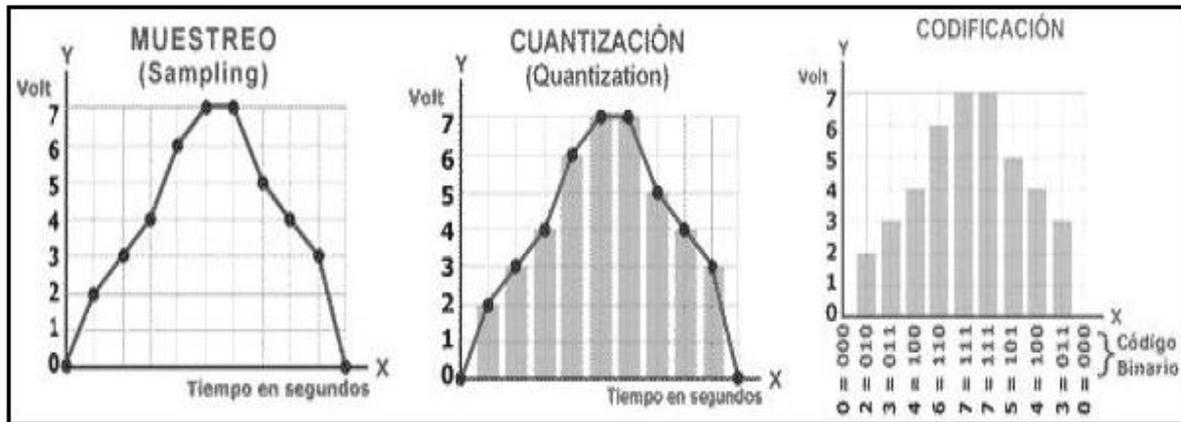


Figura 2.8 Muestreo, Cuantificación y Codificación de la señal.

Un convertidor Digital/Analógico es un dispositivo que emite una señal analógica a partir de una señal de entrada digital. Esto lo logra mediante el proceso inverso al convertidor A/D.

#### 2.2.4 Introducción a la Instrumentación Virtual<sup>42</sup>.

Muchas veces la realización de una medida requiere la intervención de varios instrumentos, unos generan estímulos sobre el dispositivo que se pretende medir y otros recogen la respuesta a estos estímulos. Este conjunto de instrumentos que hace posible la realización de la medida recibe el nombre de sistema de instrumentación.

<sup>42</sup> <http://www.esnips.com/doc/fdb1e6dc-0f3a-4c5f-acff-079959edfcf6/InstrumentacionVirtualIndustrial.pdf>

Todo sistema de instrumentación consta de unos instrumentos, un sistema de interconexión de estos instrumentos y un controlador inteligente que gestiona el funcionamiento de todo el sistema y da las órdenes para que una medida se realice correctamente.



**Figura 2.9** Instrumento Virtual.<sup>43</sup>

Un instrumento virtual consiste de una computadora del tipo industrial, o una estación de trabajo, equipada con poderosos programas (software), hardware económico, tales como placas para insertar, y manejadores (drivers) que cumplen, en conjunto, las funciones de instrumentos tradicionales.

Los instrumentos virtuales representan sistemas centrados en el software que aprovechan la potencia de cálculo, productividad, exhibición y capacidad de conexión de las populares computadoras de escritorio y estaciones de trabajo. Con los instrumentos virtuales, los ingenieros y científicos construyen sistemas de medición y automatización que se ajustan exactamente a sus necesidades (definidos por el usuario) en lugar de estar limitados por los instrumentos tradicionales de funciones fijas (definidos por el fabricante).

---

43

[http://a1989.g.akamai.net/f/1989/7101/1d/www3.festo.com/C1256D56002E7B89.nsf/html/PSI\\_808\\_2\\_es.pdf/\\$FILE/PSI\\_808\\_2\\_es.pdf](http://a1989.g.akamai.net/f/1989/7101/1d/www3.festo.com/C1256D56002E7B89.nsf/html/PSI_808_2_es.pdf/$FILE/PSI_808_2_es.pdf)

El concepto de instrumentación virtual nace a partir del uso de la computadora personal, como forma de reemplazar equipos físicos por software, permite a los usuarios interactuar con la computadora como si estuviesen utilizando un instrumento real.

El usuario manipula un instrumento que no es real, se ejecuta en una computadora, tiene sus características definidas por software, pero realiza las mismas funciones que un equipo real.

La idea es sustituir y ampliar elementos "hardware" por otros "software", para ello se emplea un procesador que ejecute un programa específico, este programa se comunica con los dispositivos para configurarlos y leer sus medidas.



**Figura 2.10** Software de Instrumentación Virtual<sup>44</sup>

El concepto de instrumentación virtual implica adquisición de señales, el procesamiento, análisis, almacenamiento, distribución y despliegue de los datos e información relacionados con la medición de una o varias señales, interfaz hombre-máquina, visualización, monitoreo y supervisión remota del proceso, la comunicación con otros equipos, etc.

---

<sup>44</sup> [http://pgb12hmi.es.01\\_0703\[1\].pdf](http://pgb12hmi.es.01_0703[1].pdf)

Un sistema de instrumentación virtual está enfocado a los instrumentos encargados de medir señales, registrar datos y decidir las acciones de control, evidentemente, se requiere de una etapa de actuación, que conforma la interfaz entre la computadora y el sistema a controlar, por tanto esta etapa implicará drivers de potencia o transductores de señal especiales.

El término "virtual" nace a partir del hecho de que cuando se utiliza el PC como "instrumento" es el usuario mismo quién, a través del software, define su funcionalidad y "apariencia" y por ello decimos que "virtualizamos" el instrumento, ya que su funcionalidad puede ser definida una y otra vez por el usuario y no por el fabricante.

La modelación de la realidad que tiene lugar como resultado la simulación, no constituye un elemento determinante para penetrar en la esencia de la misma y llegar a conocerla, es necesario el empleo de procedimientos que la complementen metodológicamente, y alcanzar entonces los objetivos y la escenificación de la misma.

La simulación o virtualización consiste por tanto *en la representación de la realidad*.



**Figura 2.11** Virtualización de la Realidad<sup>45</sup>

<sup>45</sup> [http://pgb12hmi.es.01\\_0703\[1\].pdf](http://pgb12hmi.es.01_0703[1].pdf)

### **2.2.5 Diseño de Instrumentos Virtuales.**

Un instrumento virtual debe realizar como mínimo las tres funciones básicas de un instrumento convencional: adquisición, análisis y presentación de datos.

La instrumentación virtual puede también ser implementada en equipos móviles (laptops), equipos distribuidos en campo (RS-485), equipos a distancia (conectados vía radio, Internet, etc.), o equipos industriales.

Existe una tarjeta de adquisición de datos para casi cualquier bus o canal de comunicación en PC (ISA, PCI, USB, serial RS-232, RS-422, paralelo EPP, PCMCIA, Compact PCI, PC/104, VMEbus, CAMAC, PXI, VXI GPIB, et c.), y existe un driver para casi cualquier sistema operativo (WIN /3.1 /95 /2000/XP/NT, DOS, Unix, Linux, MAC OS, etc.).

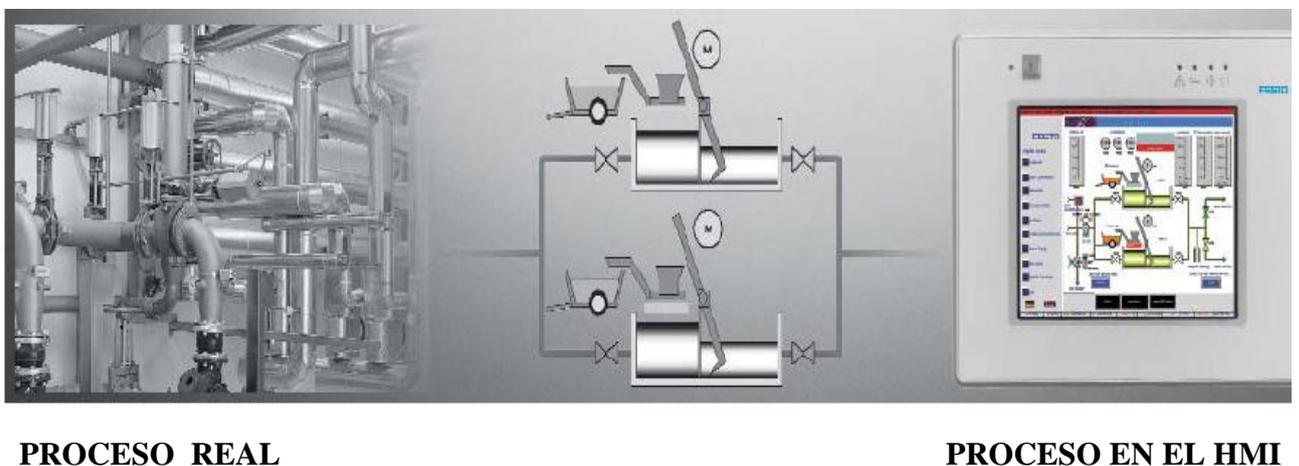
Algunos programas especializados en este campo son LabVIEW, Agilent-VEE (antes HP-VEE), Cyber Tools, Beta Instruments Manager, Matlab Simulink, etc.

*El software escogido para el desarrollo del HMI en el presente proyecto de Tesis es Labview.*

Los procesos de automatización para la adquisición y control de instrumentos es una tarea difícil. La inherente dificultad se debe a que los procesos son confusos. Una de las herramientas disponibles hoy en día es el lenguaje de Programación gráfica que ofrece LabVIEW, el cual es útil en aplicaciones de control e instrumentación, ya que es un lenguaje de programación de alto nivel que cuenta con funciones para adquisición y procesamiento de datos

LabVIEW facilita la tarea de adquisición, análisis y presentación de datos; por lo tanto, solo es necesario el enfoque en el problema original de adquisición o medición. La filosofía de programación de LabVIEW, toma como base la estructura de un instrumento tradicional, el cual cuenta con un “*panel frontal*” (controles, botones e interruptores) para configurar el proceso de medición e indicadores para desplegar el valor medido; detrás del panel frontal tiene componentes electrónicos que desarrollan la función del instrumento, tales como la conversión de una cantidad física en una señal eléctrica para posteriormente convertirlo a un valor numérico.

Un Instrumento Virtual (VI) es un programa diseñado, para que tenga las mismas características de un instrumento tradicional. En particular, un VI tiene un “*panel frontal*” desplegado en la pantalla de la computadora y este opera mediante el teclado o el mouse; el programa o código fuente, representa el ensamble de componentes electrónicos que desarrollan la función del VI; en LabVIEW es llamado “*Diagrama de Bloques*”. El cual se construye uniendo bloques (funciones) mediante líneas que llevan el flujo de datos.



**Figura 2.12** Visualización de un proceso en el HMI<sup>46</sup>

46

[http://a1989.g.akamai.net/f/1989/7101/1d/www3.festo.com/C1256D56002E7B89.nsf/html/PSI\\_808\\_2\\_es.pdf/\\$FILE/PSI\\_808\\_2\\_es.pdf](http://a1989.g.akamai.net/f/1989/7101/1d/www3.festo.com/C1256D56002E7B89.nsf/html/PSI_808_2_es.pdf/$FILE/PSI_808_2_es.pdf)

### **2.2.6 Interfaz Hombre Máquina (HMI) <sup>47</sup>**

Una Interfaz Hombre-Máquina (HMI) es un mecanismo que le permite a un operador humano interactuar con una máquina o proceso y determinar el estado (prendido / apagado) o magnitud de los dispositivos y/o variables físicas que están presentes en una planta o proceso industrial.

La interfaz puede ser tan simple como una lámpara indicadora del estado de un aparato, hasta una o varias pantallas desarrolladas en una computadora que llegan a mostrar en la pantalla del monitor representaciones esquemáticas de todo el proceso bajo supervisión, incluyendo valores reales de las variables presentes en ese momento en la planta.

Programas como el InTouch de la Wonderware, Lookout, DSC de la Nacional Instruments, etc, constituyen plataformas de desarrollo que facilitan el diseño de las HMI en computadoras. Algunos de estos paquetes de desarrollo incluyen muchas herramientas poderosas que permiten el desarrollo de HMIs de mucho potencial de procesamiento.

---

<sup>47</sup> REDES INDUSTRIALES DIGITALES Dr. Luis Corrales.

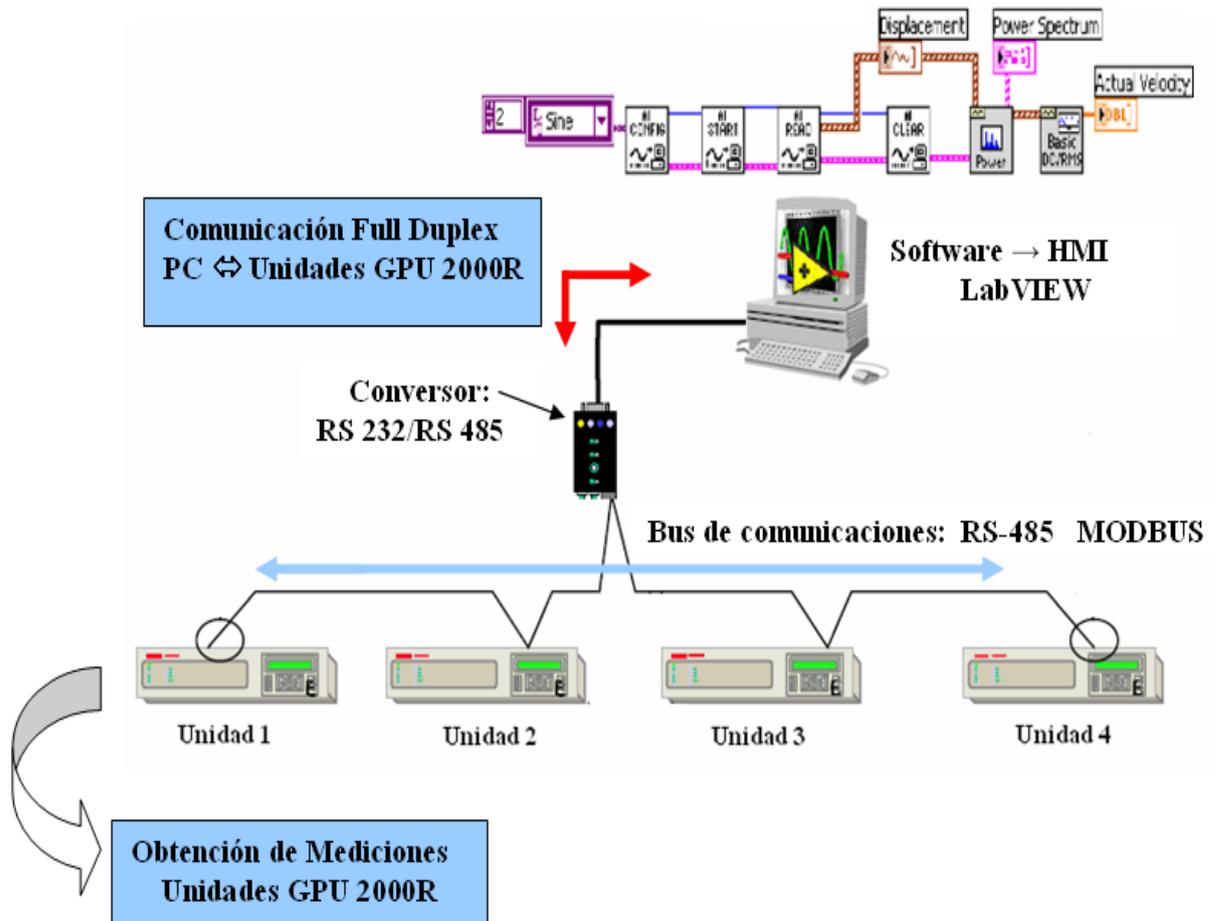


Figura 2.13 Etapas del Sistema de Adquisición de Datos.

### 2.2.6.1 Funciones de un Software HMI.

- **Monitoreo.** Es la habilidad de obtener y mostrar datos de la planta en tiempo real. Estos datos se pueden mostrar como números, texto o gráficos que permitan una lectura más fácil de interpretar.
- **Supervisión.** Esta función permite junto con el monitoreo la posibilidad de ajustar las condiciones de trabajo del proceso directamente desde la computadora.
- **Alarmas.** Es la capacidad de reconocer eventos excepcionales dentro del proceso y reportar estos eventos. Las alarmas son reportadas basadas en límites de control preestablecidos.

- **Control.** Es la capacidad de aplicar algoritmos que ajustan los valores del proceso y así mantener estos valores dentro de ciertos límites.
- **Históricos.** Es la capacidad de muestrear y almacenar en archivos, datos del proceso a una determinada frecuencia. Este almacenamiento de datos es una poderosa herramienta para la optimización y corrección de procesos.

### 2.2.6.3 Tareas de un Software de Supervisión y Control.

- Permitir una comunicación con dispositivos de campo.
- Actualizar una base de datos “dinámica” con las variables del proceso.
- Visualizar las variables mediante pantallas con objetos animados (mímicos).
- Permitir que el operador pueda enviar señales al proceso, mediante botones, controles ON/OFF , ajustes continuos con el mouse o teclado.
- Supervisar niveles de alarma y alertar/actuar en caso de que las variables excedan los límites normales.
- Almacenar los valores de las variables para análisis estadístico y/o control.

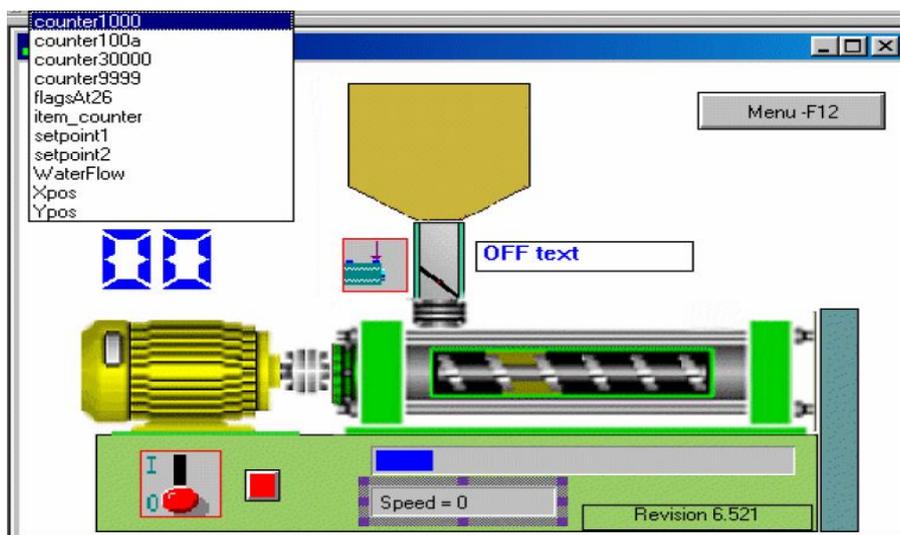


Figura 2.14 Metáfora de un Proceso Industrial<sup>48</sup>.

<sup>48</sup> <http://www.senacitel.cl/downloads/senacitel2002/ID026.pdf>

## 2.7 COMUNICACIONES<sup>49</sup>.

La comunicación industrial se ha venido realizando mediante una conexión física (cable) que conecta exclusivamente cada sensor o cada actuador a su equipamiento de control, donde la información se transmite por una señal analógica (generalmente 4-20 mA).

Ahora se sustituye la transmisión analógica punto a punto por una digital, donde los dispositivos de campo (sensores y actuadores) y dispositivos de control comparten una única línea bidireccional para transmitir información entre ellos (Bus de Campo). Las señales analógicas son convertidas a digital en los mismos dispositivos de campo.

La comunicación digital, soportada por componentes de hardware y software, ha permitido implementar prestaciones de gran trascendencia en el diseño de los sistemas de automatización de plantas, pudiéndose mencionar:

- Economía de cableado.
- Programación a distancia de los dispositivos de campo.
- Recibir información de diagnóstico.
- Distribuir funciones de control entre los dispositivos (real control distribuido).
- Facilidades de sustitución y modularidad.
- Disponibilidad de información para mantenimiento predictivo, etc.

La distribución de funciones hace más confiable al sistema y disminuye el costo de los tradicionales dispositivos de control centralizados como PCs o PLCs, disminuyendo sus capacidades de procesamiento y memoria.

---

<sup>49</sup> <http://www.esnips.com/doc/fdb1e6dc-0f3a-4c5f-acff-079959edfcf6/InstrumentacionVirtualIndustrial.pdf>

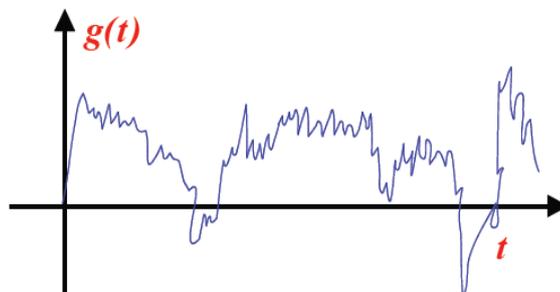
Toda la información generada en el proceso de fabricación puede ahora archivarse en una base de datos de planta, la que a su vez puede integrarse con el sistema administrativo. Esto da lugar a la implementación de una estrategia dinámica de manejo integral de personas, procesos, información, estructura y tecnología para proporcionar un método más eficaz de gestión y obtener ventajas competitivas para la empresa.

## 2.3.1 Transmisión de Datos.

### 2.3.1.1 Transmisión Análoga.

Una *señal analógica* es una onda electromagnética propagada a través de diferentes medios, dependiendo de su espectro.

En un sistema analógico de transmisión tenemos a la salida de éste una cantidad que varía continuamente.



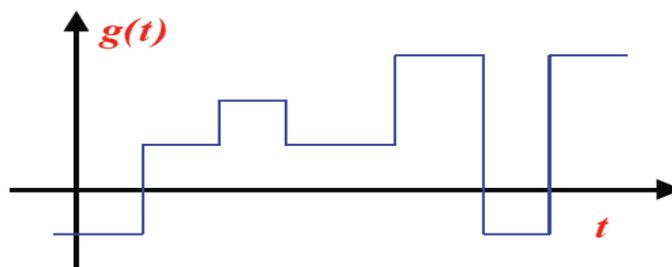
**Figura 2.15** Señal Análoga<sup>50</sup>

Los datos analógicos toman valores continuos. Una señal analógica es una señal continua que se propaga por ciertos medios.

El problema de la transmisión analógica es que la señal se debilita con la distancia, por lo que hay que utilizar amplificadores de señal cada cierta distancia. En la transmisión analógica, la señal que transporta la información es continua, en la señal digital es discreta. La forma más sencilla de transmisión digital es la binaria, en la cual a cada elemento de información se le asigna uno de dos posibles estados.

### 2.3.1.2 Transmisión Digital.

Una *señal digital* es una secuencia de pulsos de voltaje transmitido a través de un medio guiado.



**Figura 2.16** Señal Digital<sup>51</sup>

<sup>50</sup> <http://www.inf.utfsm.cl/~jcanas/ramos/Redes/Apuntes/Capitulo2.pdf>

<sup>51</sup> <http://www.inf.utfsm.cl/~jcanas/ramos/Redes/Apuntes/Capitulo2.pdf>

Los datos digitales se suelen representar por una serie de pulsos de tensión que representan los valores binarios de la señal. La transmisión digital tiene el problema de que la señal se atenúa y distorsiona con la distancia, por lo que cada cierta distancia hay que introducir repetidores de señal.

En la transmisión digital existen dos notables ventajas lo cual hace que tenga gran aceptación cuando se compara con la analógica. Estas son:

1. El ruido no se acumula en los repetidores.
2. El formato digital se adapta por si mismo de manera ideal a la tecnología de estado sólido, particularmente en los circuitos integrados.
3. Posibilita la encriptación, y el empleo de técnicas de comprensión de datos.

### **2.3.2 Modos de Transmisión<sup>52</sup>.**

Existe una gran variedad de formas en las cuales se pueden transmitir datos por una línea de transmisión o dicho de otra manera una gran variedad de métodos para organizar las señales que se van a transmitir.

Los modos más importantes son:

#### **2.3.2.1 Transmisión Sincrónica / Asincrónica.**

##### **a) Transmisión Sincrónica.**

Este tipo de transmisión se caracteriza porque antes de la transmisión propia de datos, se envían señales para la identificación de lo que va a venir por la línea, es mucho más eficiente que la Asíncrona pero su uso se limita a líneas especiales para la comunicación de

---

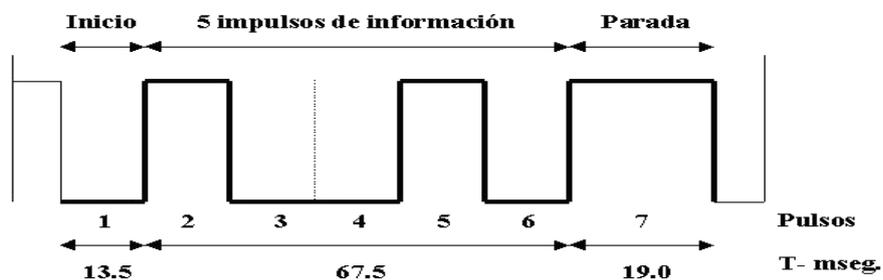
<sup>52</sup> [http://www.geocities.com/alejandro\\_alonso/pagina\\_nueva\\_3.htm](http://www.geocities.com/alejandro_alonso/pagina_nueva_3.htm)

ordenadores, porque en líneas telefónicas deficientes pueden aparecer problemas. Por ejemplo una transmisión serie es Sincrona si antes de transmitir cada bit se envía la señal de reloj y en paralelo es sincrona cada vez que transmitimos un grupo de bits.

**b) Transmisión Asíncrona.**

En este caso la temporización empieza al comienzo de un caracter y termina al final, se añaden dos elementos de señal a cada caracter para indicar al dispositivo receptor el comienzo de este y su terminación. Al inicio del caracter se añade un elemento que se conoce como "Start Space" (espacio de arranque), y al final una marca de terminación.

Para enviar un dato se inicia la secuencia de temporización en el dispositivo receptor con el elemento de señal y al final se marca su terminación.



**Figura 2.17** Transmisión de un Carácter.

Cada carácter a ser transmitido es delimitado por un bit denominado “Cabecera, inicio o arranque”, y uno o dos bit denominados “terminación o parada”.

**2.3.2.2 Transmisión Serie / Paralelo.**

### a) Transmisión de Datos en Serie

En este tipo de transmisión los bits se trasladan uno detrás del otro sobre una misma línea, también se transmite por la misma línea.

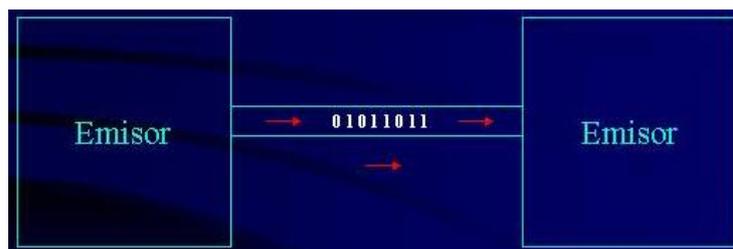


Figura 2.18 Transmisión de Datos en Serie<sup>53</sup>

- Las señales que son transmitidas por los vínculos de telecomunicaciones, al llegar a los equipos informáticos, deben pasar al modo paralelo y viceversa. este proceso de transformación se denomina deserialización y serialización respectivamente.
- La secuencia de los bits transmitidos se efectúa siempre al revés de cómo se escriben las cifras en el sistema de numeración binario. Cuando se transmite con bit de paridad, éste se transmite siempre en último término.
- Este tipo de transmisión se utiliza a medida que la distancia entre los equipos aumenta a pesar que es más lenta que la transmisión paralelo y además menos costosa.
- Los transmisores y receptores de datos serie son más complejos debido a la dificultad en transmitir y recibir señales a través de cables largos.

#### ▪ Transmisión serie asincrónica.

<sup>53</sup> <http://umeet.uninet.edu/conferencias/AlexSabogal/sld017.htm>

En el procedimiento asincrónico, cada carácter que va a ser enviado, es delimitado por un bit denominado de cabecera o de arranque, y uno o dos bits denominados de terminación o de parada. El bit de arranque tiene funciones de sincronización de los relojes del transmisor y del receptor. El bit o bits de parada, se usan para separar un carácter del siguiente.

El desarrollo de la comunicación es el siguiente:

- La línea de comunicación está siempre en estado de tensión máxima (equivale a 1).
- El bit de arranque activa el mecanismo de muestreo para saber a partir de donde empieza el carácter transmitido. Este bit corresponde a una señal de tensión mínima, lo cual cambia el estado de la línea.
- Se transmiten los bits de datos, y se almacenan en una memoria intermedia para ser procesados.
- El bit de parada se encarga siempre de volver a colocar la señal de la línea al nivel máximo.

▪ **Transmisión serie sincrónica.**

El desarrollo de la comunicación es el siguiente:

- Existen dos relojes, uno en el transmisor y otro en el receptor.
- La información se transmite en dos grupos denominados delimitadores.
- Un grupo se denomina “encabezador” y se encarga de sincronizar los relojes, y uno de terminación.
- Los relojes permanecen estables un tiempo importante mientras se transmite, sin embargo, se deben efectuar resincronizaciones periódicas.

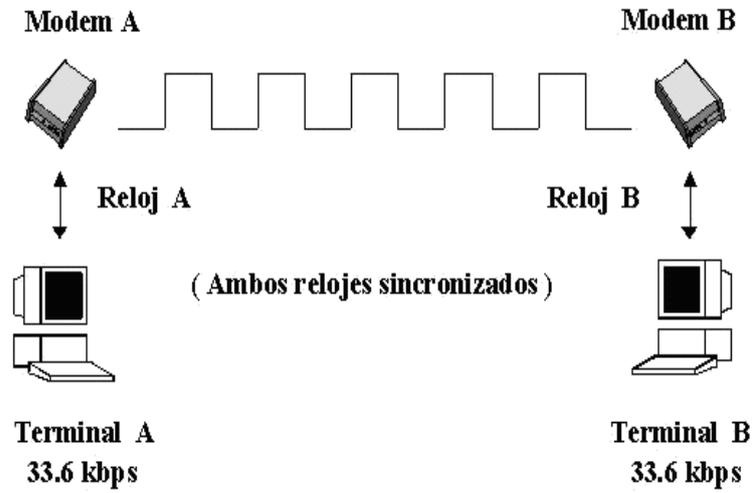


Figura 2.19 Transmisión Sincrónica.

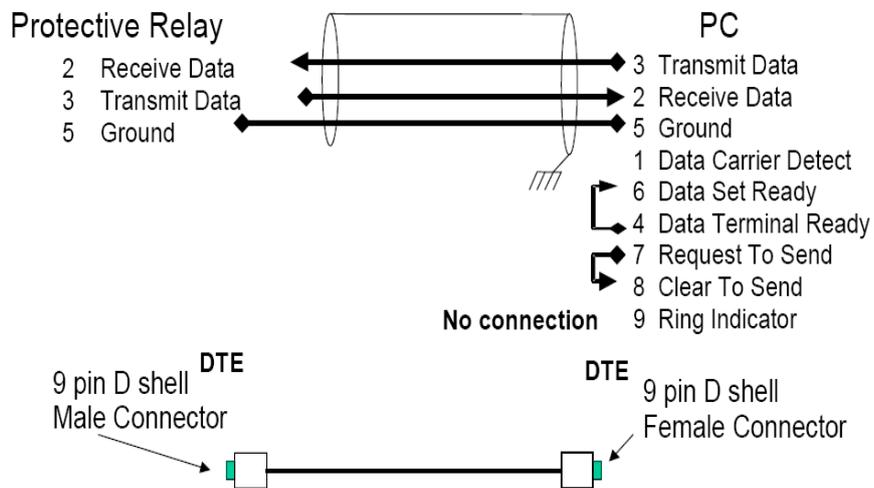
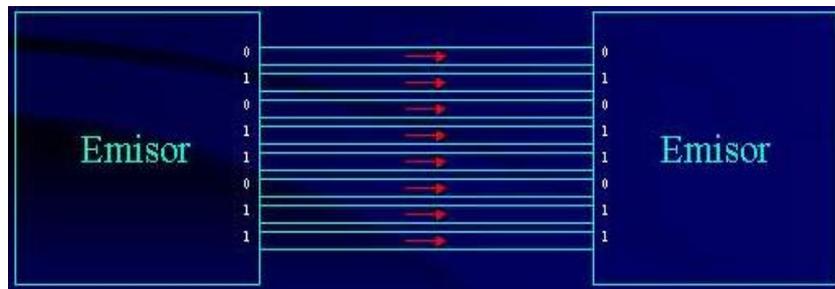


Figura 2.20 Conexión RS-232 entre la PC y el GPU 2000R.

**b) Transmisión de datos en paralelo.**

La transferencia de datos es en paralelo si transmitimos un grupo de bits sobre varias líneas o cables.



**Figura 2.21** Transmisión de Datos en Paralelo<sup>54</sup>

- En estos casos se transmite cada conjunto de n bits, seguido por un espacio de tiempo y luego nuevamente otro conjunto de n bits, y así sucesivamente.

Este tipo de transmisión puede hacer uso de la línea de dos formas distintas:

- Usar n líneas (una por bit).
- Usar una línea usando Multiplexación.
- Cuando se usa esta transmisión, se emplean altas velocidades, dado que esa es una de sus características más importantes: enviar más bits en el menor tiempo posible.
- La transmisión de datos en paralelo se utiliza en sistemas digitales que se encuentran colocados unos cerca del otro, además es mucho más rápida que la serie, pero además es mucho más costosa.

<sup>54</sup> <http://umeet.uninet.edu/conferencias/AlexSabogal/sld016.htm>

### 2.3.2.3 Transmisión simplex / semiduplex / Full duplex.

Los distintos tipos de transmisión de un canal de comunicaciones pueden ser:

- Símplex.
- Semidúplex.
- Dúplex.

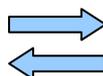
#### a) Simplex.

Este modo de transmisión permite que la información discorra en un solo sentido y de forma permanente, con esta formula es difícil la corrección de errores causados por deficiencias de línea. Como ejemplos de la vida diaria tenemos, la televisión y la radio.



#### b) Semiduplex o Half Duplex.

Es aquel en el que una estación A en un momento de tiempo, actúa como fuente y otra estación correspondiente B actúa como colector, y en el momento siguiente, la estación B actuará como fuente y la A como colector. Permite la transmisión en ambas direcciones, aunque en momentos diferentes. Como ejemplo tenemos los Walkie Talkies.



### c) Full Duplex.

Es el método de comunicación más aconsejable, puesto que en todo momento la comunicación puede ser en dos sentidos posibles y así pueden corregir los errores de manera instantánea y permanente. El ejemplo es el teléfono.



### 2.3.3 PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN<sup>55</sup>.

El protocolo constituye el conjunto de reglas y convenciones entre entes comunicantes. El objetivo es establecer una conexión entre DTE<sup>56</sup>, identificando el emisor y el receptor, asegurando que todos los mensajes se transfieran correctamente, controlando toda la transferencia de información.

Cada protocolo está optimizado para diferentes niveles de automatización y en consecuencia responden al interés de diferentes proveedores, cada protocolo tiene un rango de aplicación, fuera del mismo disminuye el rendimiento y aumenta la relación costo/prestación.

Así tenemos:

---

<sup>55</sup> <http://www.esnips.com/doc/fdb1e6dc-0f3a-4c5f-acff-079959edfcf6/InstrumentacionVirtualIndustrial.pdf>

<sup>56</sup> DTE: Equipo terminal de datos

- **MODBUS.**
- **HART (Highway Addressable Remote Transducer)**
- **DEVICENET.**
- **AS-I (Actuador Sensor - Interface).**
- **ETHERNET INDUSTRIAL**
- **CAN (Control Area Network)**
- **FIELDBUS (FF - Foundation Fieldbus)**
- **PROFIBUS**

La familia de PROFIBUS consiste en: PROFIBUS-DP, PROFIBUS -FMS, y PROFIBUS PA.

Entre otros protocolos también se nombra los siguientes:

- **WorldFIP (World Factory Instrumentation Protocol)**
- **ControlNET**
- **InterBUS**
- **LonWorks**
- **LonMark**
- **Seriplex**
- **BACnet**

En el presente proyecto de tesis se maneja el *Protocolo de comunicación MODBUS*; por lo que a continuación se lo detalla:

### 2.3.3.1 Protocolo Modbus<sup>57</sup>

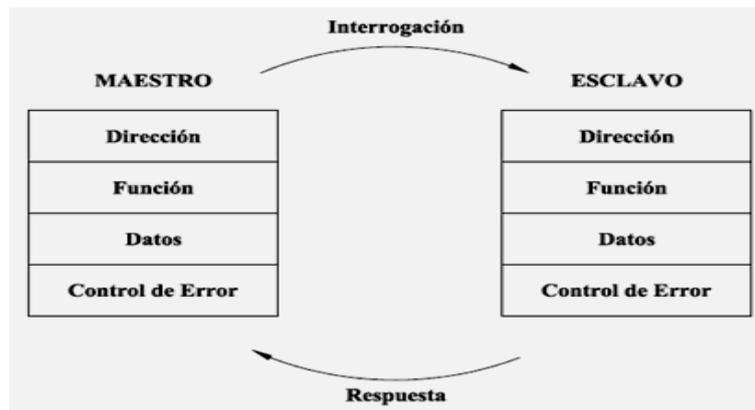
---

<sup>57</sup> <http://iaci.unq.edu.ar/materias/laboratorio2/transparencias%5Cmodbus.pdf>

- Desarrollado por Modicon para comunicación entre PLC's.
- Debido a su simplicidad y especificación abierta, actualmente es ampliamente utilizado por diferentes fabricantes.
- Entre los dispositivos que lo utilizan podemos mencionar: PLC, HMI, RTU, Drives, sensores y actuadores remotos.
- El protocolo establece cómo los mensajes se intercambian en forma ordenada y la detección de errores.

**a) Principales Características:**

- Control de acceso al medio tipo Maestro/Esclavo.
- El protocolo especifica: formato de trama, secuencias y control de errores.
- Existen dos variantes en el formato: ASCII y RTU
- Sólo especifica la capa de enlace del modelo ISO/OSI.
- A cada esclavo se le asigna una dirección fija y única en el rango de 1 a 247.
- La dirección 0 está reservada para mensajes de difusión sin respuesta.



**Figura 2.22** Formato General de las Tramas Modbus.

**b) Formatos Modbus:**

Modo ASCII					
Comienzo de Trama	Dirección	Función	Datos	Control de Errores	Fin de Trama
:	2 bytes	2 bytes	N x 2 bytes	2 bytes	CR + LF

Modo RTU					
Comienzo de Trama	Dirección	Función	Datos	Control de Errores	Fin de Trama
Tiempo de 3 bytes	1 bytes	1 bytes	N x 1 bytes	2 bytes	

**Figura 2.23** Formatos Modbus.

**c) Campo de Función:**

Código	Acción	Significado
01	Leer Bobinas (0:xxxx)	Obtiene el estado actual ON/OFF de un grupo de bobinas lógicas.
02	Leer Entradas (1:xxxx)	Obtiene el estado actual ON/OFF de un grupo de entradas lógicas.
03	Leer Registros (4:xxxx)	Obtiene el valor binario de uno o más registros de almacenamiento.
04	Leer Registros (3:xxxx)	Obtiene el valor binario de uno o más registros de entrada.
05	Escribir Bobina (0:xxxx)	Fuerza el estado de una bobina.
06	Escribir Registro (4:xxxx)	Escribe el valor binario de un registro de almacenamiento.
15	Escribir Bobinas (0:xxxx)	Fuerza el estado de un grupo de bobinas.
16	Escribir Registros (4:xxxx)	Escribe el valor binario de un grupo de registros de almacenamiento.

**Tabla 2.1** Campos de Función Modbus.

#### d) Respuesta de Error:

Si el esclavo no puede realizar la función requerida devuelve una trama de error. Puede ocurrir que un mensaje se interrumpa antes de terminar.

Cada esclavo interpreta que el mensaje ha terminado si transcurre un tiempo de silencio equivalente a 3,5 caracteres. Después de este tiempo el esclavo considera que el carácter siguiente es el campo de dirección de esclavo de un nuevo mensaje; la trama del mensaje de error es la indicada en la figura 2.24.

Respuesta del esclavo

Nº Esclavo (00-3F <sub>H</sub> )	Código Función	Código Error	CRC H L
--	-------------------	-----------------	------------

Figura 2.24 Trama de mensaje de error Modbus<sup>58</sup>.

**Código Función** = Código función recibido + 80H

**Código Error** =

01	Código de Función erróneo:
02	Dirección incorrecta
03	Datos incorrectos
06	Autómata ocupado

Si la estación maestra no recibe respuesta de un esclavo durante un tiempo superior a un límite establecido, declara el esclavo fuera de servicio, a pesar de que al cabo de un cierto número de ciclos hace nuevos intentos de conexión.

<sup>58</sup> [http://www.dte.upct.es/personal/manuel.jimenez/docencia/GD6\\_Comunic\\_Ind/pdfs/Tema%207.pdf](http://www.dte.upct.es/personal/manuel.jimenez/docencia/GD6_Comunic_Ind/pdfs/Tema%207.pdf)

Interrogación						
Dirección	Función	Bobina comienzo (alto)	Bobina comienzo (bajo)	Cantidad Bobinas (alto)	Cantidad Bobinas (bajo)	Control de Error
0A	01	04	A1	00	01	4F

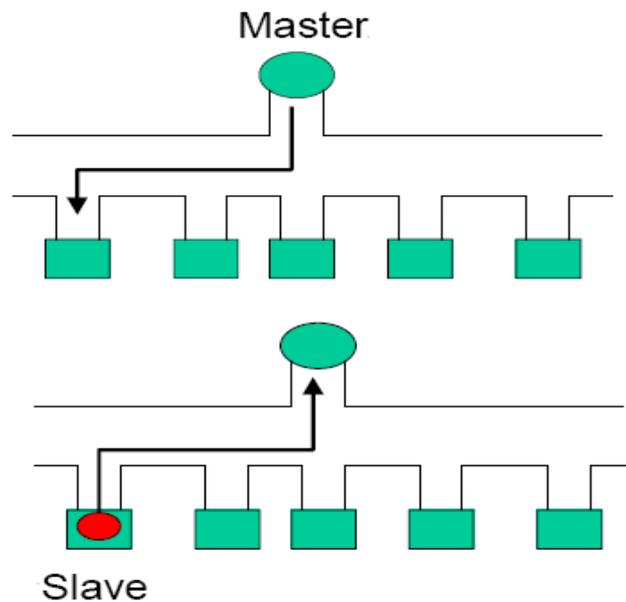
Respuesta:			
Dirección	Función	Código de Error	Control de Error
0A	81	02	73

**Figura 2.25** Ejemplo Mensaje de Error Modbus.

**e) Códigos de Error:**

Código	Tipo de Error	Significado
01	Función ilegal	La función recibida no está permitida en el esclavo.
02	Dirección General	La Dirección está fuera del rango permitido.
03	Dato ilegal	El Dato contiene un valor no válido.
04	Falla en el Dispositivo	El controlador no responde o ha ocurrido un error.
05	Reconocimiento (ACK)	Se ha aceptado la función y se está procesando.
06	Ocupado	El mensaje ha sido recibido sin error, pero dispositivo no puede procesarlo en este momento.
07	Reconocimiento Negativo (NAK)	La función solicitada no puede realizarse en este momento.

**Tabla 2.2** Códigos de Error Modbus.



**Figura 2.26** Ejemplo comunicación Master/Slave Modbus.

El Master transmite el requerimiento y espera por una respuesta. El Slave responde con la información. Si el Slave no puede transmitir inmediatamente y no genera una respuesta, el Master pregunta nuevamente al Slave.

## 2.8 INTERFACES SERIE<sup>59</sup>.

### 2.4.1 Interfaz serial RS-232.

Esta norma establece una señalización eléctrica bipolar:

Nivel lógico 0: **+15...+3Voltios.**

<sup>59</sup> REDES INDUSTRIALES DIGITALES Dr. Luis Corrales

Nivel lógico 1: **-15...-3Voltios.**

Conexión básica de RS-232.



Figura 2.27 Conexión RS-232 entre un DTE y DCE<sup>60</sup>

Estas líneas son controladas mediante la programación de los registros de **la UART** ("*Universal Asynchronous Receiver Transmitter*"), que es un chip especial para la entrada y salida de caracteres y, sobre todo, para la conversión de palabras de datos en las correspondientes señales del puerto serie.

Hay dos tipos de comunicaciones digitales seriales: síncronas y asíncronas.

*En una transmisión síncrona* los datos son enviados un bit a continuación de otro por una línea que une la salida del transmisor, TXD, del un lado con la línea de recepción, RXD, del otro lado. El transmisor y el receptor son sincronizados con una línea extra que trasmite pulsos de reloj que básicamente le indican al receptor cuando leer un pulso.

<sup>60</sup> DCE: Equipo de comunicación de datos

*En la transmisión asíncrona* no se emplea una señal de reloj, más bien se utiliza una técnica que recurre a “encapsular” los datos con un bit de inicio y uno o dos bits de parada, y así no es necesaria la línea extra de sincronismo.

Mientras el estado de la línea está en alto, el receptor deberá interpretar como que no existe transmisión y, por lo mismo, el canal está en modo de espera (idle). Cuando la línea de comunicación cambia de estado (se recibe el bit de inicio), el receptor debe interpretar ese cambio como el comienzo de la transmisión.

Antes de iniciar cualquier comunicación con el puerto RS-232 se debe determinar el protocolo a seguir. Esto debe ser hecho por el usuario quien debe decidir sobre:

- **El Protocolo serial:** esto es, el número bits de datos, la paridad, el número de bits de parada (Frame).
- **La velocidad de transmisión.**
- **El protocolo de control de flujo.**

Con RS-232C se puede transmitir los datos en grupos de 5, 6, 7, u 8 bits aunque los más usados son 7 y 8 bits.

Los bits de datos son enviados al receptor después del bit de inicio, el bit menos significativo es transmitido primero. Dependiendo de la configuración de la transmisión, un bit de paridad es enviado después de los bits de datos. El propósito de cada uno de estos bits especiales se indica a continuación:

- **Bit de inicio.-** cuando el receptor detecta el bit de inicio sabe que la transmisión ha comenzado y es a partir de entonces que debe leer las señales de la línea a intervalos concretos de tiempo, en función de la velocidad de transmisión.
- **Bit de paridad.-** con este bit se pueden descubrir errores en la transmisión.

Se puede dar paridad par o impar. En la paridad par, por ejemplo, la palabra de datos a transmitir se completa con el bit de paridad de manera que el número de bits 1 enviados sea par.

- **Bit de parada.-** indica la finalización de la transmisión de una palabra de datos. El protocolo de transmisión de datos permite 1, 1.5 y 2 bits de parada.

**Throughput** ( $\mathcal{R}$ ) (rendimiento) de la transmisión de datos. Si bien el encapsulamiento es esencial para la transmisión asíncrona, por otro lado, tiene el defecto de añadir bits a los datos propiamente dichos (la trama de datos) disminuyendo consecuentemente la velocidad efectiva de la transmisión.

$$\mathcal{R} = \text{bits de datos} / \text{trama total de datos.}$$

El estándar RS-232 establece que un 1 lógico se represente con un voltaje entre -3V y -15V, mientras que un 0 lógico se represente con un voltaje entre +3V y +15V.

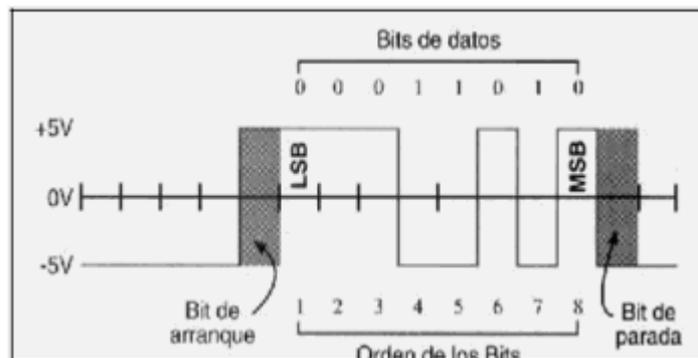
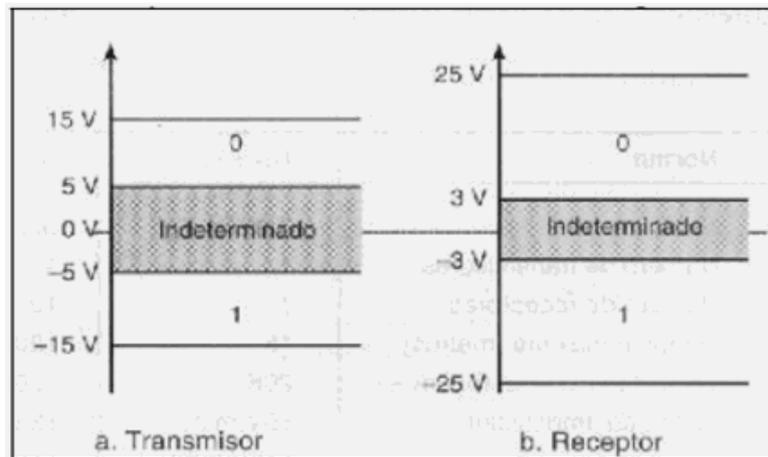


Figura 2.28 Trama RS-232 Típica.

Para compensar los efectos de la atenuación de voltaje en la línea y los efectos del ruido, se han establecido diferentes niveles de voltaje tanto para el lado del transmisor como del receptor, tal como se muestra en la Figura 2.29 a continuación.



**Figura 2.29** Niveles de Voltaje en el TX y en el RX.

#### 2.4.1.1 El Puerto Serial de una PC.

El puerto serial de una PC se rige por el estándar RS-232C. El estándar especifica un conector DB-25 de 25 pines y que el conector DTE debe ser macho y el conector DCE hembra.

Muchos de los 25 pines no son necesarios y solo se emplean las siguientes:

- **Tx:** Transmisión de datos.
- **Rx:** Recepción de datos.
- **RTS:** Request-to-Send, petición de envío de datos.
- **CTS:** Clear-to-Send, listo para enviar datos.

- **DSR:** Data-Send-Ready, envío de datos listos.
- **DTR:** Data-Terminal-Ready, terminal de datos preparada.
- **Tierra:** necesaria para que tenga lugar la transmisión.

Por esta razón en muchas PC modernas se utiliza el conector DB-9 macho. Es así que en la Tabla 2.3 se listan los pines con su respectiva numeración:

Conector 25 pines	Conector 9 pines	Nombre	Descripcion
1	1	-	Masa chasis
2	3	TxD	Transmit Data
3	2	RxD	Receive Data
4	7	RTS	Request to send
5	8	CTS	Clear to send
6	6	DSR	Data Set Ready
7	5	SG	Signal Ground
8	1	DCD	Data Carrier Detect
15	-	TxC	Transmit Clock
17	-	RxC	Receive Clock
20	4	DTR	Data Terminal Ready
22	9	RI	Ring Indicator
24	-	RTxC	Transmin/Receive Clock

**Tabla 2.3** Descripción de pines en RS-232.

**a) Conexión de las líneas.**

Para hacer posible la comunicación entre dos equipos PC (**DTE**) se interconectan los pines de la siguiente manera:

**(PC1) RxD <===== TxD (PC2)**  
**(PC1) TxD =====> RxD (PC2)**  
**(PC1) DTR =====> DSR (PC2)**  
**(PC1) DSR <===== DTR (PC2)**

(PC1) RTS =====> CTS (PC2)  
 (PC1) CTS <===== RTS (PC2)  
 (PC1) TIERRA ===== TIERRA (PC2)

El direccionamiento de los puertos serie, conocidos como COM, es el siguiente:

- COM1: I/O = 3F8      IRQ = 3.
- COM2: I/O = 2F8      IRQ = 4.
- COM3: I/O = 3E8      IRQ = 3.
- COM4: I/O = 2E8      IRQ = 4.

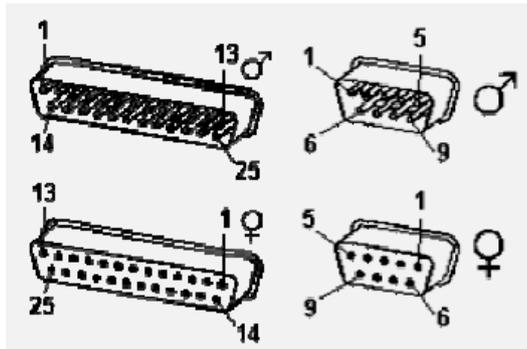


Figura 2.30 Formato y distribución de pines en RS-232.

#### 2.4.2 Interfaz RS-422-A Y RS-423-A

- RS-422 Balanceada.
- RS-423 No balanceada.
- Conexión con RS232.
- Niveles de tensión +6V a -6 V.
- Sensibilidad 200 mV.

- Hasta 10 receptores.
- Longitud cable: 1500 m.

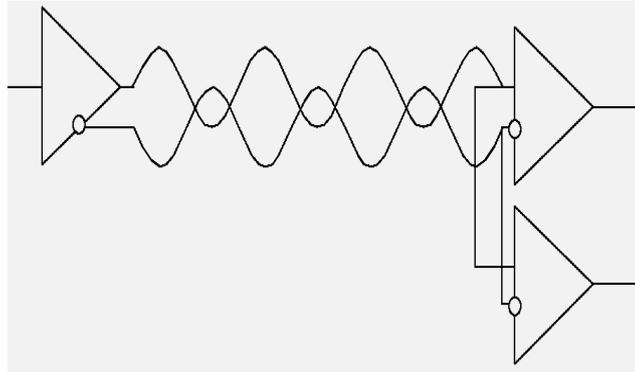
### **2.4.2.1 Conexiones RS-422**

#### Ventajas

- Rechazo ruido y *crosstalk*
- Mayores distancias.
- Mayores velocidades

#### Desventajas.

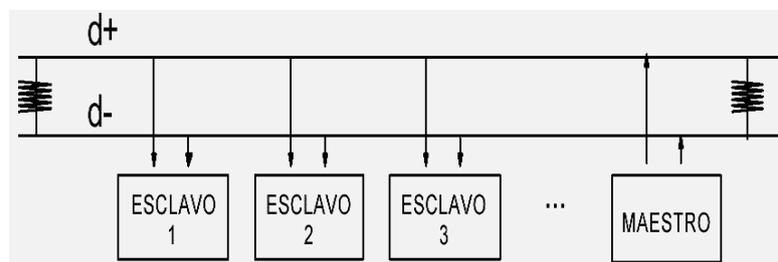
- Necesita más hilos.
- Mayor coste.
- Mayor complejidad



**Figura 2.31** Transmisión Diferencial.

### 2.4.2.3 Utilización en entornos Industriales.

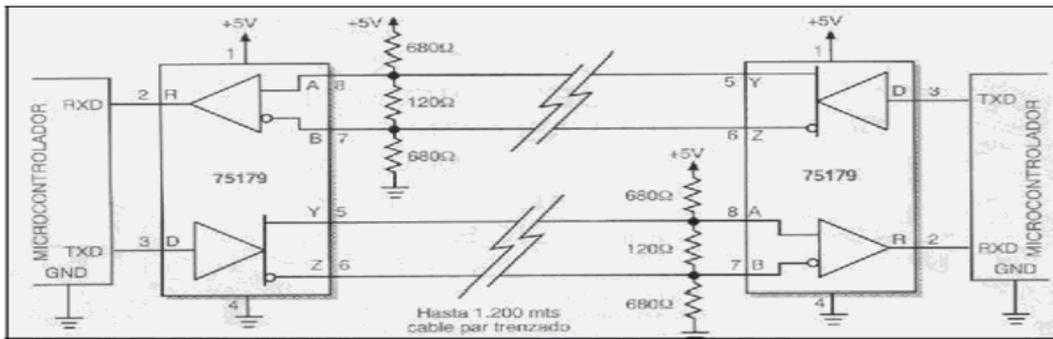
- Comunicación punto a punto.
- Comunicación maestro / esclavos.



**Figura 2.32** Red RS-422

### 2.4.3 La Interfaz RS-485

La característica más relevante de la RS-485 es que puede trabajar en modo diferencial tal como se muestra en la Figura 2.33.

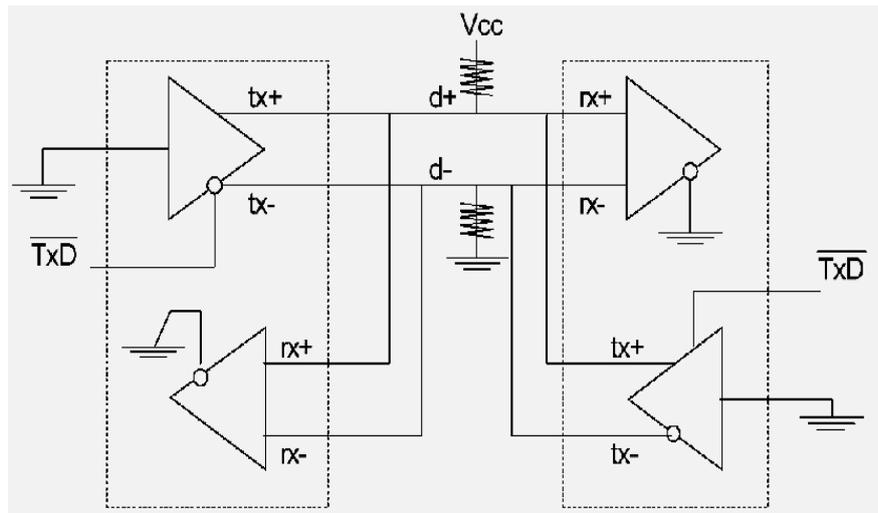


**Figura 2.33** RS-485 y su modo diferencial.

Los estándares RS-485 y RS-422 tienen mucho en común, y por tal razón a menudo se los confunde. *Con velocidades de transmisión altas* se comienza a tener problemas con las reflexiones. Para contrarrestar éstas, se instalan resistencias de terminación con un valor igual al de la impedancia del cable.

## 2.4.3.1 Parte Física

- Utiliza una señal balanceada
- Permite la conexión en red.
- Máximo 32 dispositivos. Recomendable utilizar solo 16 por condiciones de velocidad.
- Distancia = 1,2 Km. Sin ningún tipo de receptor
- PROTOCOLO: El estándar no define protocolo
- Multipunto: Hasta 32 emisores y 32 receptores (equivalentes).
- Resistencias Pull-Up y Pull-Down .
- Tensión modo común (VCM)
- Variación entre -7 V y 12 V.
- Diferencia 200 mV.

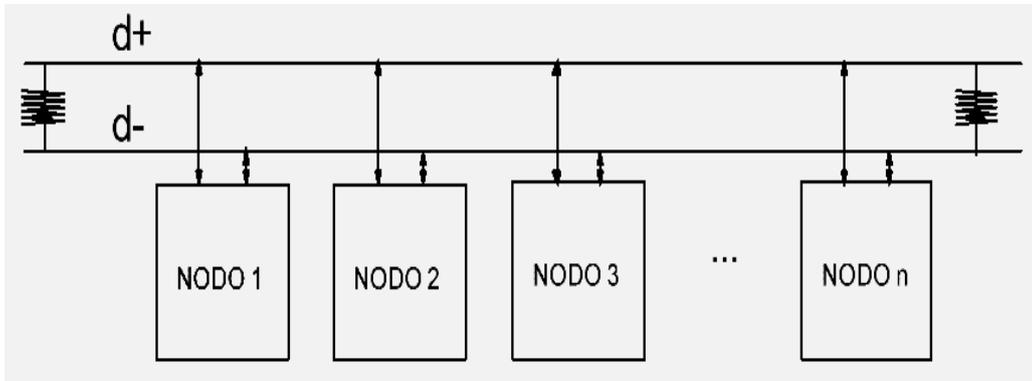


**Figura 2.34** Transmisor - Receptor RS-485

### 2.4.3.2 Aplicaciones

- Instrumentación y Automatización
  - Profibus
  - Modbus
  - Optomux
  - Field bus
  - Data Highway
  
- Utilización en Entornos Industriales.
  - Comunicación punto a punto.

- Comunicación maestro / esclavos.
- Comunicación multimaestro.



**Figura 2.35** Red RS-485

#### 2.4.4 Comparación entre Normas.

NORMAS	RS-232	RS-423	RS-422	RS-485
Modo	Simple	Simple	Diferencial	Diferencial
Número transmisores	1	1	1	32
Número receptores	1	10	10	32
Longitud máxima	15 m	1200 m	1200 m	1200 m
Velocidad máxima	20 Kbp	100 Kbps	10 Mbps	10 Mbps
Salida transmisor	± 5 V min ± 15 V max	± 3.6 V min ± 6 V max	± 2 V min	± 1.5 V min
Carga al transmisor	3K a 7K	450 mín	100 min	60 min
R de entrada al receptor	3K a 7K	4K mín	4K min	12 K min
Sensibilidad del receptor	± 3 V	± 200 mV	± 200 mV	± 200 mV

**Tabla 2.4** Comparación entre Normas.

## **2.5 CONTROL DE LOS INTERRUPTORES.**

El control de los interruptores se lo realiza mediante el comando de la PC, ésta a su vez envía la orden al GPU 2000R quién recibe la petición y desactiva o activa por medio del relé el Interruptor de Potencia.

Este control se lo realiza aprovechando el protocolo *MODBUS* que posee el GPU 2000R.

A través del Mapa de Registros Modbus del GPU 2000R se conoce exactamente cual Relé activar o desactivar.

La instrucción de comando al GPU 2000R se la envía el Software que se encuentra en la PC, esta instrucción es un formato string codificado en formato Modbus, en la cual esta especificada exactamente la instrucción que se desea que realice el GPU 2000R, en este caso activación o desactivación del relé del GPU 2000R, el cual a su vez da la orden para que el Interruptor de Potencia se active o desactive.

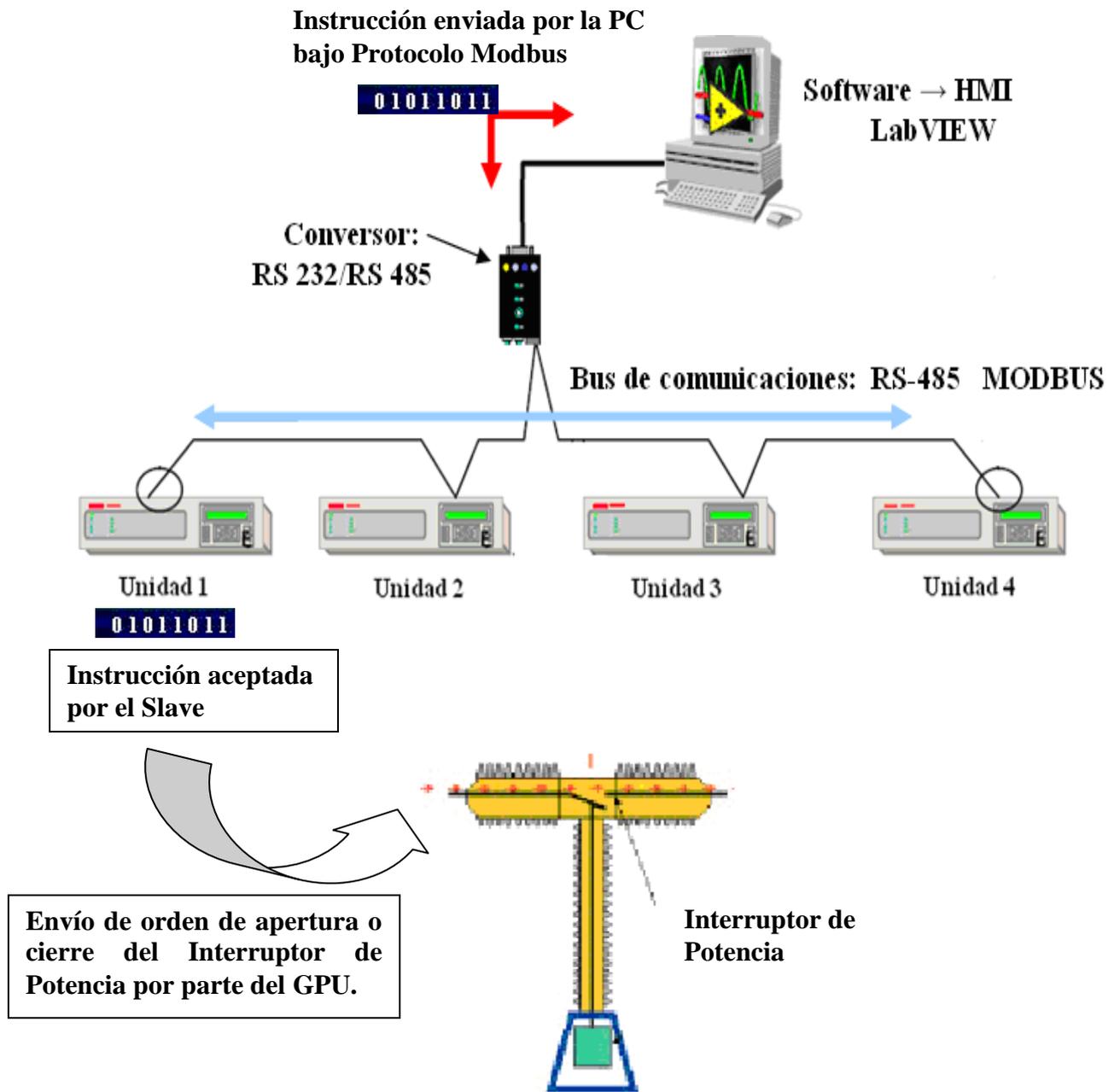


Figura 2.36 Sistema de Control de los Interruptores de Potencia.

## **CAPÍTULO III**

### **ANÁLISIS Y DISEÑO**

#### **3.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA.**

La Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi y la Central Illuchi no cuentan con un Sistema de Adquisición, Procesamiento y Acople de datos en tiempo real de las señales de los medidores de los generadores de dicha central, ni con un Sistema de Mando y Control comandado desde una PC para la apertura y cierre de los interruptores con que cuenta la Central.

El sistema realiza la Adquisición, procesamiento y acople de datos en tiempo real ya que se precisa de esta información para entregarla a los diferentes centros de apoyo como son CENACE (Centro Nacional de Control de Energía), subestaciones y para tomar decisiones inmediatas en cuanto a su manejo.

Además el Sistema de Mando y Control, Adquisición, Procesamiento y Acople de datos en tiempo real mediante la utilización de una PC, se justifica en el hecho de que en la actualidad la central antes mencionada no cuenta con una herramienta adecuada para observar claramente la variación de la energía eléctrica y la cantidad de la misma, que

proveen estos generadores, por lo que se hace necesario tener una medición exacta de la generación de energía. La medición de energía eléctrica se la actualiza por medio de un Sistema HMI, que es la forma más técnica, adecuada, confiable y versátil debido a las características y manejo propio de los equipos e instrumentos que intervienen en la medición.

El sistema enfoca el estudio de los medidores de energía, generadores, interruptores y los acondicionamientos de señal a utilizar. Las interfaces RS-232, RS-485 manejadas por un sistema HMI, se orientan al desarrollo del Software para la Adquisición, Procesamiento y Acople de datos en tiempo real mediante un PC.

Los datos son presentados y procesados en una PC a través de un software especializado, en donde está una interfaz adecuada para el operador. El Instrumento Virtual diseñado cuenta con un panel frontal, en la pantalla de la PC, que indica la generación de energía eléctrica del sistema y otras variables eléctricas, como son: voltaje y corriente rms; potencia activa, real y reactiva; factor de potencia, frecuencia. Estas cantidades medidas son almacenadas en el intervalo de tiempo que el operador o la Empresa lo requiera, los mismos que se son obtenidos de la base de datos que este genera, todo esto para obtener una mayor precisión y exactitud debido a que estas cantidades son medidas inexactamente por los operadores; además de una interfaz para el Sistema de Mando y Control para la apertura y cierre de interruptores. Esto permite que los operadores puedan observar, analizar, y maniobrar de mejor manera el comportamiento de los generadores e interruptores de dicha Central.

### 3.2 DIAGRAMA DE BLOQUES

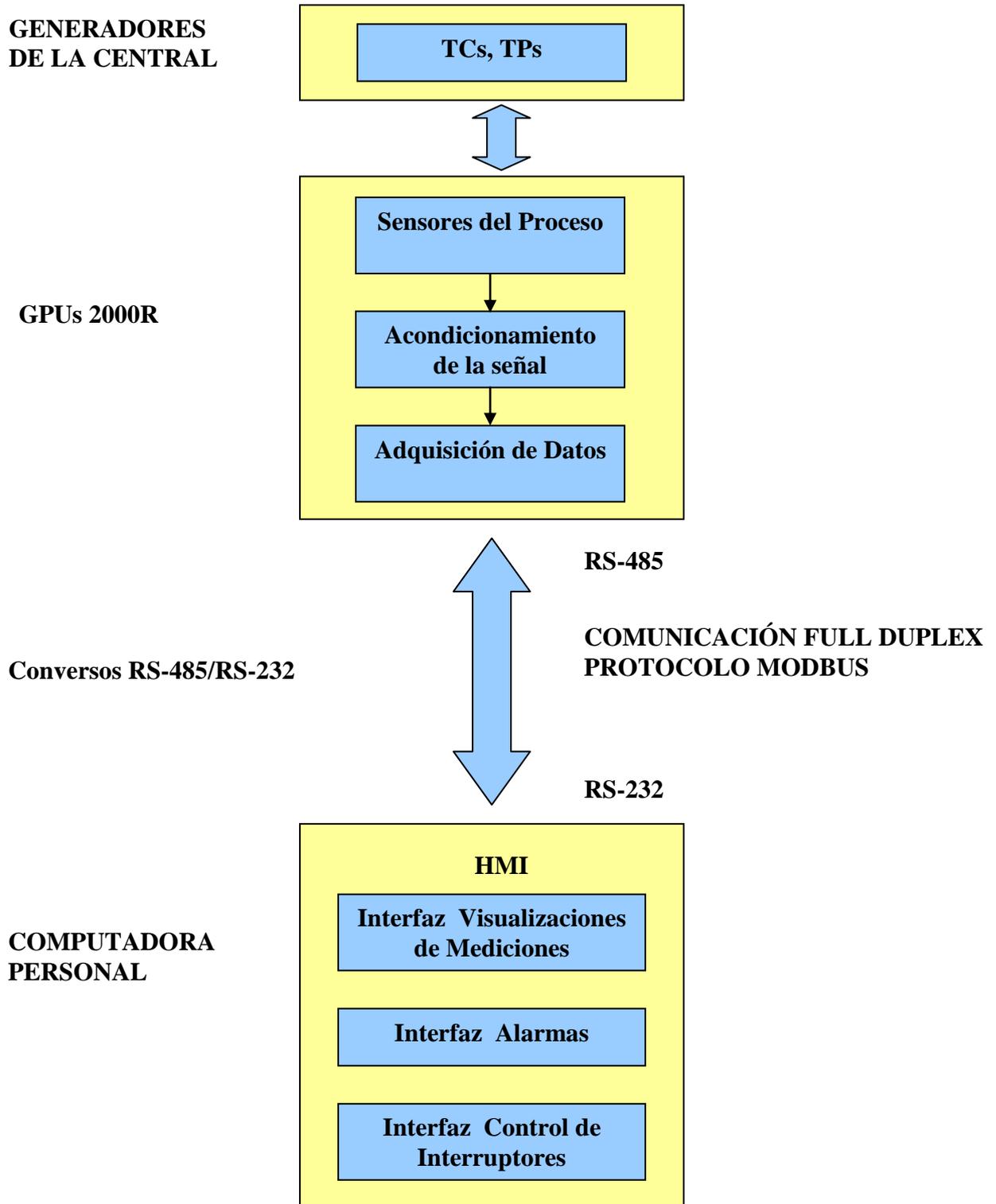


Figura 3.1 Diagrama de Bloques del Sistema Realizado.

### 3.3 DISEÑO DEL SISTEMA HMI

A continuación se explicará las diferentes pantallas que conforman el Sistema HMI desarrollado en Labview, que permitirá la Adquisición, Procesamiento y Acople de datos en tiempo real de las señales de los medidores de los generadores de dicha central, y el Sistema de Mando y Control para la apertura y cierre de los interruptores con que cuenta la Central.

#### 3.3.7 Pantalla Principal

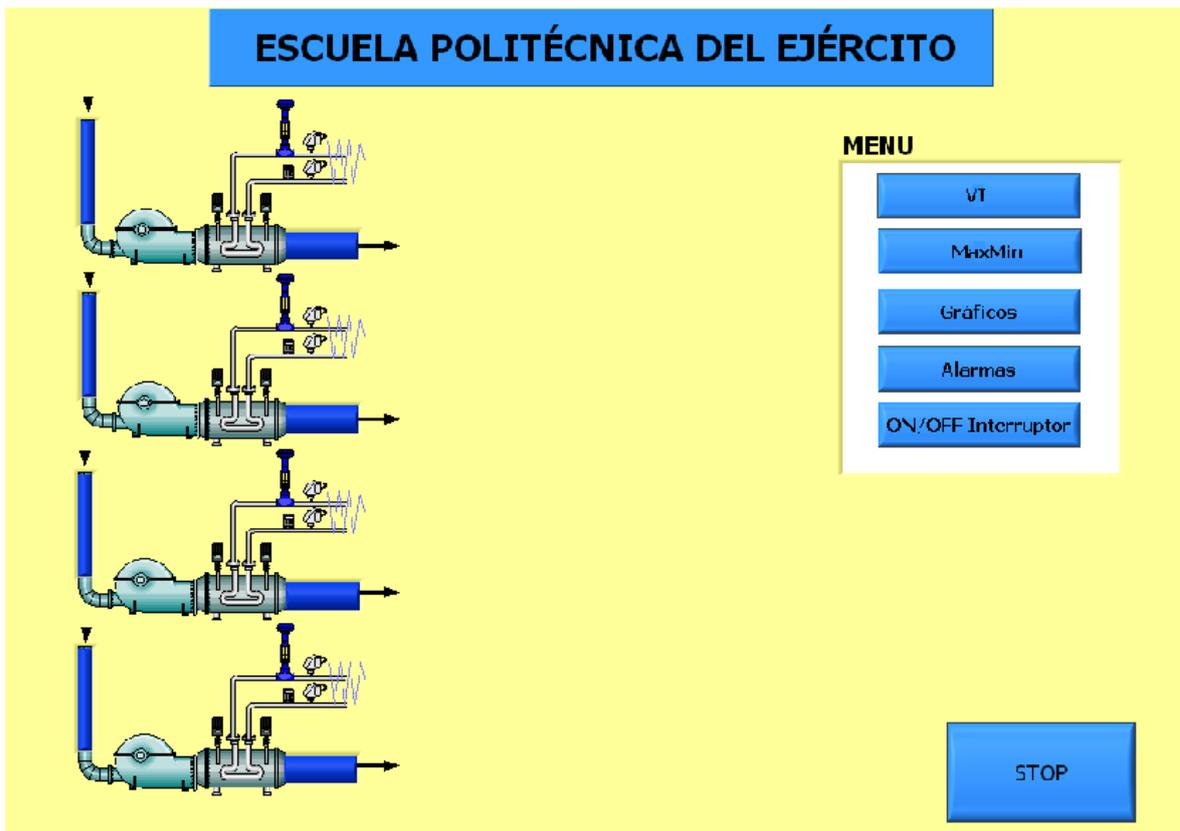


Figura 3.2 Pantalla Principal del HMI.

La Pantalla Principal permite el acceso a las diferentes ventanas que posee el HMI como son:

- Ventana de acceso a la visualización en tiempo real de los valores de carga de los medidores.
- Ventana de acceso a la visualización en tiempo real de los valores Máximos y Mínimos de los medidores.
- Ventana de acceso a la visualización de las gráficas en tiempo real de los valores de carga de los medidores.
- Ventana de acceso de visualización de las alarmas producidas por los medidores.
- Ventana de control ON/OFF de los interruptores de los medidores.

En esta pantalla también se genera la base de datos de las mediciones obtenidas de los medidores.

### 3.3.8 Pantalla de visualización de los valores de carga.



**Figura 3.3** Pantalla de visualización de los valores de carga de los medidores.

En esta pantalla se observa todos los valores de carga de los medidores como son:

- Corrientes de Fase Ia, Ib e Ic
  - Amperios
  - Grados
- Corriente de Tierra In
  - Amperios
  - Grados
- Voltajes de línea Vab, Vbc y Vca,
  - Kilovoltios
  - Grados
- Voltaje de Bus.
  - Kilovoltios
  - Grados
- Kilowatts trifásicos.
- KiloVARs trifásicos.
- Kilowatt-horas trifásicos.
- KiloVAR-horas trifásicos.
- Factor de potencia.
- Frecuencia.

### 3.3.9 Pantalla de visualización de los valores Máximos y Mínimos.



**Figura 3.4** Pantalla de visualización de los valores Máximos y Mínimos de los medidores.

En esta pantalla se visualizan los valores Máximos y Mínimos de los medidores como son:

- Corrientes máximas y mínimas (de fase y tierra) en amperios.
- Registro de fecha y hora para las corrientes máximas y mínimas (de fase y tierra).
- Kilowatts Trifásicos máximos y mínimos.
- Registro de fecha y hora para los kilowatts máximos y mínimos.
- KiloVARs máximos y mínimos trifásicos.
- Registro de fecha y hora para los kiloVARs máximos y mínimos

### 3.3.10 Pantalla de visualización de las Gráficas de los valores de carga.

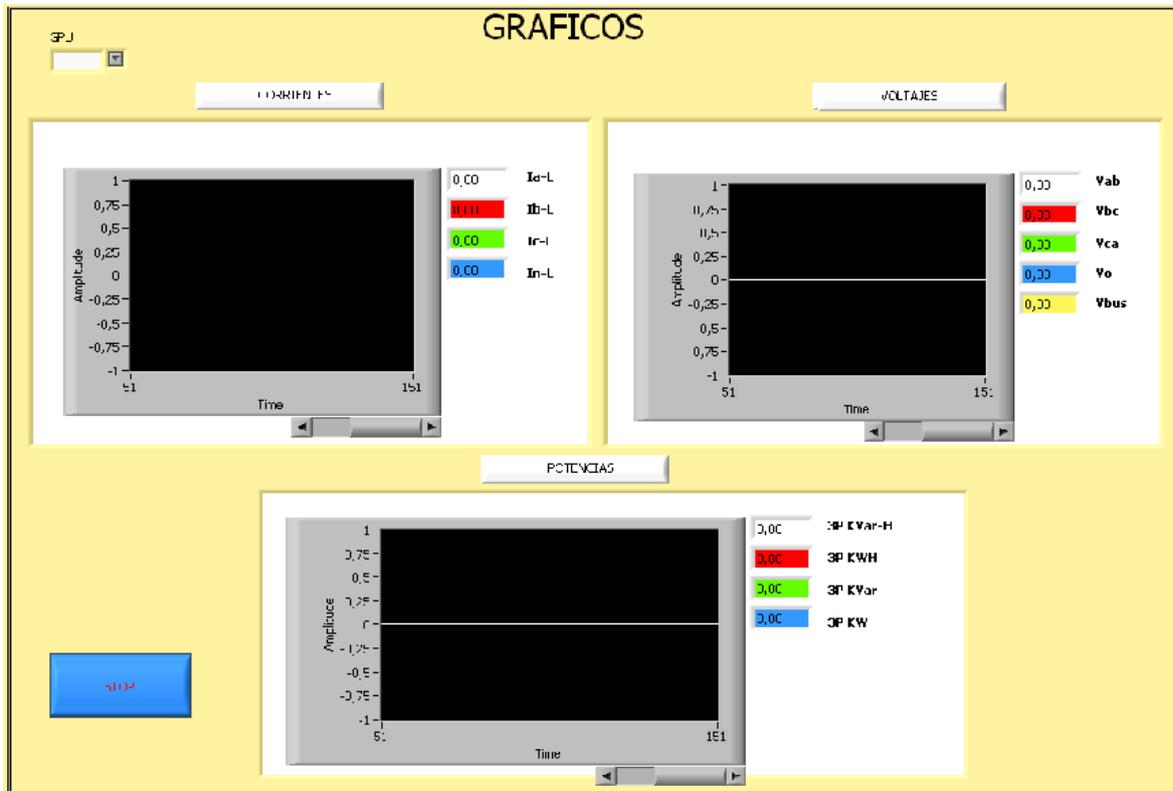


Figura 3.5 Pantalla de visualización de las Gráficas de los valores de carga de los medidores.

En esta pantalla se observa las gráficas de los valores de carga de los medidores como son:

- Corrientes de Fase  $I_{a-L}$ ,  $I_{b-L}$  e  $I_{c-L}$
- Corriente de Tierra  $I_{n-L}$
- Voltajes de línea  $V_{ab}$ ,  $V_{bc}$  y  $V_{ca}$
- Voltaje de Bus  $V_{bus}$
- Kilowatts trifásicos  $3P \text{ KW}$
- KiloVARs trifásicos  $3P \text{ KVar}$
- Kilowatt-horas trifásicos  $3P \text{ KWH}$
- KiloVAR-horas trifásicos  $3P \text{ KVar-H}$

### 3.3.11 Pantalla de visualización de las Alarmas de los medidores.



**Figura 3.6** Pantalla de visualización de las Alarmas.

En esta pantalla se observa las Alarmas que se pueden producir de los valores de carga de los medidores como son:

- Corrientes de Fase Ia-L, Ib-L e Ic-L
- Corriente de Tierra In-L
- Voltajes de línea Vab, Vbc y Vca
- Voltaje de Bus Vbus
- Kilowatts trifásicos 3P KW
- KiloVARs trifásicos 3P KVar
- Kilowatt-horas trifásicos 3P KWH
- KiloVAR-horas trifásicos 3KVar-H
- Factor de Potencia.
- Frecuencia

En esta pantalla también hay indicadores lumínicos que se activan en caso de producirse una alarma; así como también un indicador en el que aparece el valor de la alarma, el tiempo en el cual ésta ocurrió, la prioridad con la que fue seteada, la descripción de la alarma (nombre de la alarma), el área de la alarma ( Hi, Lo) (Hi: indica que la alarma se activo por un valor superior al seteado; Lo: indica que la alarma se activo por un valor inferior al seteado), el nombre del usuario que haya ingresado a observar la alarma.

### 3.3.12 Pantalla de Control ON/OFF de los interruptores.



**Figura 3.7** Pantalla de Control de los Interruptores.

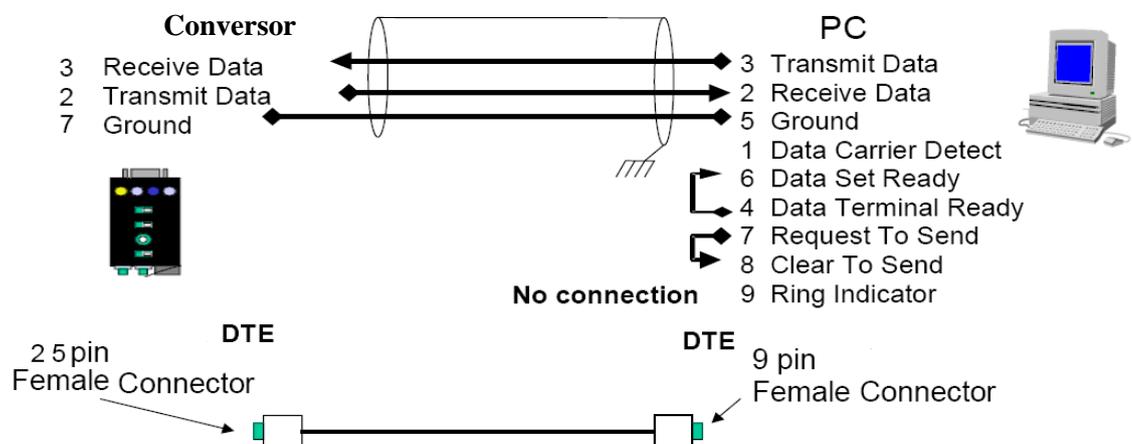
En esta pantalla se realiza el control ON/OFF de los interruptores correspondientes a cada grupo de generación de la central.

## CAPÍTULO IV

### IMPLEMENTACIÓN, PRUEBAS EXPERIMENTALES Y RESULTADOS

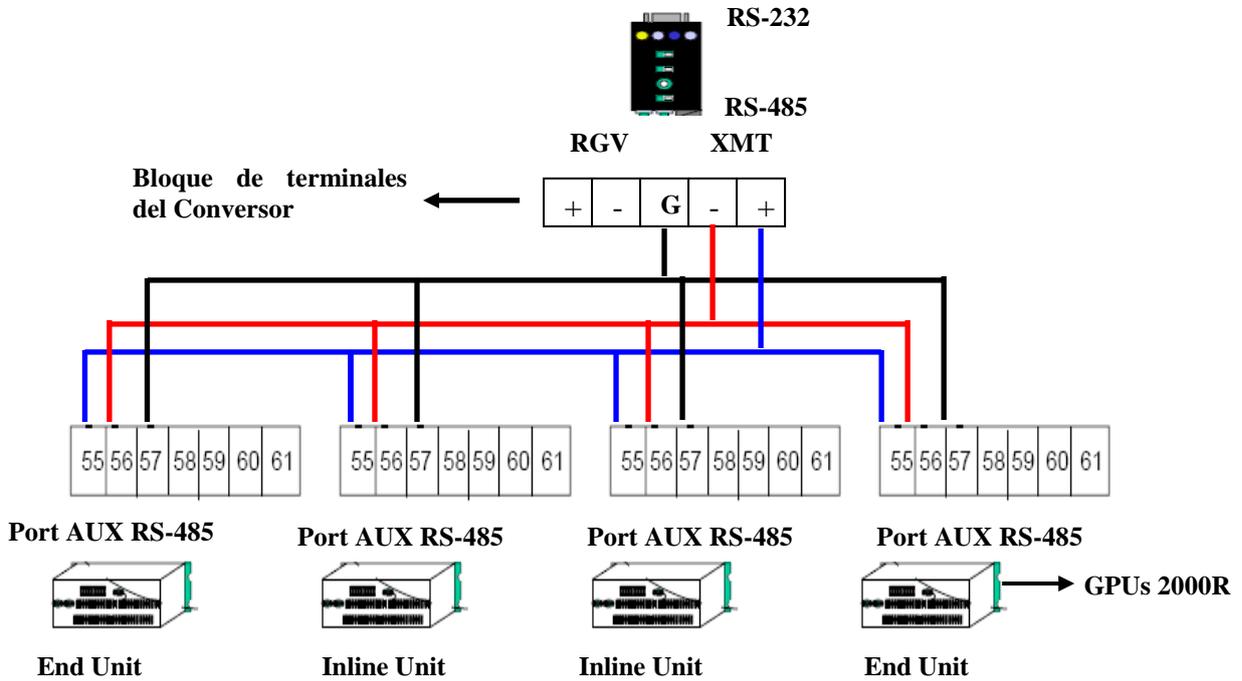
#### 4.2 CABLEADO PARA COMUNICACIÓN ENTRE LOS SISTEMAS DE MEDICIÓN Y LA PC.

##### 4.2.1 Cableado entre el Conversor RS – 232 y la PC



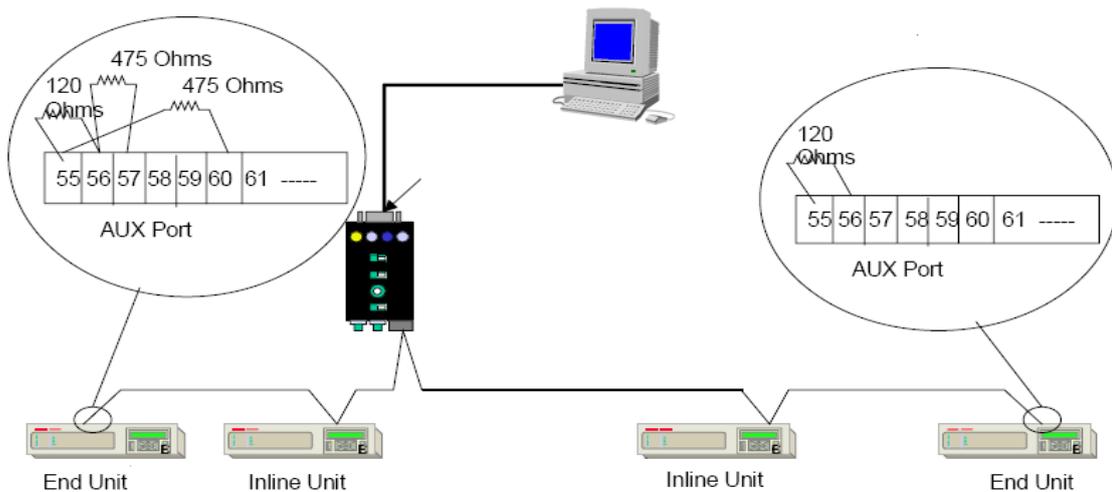
**Figura 4.1** Cableado entre el Conversor RS 232 -RS-485 y la PC.

**4.2.2 Cableado entre el Conversor RS – 232/RS- 485 y los Medidores GPU 2000R.**

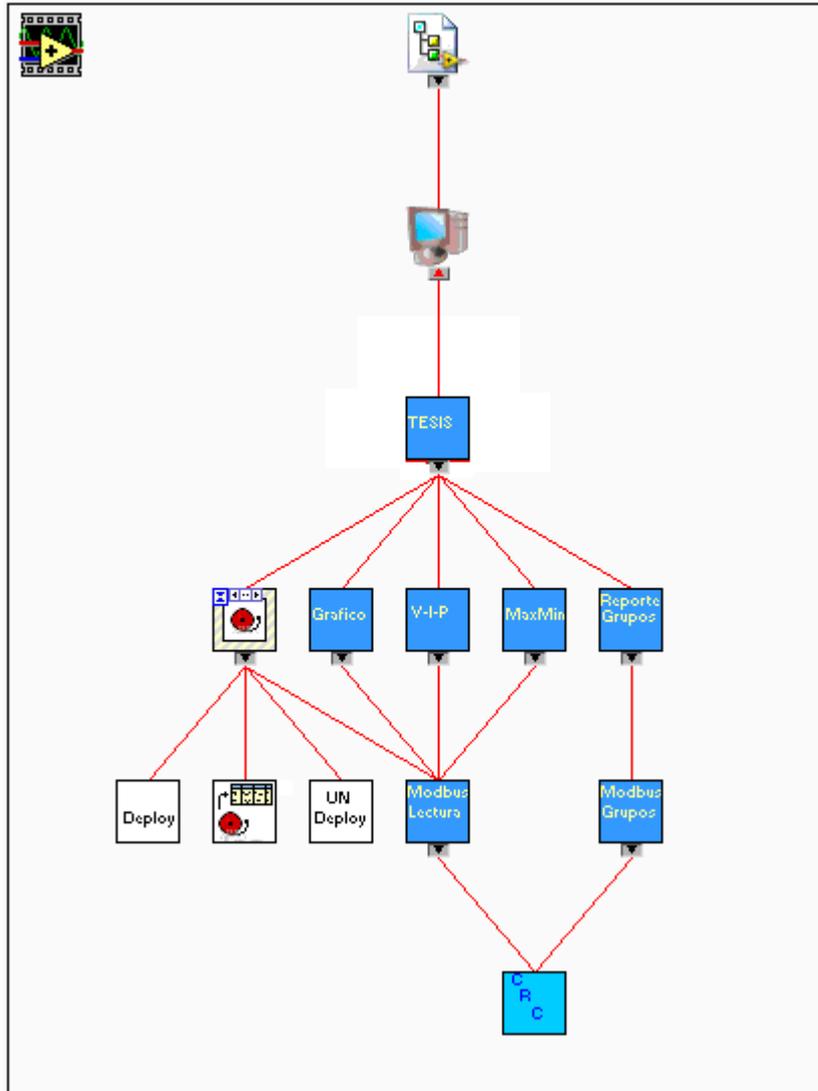


**Figura 4.2** Cableado entre los GPU 2000R a través del puerto Auxiliar RS-485 y el Conversor.

**4.2.3 Colocación de las resistencias de terminación en los medidores GPU 2000R.**



**Figura 4.3** Colocación de las resistencias de terminación en la primera y última unidad GPU.  
4.5 PROGRAMACIÓN DEL HMI.



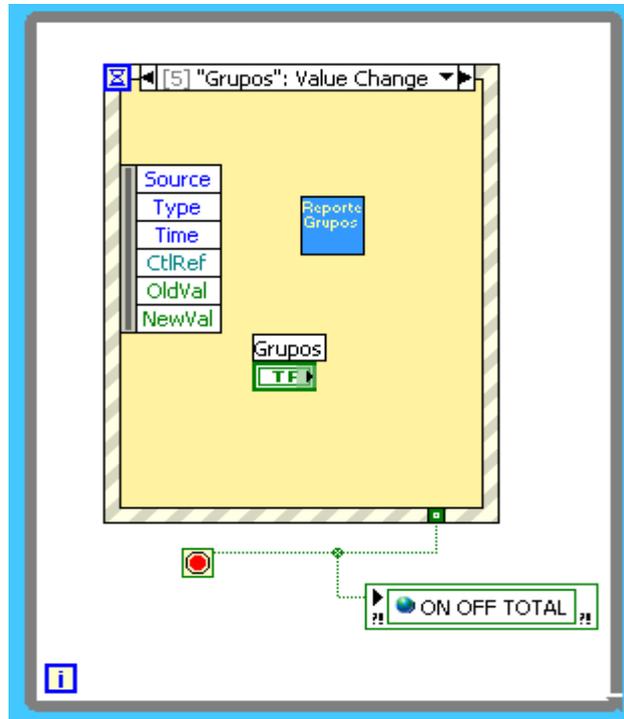
**Figura 4.4** VI Hierarchy ( Jerarquía de los VI )<sup>43</sup>.

Esta figura indica la jerarquía que tienen los VI en la programación del HMI.

A continuación se explicará la programación de los diferentes VI y su función en la pantalla del HMI.

<sup>43</sup> VI Hierarchy = Herramienta de Labview para observar la jerarquía de los VI en una aplicación.

### 3.3.13 Programación de la Pantalla Principal del HMI.



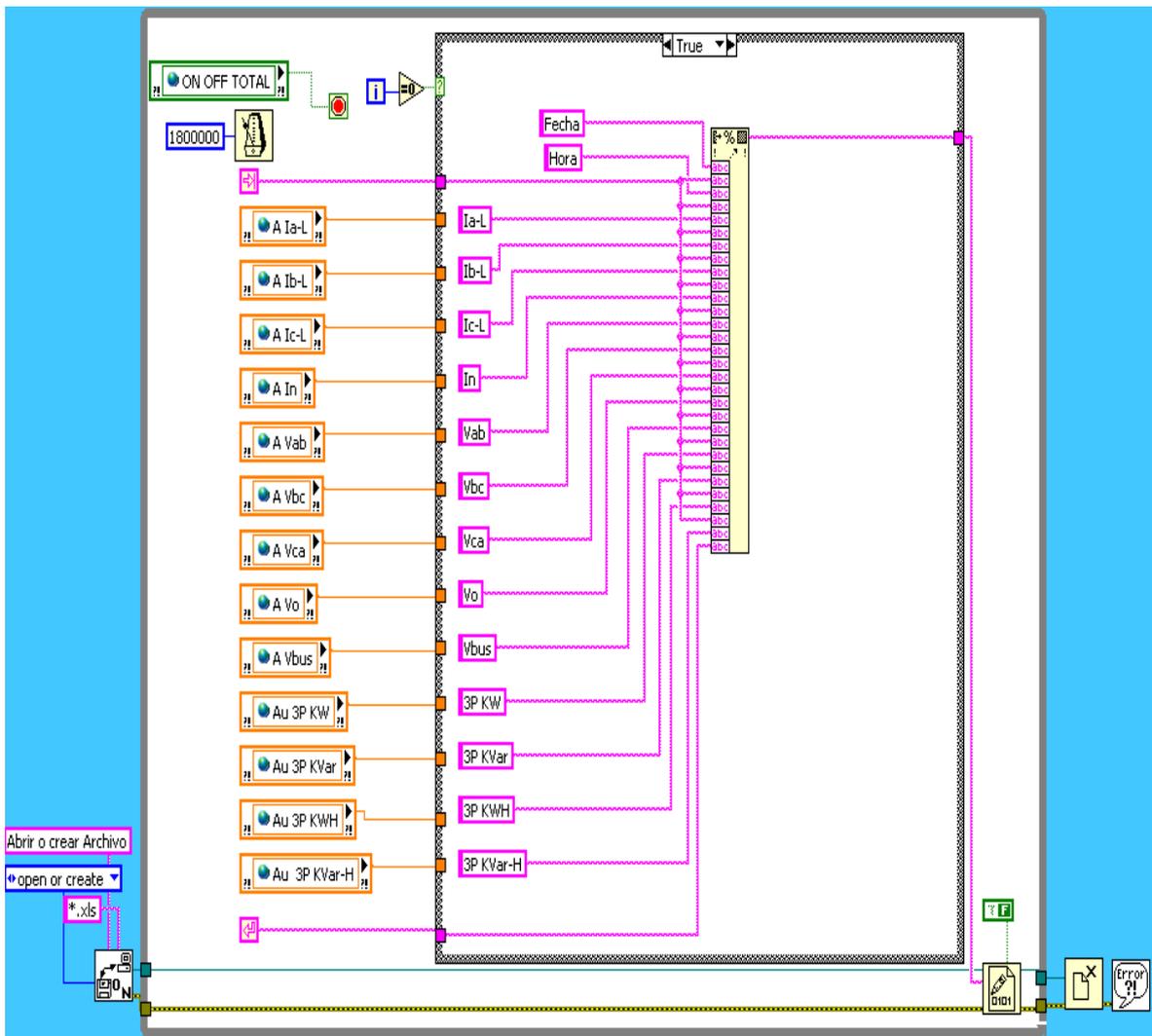
**Figura 4.5** Programación para llamar a las subpantallas del HMI.

Esta parte de la Programación de la Pantalla Principal permite el acceso a las diferentes ventanas que posee el HMI, a través de la utilización de un Event Structure; estas pantallas son:

- Ventana de acceso a la visualización en tiempo real de los valores de carga de los medidores.
- Ventana de acceso a la visualización en tiempo real de los valores Máximos y Mínimos de los medidores.
- Ventana de acceso a la visualización de las gráficas en tiempo real de los valores de carga de los medidores.
- Ventana de acceso de visualización de las alarmas producidas por los medidores.

- Ventana de control ON/OFF de los interruptores de los medidores.

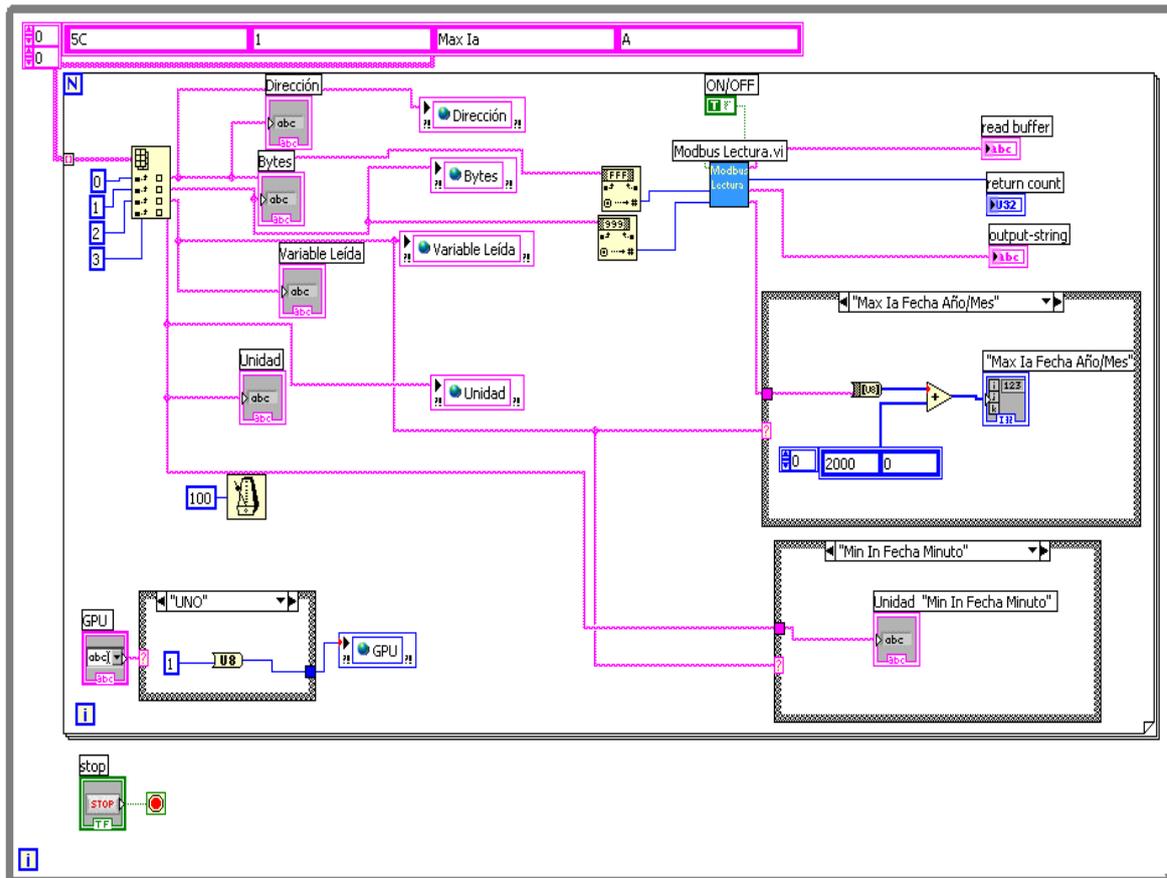
En la siguiente parte de la programación se realiza la escritura de las mediciones en la base de datos; las mediciones son escritas de acuerdo al tiempo que el operador desee.



**Figura 4.6** Programación para generar la base de datos.



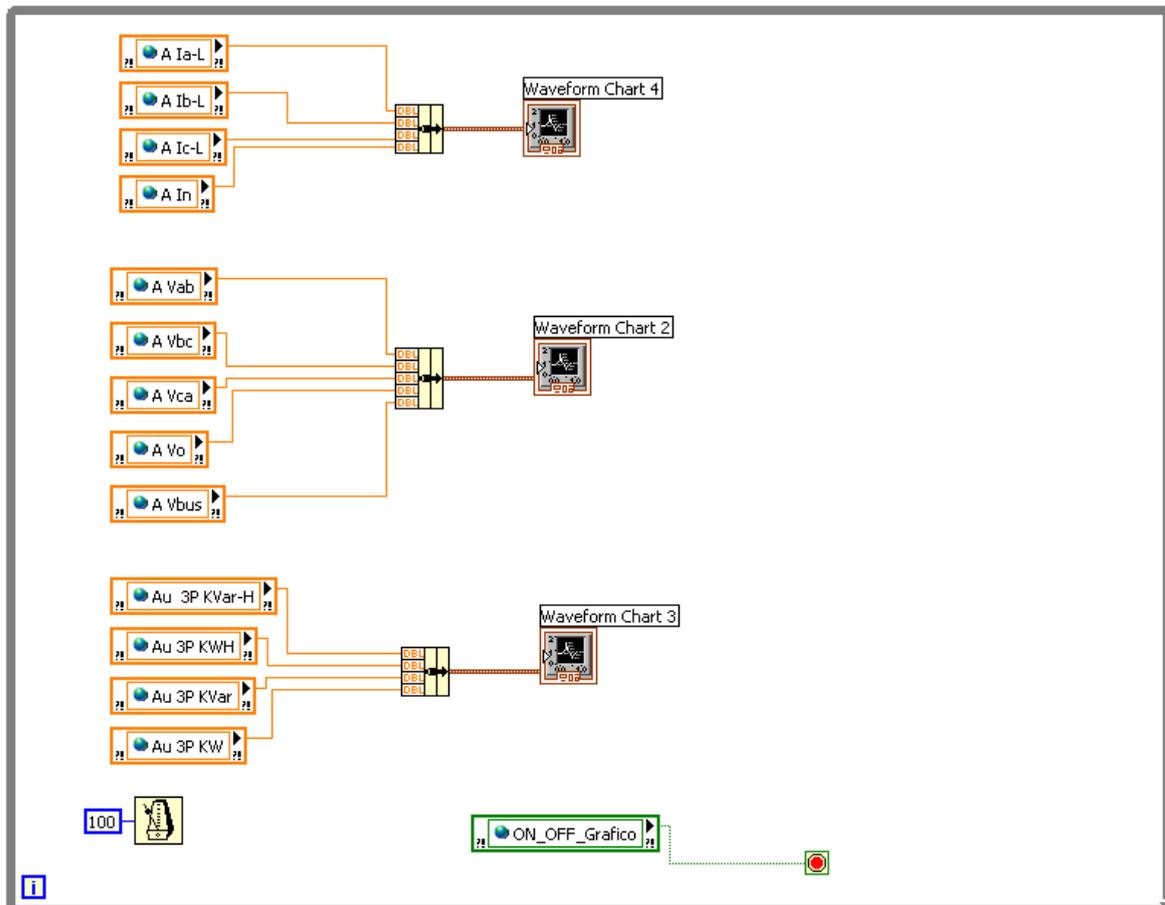
### 3.3.15 Programación de la Pantalla de visualización de los valores Máximos y Mínimos.



**Figura 4.8** Programación para obtener los valores Máximos y Mínimos de los medidores.

El procedimiento para observar los valores Máximos y Mínimos es igual al realizado para observar los valores de carga de los medidores; solo existe una diferencia ya que aquí están guardadas las direcciones en las cuales se encuentran los valores Máximos y Mínimos.

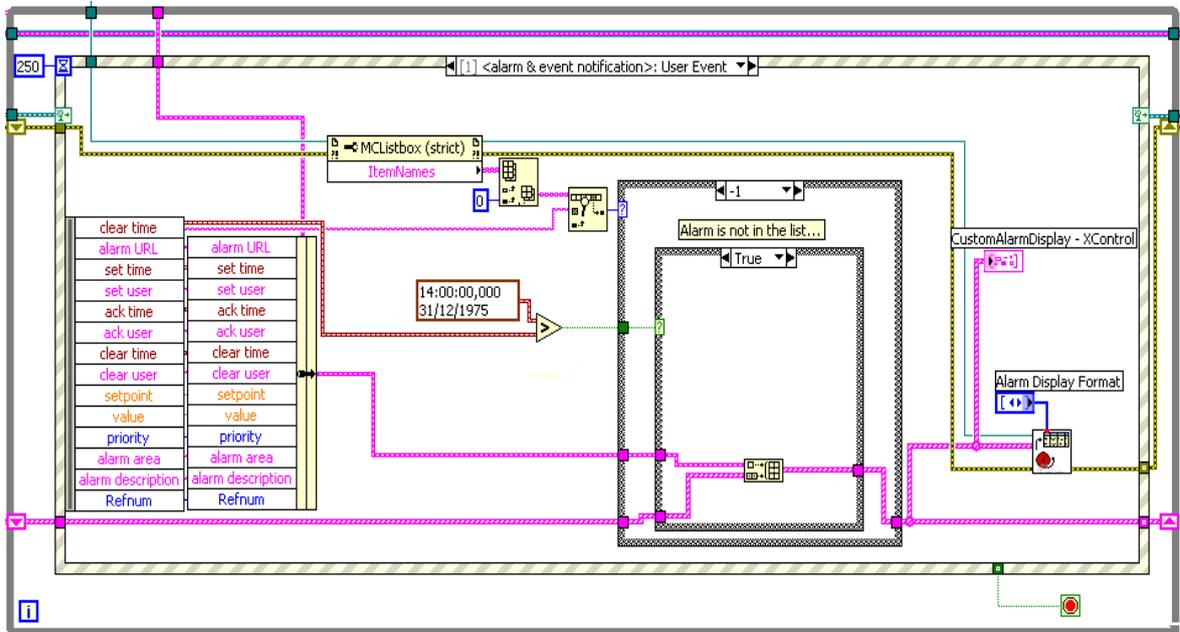
### 3.3.16 Programación de la Pantalla de visualización de las Gráficas de los valores de carga.



**Figura 4.9** Programación para obtener las gráficas de los valores de carga de los medidores.

El procedimiento para obtener las gráficas de los valores de carga de los medidores es el mismo; pero aquí se incluye otra sección en la que una vez obtenidos los valores deseados se los guarda en variables y estos a su vez se los envía a unos Waveform Chart que nos permiten visualizar los datos en tiempo real e históricos.

### 3.3.17 Programación de la Pantalla de visualización de las Alarmas de los medidores.



**Figura 4.10** Programación para obtener la visualización de las Alarmas.

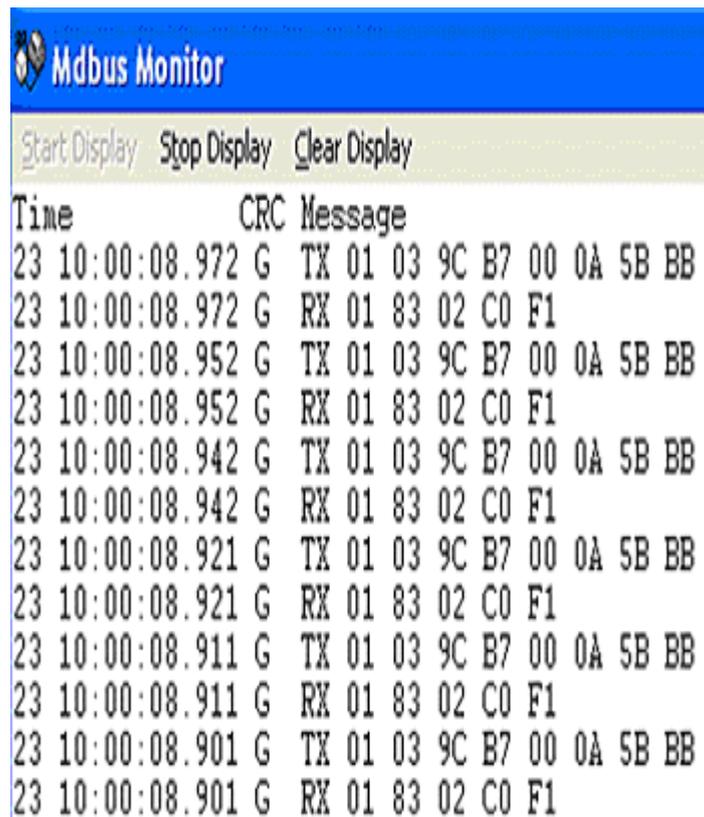
De forma similar a lo anterior el procedimiento para obtener los valores de los datos a los cuales se quiere monitorear su condición de alarma es el mismo; pero aquí se incluye otra sección en la que si los datos han cumplido una condición de alarma, se almacena toda la información relacionada con la alarma para luego mostrarla en la pantalla de visualización de Alarmas; además que cuenta con los indicadores lumínicos que cumplen que se activan al desarrollarse una condición de alarma.



#### 4.6 PRUEBAS EXPERIMENTALES.

Luego de terminado el montaje del sistema, se realizaron diferente tipo de pruebas; estas consistieron en lo siguiente:

Comprobar la comunicación entre los medidores y la PC a través de un software que permite la comunicación bajo el soporte del protocolo Modbus; dando como resultado que los medidores enviaban un mensaje de error ya que éstos no entendían totalmente la trama que se enviaba a través de este software:



The screenshot shows the Mdbus Monitor interface. At the top, there is a blue header with the text 'Mdbus Monitor'. Below the header, there are three buttons: 'Start Display', 'Stop Display', and 'Clear Display'. The main area displays a list of messages with the following columns: Time, CRC, and Message. The messages are as follows:

Time	CRC	Message
23 10:00:08.972	G	TX 01 03 9C B7 00 0A 5B BB
23 10:00:08.972	G	RX 01 83 02 C0 F1
23 10:00:08.952	G	TX 01 03 9C B7 00 0A 5B BB
23 10:00:08.952	G	RX 01 83 02 C0 F1
23 10:00:08.942	G	TX 01 03 9C B7 00 0A 5B BB
23 10:00:08.942	G	RX 01 83 02 C0 F1
23 10:00:08.921	G	TX 01 03 9C B7 00 0A 5B BB
23 10:00:08.921	G	RX 01 83 02 C0 F1
23 10:00:08.911	G	TX 01 03 9C B7 00 0A 5B BB
23 10:00:08.911	G	RX 01 83 02 C0 F1
23 10:00:08.901	G	TX 01 03 9C B7 00 0A 5B BB
23 10:00:08.901	G	RX 01 83 02 C0 F1

**Figura 4.12** Mensaje de error enviado desde el GPU 2000R.

Este mensaje consistía en que los medidores GPU 2000R no entendían la dirección a la cual se estaba preguntando por el dato que se deseaba monitorear.

Los GPU 2000R solo manejan dos dígitos en la trama de la dirección y el software que utilizamos maneja cuatro dígitos en la trama de la dirección; esto fue de gran utilidad al momento de realizar la programación en el HMI ya que se tenía conocimiento previo de cómo enviar la trama de datos al GPU 2000R para realizar cualquier tipo de interrogación por algún dato que se deseaba monitorear.

En la Central Eléctrica Illuchi 1 existen cuatro grupos de generación, cada uno de los cuales posee un GPU 2000R; se realizó las pruebas de comunicación con todos los GPU 2000R, dando como resultado que al momento de hacer cualquier tipo de interrogación los cuatro GPU 2000R enviaban la trama de datos.

Se contacto con los representantes de ABB aquí en el Ecuador que fueron los que habían suministrado los GPU 2000R a la empresa Eléctrica con la finalidad de comprobar el estado de los mismos, y al momento de que los técnicos de ABB realizaron las pruebas de comunicación el resultado fue el mismo.

Los técnicos de ABB supieron manifestar que no tenían experiencia en realizar ese tipo de comunicaciones con los GPU 2000R por lo cual el presente trabajo de tesis es de autoría propia.

Además se realizó el chequeo de las diferentes señales enviadas al GPU 2000R, las cuales consistieron en verificar todos los valores obtenidos de éste en el mapa Modbus y compararlos con los proporcionados en la pantalla de visualización del GPU 2000R.

También se realizó pruebas para observar el funcionamiento de las alarmas programadas en el HMI; estas consistieron en observar si las alarmas se activaban o no al momento de que su valor esté fuera del rango al cual fue seteada la alarma, dando como resultado que las alarmas estaban en correcto funcionamiento.

Finalmente fue efectuada una prueba total del sistema la cual consistió en monitorear los datos desde la PC y verificar si la comunicación es totalmente confiable; dando como resultado que la comunicación RS-232 es totalmente correcta y eficaz.

#### 4.7 ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO

El objetivo de cualquier empresa y, por tanto, de una actividad productora de Energía Eléctrica, no es otro que lograr la mayor rentabilidad posible. La toma de decisiones dentro del HMI ha de tener en cuenta la situación económica del momento y del lugar, teniendo para esto la cantidad de Energía que produce cada grupo de generación, así como posibles situaciones futuras de aumento de potencia.

Para ello debemos seleccionar aquellos equipos y elementos de control que vayan a conseguir que la rentabilidad de la empresa sea máxima, evitando que existan fallas que pudieran afectar el itinerario de generación de energía eléctrica.

El presente proyecto ha tenido como finalidad principal la recopilación de los valores de las mediciones en tiempo real, así como también la generación de una base de datos en la cual se guarde la cantidad de energía eléctrica generada cada cierto intervalo de tiempo.

La energía eléctrica generada no aumentará pero se evitará posibles errores al momento en que los operadores observen y guarden manualmente los datos producidos por los generadores.

Los errores al momento de obtener el resultado diario, disminuirán significativamente y los operadores de la central de generación Illuchi 1 van a trabajar en un ambiente mucho más confiable desde el primer momento en que el sistema empiece a funcionar.

Para esto fue necesario el material detallado a continuación:

<b>Item</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Costo unitario (USD)</b>	<b>Costo total (USD)</b>
1	1	Computador personal	850	850
2	200 m	Cable de instrumentación apantallado 4x20 AWG	1,525	305
3		Artículos de oficina y papelería		200
4	1	Convertor de interface RS 232/RS 485	180	180
5	80	Horas de Internet	1	80
6		Extras	50	50
<b>Total proyecto</b>				1.665
<b>Financiamiento empresa</b>				1.335
<b>Financiamiento propio</b>				330

**Tabla 4.1** Análisis Económico

Aún el Costo-Beneficio sigue siendo muy alto si consideramos el nivel de seguridad obtenido y la cantidad de energía eléctrica producida por la Central de Generación Illuchi N° 1.

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **4.3 CONCLUSIONES**

- El nuevo Sistema de Instrumentación y Monitoreo para los tableros de control y generadores de la Central Illuchi 1 cumple con los requerimientos de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi (ELEPCO S.A.)”.
- Con este sistema se logra que la intervención de los operadores de la Central Illuchi 1 en el área de adquisición de datos sea mínima proporcionando confiabilidad en los datos obtenidos.
- Las operaciones realizadas por el HMI son seguras y su funcionamiento es sumamente resistivo al tiempo y al trabajo.
- No existió ningún problema de operabilidad durante las pruebas experimentales y el tiempo que ya lleva funcionando el sistema.
- El nuevo sistema realiza las mismas funciones que realizan los operadores manualmente pero con mucha más eficiencia.

- El sistema desarrollado es de fácil operación, puesto que las diferentes pantallas del HMI son muy amigables al usuario.
- El nuevo Sistema de Instrumentación y Monitoreo para los tableros de control y generadores de la Central Illuchi 1 es muy práctico y podría implementarse en la Central Illuchi 2 de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi (ELEPCO S.A.)”.
- Con un análisis preciso es posible tomar decisiones que son provechosas para el interruptor, para la red y para el personal de mantenimiento.
- El protocolo Modbus sobre RS-485 presenta la ventaja de su simplicidad, dado que se trata de un protocolo de tipo maestro-esclavo, con lo que el acceso al medio no supone mayores dificultades y la composición de las tramas de datos es relativamente sencilla.
- Al tratarse de un sistema abierto, siempre que la disponibilidad económica lo permita, integraremos equipos industriales reales, de manera que el sistema se vaya convirtiendo en una aplicación real del trabajo desarrollado.
- Una de las ventajas de la programación en LabVIEW es la estructura gráfica de bloques (funciones) unidos mediante líneas que establecen el flujo de datos.

#### 4.4 RECOMENDACIONES

- Capacitar al personal que opera la Central Illuchi 1 indicando alcances y limitaciones del sistema, logrando que se familiarice y opere de forma correcta el sistema desarrollado.

- Se recomienda tomar en cuenta la estética de un HMI a realizarse.
- Estudiar toda la información posible para tener una idea clara del funcionamiento de los equipos y así contar con un buen criterio de diseño e implementación.
- Para verificar la operación correcta de la unidad, deben seguirse los procedimientos de prueba. Tenga sumo cuidado al trabajar con equipos energizados, para evitar los choques eléctricos.
- El servicio de reparación y mantenimiento de estos dispositivos GPU 2000R deben ser realizado sólo por técnicos competentes familiarizados con los procedimientos de seguridad apropiados.
- Los ajustes por omisión de las unidades GPU 2000R no son “ajustes recomendados”. El usuario deberá examinar, seleccionar y aplicar los ajustes apropiados en base a la aplicación específica.
- Si se quita el relé de su caja, el usuario queda expuesto a voltajes peligrosos. Tenga sumo cuidado. No introduzca sus manos ni objetos extraños en la caja.
- Cuando conecte una PC directamente al GPU-2000R (no mediante un módem), con un cable RS-232 de 9 pines, utilice un adaptador de módem nulo de 9 pines.
- Es recomendable guardar todos los ajustes del programa en un disco, para evitar daños en las configuraciones que pueden ser causa de pérdida de información del GPU.
- Los puertos RS-232 no aislados son susceptibles al ruido eléctrico. Por esta razón se recomienda que, al conectar a un puerto no aislado, se utilicen cables de conexión que

no excedan de 10 pies (3 metros) de largo. Los dispositivos conectados a puertos no aislados deberán tener el mismo retorno a tierra que la unidad 2000R.

- Es necesario tener conocimiento del interruptor, de los valores de referencia (cuadro de tiempos) y de las características de la red.
- Se recomienda utilizar el conversor de interfase RS232/RS485 con fuente de alimentación externa para su polarización.
- El cableado incorrecto puede resultar en daños. Asegúrese que el cableado concuerda con el diagrama de conexiones antes de energizar el equipo.
- Debe aplicarse únicamente el voltaje nominal de control que está marcado en la unidad GPU 2000R.

## BIBLIOGRAFIA

- Folletos de la historia de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A.
- Manual de aplicación del GPU 2000R de ABB.
- REDES INDUSTRIALES DIGITALES Dr. Luis Corrales

## BIBLIOGRAFIA DE INTERNET

- <http://www.lanpoint.com/data-acquisition-products+M5c50842c46a.html>
- <http://www.caldon.net/pdf/IB0147R2sp.pdf>
- [http://www.afeisa.es/wafei/ficheros/Manuales\\_Usuario/CMUE\\_CRS485.pdf](http://www.afeisa.es/wafei/ficheros/Manuales_Usuario/CMUE_CRS485.pdf)
- [http://www.dte.upct.es/personal/manuel.jimenez/docencia/GD6\\_Comunic\\_Ind/pdfs/Tema%207.pdf\\_tema%207:](http://www.dte.upct.es/personal/manuel.jimenez/docencia/GD6_Comunic_Ind/pdfs/Tema%207.pdf_tema%207:)
- <http://iaci.unq.edu.ar/materias/laboratorio2/transparencias%5Cmodbus.pdf>
- <http://www.zensol.com/VE/compartir-pruebas-tiempo1.htm#1>
- <http://www.minem.gob.pe/archivos/dge/legislacion/codigonacional/codigolii-lx.pdf>
- [http://library.abb.com/global/scot/scot271.nsf/veritydisplay/047b0b97ebd23dbcc125728f004cf83e/\\$File/75-78%201M720\\_SPA72dpi.pdf](http://library.abb.com/global/scot/scot271.nsf/veritydisplay/047b0b97ebd23dbcc125728f004cf83e/$File/75-78%201M720_SPA72dpi.pdf)
- <http://bdd.unizar.es/Pag7/APARAMEN/SECCIONA/indice.htm>
- [http://profesormolina2.webcindario.com/electromec/prot\\_linea\\_elec.htm](http://profesormolina2.webcindario.com/electromec/prot_linea_elec.htm)
- <http://www.monografias.com/trabajos17/sistemas-adquisicion-dato/sistemas-adquisicion-dato.shtml>
- <http://www.icom.com.mx/>
- <http://proton.ucting.udg.mx/tutorial/LabVIEW/Labview.doc>
- [http://www.zensol.com/Articles/Zensol\\_EneFeb2007.pdf](http://www.zensol.com/Articles/Zensol_EneFeb2007.pdf)
- [http://polk-burnett.apogee.net/pd/dvprn.asp\\_ANSI\\_37.90](http://polk-burnett.apogee.net/pd/dvprn.asp_ANSI_37.90)

- <http://www.iec.ch/>
- [http://members.tripod.com/mqhd\\_ita.mx/u3.htm](http://members.tripod.com/mqhd_ita.mx/u3.htm)
- [www.depi.itchihuahua.edu.mx/electro/archivo/electro2001/mem2001/articulos/mon6.pdf](http://www.depi.itchihuahua.edu.mx/electro/archivo/electro2001/mem2001/articulos/mon6.pdf)
- [http://www.aadeca.org/articulos/Tracnova-La\\_Instrumentacion\\_Virtual.pdf](http://www.aadeca.org/articulos/Tracnova-La_Instrumentacion_Virtual.pdf)
- <http://laurel.datsi.fi.upm.es/~ssoo/STR/>
- <http://www.senacitel.cl/downloads/senacitel2002/ID026.pdf>
- <http://neo.lcc.uma.es/evirtual/cdd/tutorial/fisico/Transda.html>
- [http://pgb12hmi.es.01\\_0703\[1\].pdf](http://pgb12hmi.es.01_0703[1].pdf)
- [http://www.une.edu.ve/~jduran/disertaciones\\_unidad1.html](http://www.une.edu.ve/~jduran/disertaciones_unidad1.html)
- <http://webdia.cem.itesm.mx/ac/rogomez/SlidesEspe/TransDatos.ppt#256,1>
- [http://www.wikilearning.com/transmision\\_de\\_senales-wkccp-12451-9.htm](http://www.wikilearning.com/transmision_de_senales-wkccp-12451-9.htm)
- <http://www.inf.utfsm.cl/~jcanas/ramos/Redes/Apuntes/Capitulo2.pdf>
- <http://www.fafiles.com/syllabus.php>
- [http://library.abb.com/GLOBAL/SCOT/SCOT229.nsf/VerityDisplay/6A1601233C78FDE5C1256E51006D2963/\\$File/AN-88D-01.pdf](http://library.abb.com/GLOBAL/SCOT/SCOT229.nsf/VerityDisplay/6A1601233C78FDE5C1256E51006D2963/$File/AN-88D-01.pdf) ULO ULI

# **ANEXOS**

## A. GLOSARIO

GPU: Unidad de Protección de Generadores

SNI= Sistema Nacional Interconectado.

S/E= Subestación.

ÁLABES: El álabe tiene la forma de doble cuchara, con una arista diametral sobre la que incide el agua produciéndose una desviación simétrica en dirección axial, buscando un equilibrio dinámico de la máquina en esa dirección.

Fem: Fuerza Electromotriz

IEC: International Electrotechnical Comisión: Standares Internacionales y conformidad valorada para gobernar, negocios, y para toda la sociedad eléctrica, electrónica y tecnologías relacionadas.

EMI: Interferencia Electromagnética.

HMI: Interfaz Hombre-Máquina.

TC: Transformador de Corriente.

TP: Transformador de Potencial.

DSP: Procesamiento Digital de Señales

A/D: Análogo/Digital

Fm: Frecuencia de Muestreo

VI: Instrumento Virtual

DSC: Datalogin Supervisory Control

PLC: Controlador Lógico Programable

DTE: Equipo Terminal de Datos

DCE: Equipo de Comunicación de Datos

CENACE: Centro Nacional de Control de Energía

VI Hierarchy: Herramienta de LabView para observar la jerarquía de los VI en una aplicación.

## B. MANUAL DE OPERACIÓN

### 1. EJECUTAR EL HMI.

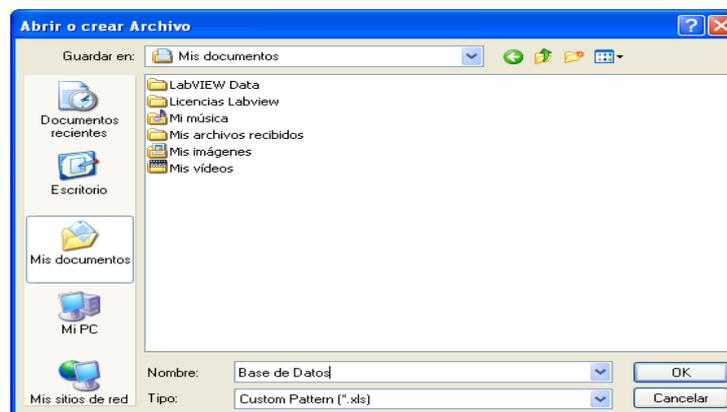
Para poner en funcionamiento al HMI se debe dar un clic con el Mouse en el botón Run, en ese instante el HMI empezará a funcionar.



**Figura a)** Ubicación del botón Run en la pantalla principal del HMI.

### 2. GUARDAR LAS MEDICIONES EN LA BASE DE DATOS.

Inmediatamente después de que empiece a funcionar el HMI aparecerá una ventana como la siguiente:



**Figura b)** Ventana para poner el nombre y escoger el destino de la base de Datos.

En esta pantalla se seleccionará la ubicación en la cual se desea guardar la base de datos y se dará un nombre a la misma y una vez verificada la ubicación y el nombre de ésta se pulsará sobre el botón OK que aparece en la pantalla para que desde ese momento se empiecen a guardar las mediciones en la base de datos.

### 3. VISUALIZAR LAS MEDICIONES DE LOS GPU EN TIEMPO REAL

Para visualizar las mediciones de los Valores de Carga, los valores Máximos y Mínimos, las Gráficas de los valores de carga y las Alarmas; simplemente damos un clic con el Mouse sobre el botón respectivo en el cual observemos la opción que deseemos monitorear y enseguida aparecerá la pantalla a la cual nosotros hemos decidido acceder. Estos botones se encuentran en un menú en la pantalla principal del HMI como lo indica la siguiente figura:



**Figura c)** Menú para escoger la opción a la cual se quiere acceder en el HMI.

#### **Nota:**

Para retornar a la pantalla principal del HMI desde cualquier pantalla ingresada solo es necesario dar un clic con el Mouse en el botón Stop que se encuentra en todas las subventanas del HMI.

Para finalizar la escritura de las mediciones en la base de datos se debe dar un clic con el ratón en el botón Stop que se encuentra en la pantalla principal del HMI, también se detendrá el funcionamiento del HMI.

Para ejecutar nuevamente el HMI se debe realizar la opción número uno (1) de este manual de operación.

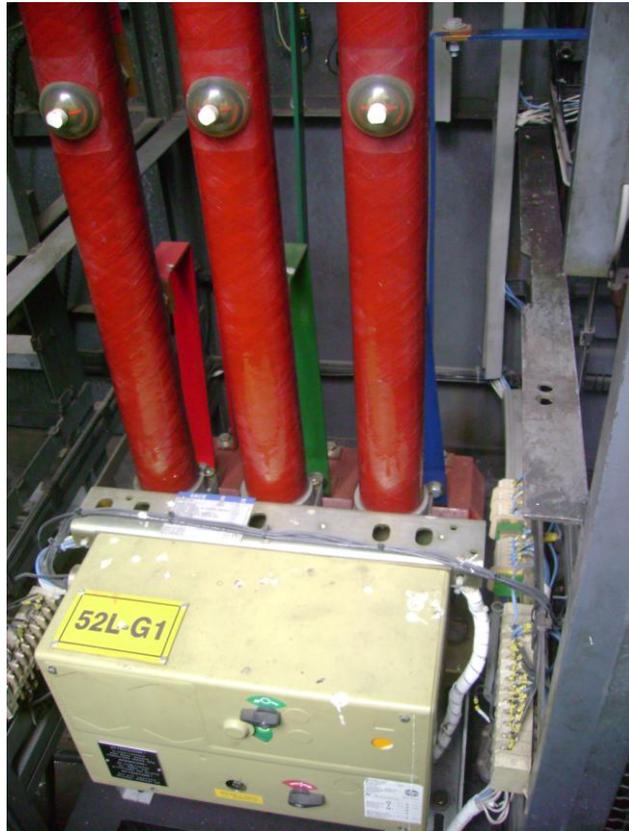
## C. FOTOGRAFÍAS



SISTEMA EN FUNCIONAMIENTO



GRUPOS DE LA CENTRAL ILLUCHI 1



INTERRUPTOR

**Latacunga, Octubre del 2007**

**Realizado por:**

---

**Diego F. Jaramillo Rubio**

---

**Franklin Medina**

---

**Ing. Armando Álvarez**  
**COORDINADOR DE LA CARRERA**

---

**Dr. Eduardo Vásquez Alcázar**  
**DIRECTOR DE LA UNIDAD DE ADMISION Y REGISTRO**