

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Escuela de Ingeniería Electrónica



**Monitoreo de variables eléctricas de bancos de baterías en subestaciones
de la Compañía Nacional de Fuerza y Luz.**

**Informe de Proyecto de Graduación para optar por el título de Ingeniero en
Electrónica con el grado académico de Licenciatura**

Carlos Alberto Arguedas Coto

Cartago, Junio 2011

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

PROYECTO DE GRADUACIÓN

TRIBUNAL EVALUADOR

Proyecto de Graduación defendido ante el presente Tribunal Evaluador como requisito para optar por el título de Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Miembros del Tribunal



Dipl.-Ing. José Arnoldo Rojas Coto

Profesor asesor



Ing. Johann Carvajal Godínez

Profesor lector

Los miembros de este Tribunal dan fe de que el presente trabajo de graduación ha sido aprobado y cumple con las normas establecidas por la Escuela de Ingeniería Electrónica

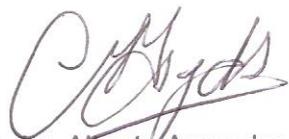
Cartago 23 de junio de 2011

Declaro que el presente Proyecto de Graduación ha sido realizado enteramente por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos propios.

En los casos en que he utilizado bibliografía, he procedido a indicar las fuentes mediante las respectivas citas bibliográficas.

En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo de graduación realizado y por el contenido del correspondiente informe final.

Cartago, noviembre 2011



Carlos Alberto Arguedas Coto

Céd: 1-1163-0004

Dedicatoria

A Dios por darme salud para llegar a este día.
A mis padres por todo el amor y apoyo incondicional en todas las etapas de mi vida, son mi mayor tesoro.

Agradecimiento

A la Compañía Nacional de Fuerza y Luz por abrirme las puertas para realizar la práctica profesional, en especial a todo el personal de la Sección Protecciones y Automatización.

Quiero agradecer a los profesores Ing. Sergio Morales e Ing. Johan Carvajal y muy especialmente al Ing. Arnoldo Rojas por todo el apoyo y paciencia que tuvieron durante este proceso.

Resumen.

La Compañía Nacional de Fuerza y Luz cuenta con un sistema SCADA de monitoreo y adquisición de datos para diversos procesos en subestaciones eléctricas, se plantea la necesidad de obtener datos de variables eléctricas de las baterías que abastecen de tensión auxiliar a los equipos en la subestación, para lograrlo se diseña un sistema de gestión de las baterías por medio del cual se obtiene el valor de tensión y corriente del banco, éste se muestra en un módulo de visualización LCD y se comunica con el sistema SCADA para tener los datos en tiempo real en el centro de monitoreo.

El proyecto contempla todas las etapas necesarias para diseñar el sistema electrónico capaz de solventar la necesidad de CNFL de incrementar los datos que se obtienen del banco de baterías ubicado en el patio de interruptores Porrosatí. El sistema involucra un banco de baterías, conectarse a una red Ethernet con protocolo MODBUS, comunicación de datos vía puerto Ethernet, un sistema micro controlado, sensores con acondicionamiento de señal y módulos de visualización.

Palabras clave: ANSI/TIA/EIA-232F, Sensores, banco de baterías, Ethernet, Circuito impreso, MODBUS, micro controlador, multiplexor analógico, convertidor de medios, PICC, Transductor, SCADA.

Abstract.

CNFL Company has a SCADA system for monitoring and data acquisition for various processes in electrical substations. CNFL need to get the electrical data of batteries bank that provide auxiliary power to equipment in the substation. In designing a battery management system whereby you get the voltage and current, it is displayed on a LCD display module and communicates with the SCADA system to have real-time data center monitoring.

The project includes all the steps necessary to design the electronic system able to address the need to increase data obtained from the battery bank located in the courtyard Porrosatí switch.

The system involves a bank of batteries; connect to an Ethernet network with MODBUS protocol, data communication via Ethernet port, a microcontroller, sensors with signal conditioning and display modules.

Keywords: ANSI/TIA/EIA-232F, Sensor, battery bank, Ethernet, PCB, MODBUS, microcontroller, analog multiplexor, media converter, PICC, Transducer, SCADA.

ÍNDICE GENERAL

Capítulo 1: Introducción	12
1.1 Problema existente e importancia de su solución.....	12
1.2 Solución seleccionada.....	13
Capítulo 2: Meta y Objetivos	16
2.1 Meta	16
2.2 Objetivo general	16
2.3 Objetivos específicos.....	17
Capítulo 3: Marco teórico	18
3.1 Descripción del sistema o proceso a mejorar	18
3.1.1 Sistema en el cual se inserta el proyecto	19
3.2 Antecedentes Bibliográficos	24
3.2.1 Comunicación RS-232	24
3.2.2 Protocolo Modbus	26
3.2.3 Convertidores de Medios	39
3.2.4 Baterías Plomo-Ácido	41
Capítulo 4: Procedimiento metodológico.....	45
4.1 Reconocimiento y definición del problema.....	45
4.2 Obtención y análisis de información.....	48
4.3 Evaluación de las alternativas y síntesis de una solución.....	49
4.4 Implementación de la solución.....	51
4.5 Reevaluación y rediseño.....	53
Capítulo 5: Descripción detallada de la solución.....	54
5.1 Análisis de soluciones y selección final.....	54
5.2 Descripción del hardware.....	58
5.2.1 Diagrama Primer Nivel.....	58
5.2.2 Diagrama de Segundo Nivel.....	63
5.2.3 Diagrama de Tercer nivel.....	67
5.3 Descripción del Software.....	71
Capítulo 6: Análisis de Resultados.....	74
6.1 Resultados.....	74
6.2 Análisis.....	76
Capítulo 7: Conclusiones y recomendaciones	77
7.1 Conclusiones.....	77
7.2 Recomendaciones	78

Bibliografía	79
Apéndices.	81
A.1 Glosario y abreviaturas	81
A.2 Guía rápida de uso del sistema.....	86
A.3 Información sobre la empresa.....	91
A.4 Esquemáticos de Eagle para impresos.....	93
Anexos.....	94

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Diagrama general del sistema.....	14
Figura 3.	Ubicación de la Subestación Porrosatí y el Plantel del Virilla.....	19
Figura 3.2	Esquema de elementos de un sistema SCADA	22
Figura 3.3	Conexión de los elementos de un sistema SCADA.....	22
Figura 3.4	Esquema de conexiones de la RTU	23
Figura 3.5	Esquema de conexión RS-232	24
Figura 3.6	Pines DB9 para RS-232	25
Figura 3.7	Comunicación half duplex	25
Figura 3.8	Comunicación serie.....	25
Figura 3.9	Pila de comunicación MODBUS	26
Figura 3.10	Arquitectura de red MODBUS	28
Figura 3.11	Campos de datos MODBUS	28
Figura 3.12	Transición MODBUS (sin error)	29
Figura 3.13	Transición MODBUS (con error)	30
Figura 3.14	Modelo de datos con bloque separado de memoria	31
Figura 3.15	Modelo de direccionamiento MODBUS	32
Figura 3.16	Transición de datos MODBUS	33
Figura 3.17	Categoría de los códigos de función MODBUS	35
Figura 3.18	Tamaño y valor de registros de ADU MODBUS	36
Figura 3.19	Ejemplo solicitud de lectura de registros 108-110	36
Figura 3.20	Diagrama de Estados de la función “Read Holding Register”	37
Figura 3.21	Conexión dispositivo serie a red Ethernet.	41
Figura 3.22	Celda electroquímica.....	41
Figura 3.23	Batería Pb-Ácido.....	42
Figura 5.1	Diagrama primer nivel.	58
Figura 5.2	Datos de placa de las baterías.....	59
Figura 5.3	Banco de baterías Porrosatí.....	59
Figura 5.4	Sensor de tensión CR5300.....	60
Figura 5.5	Diagrama de conexión sensor familia CR5300	60
Figura 5.6	Fuente de energía para sensores.	61
Figura 5.7	Sensor de corriente CR5210.....	62
Figura 5.8	Diagrama de conexión sensor familia CR5210	62
Figura 5.9	Gabinete para sensores.....	63
Figura 5.10	Diagrama de segundo Nivel.....	63

Figura 5.11	Circuito impreso vista 1.	65
Figura 5.12	Circuito impreso vista 2.	65
Figura 5.13	Ventanas de programación Lantronix.....	66
Figura 5.14	Convertidor de medios Lantronix.....	67
Figura 5.15	Diagrama de tercer nivel.	67
Figura 5.16	Diagrama de conexión sistema gestión de baterías.....	68
Figura 5.17	Módulo visualización alarma LED's.....	69
Figura 5.18	Módulo visualización LCD.	69
Figura 5.19	Módulo visualización SCADA.	70
Figura 5.20	Diagrama de conexión módulo de visualización.	70
Figura 5.21	Diagrama de flujo obtención de datos.	71
Figura 5.22	Diagrama de flujo activar alarmas.	72
Figura 5.23	Diagrama de flujo escritura en LCD.	73
Figura 6.1	Envío de datos de memoria a la PC.....	74
Figura 6.2	Envío de datos mediante MODBUS POLL.....	75
Figura A.2.1	Módulo de unidad de procesamiento de datos.	86
Figura A.2.2	Módulo de Visualización.	87
Figura A.2.3	Módulo de Visualización con LCD.	87
Figura A.2.4	Ventanas de configuración.	89
Figura A.4.1	Plantilla para impreso de visualización.	93
Figura A.4.2	Plantilla para impreso de unidad de procesamiento.	93

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1	Tipo de dato MODBUS	31
Tabla 3.2	Ejemplo de solicitud del cliente y respuesta de excepción	39

Capítulo 1: Introducción

En el presente capítulo se trata el problema que causa la ausencia de un sistema de monitoreo de variables eléctricas en los bancos de baterías de las subestaciones de la Compañía Nacional de Fuerza y Luz. La principal consecuencia de esta deficiencia está en que los abonados podrían quedarse sin servicio eléctrico. Además, se menciona de forma general la solución del proyecto y cómo llevarlo a cabo.

1.1 Problema existente e importancia de su solución

La Compañía Nacional de fuerza y Luz es una empresa comprometida con la satisfacción del cliente, este principio forma parte de la misión de la compañía, el mismo nos lleva a comprender el problema existente.

Las subestaciones eléctricas cuentan con un banco de baterías que suministra la tensión de alimentación a los equipos de protección y control, por ejemplo interruptores y protecciones de línea. Los mismos están conectados a un cargador de baterías que mantiene una tensión nominal en el banco, si este cargador se desactiva por algún problema en la energía externa o una falla interna del dispositivo el banco de baterías se empieza a descargar. A partir de este momento se vuelve crítico el monitoreo del valor de tensión y corriente en el banco, pues si se llega a descargarse antes de que se resuelva el problema, deja sin alimentación CD a los equipos lo cual provoca que las comunidades dependientes de esta subestación queden sin servicio eléctrico, lo cual como se mencionó al inicio va en contra de la misión de la compañía.

El monitoreo se realiza desde el Plantel Virilla ubicado en La Uruca y el banco de baterías que se utiliza para este proyecto se encuentra en la subestación de Porrosatí, en San Juan de Santa Bárbara de Heredia. Mediante el mismo se tiene información de las variables eléctricas por medio de la red MODBUS y esto permite tomar decisiones sobre las medidas a considerar para solucionar el problema de forma rápida y eficiente, para evitar que el abonado se vea afectado por un corte en el suministro de energía eléctrica.

Si el cargador trabaja de manera normal el sistema permite monitorear el valor de las baterías para detectar cuál no alcanza un valor nominal adecuado. Esto permite un mantenimiento preventivo pues de este modo se puede saber cuáles baterías están defectuosas y proceder a cambiarlas. Con la información del monitoreo se podrá llevar un registro del comportamiento general del banco de baterías y así tener un historial en el tiempo.

La importancia de la solución radica en brindar un servicio de calidad al usuario, sin que éste se vea afectado. Si se detecta el problema de forma oportuna se puede corregir de forma eficaz.

1.2 Solución seleccionada

La Sección Protecciones y Automatización de la CNFL utiliza un sistema SCADA para el monitoreo y control de variables físicas y eléctricas en las plantas y subestaciones de la compañía. En el sistema se requiere incluir la información de variables eléctricas del banco de baterías, para lo cual se necesita el diseño de un dispositivo que permita enviar y recibir datos por medio de la red MODBUS. Este dispositivo se puede interconectar con el sistema existente y comunica la medición de los sensores con el sistema SCADA. La Figura 1.1 muestra un esquema general del flujo de datos del sistema de monitoreo del banco de baterías.

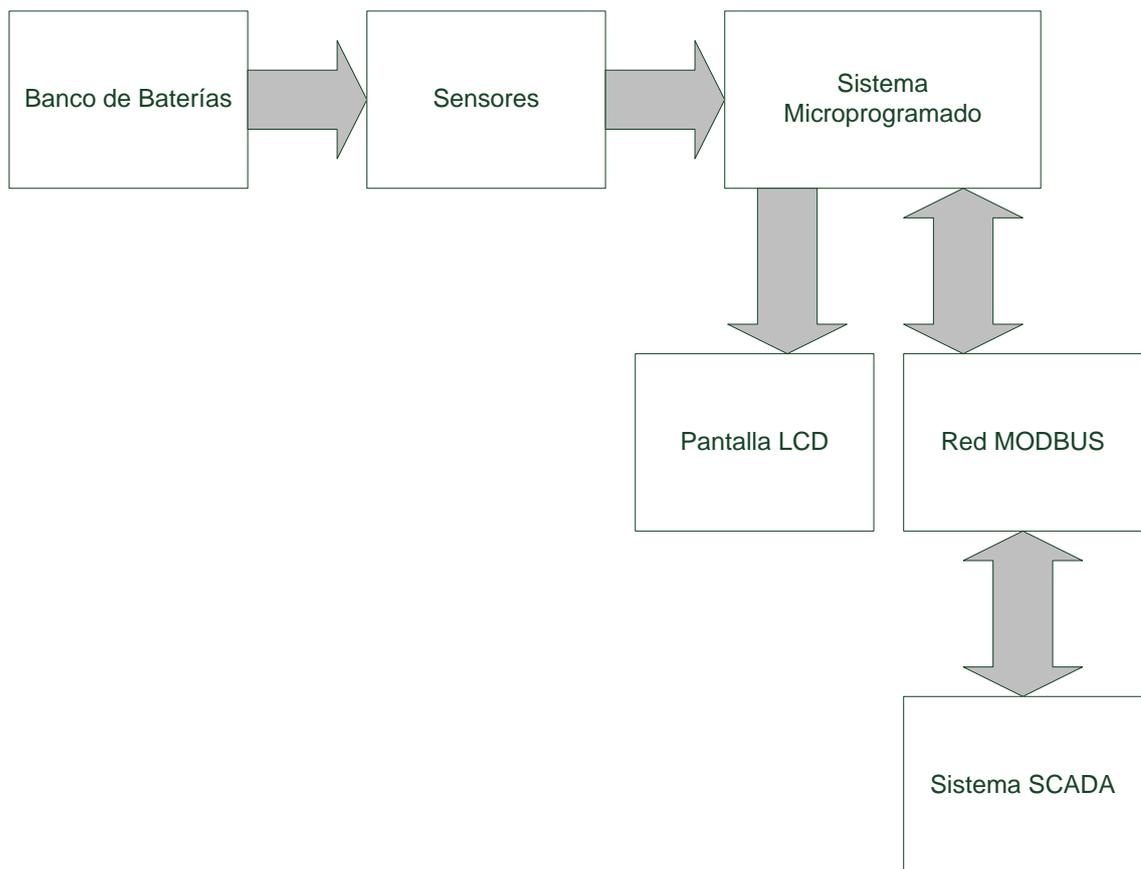


Figura 1.1 Diagrama general del sistema

El banco de baterías está conformado por 60 baterías de plomo y ácido de aproximadamente 2.23 V y una carga (capacidad) de 200 Ah cada una, para la medición se cableó grupos de 4 baterías para una tensión total por grupo de alrededor de 8.9 V.

Para la medición de variables eléctricas se buscó un tipo de sensor recomendado y utilizado en la industria para aplicaciones de sistemas de monitoreo de carga de baterías, para este caso la compañía CR Magnetics, Inc. Ofrece una completa línea de productos para el monitoreo de sistemas de potencia y por eso se escogió como proveedor.

Se utilizan 15 sensores de tensión de la serie CR5300 los cuales tienen una salida de 0-5 VDC proporcional a la entrada de tensión. Para la medición de corriente del banco de baterías se utiliza un sensor de la serie CR 5200, este sensor también se aplica en la industria en los sistemas de carga de baterías y al igual que el anterior tiene una salida de 0-5 VDC proporcional a la corriente del sensor.

Como se mencionó la salida de estos sensores es de 0-5 VDC proporcional a la variable que se mide, esta señal por lo tanto ya está acondicionada para poder ser utilizada como entrada analógica para un microcontrolador que será el encargado de ejecutar las rutinas que permiten la administración de la información y toma de decisiones a partir de la misma. El microcontrolador será el encargado de procesar datos para mostrarlos en un LCD ubicado en el gabinete donde están los sensores en la subestación así como también preparar y transmitir los datos que serán enviados por medio del protocolo MODBUS RTU hacia el Plantel Virilla.

El protocolo MODBUS permite una comunicación de la forma Maestro-Esclavo mediante solicitudes de lectura y escritura de memoria, permitiendo así tener acceso a la información que se requiere leer o escribir en los registros MODBUS. Es así como se logra la comunicación con el sistema SCADA de la compañía el cual permite visualizar los datos de las variables ubicadas en direcciones de memoria MODBUS del dispositivo esclavo. Para esto se debe ingresar al software del sistema y agregar ventanas de información en la pantalla SCADA y los interruptores necesarios para ajustes del sistema.

Para que el sistema SCADA pueda identificar un dispositivo esclavo este debe tener asignada una dirección IP, por lo tanto se debe recordar que el sistema microprogramado entrega una salida en MODBUS RTU serie por puerto RS-232, por lo tanto se necesita convertir de este protocolo a MODBUS TCP/IP para identificar el esclavo en la red del sistema.

Capítulo 2: Meta y Objetivos

2.1 Meta

Diseñar e implementar un sistema de monitoreo remoto de variables eléctricas de los bancos de baterías de la Compañía Nacional de Fuerza y Luz, en el Plantel Virilla, situado en La Uruca, con el cual se garantice la confiabilidad del sistema de alimentación de energía eléctrica en corriente directa para los equipos de las subestaciones de la Compañía. Se requiere medir correctamente la tensión de cada batería (con el monitoreo implementado) y comparar con otro sistema independiente de medición para verificar que los valores coinciden.

2.2 Objetivo general

Implementar un sistema prototipo de monitoreo y gestión de las variables eléctricas del banco de baterías que suple tensión para equipo de protección, medición y control ante fallas de fluido eléctrico en la subestación de Porrosatí ubicada en Santa Bárbara de Heredia y pueda ser monitoreado desde el Plantel Virilla de la Compañía Nacional de Fuerza y Luz, ubicado en La Uruca. De este modo se puede verificar que la precisión y valor de la señal que llega al Plantel Virilla esté dentro de los rangos permitidos comprobando que los datos que llegan al plantel coincidan con los medidos en la subestación de Porrosatí.

2.3 Objetivos específicos

2.3.1 Implementar el sistema de atención y enrutamiento para las señales medidas en las celdas con el fin de utilizar un mínimo de acondicionadores de señal. Se debe comprobar que el sistema multiplexor funciona correctamente permitiendo que la lectura de las variables eléctricas sea la correcta.

2.3.2 Diseñar un dispositivo capaz de interactuar correctamente con el protocolo MODBUS para la comunicación entre el equipo de medición en la Subestación de Porrosatí y el Plantel Virilla. Se necesita comprobar la funcionalidad de la transmisión de datos entre equipos que trabajan con diferente protocolo de comunicación, mediante prueba de transmisión-recepción-verificación.

2.3.3 Implementar el sistema de comunicación entre dispositivos MODBUS RTU y MODBUS TCP/IP para comunicación maestro- esclavo, desde el sistema SCADA. Hay que confirmar la constancia de los datos mostrados en los equipos de la red con respecto a los parámetros medidos en las baterías con diferentes protocolos de comunicación.

Capítulo 3: Marco teórico

El capítulo de marco teórico trata sobre las mejoras y beneficios que tendrá el sistema con las nuevas mediciones de las baterías del banco de la subestación de Porrosatí. Incluye los temas y conceptos que han sido relevantes para comprender las funciones y comportamiento de los diferentes dispositivos de hardware. Además se mencionan los principios físicos y electrónicos que sirven de base para el diseño y uso de los equipos utilizados.

3.1 Descripción del sistema o proceso a mejorar

El sistema administrador de la batería, en inglés Battery Management System es el encargado de administrar el banco de baterías en su totalidad. Existen varios tipos, cada uno adecuado para cada necesidad y complejidad del trabajo que se quiera realizar. En su mayoría se han empleado en los sistemas para automóviles que funcionan con electricidad, este tema ha sido de mucho estudio en los últimos años.

Estos sistemas permiten al usuario tener conocimiento de los datos actualizados en tiempo real y valorar la condición de las baterías que componen el banco, así cualquier fallo en el desempeño de las mismas puede ser detectado en tiempo real, permitiendo dar un adecuado mantenimiento y aumentar la confiabilidad del sistema que sirve de alimentación CD a los equipos en la subestación.

Los buses de comunicación de datos entre los dispositivos que involucran el monitoreo de las baterías son parte importante en los sistemas de administración de baterías. En este caso la CNFL utiliza el protocolo de comunicación industrial MODBUS, el cual puede ser implementado por varias interfaces (RS232, RS485 y fibra óptica, entre otras).

El proyecto tiene como alcance diseñar un dispositivo capaz de interconectarse a la red MODBUS de la compañía, el cual sirve de puente entre la etapa de medición en la subestación Porrosatí y el sistema SCADA en el plantel, separados por una distancia de 20 km aproximadamente. La Figura 2.1 ilustra la ubicación entre los puntos mencionados (A: plantel Virilla La Uruca; B: Subestación Porrosatí). La Figura 1.1 muestra un diagrama general del flujo de la información desde la medición hasta el plantel.

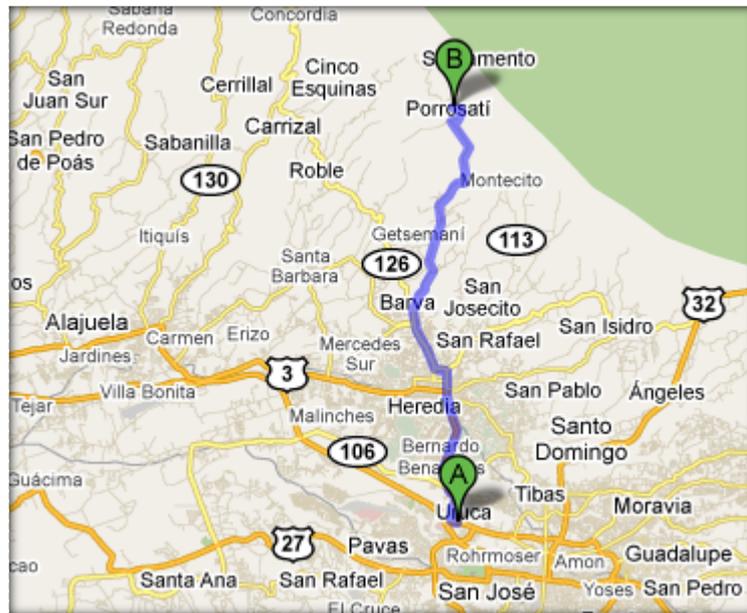


Figura 3. Ubicación de la Subestación Porrosatí y el Plantel del Virilla¹

3.1.1 Sistema en el cual se inserta el proyecto

Sistema SCADA²

Por sus siglas en inglés SCADA significa Supervisory Control And Data Adquisition. Estos sistemas son aplicaciones de software para controlar y supervisar procesos a distancia. Están basados en adquisición remota de datos de procesos, que proporciona la comunicación con los dispositivos de campo y controla el proceso de forma automática desde una unidad maestra.

¹ Tomado de Google maps.

² Sistemas SCADA. Ing. Henry Mendiburu Díaz. <http://hamd.galeon.com>

Una forma de obtener los datos de los sistemas remotos puede ser mediante una computadora la que, vía hardware especializado, adquiere los datos necesarios. Esta información se transmite posteriormente hacia el equipo por medio de un puerto serie.

Dentro de las mejoras al sistema se encuentra el tema de las alarmas ya que la toma de acciones físicas sobre equipo lejano se puede hacer de forma rápida y eficiente, como es nuestro caso, donde la subestación se encuentra a 20 km del plantel, ver Figura 3.1.

Los sistemas SCADA se ejecutan normalmente en tiempo real y permiten controlar el proceso desde una estación remota, utilizan para esto un software que ejecuta una interfaz gráfica que muestra el comportamiento del proceso.

Una de las principales características de estos sistemas y de la cual nos vamos a valer para el proyecto, es que debe tener arquitectura abierta: debe permitir su crecimiento y expansión.

Dentro de las funciones principales del sistema están:

- Supervisión remota de instalaciones y equipos.
- Control remoto de instalaciones y equipos.
- Procesamiento de datos.
- Visualización gráfica dinámica.
- Generación de reportes.
- Representación de señales de alarma.
- Almacenamiento de información histórica.
- Programación de eventos.

Transmisión de la información

Los sistemas SCADA se comunican por medio de red, cuentan con una PC que forma parte de un centro de control y gestión de información. Para comunicar los dispositivos de campo y la estación central de monitoreo, se utiliza un medio de comunicación cableados (cable coaxial, fibra óptica) o no cableados.

Los fabricantes de equipo SCADA emplean diferentes protocolos de comunicación, para esto existen estándares internacionales que regulan el diseño de las interfaces de comunicación entre los equipos del sistema SCADA y equipos de transmisión de datos. El sistema SCADA utilizado por la CNFL utiliza el protocolo de comunicación MODBUS sobre TCP/IP.

Elementos del sistema

- Interfaz Operador-Máquinas: Elemento de visualización, permite la interacción del usuario con los elementos de hardware.
- Unidad Central (MTU): Unidad Maestra. Encargada de ejecutar acciones de mando (programadas) se toma en cuenta el valor de las variables.
- Unidad Remota (RTU): Dispositivo que envía información a la unidad central. En este proyecto se diseña una RTU.
- Sistema de Comunicaciones: Transmiten la información del maestro al esclavo RTU.
- Transductores: convierten una señal física en una señal eléctrica.

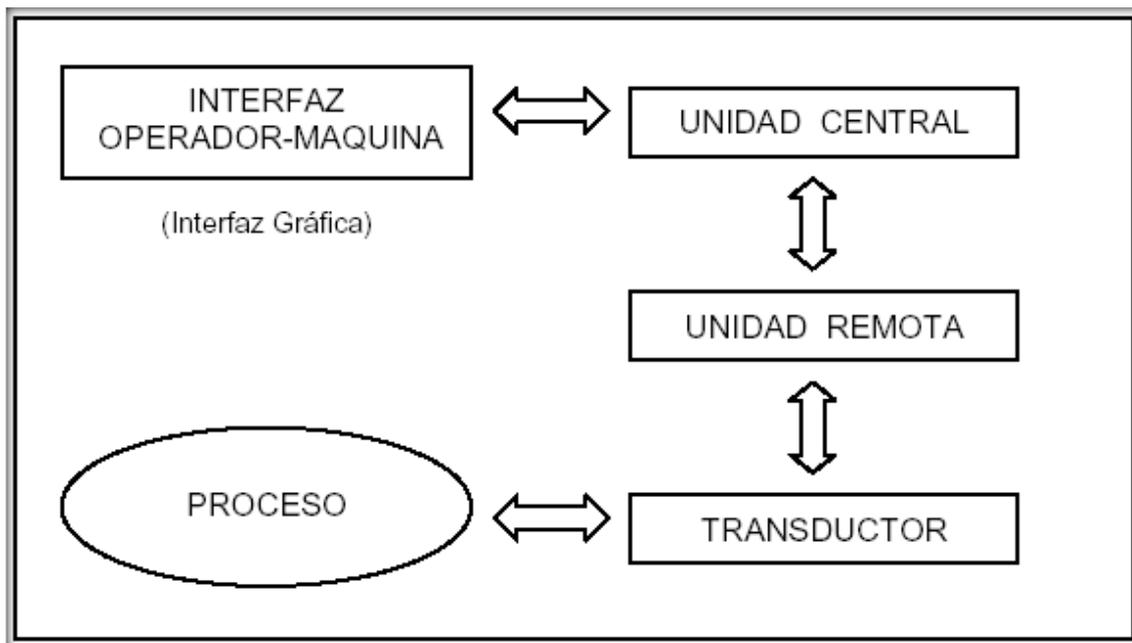


Figura 3.2 Esquema de elementos de un sistema SCADA²

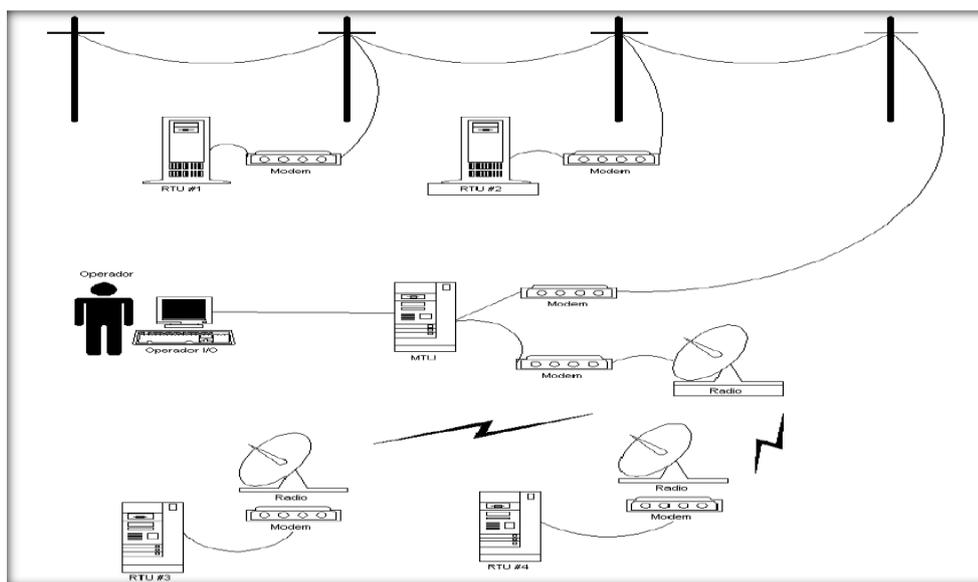


Figura 3.3 Conexión de los elementos de un sistema SCADA²

² Sistemas SCADA. Ing. Henry Mendiburu Díaz. <http://hamd.galeon.com>

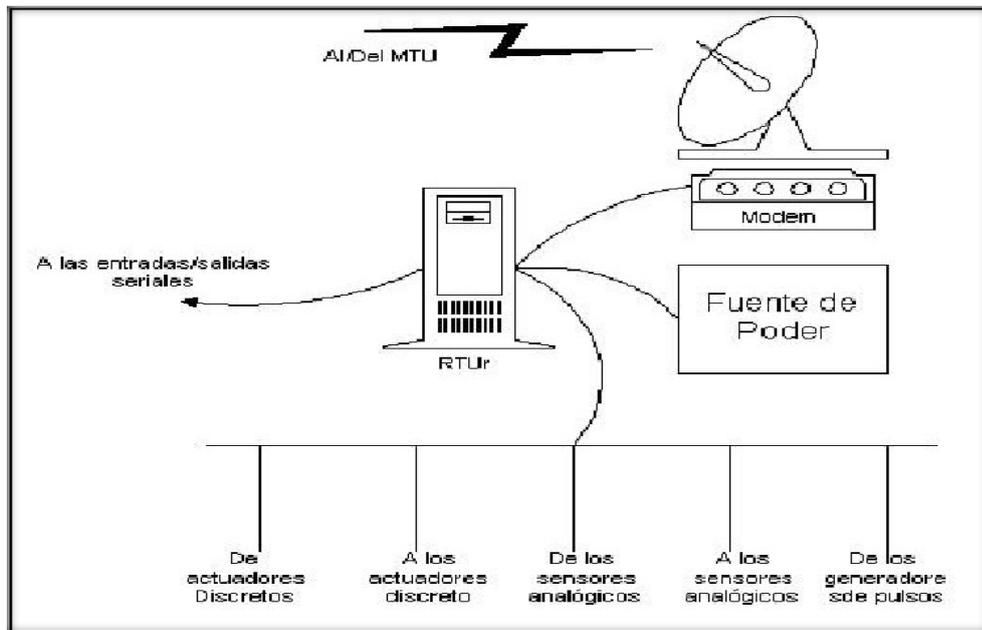


Figura 3.4 Esquema de conexiones de la RTU²

Las figuras 3.2 a la 3.4 ilustran las conexiones de un sistema SCADA completo, para la lectura de las variables eléctricas del banco de baterías se utilizan sensores analógicos que van a la RTU que se diseña y de ahí se comunica por fibra óptica hasta el plantel, utilizando para ello protocolo MODBUS sobre TCP/IP. Como se ve en la figuras 3.3 y 3.4 el medio de comunicación puede ser radiofrecuencia o red eléctrica.

² Sistemas SCADA. Ing. Henry Mendiburu Díaz. <http://hamd.galeon.com>

3.2 Antecedentes Bibliográficos

3.2.1 Comunicación RS-232³

Las comunicaciones que se definen bajo el estándar RS-232 son seriales asincrónicas, esto significa que se envía un bit a la vez y que la información no se envía en tiempos determinados. EIA introduce el estándar RS-232 en 1962 con el objetivo de estandarizar la interfaz entre DTE y DCE (Equipos de comunicación de datos), el receptor tiene como tarea detectar el inicio y fin de mensaje. Esta interfaz se utiliza para distancias cortas, no más de 15 metros y velocidades de comunicación bajas de aproximadamente 20 Kilobits/segundo según el estándar (TIA/EIA-232-F). Además la comunicación puede ser simplex, half dúplex o full dúplex, para esta última se necesitan los pines de control de flujo para funcionar correctamente.

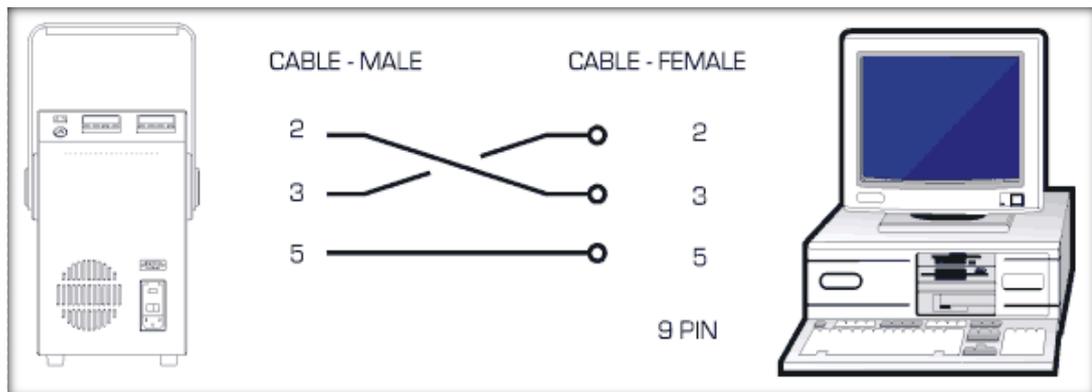


Figura 3.5 Esquema de conexión RS-232⁴

La figura 3.5 ilustra la conexión entre un equipo terminal y un PC donde el pin de transmisión de la PC va al receptor y viceversa, los pines de tierra se unen. En la figura 3.6 se muestra los pines del conector DB9.

³ http://www.lammertbies.nl/comm/info/RS-232_specs.html
TIA/EIA-232-F Industry Standard for Data Transmission

⁴ www.isotech.co.uk/images/rs232.gif

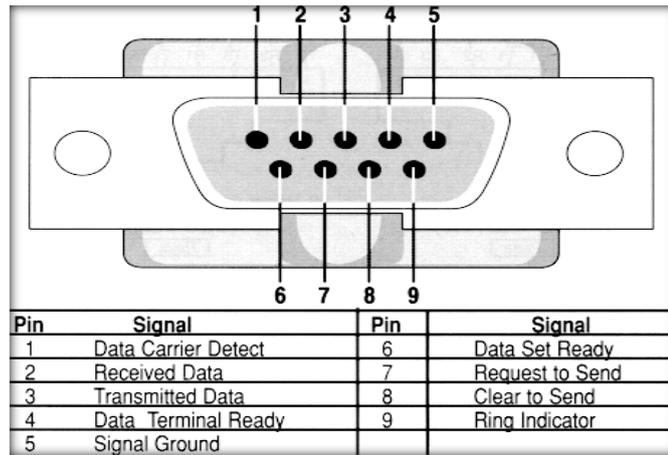


Figura 3.6 Pines DB9 para RS-232⁵

La figura 3.7 muestra un esquema de comunicación half dúplex donde se puede observar como la información viaja en las 2 direcciones pero una a la vez, se utiliza un solo canal de comunicación por el cual se transmite y envía en momentos determinados.

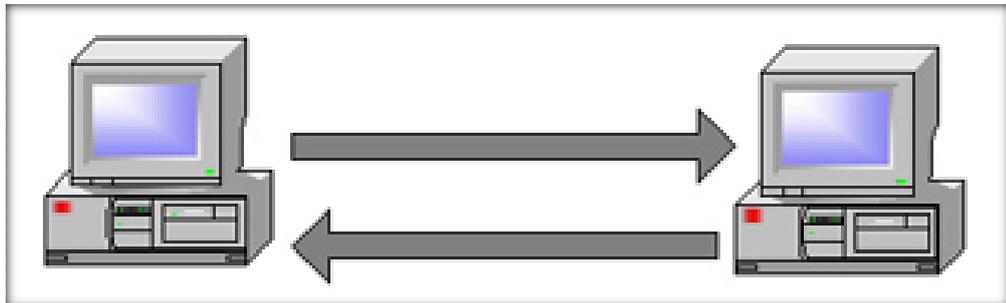


Figura 3.7 Comunicación half duplex⁶

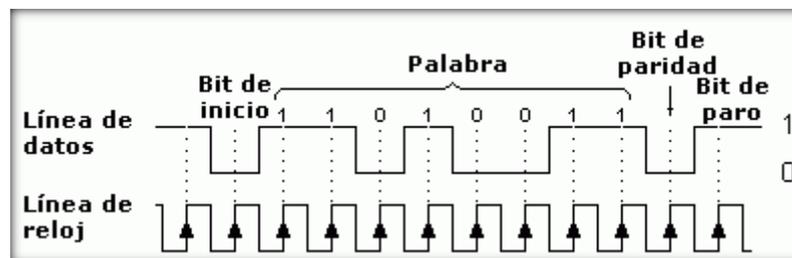


Figura 3.8 Comunicación serie⁶

⁵ hflink.com/interface/DB9_RS232_pinout.gif

⁶ <http://www.mailxmail.com/curso-conceptos-basicos-redes/comunicaciones-half-duplex-full-duplex>

En la figura 3.8 se observa la secuencia de la transmisión asíncrona primero tenemos el bit de inicio seguido de los bits de datos, el bit de paridad y bit de parada. El bit de paridad sirve para chequeo de errores en la comunicación de datos, esta trama de bits es la que viene a sustituir el reloj en la transmisión síncrona.

3.2.2 Protocolo MODBUS⁷

MODBUS es un protocolo de comunicación mediante mensajes, fue estandarizado desde 1979 y hoy está vigente y comunica la mayoría de dispositivos automáticos en la industria. Ubicado en el nivel 7 del modelo OSI, el mismo interactúa de forma cliente/servidor entre dispositivos conectados en diferentes tipos de buses en una misma red. MODBUS es un protocolo que trabaja mediante solicitud/respuesta y realiza acciones específicas según códigos de función.

Este protocolo está actualmente implementado mediante TCP/IP sobre Ethernet, esto pues ha venido evolucionando para poder interconectar dispositivos en una red, también comunicación serie asíncrona por varias vías como RS-232, RS-485, fibra óptica, etc.

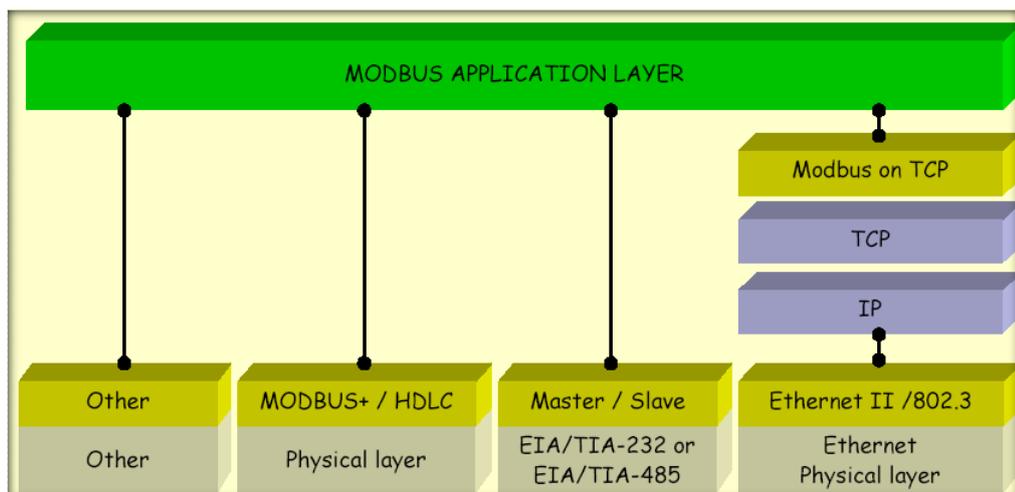


Figura 3.9 Pila de comunicación MODBUS ⁷

⁷ MODBUS APPLICATION PROTOCOL SPECIFICATION V1.1b

La figura 3.9 muestra los niveles de diferentes capas sobre los que se implementa el protocolo, se observan los medios físicos sobre los cuales puede comunicarse MODBUS y se integran en una red utilizando por ejemplo convertidor de medios para que así todos los equipos conectados a la red puedan interactuar entre ellos mediante protocolo MODBUS.

Para comprender mejor la arquitectura de una red MODBUS se ejemplifica con la figura 3.10, la misma muestra comunicación MODBUS en todos los sentidos mediante la conexión de diferentes equipos a una red como PLC, equipos HMI, controladores, dispositivos de entrada/salida etc. En la figura se observa como los equipos tienen diferentes medios de comunicación por ejemplo RS232, RS485 o Ethernet, todos se pueden comunicar entre ellos mediante convertidores de medios los cuales hacen que en el punto donde se interconectan los equipos (bus principal) pasen por uno de estos convertidores y así la red maneje protocolo MODBUS sobre una misma capa física.

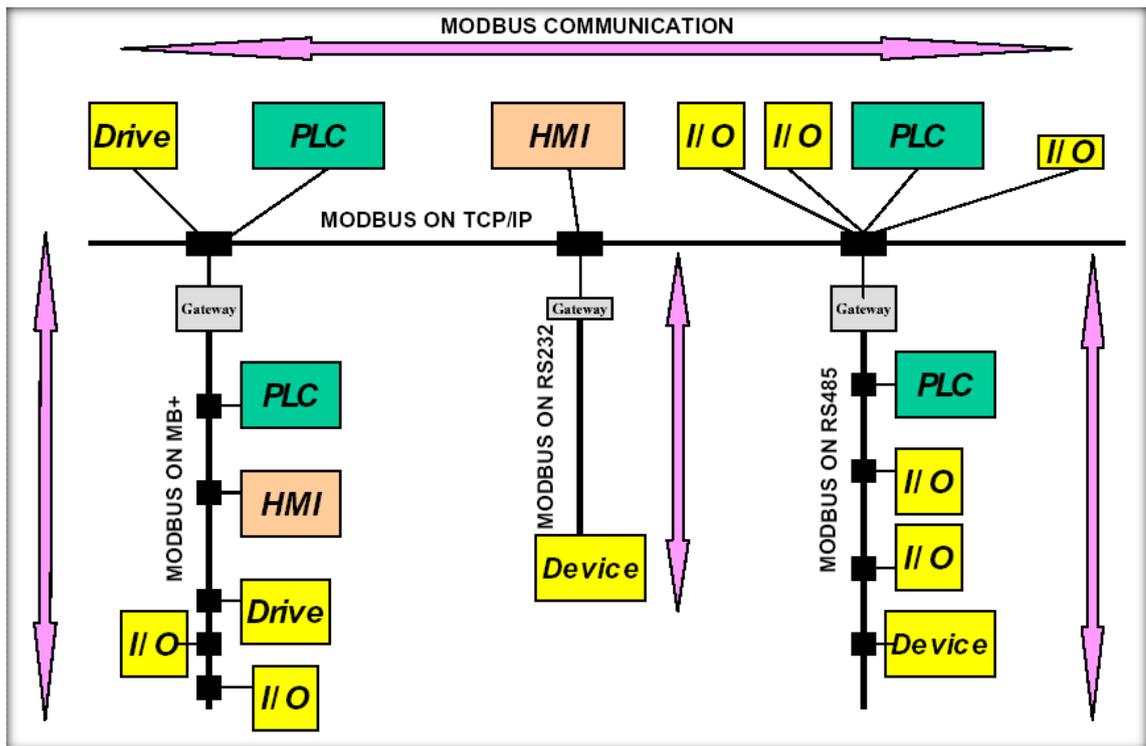


Figura 3.10 Arquitectura de red MODBUS ⁷

Descripción General del Protocolo

MODBUS introduce un protocolo de datos llamado PDU (protocol data unit) el cual es independiente de la capa física sobre la cual se encuentra la comunicación, además el mapeo del protocolo en una red de buses específica suma campos adicionales a los ya mencionados, llamados ADU (application data unit). Con la figura 3.11 se ilustra lo anterior.

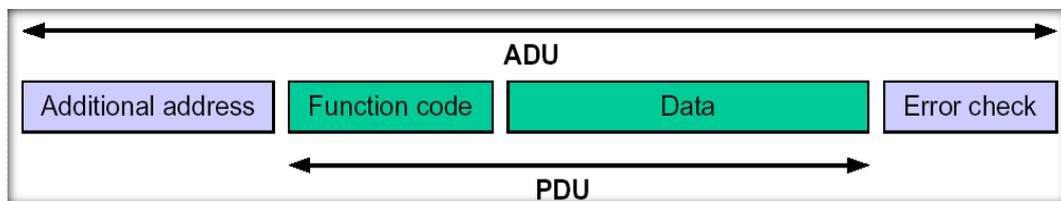


Figura 3.11 Campos de datos MODBUS ⁷

El protocolo de aplicación MODBUS establece el formato de una solicitud iniciada por un cliente hacia el servidor. El espacio de código de función es de tamaño de 1 byte, cuando un mensaje es enviado al dispositivo servidor por un cliente este espacio indica el tipo de acción a desempeñar. El espacio de datos enviado contiene información adicional para el servidor que el mismo utiliza dependiendo del código de función que corresponda.

Mientras no exista un error en la comunicación el espacio de datos en la respuesta del servidor contendrá el dato solicitado por el cliente. Si ocurre un error este espacio contendrá un código de excepción que indicará la siguiente acción a realizar, el espacio de código de función en la respuesta mantendrá el mismo código de la solicitud mientras no exista error. La figura 3.12 y 3.13 muestran la transición de los datos cuando se da la comunicación entre cliente/servidor si no se presenta ningún error y cuando si ocurre. El tamaño de MODBUS PDU es limitado y se define así:

RS232 ADU = 253 bytes + server address (1byte) + CRC (2bytes) = 256 bytes

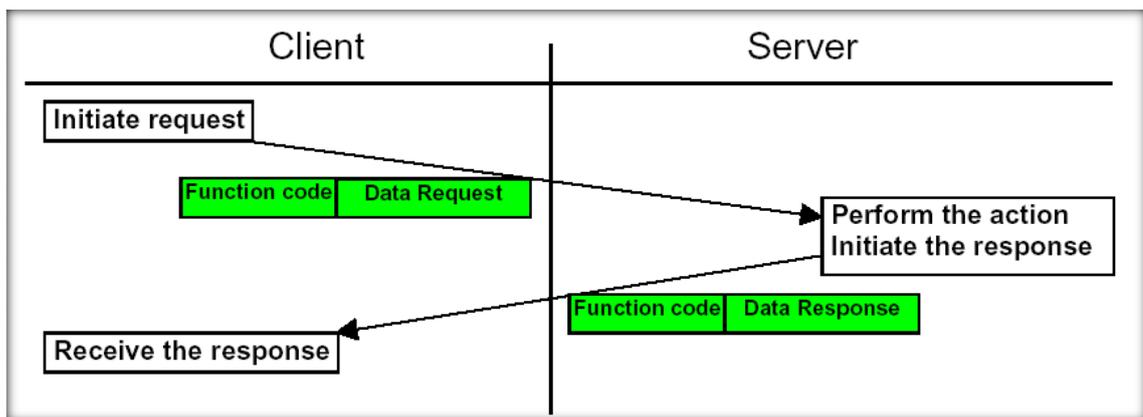


Figura 3.12 Transición MODBUS (sin error) ⁷

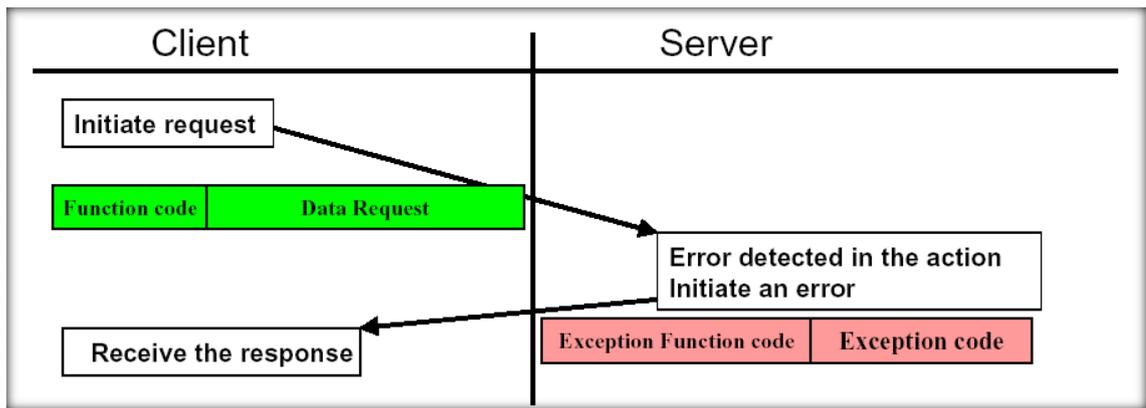


Figura 3.13 Transición MODBUS (con error) ⁷

Modelo de datos MODBUS

Este protocolo utiliza representación “big Endian” para direccionamiento y datos, esto implica que cuando se transmite una valor mayor a 1 byte, se envía primero el más significativo. Los datos que se manejan vía MODBUS deben estar en la memoria de un dispositivo, ubicados de manera estratégica en posiciones de dicha memoria. La tabla 3.1 nos da una idea de los tipos de datos que maneja MODBUS y la figura 3.14 una forma de cómo se organizan en memoria, aunque no la única.

Tabla 3.1 Tipo de dato MODBUS ⁷

Primary tables	Object type	Type of	Comments
Discretes Input	Single bit	Read-Only	This type of data can be provided by an I/O system.
Coils	Single bit	Read-Write	This type of data can be alterable by an application program.
Input Registers	16-bit word	Read-Only	This type of data can be provided by an I/O system
Holding Registers	16-bit word	Read-Write	This type of data can be alterable by an application program.

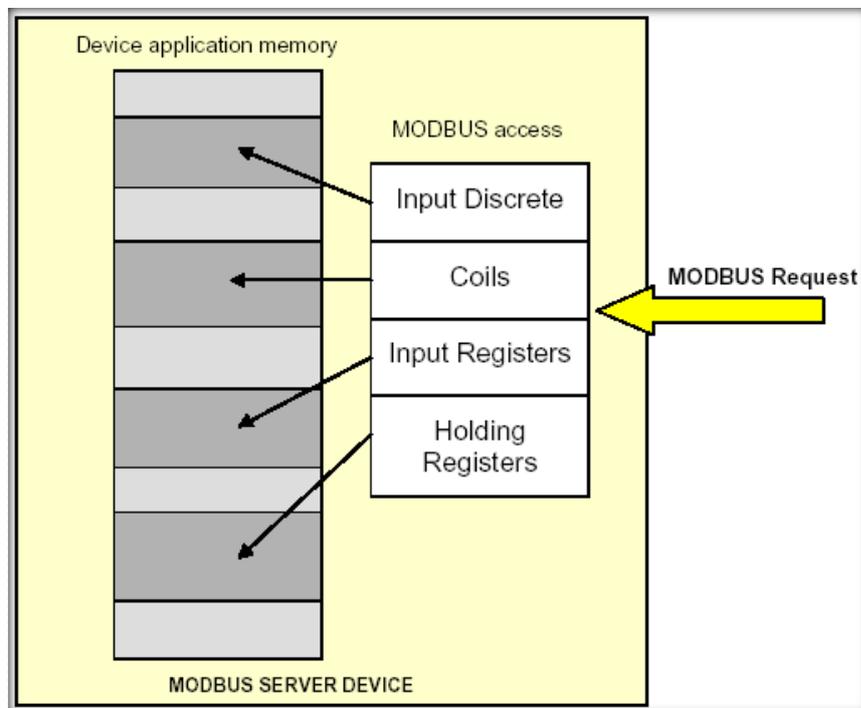


Figura 3.14 Modelo de datos con bloque separado de memoria ⁷

Modo de direccionamiento MODBUS

El protocolo de aplicación MODBUS define reglas de direccionamiento para la PDU, cada dato es direccionado de 0 a 65535, esto también define un modelo para datos compuesto por 4 bloques cuyos elementos son enumerados de 1 a n quiere decir que un elemento dentro de una bloque de memoria es numerado de 1 a n. La figura 3.15 ilustra la idea antes expuesta.

Se nota como las direcciones en la PDU inician desde 0 mientras que en el modelo de datos en 1, así se cumple que un dato MODBUS enumerado con X es direccionado en MODBUS PDU con X-1.

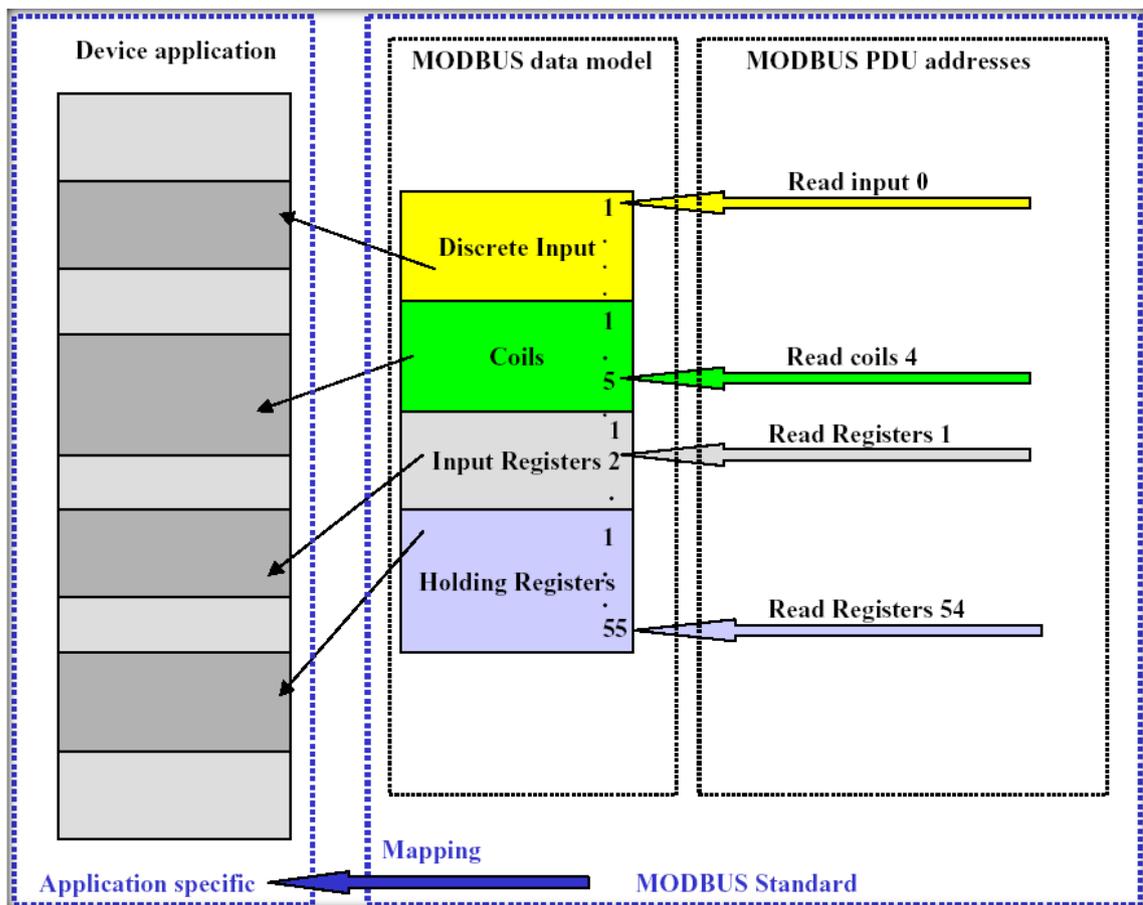


Figura 3.15 Modelo de direccionamiento MODBUS ⁷

Transición MODBUS

La figura 3.16 muestra un diagrama de estado de un proceso de transición de datos MODBUS del lado del servidor.

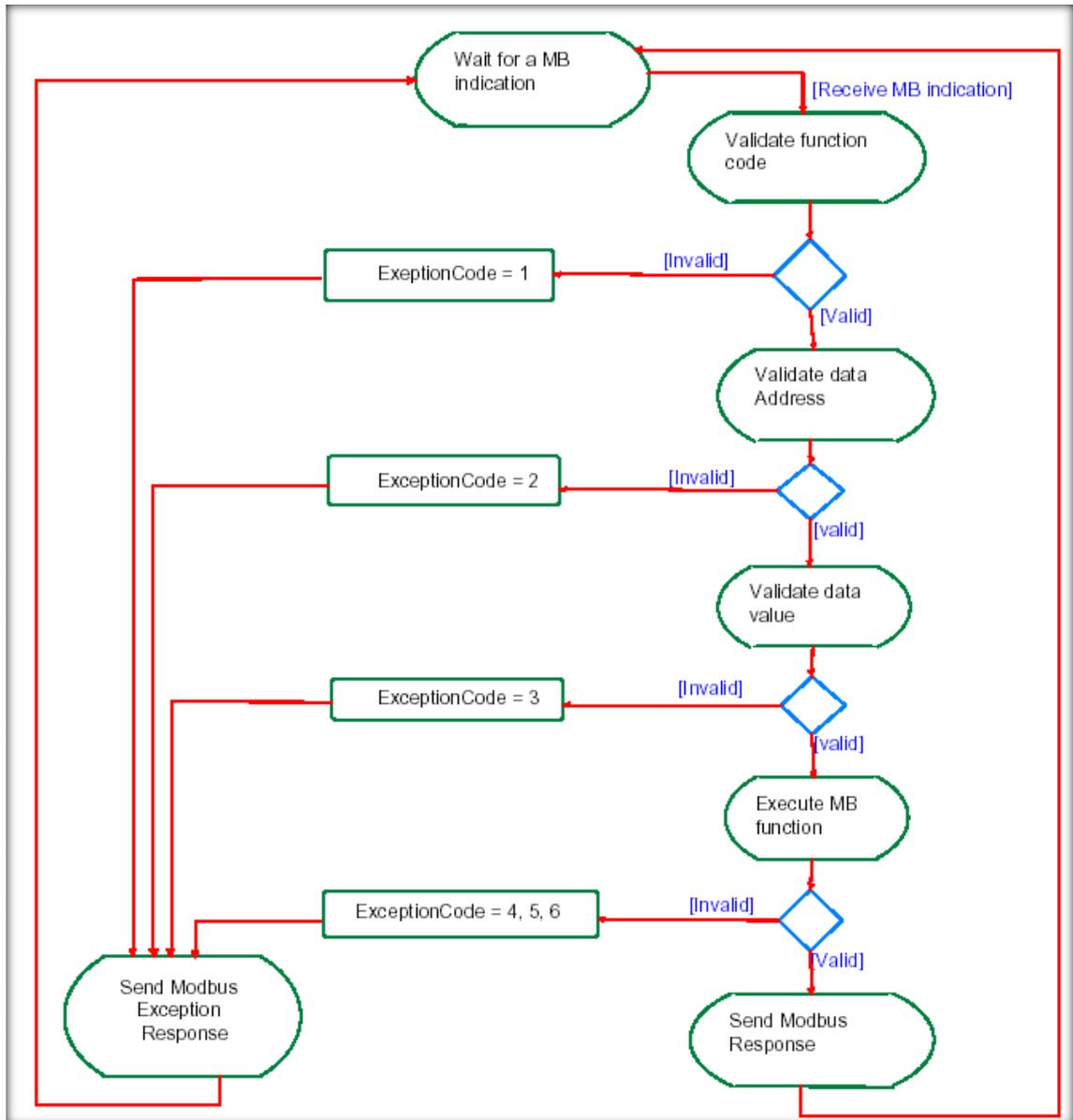


Figura 3.16 Transición de datos MODBUS⁷

El anterior diagrama indica el flujo que siguen los datos en el servidor, donde espera una indicación de dato de protocolo MODBUS. Una vez que lo recibe valida el código de función, y el sistema toma decisiones que, dependiendo si ocurre algún error en la comunicación genera un código de excepción y envía una respuesta. Si por el contrario no hay errores se valida la dirección, el dato, se ejecuta la acción y envía una respuesta al cliente. Como se observa existe un código de excepción para cada tipo de dato inválido lo cual ayuda a identificar cuál es la fuente de error en la comunicación.

Código de función 3, Read Holding Register

Este código pertenece a los códigos de función abiertos, llamados de dominio público, los cuales tienen las siguientes características:

- Códigos de función definidos y garantizados como únicos.
- Validados por la comunidad MODBUS-IDA.org.
- De documentación pública.

La figura 3.17 muestra las diferentes categorías como se definen los códigos de las diferentes funciones MODBUS.

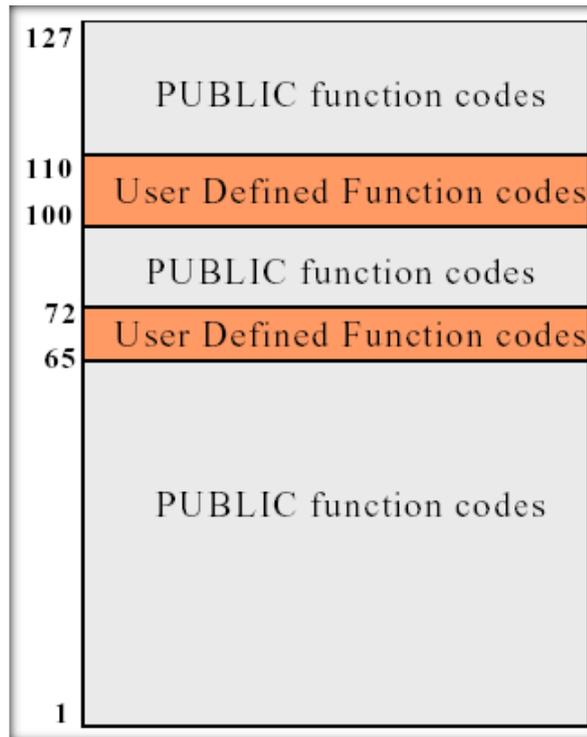


Figura 3.17 Categoría de los códigos de función MODBUS ⁷

La función 0x03 es usada para leer el contenido de registros ubicados de forma adyacente en un espacio de memoria de un dispositivo remoto. La solicitud de la PDU especifica la dirección del registro de inicio y el número de registros. Es importante recordar que los registros direccionados en la PDU inician de cero, de esta manera los registros numerados de 1-16 son direccionados de 0-15. La figura 3.18 indica el tamaño en bytes de cada uno de los espacios tanto de la solicitud como de la respuesta MODBUS además del tipo de dato que contiene cada uno, seguidamente la figura 3.19 da un ejemplo de cómo sería el intercambio de información con estas instrucciones entre el cliente y servidor.

Request		
Function code	1 Byte	0x03
Starting Address	2 Bytes	0x0000 to 0xFFFF
Quantity of Registers	2 Bytes	1 to 125 (0x7D)

Response		
Function code	1 Byte	0x03
Byte count	1 Byte	2 x N*
Register value	N* x 2 Bytes	

*N = Quantity of Registers

Error		
Error code	1 Byte	0x83
Exception code	1 Byte	01 or 02 or 03 or 04

Figura 3.18 Tamaño y valor de registros de ADU MODBUS ⁷

Request		Response	
Field Name	(Hex)	Field Name	(Hex)
Function	03	Function	03
Starting Address Hi	00	Byte Count	06
Starting Address Lo	6B	Register value Hi (108)	02
No. of Registers Hi	00	Register value Lo (108)	2B
No. of Registers Lo	03	Register value Hi (109)	00
		Register value Lo (109)	00
		Register value Hi (110)	00
		Register value Lo (110)	64

Figura 3.19 Ejemplo solicitud de lectura de registros 108-110 ⁷

La figura anterior muestra la información contenida en los espacios de la ADU MODBUS tanto para la solicitud del cliente como para la respuesta del servidor, para el mismo se solicita leer registros de la memoria del dispositivo comenzando en la dirección 006B y una cantidad de 0003 registros, esta información se observa en la parte izquierda de la figura, del lado derecho se tiene la información de la respuesta en el caso de que no se presenten errores en la comunicación, el número de función, contador de bytes y el valor contenido en cada registro solicitado. En la figura 3.20 se encuentra el diagrama de estados para la función 0x03 “read holding register”.

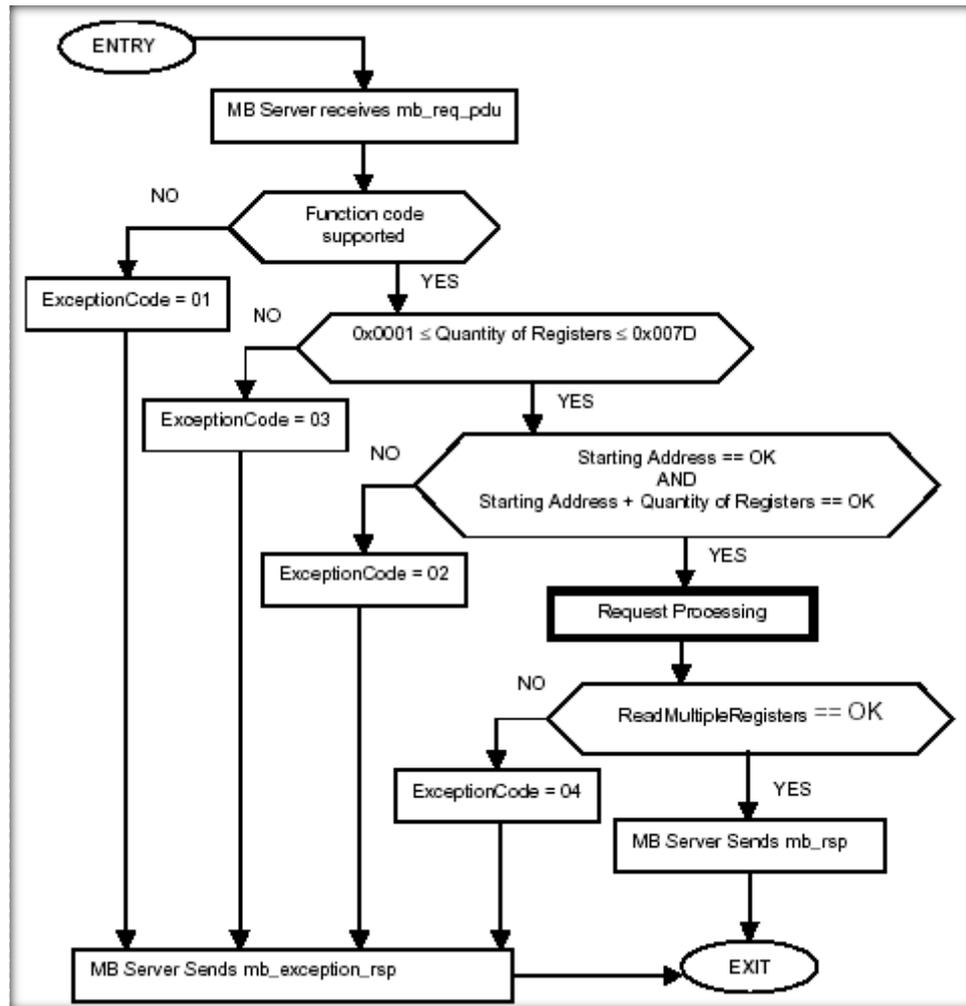


Figura 3.20 Diagrama de Estados de la función “Read Holding Register” ⁷

La entrada al diagrama espera un solicitud de protocolo MODBUS una vez que ésta se recibe se comprueba si el código de la misma es válido, nótese que para cada tipo de error en la comunicación hay un código de excepción diferente lo cual ayuda a identificar dónde está el fallo en la comunicación pues se envía una respuesta de excepción con el código correspondiente, de esta manera se toman acciones para corregirlo. Si no existe error se comprueba la cantidad de registros dentro del rango permitido, la dirección de inicio y se procesa la solicitud. Luego se envía una respuesta y queda en espera de una nueva comunicación MODBUS.

Respuesta de excepción MODBUS

Dentro de los eventos que pueden ocurrir cuando se hace una solicitud a un dispositivo maestro están:

- Que el dispositivo maestro reciba la solicitud sin error de comunicación y pueda manejar la solicitud. De esta forma se generará una respuesta normal.
- Que el servidor no reciba la solicitud por un error de comunicación. Si esto ocurre no habrá respuesta y el cliente deberá prever un tiempo prudencial para volver a realizar la solicitud.
- Que el servidor reciba la solicitud pero detecte un error en la comunicación y no genere respuesta; de nuevo el cliente deberá generar un timeout para hacer la solicitud de nuevo.
- Recibir comunicación pero el servidor no puede manejar la información. Se generará una respuesta de excepción al cliente dando la naturaleza del error.

En la respuesta de excepción existen dos campos que se diferencian de una respuesta normal.

Código de Función: en una respuesta de excepción el servidor pone el bit más significativo del código de función en 1, esto hace que el valor del código de función en una respuesta de excepción sea exactamente 0x80 más grande que el valor que debería ser para una respuesta normal. Con este cambio el dispositivo cliente puede reconocer la respuesta de excepción y examinar el campo de datos del código de excepción.

Espacio de datos: el dispositivo servidor retorna un código de excepción en el espacio de datos. Esta condición que devuelve el servidor da la excepción para el cliente. La tabla 3.2 muestra un ejemplo de lo visto anteriormente.

Tabla 3.2 Ejemplo de solicitud del cliente y respuesta de excepción ⁷

Request		Response	
Field Name	(Hex)	Field Name	(Hex)
Function	01	Function	81
Starting Address Hi	04	Exception Code	02
Starting Address Lo	A1		
Quantity of Outputs Hi	00		
Quantity of Outputs Lo	01		

Códigos de excepción MODBUS: 01: ilegal function, 02: ilegal data address, 03: ilegal data value, 04: slave device failure, 05: Acknowledge, 06: slave device busy, 08: memory parity error, 0A: Gateway path unavailable, 0B: Gateway target device failed to respond.

3.2.3 Convertidores de Medios

En la medida que se ha avanzado en los protocolos de comunicación y el hardware que manejan, han surgido una serie de marcas y modelos de equipos que manejan sus lenguajes con el propósito de dominar un mercado ofreciendo un paquete de herramientas que funcionan bajo un mismo estándar, sin embargo las actividades y ocupaciones de las compañías hacen ver la necesidad de contar con equipos a los cuales se puedan conectar terminales que utilicen diferente tecnología pero que, además puedan comunicarse entre sí. Por eso es común escuchar en el mercado la frase "...este equipo habla MODBUS", queriendo decir que el mismo maneja este lenguaje de comunicación y que además puede interconectar entre sí equipos con terminales de fibra óptica, puertos serie o Ethernet siendo la información transparente al usuario final a pesar de los diferentes medios de comunicación que se utilizaron.

Una de las marcas líderes en el mercado de este tipo de equipos es LANTRONIX, cuenta con un convertidor de medios SERIAL-ETHERNET el cual ayuda a comunicar equipos que trabajan bajo protocolo MODBUS RTU que tienen puertos series RS232 con equipos o terminales Ethernet que generalmente se conectan a una red para monitorear variables a través de sistemas SCADA. Como se mencionó la función de estos equipos es conectar dispositivos serie con redes Ethernet usando protocolos de la familia IP; para ser usados en la automatización industrial. Dentro de los dispositivos seriales con que trabaja LANTRONIX están:

- Máquinas ATM.
- Controladores CNC.
- Dispositivos de adquisición de datos.
- UPS Unidades de Gestión.
- Equipo de Telecomunicaciones.
- Módulos de visualización de datos.
- Alarmas y controles de acceso.
- Instrumentos de medición.
- Modem.

Con lo que se ha mencionado podemos resumir que, un convertidor de medios nos permite tener en una sola red y protocolo varios dispositivos seriales de múltiples oferentes conectados entre sí. Existe una plataforma de la industria de la automatización (IAP por sus siglas en inglés), que habilita una red de soluciones basados en TCP/IP y estándares Ethernet que son independientes de la marca o vendedor de un equipo.

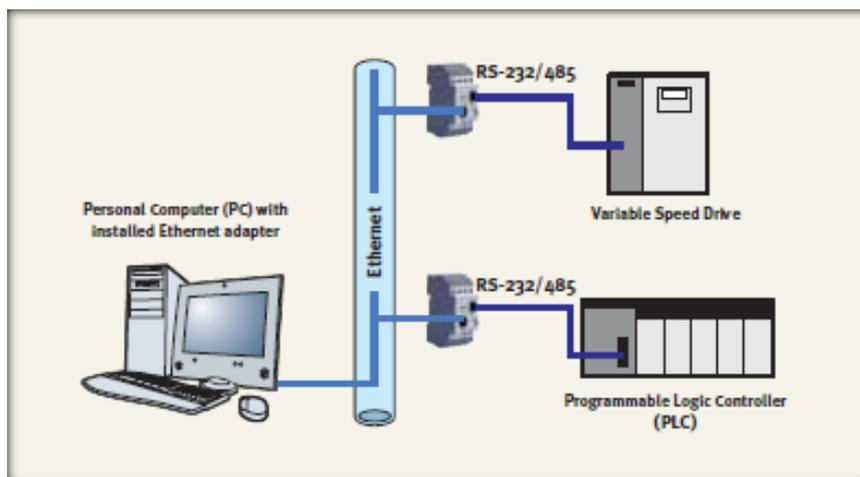


Figura 3.21 Conexión dispositivo serie a red Ethernet.⁸

La figura 3.21 muestra la conexión que se menciona anteriormente donde dos (o más) dispositivos conectan sus terminales series a los convertidores y de allí salen hacia una red Ethernet conectada a una PC o un servidor desde donde se monitorea o emiten directrices para el sistema, accediendo a ellos por medio de direcciones IP.

3.2.4 Baterías Plomo-Ácido

Una batería es un dispositivo electroquímico, el cual almacena energía en forma química y se puede obtener de ella energía eléctrica⁹. La unidad básica de construcción es la celda electroquímica.

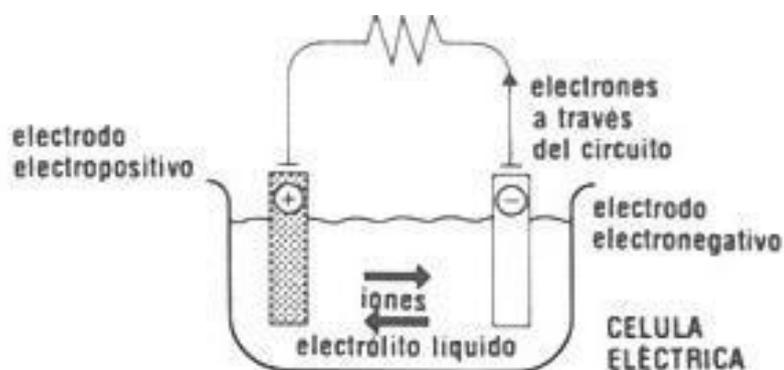


Figura 3.22 Celda electroquímica.

⁸ Tomado de *Device Linx by Lantronix*. www.lantronix.com

⁹ Tomado de: iie.fing.edu.uy/ense/assign/electrotec/e1/ClaseBaterias.pdf

Modelo eléctrico de batería⁹.

La unidad de medida para la carga eléctrica almacenada (C) en una celda electroquímica es el Amperio-hora (Ah). La tensión en la batería varía durante el proceso de descarga.

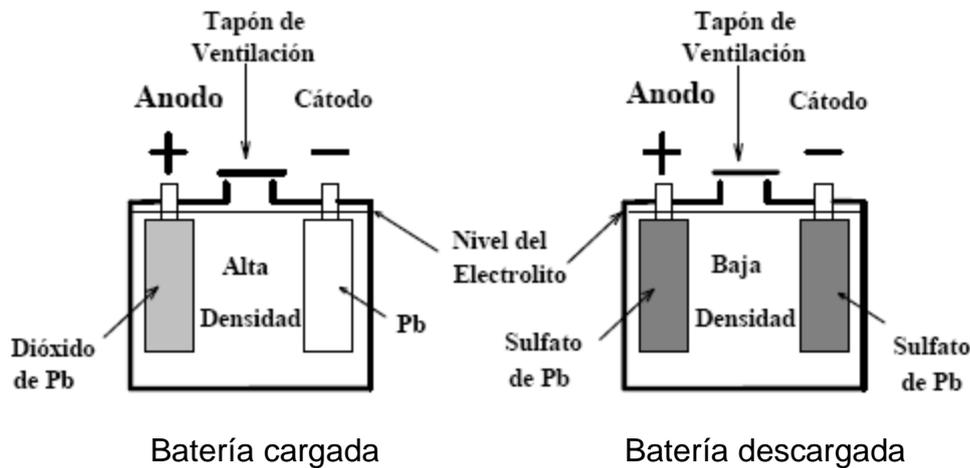


Figura 3.23 Batería Pb-Ácido.

Cátodo (+): Dióxido de Pb
Ánodo (-): Plomo metálico
Electrolito: Ácido sulfúrico con cierta densidad.

Dados los procesos de carga y descarga de las baterías se tienen las siguientes anotaciones:

- Bancos de baterías generan hidrógeno: Peligro de explosión. Se deben instalar en un lugar con adecuada ventilación.
- La medida de la densidad del electrolito da idea del estado de carga de la batería. Esta medida se puede hacer solo en baterías abiertas.
- En baterías abiertas el balance de la cantidad de agua H_2O es negativo debiendo controlarse el nivel de agua y eventualmente reponer el faltante.

- La temperatura del electrolito es crítica para la reacción. Se debe acondicionar térmicamente el lugar de instalación.
- La medida de tensión da una idea del estado de carga de una batería. En este tipo de batería la tensión por celda varía entre:

$E = 2.2 \text{ V}$ para batería a plena carga.

$E = 1.75 - 1.8 \text{ V}$ para batería totalmente descargada.

- A efectos de no acortar la vida útil de la batería no es conveniente llegar a descargas muy profundas (valor límite típico: 80% de su capacidad; carga remanente nunca inferior al 20%) Lo ideal para preservar la batería es no llegar a este límite.

La capacidad real (C) en Ah de una batería depende de la corriente a que se descargue la misma. Esto quiere decir que, la capacidad (C) expresada en Ah dada por un fabricante de baterías se refiere a la capacidad “óptima” de la batería. Existe una normativa sobre las baterías de Pb-Ácido, para el caso que nos interesa la norma para baterías estacionarias es la IEC 610896. Las normas regulan las características funcionales y requisitos generales que deben cumplir las baterías a utilizar en cada una de las aplicaciones para las que se necesite⁹.

Baterías estacionarias⁹.

Las baterías estacionarias se usan en aplicaciones de carga flotante en instalaciones fijas e instaladas en equipos estacionarios o en salas de baterías para equipos de telecomunicación, UPS, etc. La capacidad se puede dar para alguno de los siguientes regímenes: 240h, 20h, 10h, 5h, 2h, h, 0.5h. Para estos tiempos de descarga la tensión final será 1.8V. Aún así los fabricantes pueden especificar otro régimen de descarga.

Bancos de Baterías⁹.

Usualmente las aplicaciones requieren de tensiones mayores a las de una batería de un solo bloque (como es el caso de nuestro proyecto); para lograr esto se forman bancos de baterías mediante la conexión en serie de un determinado número de elementos de forma tal que se logre la tensión deseada.

Capítulo 4: Procedimiento metodológico.

Este capítulo tiene como objetivo describir las etapas del método de diseño en ingeniería seguidas para llegar a la solución del problema. En especial se enfoca en las etapas que se mencionan a continuación.

4.1 Reconocimiento y definición del problema

Durante la primera entrevista con personal de la Sección Protecciones y Automatización de CNFL se mencionó la importancia de monitorear las variables eléctricas del banco de baterías, muy especialmente la tensión de cada una de ellas, con el fin de conocer el estado de cada batería en todo momento. Esa fue la inquietud inicial que se planteó para el arranque del proyecto. CNFL monitorea ciertos equipos ubicados en lo que se llama Patio de Interruptores Porrosatí, ubicado al norte de Santa Bárbara de Heredia, sin embargo el banco de baterías que sule de energía estos equipos lo único que se monitoreaba era la tensión total, lo cual para efectos de mantenimiento y la ubicación de un falla de manera precisa resultaba insuficiente.

Si por alguna razón el banco de baterías presenta alguna falla y por ende los equipos dejaban de funcionar se corre el riesgo de un evento mayor que haga que ocurra un corte en el fluido eléctrico de un sector de la población del área servida por CNFL lo cual nos lleva a lo que representa el problema real para la compañía ante un mal funcionamiento en los sistemas de respaldo de energía. Cuando se presenta un evento en la red eléctrica que represente un corte en el fluido eléctrico que llega a cada uno de nuestros hogares y a las grandes industrias del área metropolitana se ponen en funcionamiento una serie de equipos mecánicos y electrónicos que hacen que ese evento se solventa a la brevedad posible y ocasione los menores daños. Algunos de estos equipos de protección son los que se encuentran conectados a bancos de baterías, si al momento que se necesitan fallan, representan un tiempo muy valioso para la empresa.

Al final de los eventos que se han descrito el gran problema para CNFL resulta ser económico, pues se deja de suministrar energía, y como se conoce, el objetivo principal de CNFL es la distribución y respectiva facturación de energía eléctrica. El problema se puede agravar si en la zona que se queda sin fluido eléctrico existen industrias y comercio que son grandes consumidores y que facturan millones de colones por mes.

Además dentro de la misión de la compañía, y esto lo dejan claro desde el primer día que los trabajadores y estudiantes de proyecto de graduación se acercan a CNFL, está la satisfacción del cliente. Por lo tanto el mismo debe estar satisfecho con la calidad y cantidad de la energía que consume ya sea en su hogar, negocio o industria.

Por la experiencia que se adquiere en el curso de Formulación de Proyectos se tiene claro que ubicar la raíz del problema no es sencillo, en este caso para evidenciar que el impacto más fuerte para la empresa deriva de la reducción de ingresos por energía ante la falla de un equipo que debía funcionar. Por este motivo se hace necesario escuchar los argumentos de los encargados de la facturación en la compañía para comprender la importancia de prestar un servicio continuo de energía eléctrica ya sea en hogares individuales y con mucha más razón en zonas industriales.

Durante los seis meses que estuve presente en la Sección realizando el proyecto pude ser testigo de la rapidez e importancia con que se resolvían esos casos. Este tipo de problemas son más frecuentes de lo que uno podría pensar, así que pruebas de campo o simulaciones como tales no fueron necesarias pues las mismas eran realidades cotidianas en esta sección de CNFL. Esto motivó a que la jefatura de sección pensara en desarrollar un proyecto mediante el cual se pudiera monitorear en tiempo real y a distancia las variables eléctricas del banco de baterías de Porrosatí y eventualmente de otras dependencias.

Para definir las metas, alcances y restricciones generales del proyecto se tomó en cuenta el costo de los componentes, el tiempo con que se contaba para el desarrollo del proyecto así como la disponibilidad del laboratorio de impresos para la elaboración de los mismos. Desde el inicio en que se planteó la meta se acordó con la empresa que sería el desarrollo de un prototipo de medición de variables, de manera que se llevaría al mayor avance posible pero sin perder de vista que la versión que se alcanzara no sería un producto terminado para eventualmente producir a mayor escala. Eso sí se planteó que en la medida de lo posible se tendría un producto terminado en un circuito impreso con el mayor avance posible para ponerlo a prueba y en lo que se llama “puesta en marcha”. Evaluando la misma se podrían hacer mejores e incluir más funciones o elementos al sistema, pero esto estaría por fuera del alcance de los objetivos planteados inicialmente para dar por terminado y con el visto bueno del proyecto. Para cada una de las posibles soluciones se hace un análisis sobre las condiciones y factibilidad con el ingeniero asesor en la empresa y se da el visto bueno a la que mejor se adapte a las necesidades y posibilidades de CNFL y que cumpla con los objetivos planteados.

4.2 Obtención y análisis de información

Para obtener la información preliminar relevante en primera instancia se entrevistó al jefe de la Sección Protecciones y Automatización de CNFL. De dicha entrevista se obtuvo los requerimientos del sistema así como los alcances de los equipos con que se contaba y los que se necesitaban adquirir. Una vez que se tiene claro el sistema que la empresa requiere, se recopila toda la información y documentos de referencia en áreas como baterías estacionarias, sensores de tensión y corriente, diseño de circuitos impresos y en especial se trabaja con las hojas de datos técnicos de los circuitos integrados para conocer sus alcances y analizar los que se puedan utilizar para el proyecto según la necesidad, disponibilidad y costo.

Se realizó una búsqueda en internet sobre sensores de tensión que existieran en el mercado y que brindaran una solución similar a lo que requería este proyecto y se adaptaran para trabajar la parte teórica del mismo, así como que fueran económicamente viables para la empresa. Se realizó una selección de algunos sensores del mismo tipo de diferentes marcas y posteriormente se fue discriminando según precio y disponibilidad, además de su funcionalidad.

Como se ha mencionado entre las restricciones y datos técnicos que influenciaron la búsqueda y análisis no solo de los sensores sino de los demás componentes electrónicos del sistema están: costos, capacidad deseada, limitantes tecnológicas, que cumpliera con las expectativas académicas del proyecto. Menciono este último pues en el mercado se encontraban alternativas completas que solventaban la necesidad de la empresa sin embargo a un costo muy elevado, lo cual es parte del objetivo del trabajo, brindar una solución financieramente viable.

4.3 Evaluación de las alternativas y síntesis de una solución

Con respecto al procedimiento seguido para plantear las alternativas de solución se utilizó la investigación bibliográfica y la red de internet, en estos medios se consultaron documentos sobre baterías estacionarias, también manuales de usos de protocolos MODBUS, diseño de circuitos impresos en Eagle y muy importante hojas de datos de sensores, multiplexores analógicos, PIC's, tecnologías, protocolos y dispositivos convertidores de medios.

Además se realizaron entrevistas al personal de CNFL familiarizado con los equipos y el sistema de medición las cuales fueron parte fundamental para conocer el alcance del proyecto y las condiciones técnicas en que se desarrollaría. Una vez planteada la meta, la constante consulta a los asesores de la empresa es fundamental para no salirse del objetivo que requiere CNFL y verificar que el trabajo va cumpliendo las expectativas y desarrollándose bajo los requerimientos tanto de la empresa como del la Escuela de Electrónica del ITCR.

Para verificar la validez de las posibles soluciones en un inicio se realizó un análisis de costos en cuanto a la cantidad de sensores a utilizar pues representan un monto considerable dentro del presupuesto, de hecho son el monto más alto, en el orden de los miles de dólares, otro elemento como el convertidor de medios la empresa los tenía, por lo que no era necesario adquirirlo, para lo que fue el análisis de diseño se utilizaron herramientas de diseño y simulación como PIC-C Compiler y Eagle para circuitos impresos, también el programa MODBUS POLL resultó una herramienta básica para el manejo de tramas de datos MODBUS en la etapa de pruebas, el software PIC-C tiene una ventana de simulación que permite realizar las pruebas de hardware conforme se va programando, por ejemplo se simula el manejo del LCD, de los LED's de donde nacen las primeras pruebas que se hacen al sistema en la etapa de diseño y permiten

evaluar el desarrollo del proyecto. Conforme se avanza en el diseño definitivo se llega a la etapa de pruebas controladas de laboratorio en este caso se hicieron dos pruebas finales, una con una red interna dentro de la sala de monitoreo simulando los sensores y otra final con el sistema conectado a distancia y funcionando en tiempo real integrando el sistema SCADA de CNFL, las cuales resultaron excelentes. Ambas se hicieron en condiciones normales de funcionamiento del banco de baterías. No se probó el sistema a plena carga del banco o en condiciones extremas (de falla), el personal de CNFL estuvo satisfecho con las pruebas que se realizaron.

El procedimiento seguido para evaluar y modificar las soluciones propuestas fue básicamente una cuestión de costos y adaptación a los elementos y componentes electrónicos con que se contaban, se fue diseñando y probando por etapas así se iban acoplando cada módulo a la solución final de forma tal que si había que corregir o rediseñar alguna etapa fuera algo modular y no afectara todo el proyecto, sólo se analizaba de nuevo la etapa por modificar.

Los criterios usados para discriminar entre las alternativas y obtener así la solución propuesta como se ha mencionado se basaron en costos, desempeño, factibilidad de fabricación, rapidez de implementación e incluso el tiempo. Este constituye un factor importante porque la importación de componentes toma su tiempo. Po ejemplo la adquisición de los sensores tardaron poco más de dos meses en llegar al país. Un punto importante fue poder utilizar el laboratorio de circuitos impresos de la Escuela donde se elaboraron las tarjetas para el montaje final del sistema.

4.4 Implementación de la solución

Procedimiento seguido para implementar la solución.

Inicialmente el primer parámetro que se tuvo que cambiar en el diseño original fue la cantidad de sensores a utilizar pues la teoría indicaba que se medirían las 60 baterías del banco en forma individual sin embargo cuando se investigó sobre los sensores, sus capacidades y sobre todo su costo se hizo necesario agrupar las baterías de cuatro unidades para ser medidas de forma tal que se tiene un número total de 15 sensores de tensión. Además de que se tenía que pensar en el gabinete para colocar dichos sensores y se quería aprovechar uno ya existente en el lugar que tenía justo el espacio para los quince sensores y el resto de equipo a utilizar.

Otro de los aspectos en que era necesario tomarse tiempo para su diseño, fue el de las tarjetas impresas. Una vez que el prototipo de hardware había sido probado en un protoboard, era necesario un adecuado y preciso diseño del circuito impreso final que cumpliera tanto con los requisitos y limitaciones que indicaba el laboratorio de circuitos impresos de la Escuela así como la necesidad de cumplir con las características del sistema en cuanto a espacio y funcionalidad que se había planteado. Estos cambios se dieron principalmente para adaptarse a las condiciones existentes en la empresa y apegarse lo más posible a una idea de diseño original con el objetivo de utilizar elementos de planta externa ya existentes.

En cuanto a los mecanismos seguidos para obtener la información necesaria para evaluar la propuesta de solución se realizaron pruebas de campo con el sistema completo, es decir, con los sensores conectados al banco de baterías y los mismos al sistema de adquisición y procesamiento. Posteriormente se envió la señal a la sala de monitoreo en La Uruca y se desplegaron en las pantallas del sistema SCADA como prueba final. Durante las pruebas de laboratorio se simularon los sensores y el sistema se conectó en una red interna y los datos se leyeron en el programa MODBUS POLL, herramienta de software muy útil para el trabajo con tramas de datos MODBUS. En todas las etapas se realizan simulaciones que vienen en las herramientas de diseño para hacer las pruebas preliminares de cada etapa del mismo. Es muy importante recalcar que no se realizaron pruebas límite al sistema. El ingeniero responsable por CNFL se mostró satisfecho con las pruebas realizadas y aceptó el proyecto.

Como procedimientos analíticos utilizados para evaluar el desempeño y validez de la solución una vez implementada se cotejó que los datos teóricos que se midieron con un voltímetro en los grupos de baterías efectivamente coincidieran con el mostrado en el sistema SCADA para ese número de grupo y que además coincidía con el mostrado en el LCD. Estas pruebas se lograron realizar en tiempo real mediante video-llamada gracias a la telefonía IP implementada en las PC. Además la evaluación de desempeño obtenido se fundamentó en el criterio y opinión por parte de los profesionales expertos de CNFL en el área electrónica.

Como medios de difusión utilizados para dar a conocer los resultados del trabajo se tiene la documentación propia del proyecto como el informe de proyecto, presentación de la defensa del proyecto, una guía de usuarios, además de mostrar a terceros cómo se utiliza el equipo para futuros trabajos de mantenimiento, reconexión o interpretación de datos.

4.5 Reevaluación y rediseño

Como posibles mejoras futuras o alternativas a la solución alcanzada mediante este trabajo se detallan dos importantes: Una es el diseño de un gabinete exclusivo para los sensores y la etapa de visualización del sistema en el sitio para que se puedan integrar el gabinete con la pantalla de LED's y el LCD de forma que de un aspecto de un producto terminado y agradable a la vista. Como segundo punto está el implementar el convertidor de medios dentro del mismo sistema, es decir que el protocolo MODBUS sea sobre Ethernet a la salida del sistema sin necesidad del convertidor de medios, esta solución es viable pero se necesita de hardware adicional e investigación en conversión de protocolos MODBUS sobre RS 232 a MODBUS Ethernet. Esto vendría a ser una mejora significativa de este proyecto.

Capítulo 5: Descripción detallada de la solución.

5.1 Análisis de soluciones y selección final

En esta apartado se va a detallar según el diagrama de bloques del sistema (Figura 1.1) las posibles soluciones a cada una de las etapas, sus inconvenientes y los criterios que se tomaron en cuenta para escoger una solución final.

Como primer punto se enfrentó el hecho de que tomar el dato de las 60 baterías que componen el banco por separado resultaba una solución no viable para el proyecto pues económicamente resultaba un alto costo, además para los alcances de nuestro proyecto el hecho de capturar 60 datos de tensión más uno de corriente creaba complicaciones en cuanto a limitaciones de hardware, por la cantidad limitada de entradas y salidas digitales, canales analógicos de los PIC's así como la visualización de datos de los como el LCD y la pantalla de nivel de tensión de LED's. Introducir cada vez más hardware al sistema para manejar más variables tampoco resultaba en la solución adecuada pues se tenía que pensar en el espacio limitado en las placas para circuito impreso con que a ese momento contaba el laboratorio de circuitos impresos del ITCR.

Se estableció un consenso en cuanto a la cantidad de sensores que se podían adquirir y la posibilidad de monitorear las baterías en grupos, tomando en cuenta que identificando un grupo que no estaba dentro de un comportamiento esperado era más sencillo identificar la batería que tenía la falla. Una vez superado este factor económico, se pasó a identificar el hardware que cumpliera con las especificaciones de entradas y salidas analógicas, el procesamiento de datos, el manejo de periféricos y que tuvieran facilidades para futuras mejoras al sistema. Antes de entrar en detalle con las soluciones iniciales a la parte del procesamiento de datos se mencionará la solución para el conjunto banco de baterías con sus sensores.

Las baterías se cablearon en grupos de cuatro de forma que a cada grupo le corresponde un sensor siendo quince sensores en total, los mismos se ubicaron en un gabinete fuera del recinto donde se ubica el banco de baterías y donde ya existen otros equipos instalados. El espacio para estos quince sensores fue precisamente el adecuado, pues los equipos ya instalados toman su espacio necesario, pero con los sensores adicionales el espacio libre se agotó. El tipo de gabinete para nuestro sistema será objeto de recomendación más adelante en el documento, ya que para un óptimo desempeño de este sistema se debe diseñar un gabinete exclusivo para los sensores, circuitos impresos, convertidores de medios y sobre todo los módulos de visualización. Se entrará en detalle en la parte de descripción del hardware.

Para la etapa del sistema micro programado lo primero que se evaluó fue la adquisición de datos. Los PIC's cuentan con una cantidad reducida de canales analógicos los cuales además son compartidos con otras funciones del sistema integrado, por lo que la optimización de elementos y puertos del PIC resultaba indispensable para cumplir con un objetivo de eficiencia en el diseño del circuito impreso.

Se elige utilizar en primera instancia un multiplexor analógico para la adquisición de datos analógicos provenientes de los sensores, el mismo es controlado por el PIC mediante una rutina de selección de canales. El multiplexor analógico que se escogió es 16:1 precisamente para cumplir con la cantidad de variables a medir.

En cuanto al PIC existen en el mercado gran variedad de modelos y marcas, sin embargo la idea es trabajar con uno con que ya se han desarrollado aplicaciones en los laboratorios y que ya sea de uso familiar sus, aplicaciones, sus alcances, la programación y además que sea fácil de conseguir en el mercado. La mejor forma de adquirir estos dispositivos es importarlos por medio de internet. Para esta aplicación se utilizó el PIC 18F4550, porque los criterios que se utilizaron para decidir fueron la cantidad de puertos de entrada y salida necesarios para manejar las variables del sistema y que ya se ha trabajado con el mismo en otros proyectos de la carrera. Este PIC tiene además entre sus

características la posibilidad de tener un puerto de comunicación USB que podría ser útil en futuras expansiones del sistema en cuanto a conexiones con otros equipos que cuenten con este puerto. Además es un PIC de uso común por lo que en caso de daño sería sencillo y barato reemplazarlo. Resultaba indispensable a la hora de escoger el PIC el puerto serie de entrada/salida precisamente para la implementación del protocolo serie MODBUS que pasaría al convertidor de medios y luego al sistema SCADA, este puerto serie sería de dedicación exclusiva para la comunicación en protocolo MODBUS, se utiliza un pin de entrada y un pin de salida para las tramas de mensajes de solicitud y respuesta del servidor y del cliente. El criterio de manejo de protocolos serie para el PIC resultaba por esta razón fundamental en este proyecto.

Para el acople de la etapa de salida serie del PIC MODBUS RTU y el sistema SCADA de la CNFL, la compañía cuenta con dos tipos de convertidores de medios para utilizar. Como criterio de escogencia se pensó en la facilidad para programar este módulo así como en que contara con puertos de fácil acceso al usuario. También se tomó en cuenta el tipo de montaje y el hecho que uno de los módulos tiene menos funciones lo hace más específico para lo que lo que se necesita. Se trabajó con un convertidor de medios universal de la marca Lantronix con montaje en riel DIN el mismo que usan los sensores lo que hace práctico su montaje en el mismo gabinete.

Para los módulos de visualización se tomó en cuenta utilizar un LCD donde se mostrara el valor de tensión de las baterías y el valor de corriente del banco, además unas barras de LED's que indicaran niveles de tensión por debajo de un porcentaje definido. En cuanto a la cantidad de LED's a utilizar se debía tomar en cuenta los puertos disponibles en el PIC para así asignar el manejo de estas alarmas visuales de baja tensión. Como solución para el LCD se adquirió uno de 4x20 caracteres con el objetivo de mostrar varios resultados de tensión por pantalla. Se debe recordar que son quince datos los que se muestran. Este módulo de visualización se encuentra colocado en el mismo lugar donde se encuentra el banco de baterías y debe ser un complemento al gabinete de los sensores pues la idea es que esta etapa de visualización esté en la tapa del

gabinete para poder tomar la lectura fácilmente. Con estos criterios claros, se utiliza la herramienta de diseño de circuitos impresos Eagle para acomodar en las placas disponibles los elementos de visualización de forma tal que cumpla con los criterios arriba mencionados pero que a la vez sean físicamente realizables según los requerimientos del laboratorio de circuitos impresos en cuanto a tamaño, ancho de pistas, cantidad y tipo de componentes electrónicos. En esta etapa la dificultad se presentó en lograr diseñar el módulo de visualización de forma que fuera fácil de entender para el usuario y que además se acoplara a lo que físicamente se podría elaborar en el laboratorio. En esta etapa se contó con la asesoría y supervisión del técnico encargado del laboratorio de circuitos impresos del ITCR, señor Ronald Soto Fallas. Con su ayuda se mejoró y optimizó cada diseño en cuanto a espacio y acomodo de componentes para que resultara funcional tanto en construcción como en ser una interfaz visual de fácil lectura y comprensión para el usuario. Es muy importante recalcar que al sistema no se le hicieron pruebas al límite por lo que no se garantiza el comportamiento ante esta situación, sin embargo cuenta con las protecciones del sobre corriente necesarias. El acople para un bus RS485 no se implementó pues implicaba añadir más elementos a las placas de los circuitos impresos y para el espacio disponible de la placa en ese momento se saturaba mucho el diseño, para este proyecto no era necesario pues se trabaja bajo RS 232. Sin embargo se incorpora como una eventual mejora al diseño del sistema.

5.2 Descripción del hardware

5.2.1 Diagrama Primer Nivel.

La figura 5.1 nos muestra el diagrama de primer nivel, se toma en cuenta que se tiene una señal analógica de tensión y corriente que proviene de un banco de baterías la misma pasará por un sistema de gestión que conlleva desde la toma de los datos hasta la visualización de los mismos por dos medios diferentes. En adelante se detallan cada uno de los bloques hasta llegar al resultado final con un sistema prototipo pero funcional, se tienen dos circuitos impresos y el software para mostrar datos MODBUS en el sistema SCADA de CNFL al final del proyecto lo cual cumple con los objetivos planteados inicialmente.



Figura 5.1 Diagrama primer nivel.

El bloque que se indica como baterías en la figura 5.1 comprende tres sub bloques: las baterías como tales, luego los sensores y por último la fuente de energía que alimenta los dispositivos del sistema. Los sensores convierten la señal analógica de entrada de tensión y corriente a un valor proporcional digital de 0 a 5V a la salida de los mismos, acondicionados para ser señales de entrada al PIC y poder procesar los datos en un sistema micro programado.

5.2.1.1 Banco de Baterías.

Se va a mencionar el banco de baterías como el elemento al que se le realizarán mediciones de sus variables eléctricas y por lo tanto resulta importante detallarlo. El banco está compuesto por 60 baterías de ácido y plomo de voltaje nominal de 2V cada una y una capacidad de 200 Ah. Ubicado en una configuración de Rack llamada de tres pasos. La figura 5.2 y 5.3 muestran tanto el detalle de los datos de placa de las baterías como la estructura del banco de baterías. La norma utilizada para baterías estacionarias es la IEC 610896.



Figura 5.2 Datos de placa de las baterías.



Figura 5.3 Banco de baterías Porrosatí.

5.2.1.2 Sensores.

En el mercado internacional existen varias marcas y tipos de sensores para tensión y corriente, estos últimos de efecto Hall principalmente, para nuestro proyecto se necesitaba un sensor capaz de medir una tensión de entrada de 0V a 10 V para cubrir cada grupo de cuatro baterías con una tensión nominal de 2V cada batería. Además que tuviera un rango de salida de 0V a 5V para que se acoplara a la entrada analógica del PIC 18F4550 por lo tanto tendríamos un transductor que nos entrega una variable adecuada para conectar al canal de entrada analógica del PIC. En la figura 5.4 se ilustra un sensor de la familia CR5300 de CR Magnetics y la figura 5.5 muestra su diagrama de conexión.



Figura 5.4 Sensor de tensión CR5300.

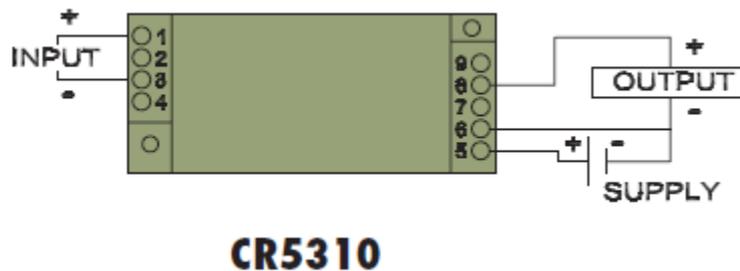


Figura 5.5 Diagrama de conexión sensor familia CR5300

Este sensor está diseñado para entregar una señal proporcional a la entrada en DC, se escogió porque para nuestro propósito tiene una entrada con capacidad para medir de 0 a 10V y entrega una salida proporcional de 0 a 5V, justo el rango que acepta el canal analógico del PIC. Además cuenta con un montaje en riel DIN tal como se necesita para el gabinete que se tiene a disposición. Cumple con los requerimientos de la norma IEC 61010-1, su fuente de alimentación es de 24VDC y 10mA lo que hace que sea funcional de alimentar con una fuente CD y que además se pueda tener una que soporte dar energía a todos los sensores. La figura 5.6 muestra una fuente de alimentación similar a la que se utilizó para el sistema.



Figura 5.6 Fuente de energía para sensores.

Para el sensor de corriente por la especificación de capacidad de corriente de 200Ah en 10 horas, como lo indica los datos de placa de la batería, se escogió un sensor capaz de medir 20 A. Para tener una capacidad mayor y no estar al límite de su corriente máxima, se compró un sensor con un rango de 0 a 30 ADC. El cargador de baterías del banco cuenta con interruptores magnéticos de protección de 40A, por ello se recomendó cambiar a interruptores de 25A así el sistema de protección cubre los sensores pues antes de superar los 30A de límite superior de medición se dispararía el interruptor de 25A ante un pico de corriente mayor a este valor. De igual manera que los sensores de tensión, este entrega una salida de 0a 5V proporcional a la entrada. La figura 5.7 y 5.8 muestran el sensor y su respectivo diagrama de conexión.



Figura 5.7 Sensor de corriente CR5210.

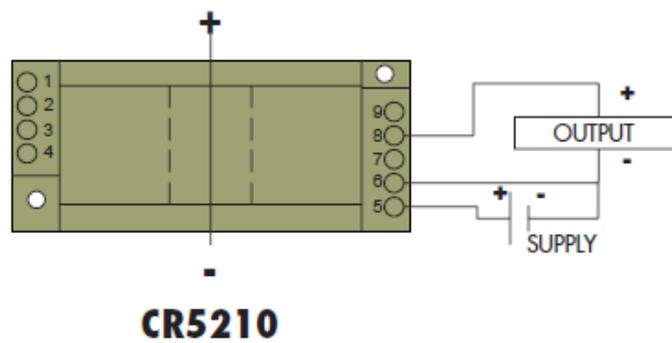


Figura 5.8 Diagrama de conexión sensor familia CR5210

Este tipo de sensores para medir más de 20A utiliza tecnología de efecto Hall. La figura 5.9 muestra cómo quedaron ubicados los sensores en el respectivo gabinete, además de la fuente de energía y el convertidor de medios. Es importante señalar y observar que en figura que se colocaron fusibles de protección para los sensores de forma tal que quedan protegidos contra picos mayores a su rango de medición. Los equipos de la primera fila ya estaban instalados ahí y no pertenecen a este proyecto. Cada uno de los sensores va conectado a una de las entradas del multiplexor analógico.



Figura 5.9 Gabinete para sensores.

5.2.2 Diagrama de Segundo Nivel.

La figura 5.10 detalla el diagrama de segundo nivel, donde se muestran los sub módulos del bloque inicial de baterías que se vieron anteriormente y se inicia a detallar el bloque de sistema de gestión del banco de baterías.

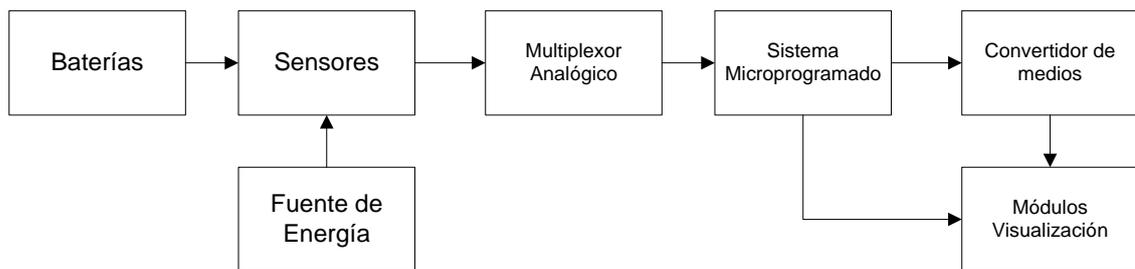


Figura 5.10 Diagrama de segundo Nivel.

5.2.2.1 Sistema Gestión Banco de Baterías.

Multiplexor Analógico.

Con el objetivo de utilizar la mayor cantidad de puertos disponibles para entrada/salida del PIC se utilizó un multiplexor analógico de la marca Analogic Device 16:1 (16 entradas, una salida) para tomar los datos de los 16 sensores se programó un control de adquisición de datos en el PIC, el mismo realiza un conteo para elegir la entrada al MUX proveniente de los sensores y a la vez direcciona una posición diferente por conteo de la memoria del PIC. Los datos son enviados a un solo canal de entrada analógica del PIC y allí son almacenados en la posición de memoria para cada dato que se mencionó anteriormente.

Sistema Central de Procesamiento de datos (Micro programado).

La primera función básica que realiza este sistema es precisamente el control del MUX para adquirir los datos de los sensores por un mismo convertidor A/D del PIC y así no utilizar otras patillas que son compartidas con otras funciones que vamos a utilizar. Funciona llevando un conteo de 0 a 15 pero dando el tiempo necesario para que el MUX tome el dato, lo ponga en la salida, el PIC lo tome, lo convierta por medio del convertidor A/D y lo almacene en memoria. En ese punto el conteo avanza y el MUX pone en su salida la segunda entrada y se repite el proceso con los 16 sensores. Cada vez que se completa el ciclo se da un refrescamiento de los datos en la memoria lo que quiere decir que una actualización del dato se refleja en las pantallas en cuestión de segundos.

El sistema se encarga de procesar y enviar los datos a la pantalla LCD por medio de un bus de datos paralelo y de activar en caso de ser necesario los LED's que indican un nivel bajo de tensión en alguno de los grupos de baterías o una sobre corriente en el banco de baterías.

Una vez que se tiene la pila de memoria lista con los 16 valores, el sistema SCADA, mediante solicitud de datos por medio del protocolo MODBUS, solicita le envíen información. Aquí se inicia la trama de datos entre el sistema SCADA y el PIC mediante protocolo MODBUS creando cada 30 segundos datos nuevos y actualizados en los módulos de visualización.

La figura 5.11 y 5.12 muestran los circuitos impresos terminados, tienen la etapa de adquisición de datos (MUX), unidad central de procesamiento (PIC), reguladores de tensión para dar la tensión adecuada a los componentes electrónicos y el adaptador de tensiones para trabajar comunicación serie RS 232.

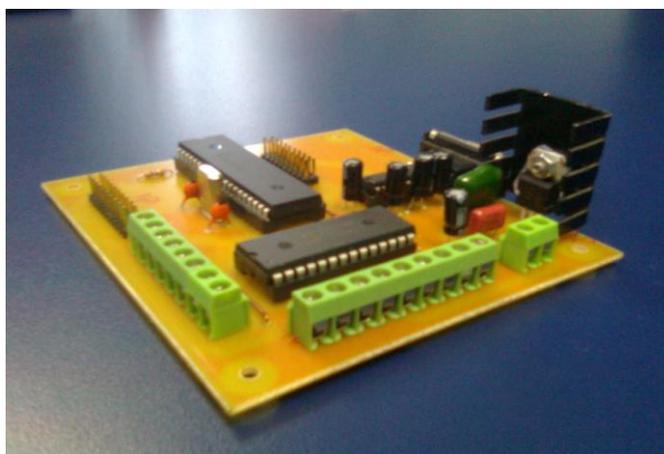


Figura 5.11 Circuito impreso vista 1.

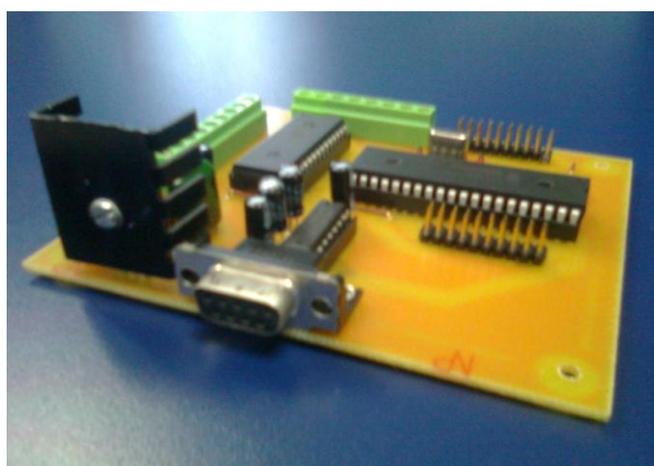


Figura 5.12 Circuito impreso vista 2.

Convertidor de Medios.

El módulo del PIC entrega los datos bajo protocolo MODBUS serie 232, para que el sistema sea funcional con la red de datos del SCADA de la CNFL se necesita un convertidor de medios que sea transparente al sistema y que tenga su propia dirección IP a la cual el SCADA solicitará los datos requeridos. Para este propósito se utilizó un convertidor de la marca Lantronix, el cual se programa con una dirección de IP y parámetros de configuración por medio de la misma red y con un software del equipo. La figura 5.13 muestra unas ventanas de programación para este módulo.

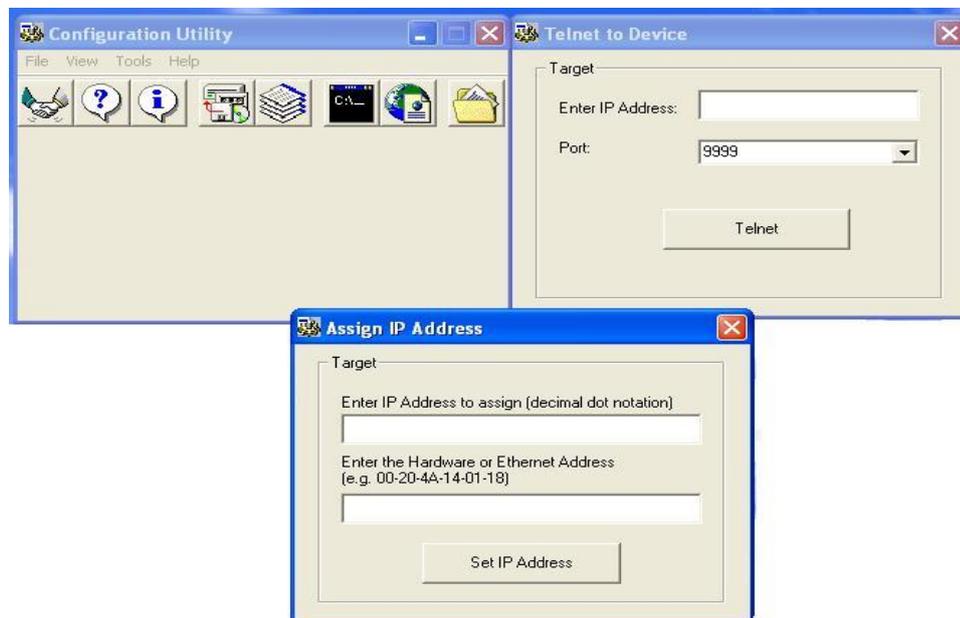


Figura 5.13 Ventanas de programación Lantronix.

Este módulo se encarga de convertir los datos se salida del PIC que se encuentran en protocolo MODBUS serie a MODBUS sobre Ethernet y así se pueden compartir con la red. La misma puede identificar en él un esclavo con su respectiva dirección IP con el cual puede establecer conversaciones en lenguaje MODBUS y así obtener los datos de los sensores almacenados en la memoria del PIC. La figura 5.14 muestra una vista frontal y lateral del convertidor de medios Lantronix, señalando sus principales puertos de entrada y salida.

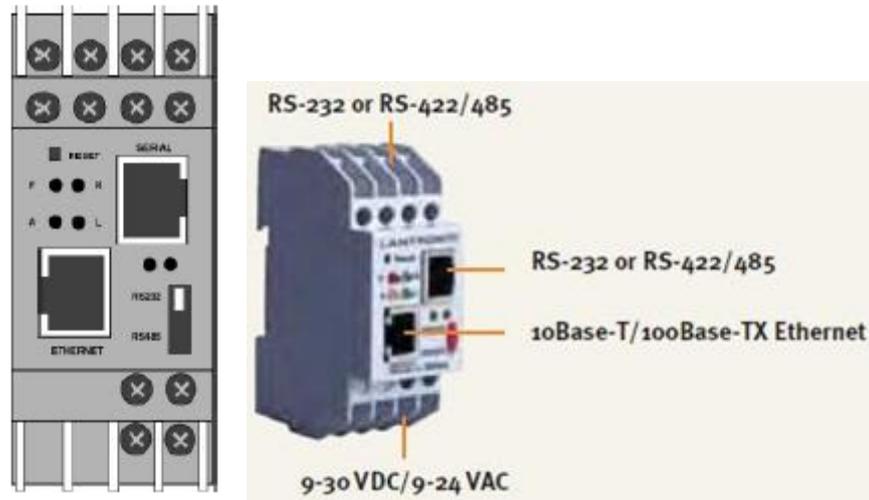


Figura 5.14 Convertidor de medios Lantronix.

5.2.3 Diagrama de Tercer nivel.

La figura 5.15 detalla el diagrama de tercer nivel, donde se muestran los sub módulos del bloque inicial de baterías, el bloque de sistema de gestión del banco de baterías y se inicia con el detalle de los módulos de visualización.

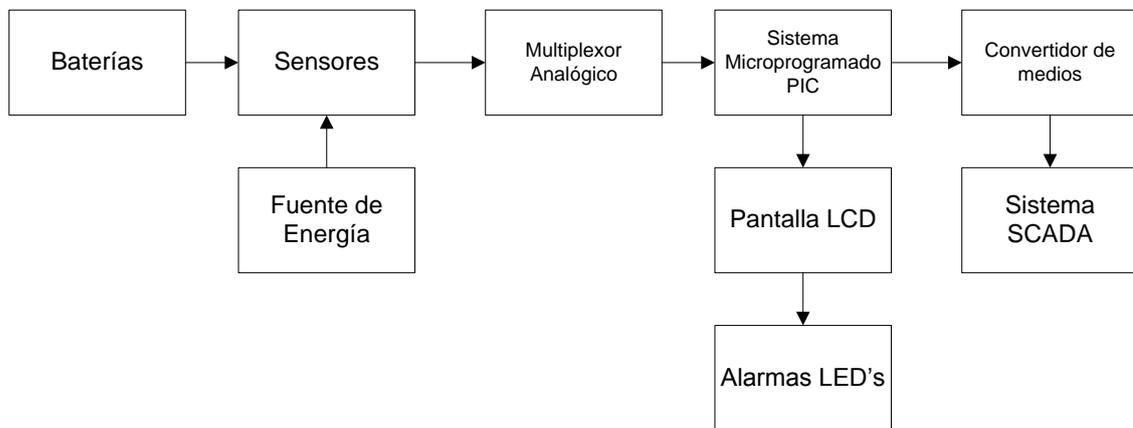


Figura 5.15 Diagrama de tercer nivel.

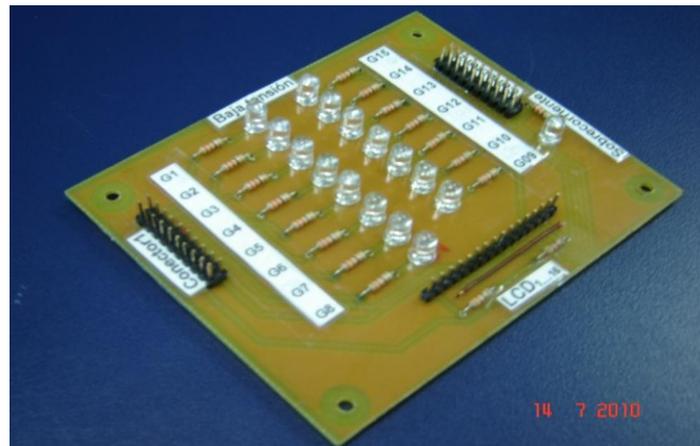


Figura 5.17 Módulo visualización alarma LED's.

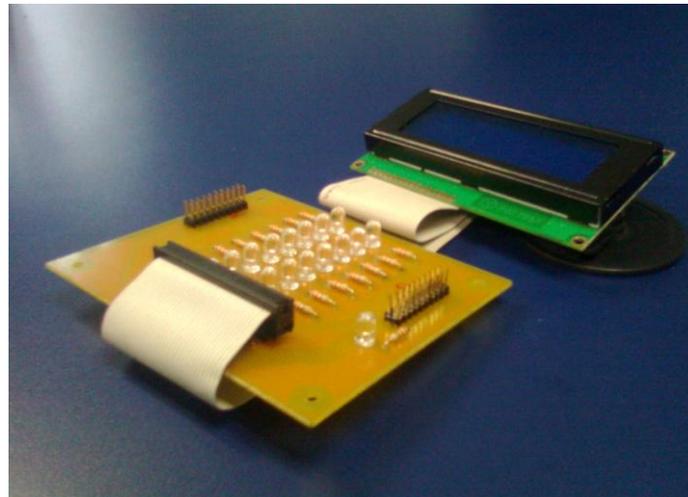


Figura 5.18 Módulo visualización LCD.

Además los datos se observan desde las pantallas del SCADA de la CNFL por medio de los protocolos de red Ethernet. Una vista de estas pantallas se observa en la figura 5.19. En ésta se lleva el monitoreo básico del banco de baterías, aquí se incluirán cada uno de los valores de cada grupo de baterías. La programación o pruebas desde el SCADA se hacen bajo el mando y supervisión del ingeniero a cargo del sistema, no es manipulable por el estudiante.

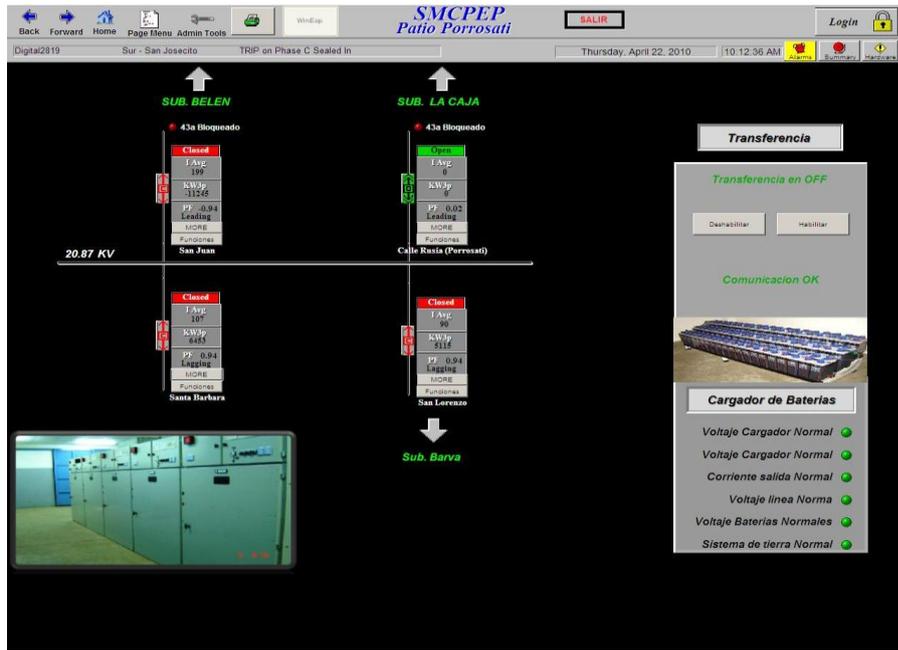


Figura 5.19 Módulo visualización SCADA.

La figura 5.20 detalla el diagrama de conexión del módulo de visualización en cuanto a sus componentes básicos.

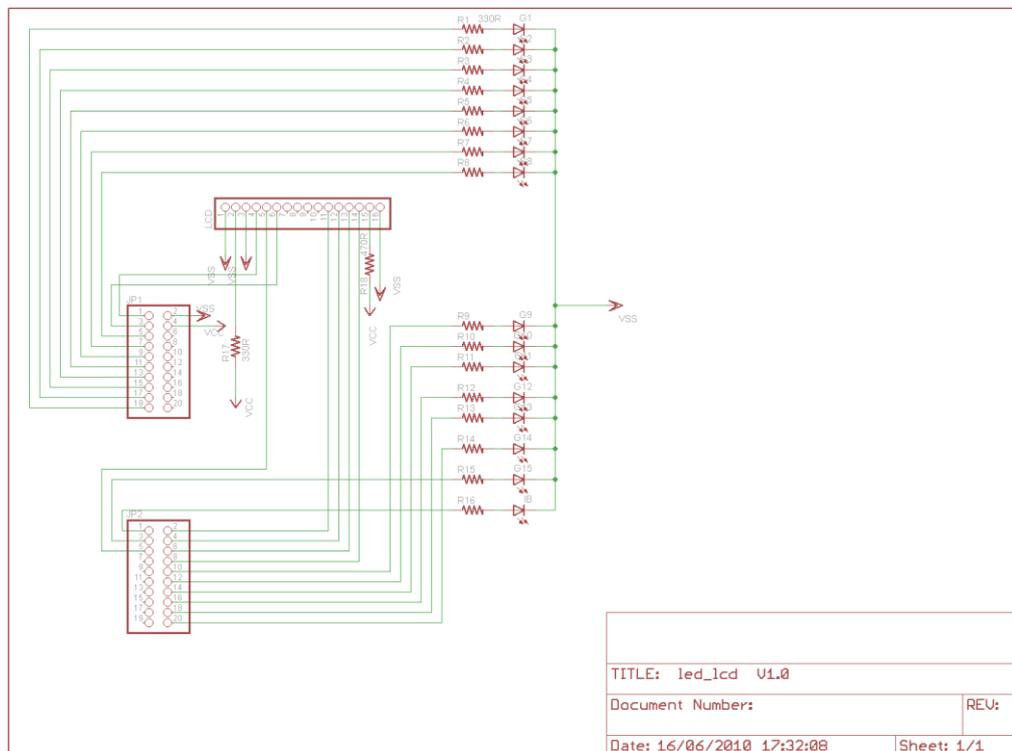


Figura 5.20 Diagrama de conexión módulo de visualización.

5.3 Descripción del Software.

La primera rutina importante que se desarrolla es completar las posiciones de memoria del PIC con los valores que se leen de los sensores, este dato llega de manera digital al PIC en un byte por lo que el factor de resolución de nuestro dato será $10/255$, quiere decir que el valor máximo a medir es de 10V dividido en 255 pasos o valores digitales que se pueden obtener con un byte. EL valor tomado del canal analógico digital será multiplicado por este factor de resolución y así se obtiene el dato a almacenar en memoria en nuevo arreglo. Cada dato se obtiene del multiplexor analógico cuyo control o conteo lo da una rutina programada en el PIC mediante un “switch” donde por cada conteo se obtiene del MUX un dato diferente y se almacena en memoria hasta completar los 16 valores (15 de tensión y uno de corriente). Una vez que se obtienen, almacenan, procesan y se muestran los resultados de estos valores, se repite el ciclo con 16 nuevos datos, cada actualización tarda unos 30 segundos. La figura 5.21 muestra el diagrama de flujo de esta rutina.



Figura 5.21 Diagrama de flujo obtención de datos.

Una vez que se tiene un arreglo con los datos de la toma de datos de tensión y corriente se procede a comparar cada posición de memoria con un valor predeterminado de alarma con el fin de activar los LED's que activan una alarma. Si alguno de los valores cumple la condición de alarma se envía una señal a un puerto digital del PIC y el LED respectivo a ese grupo se encenderá y además enviará una señal de alarma de baja tensión al sistema SCADA. La figura 5.22 muestra el diagrama.

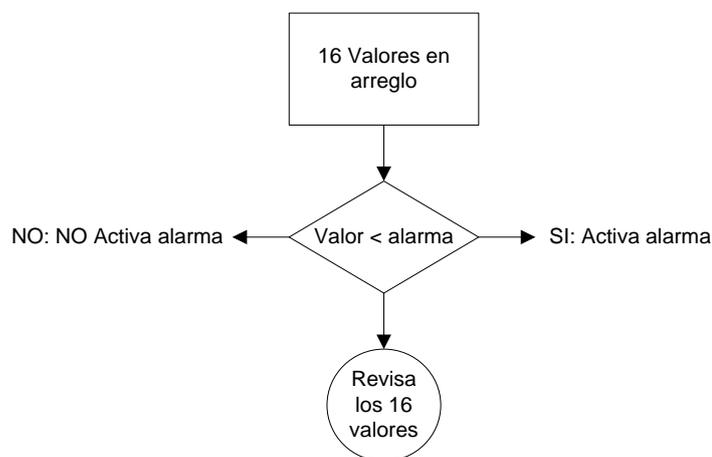


Figura 5.22 Diagrama de flujo activar alarmas.

Para las rutinas de protocolo MODBUS se llaman y activan las librerías con que cuenta PICC para este tipo de protocolos se adapta y programa para que sea funcional a nuestros arreglos en memoria y tiempos de ejecución, además que funcionen para el PIC 18F4550 que se está utilizando y demás periféricos como el LCD y convertidor de medios. El diagrama de flujo de esta rutina se apega el que se muestra en la figura 3.20 que trata de la función Read Holding Registers.

La rutina para mostrar los datos en el LCD utiliza las librerías para pantallas LCD que trae el software PICC, básicamente se programa la ubicación de donde se quiere escribir el LCD y se programan las instrucciones de “print” con que se cuenta. Se pueden mostrar valores que son variables ubicados en memoria, de esta forma se logra mostrar en tiempo real los datos de tensión y corriente en el LCD así como los mensajes pre grabados en memoria para brindar información del sistema. La figura 5.23 muestra el diagrama para la escritura en LCD.

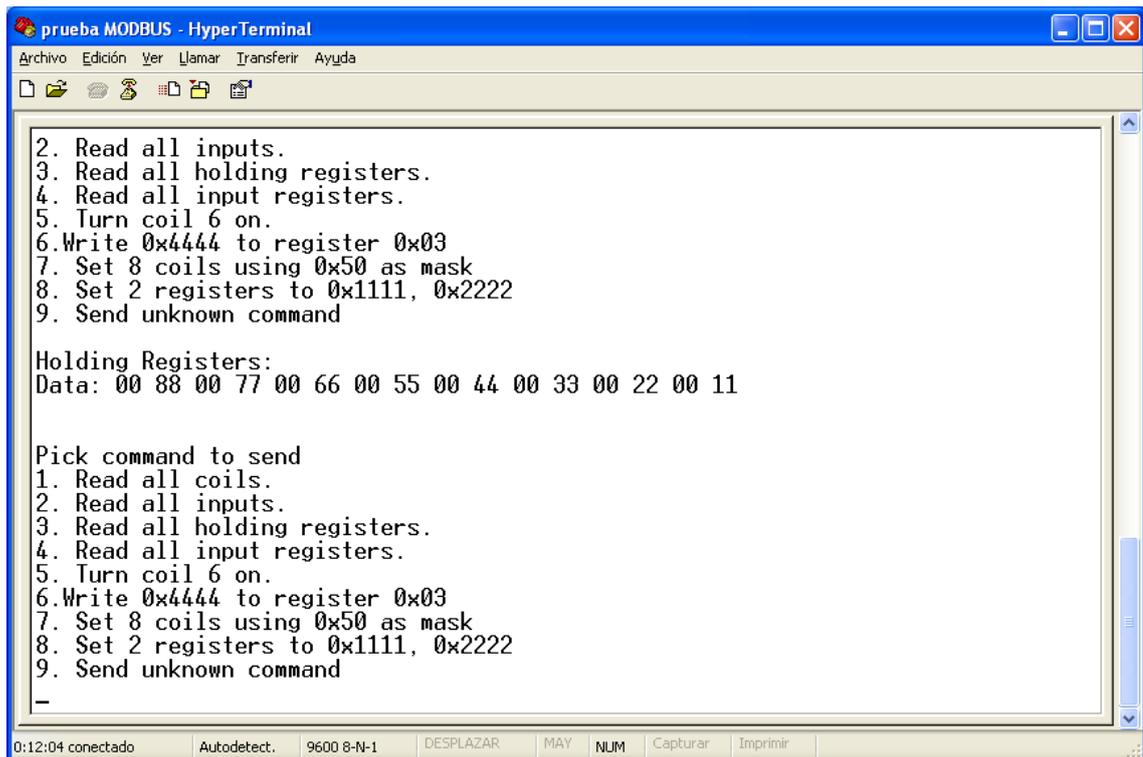


Figura 5.23 Diagrama de flujo escritura en LCD.

Capítulo 6: Análisis de Resultados

6.1 Resultados

Este apartado presenta las tablas y figuras con los resultados obtenidos a las pruebas que se le practicaron al sistema prototipo. Inicialmente se comprobó la comunicación MODBUS entre el sistema y la PC en MODBUS RS 232.



```
prueba MODBUS - HyperTerminal
Archivo Edición Ver Llamar Transferir Ayuda
2. Read all inputs.
3. Read all holding registers.
4. Read all input registers.
5. Turn coil 6 on.
6. Write 0x4444 to register 0x03
7. Set 8 coils using 0x50 as mask
8. Set 2 registers to 0x1111, 0x2222
9. Send unknown command

Holding Registers:
Data: 00 88 00 77 00 66 00 55 00 44 00 33 00 22 00 11

Pick command to send
1. Read all coils.
2. Read all inputs.
3. Read all holding registers.
4. Read all input registers.
5. Turn coil 6 on.
6. Write 0x4444 to register 0x03
7. Set 8 coils using 0x50 as mask
8. Set 2 registers to 0x1111, 0x2222
9. Send unknown command
-
0:12:04 conectado Autodetect. 9600 8-N-1 DESPLAZAR MAY NUM Capturar Imprimir
```

Figura 6.1 Envío de datos de memoria a la PC.

Las siguientes dos figuras muestran resultados obtenidos con la herramienta MODBUS POLL, software especializado para trabajar con este protocolo, se muestran los registros 40001 en adelante, posiciones destinadas para la función 0x03 de MODBUS. La figura 6.3 es una fotografía del sistema captando datos desde los sensores.

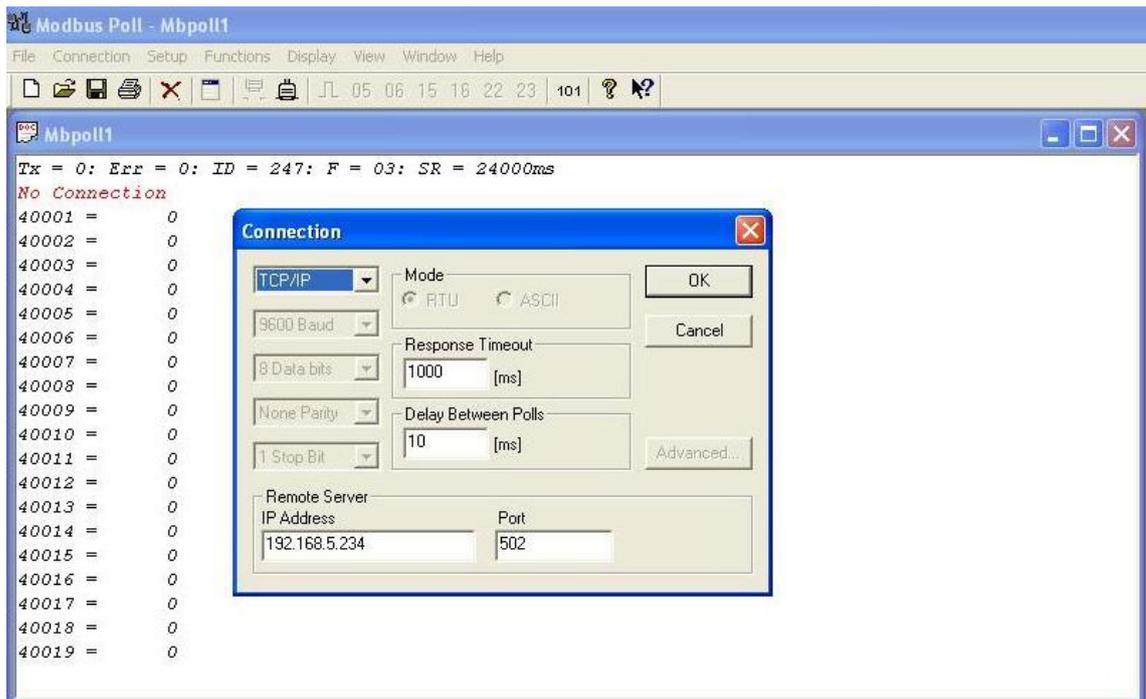


Figura 6.2 Envío de datos mediante MODBUS POLL.

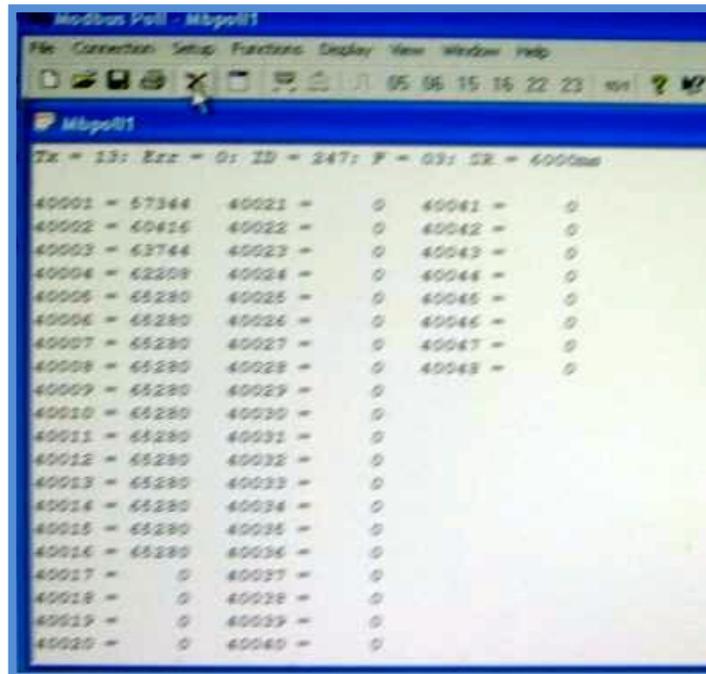


Figura 6.3 Envío satisfactorio de datos mediante MODBUS POLL.

6.2 Análisis

Como se observa en la figura 6.1 los primeros resultados se obtuvieron de leer datos bajo protocolo MODBUS serie de las posiciones de memoria del PIC a la PC. Mediante el comando “leer registros” (0x03) se obtienen los datos pre almacenados en memoria. Estos datos no se obtuvieron de los sensores sino se almacenaron en la memoria del PIC y se solicitaron mediante protocolo serie de Windows al PIC bajo comandos MODBUS. Se observa en la figura como el protocolo mediante el software despliega los datos almacenados en la memoria de forma correcta. Si esta prueba resultaba satisfactoria se procede a cargar la memoria del PIC con valores obtenidos de los sensores; inicialmente se simularon los sensores con potenciómetros para obtener tensiones variables.

La figura 6.2 muestra una pantalla con el software especializado de simulación de protocolos MODBUS POLL con el cual se hicieron las pruebas antes de conectar al sistema SCADA, se muestra una pantalla con los parámetros de configuración de tiempo y propios de protocolo para realizar una adecuada transmisión según se requiera. Esta figura muestra el tiempo de refrescamiento de datos en 24 segundos, esto quiere decir que cada ciclo de 24 segundos el sistema solicita datos nuevos al PIC, este tiempo es suficiente para que los datos se muestren en la pantalla LCD la cual requiere más tiempo para mostrar todos los valores de tensión.

La figura 6.3 muestra los datos decimales que devuelve el convertidor A/D del PIC pero que ya no son pre almacenados en memoria, sino datos generados por los sensores. Éste se acondiciona para que muestre el valor decimal correcto para la lectura de la tensión de cada grupo de baterías. Se observa como las posiciones de memoria dedicadas para mostrar los valores de los registros son de la 40001 en adelante, el tiempo de refrescamiento del sistema va a depender del tiempo que se quiera mostrar el dato en el LCD, pues mientras se despliegan las pantallas con todos los valores no se le pueden pedir datos nuevos al sistema.

Capítulo 7: Conclusiones y recomendaciones

7.1 Conclusiones.

- El multiplexor analógico optimiza recursos del PIC, libera puertos que se pueden utilizar en otras tareas y es confiable.
- Por medio del PIC 18F4550 se logra implementar una Unidad Remota que se comunique con un sistema SCADA bajo protocolo MODBUS.
- El uso de los convertidores de medios hace transparente la comunicación, independientemente del fabricante o de la tecnología de los equipos.

7.2 Recomendaciones

- Hacer independiente el sistema del convertidor de medios. Esto mediante mejoras que incluirían el convertidor dentro del sistema micro programado para lo que se necesita adicionar circuitos integrados como controladores Ethernet.
- Incluir sensor para gases en cuartos de baterías y que se puedan monitorear de la misma forma que los sensores de tensión. Para esto se necesita incluir hardware para tener más puertos disponibles. Además del diseño del acondicionador de señal si fuera necesario
- Acondicionar para dispositivos que usen buses de comunicación serie RS-485. Este bus es muy común en la industria, no fue necesario para este caso pero se puede ver como oportunidad de mejora para hacer el sistema más versátil.
- Mejora en el diseño del módulo de visualización en conjunto con el gabinete que lo contiene para lograr un producto terminado que sea práctico, de simple manejo y más ergonómico a la vista.

Bibliografía

1. Analog Device Applications Bulletin. “*Voltage Monitoring and Sequencing*”. Analog Device 2009 USA.
2. CadSoft Computer Inc. “*Tutorial Eagle 4.0 para Linux y Windows*”. Cadsoft 2000. Derechos reservados.
3. CNFL SA “*Información general página web*” Derechos Reservados 2010
<http://www.cnfl.go.cr/>
[Consulta enero de 2010].
4. CR Magnetics Applications. “*Developing Voltage Current Loops*” CR Magnetics, Inc. St. Louis USA.
5. IEC 610896 Norma Baterías Estacionarias. “*Baterías*”.
<http://iie.fing.edu.uy/ense/assign/electrotec/e1/ClaseBaterias.pdf>
[Consulta febrero de 2010].
6. Jiménez, Manuel B. “*Comunicaciones Industriales*”. Universidad Politécnica de Cartagena. Depto. de Tecnología Electrónica.
7. Major Power. “*Sizing an Inverter Battery Bank*” MajorPower.Com 2009 USA.
8. Migliaro, Marco W. “*Baterías Estacionarias*”. CONCAPAN XIII. Costa Rica 1993.
9. MODBUS-IDA Organization. “*MODBUS Application Protocol Specification V1.1b*”. 28 de diciembre de 2006.
<http://www.modbus.org/>
[Consulta febrero de 2010].

10. MODBUS-IDA Organization. “*MODBUS over Serial Line, Specification and Implementation Guide V1.02*”. 20 de diciembre del 2006.

<http://www.modbus.org/>

[Consulta marzo de 2010]

11. PIC18F4550 Documentation. “*8-bit PIC® Microcontrollers*” ©2009 Microchip Technology Inc.

<http://www.microchip.com/wwwproducts/Devices>.

[Consulta febrero de 2010].

Apéndices.

A.1 Glosario y abreviaturas

- ADC: convertidor analógico a digital. Dispositivo encargado de convertir una señal analógica de voltaje en valores digitales binarios (unos y ceros).
- ANSI/TIA/EIA-232F: Documento de la Electronic Industries Association/Telecommunication Industry Association TIA/EIA-232-F and ITU V.28 generalmente referido como 232, abarca aspectos eléctricos y estándares de capa física aplicable para equipos terminales de 9 pines de interfaz serial principalmente.
- Banco de baterías: Conjunto de baterías conectadas en serie para lograr la tensión de continua requerida.
- Baterías Estacionarias: Tipo de montaje fijo que se utiliza para la alimentación de los circuitos de control, comando, protección e iluminación de emergencia en las centrales y estaciones eléctricas.
- Battery Management Systems (BMS): cualquier sistema electrónico que gestione y recargue baterías. Realiza un monitoreo del estado, calcula y reporta datos, protege la baterías mediante el control y balance del ambiente que envuelve la batería.
- Big Endian: consiste en representar los bytes en el orden "natural", el valor hexadecimal 0x4A3B2C1D se codificaría en memoria en la secuencia {4A, 3B, 2C, 1D}.
- Bits de parada: bits destinados a finalizar una comunicación entre dos dispositivos.

- Bus de comunicación: el bus (o canal) es un sistema digital que transfiere datos entre los componentes de una computadora o entre computadoras.
- Byte: estructura compuesta por 8 bits
- CNFL SA: Siglas para Compañía Nacional de Fuerza y Luz Sociedad Anónima.
- Circuito impreso: En electrónica, un circuito impreso o PCB (del inglés printed circuit board), es un medio para sostener mecánicamente y conectar eléctricamente componentes electrónicos, a través de rutas o pistas de material conductor, grabados en hojas de cobre laminadas sobre un sustrato no conductor, comúnmente baquelita o fibra de vidrio.
- Convertidor de medios: Dispositivos capaces de pasar información digital a través de distintos medios o plataformas.
- CRC16: chequeo de redundancia cíclica. Algoritmo diseñado para el control de errores en las transmisiones digitales.
- DB9: El conector DB9 es un conector analógico de 9 clavijas de la familia de conectores *D-Subminiature*. Se utiliza principalmente para conexiones en serie, ya que permite una transmisión asíncrona de datos según lo establecido en la norma RS-232.
- Equipo HMI: Interfaz de usuario por sus siglas en idioma inglés, (Human Machine Interface) que se usa para referirse a la interacción entre humanos y máquinas; Aplicable a sistemas de Automatización de procesos.
- Ethernet: Tecnología de redes de computadoras de área local y dispositivos bajo el estándar IEEE 802.3, basada en tramas de datos.

- Fibra óptica: es un medio de transmisión empleado habitualmente en redes de datos; un hilo muy fino de material transparente, vidrio o materiales plásticos, por el que se envían pulsos de luz que representan los datos a transmitir.
- Half-duplex: comunicación que se puede dar en ambos sentidos: transmisión y recepción, pero no ambos al mismo tiempo.
- Microcontrolador: es un dispositivo programable compuesto por las secciones básicas de una microcomputadora como: la unidad de control de procesamiento, la unidad aritmética lógica, memoria e interfaces de entrada y salida.
- MODBUS ADU: MODBUS Application Data Unit.
- MODBUS PDU: MODBUS Protocol Data Units.
- MODBUS POLL: Es un simulador maestro MODBUS diseñado para ayudar a los desarrolladores de dispositivos esclavos MODBUS u otros que quieran probar y simular protocolos MODBUS.
- MODBUS RTU (unidad terminal remota): Protocolo desarrollado por la compañía Americana Gould-Modicon especialmente para aplicaciones de visualización de variables de procesos. Es de uso libre y abierto al público en general. Se encuentra posicionado en el nivel 7 del modelo OSI de capas.
- MUX analógico: multiplexor analógico. Dispositivo conformado por una red interna de conmutadores, capaz de seleccionar una de muchas entradas analógicas y colocarla a la salida.

- Paridad: Mecanismo de detección de errores empleado en las comunicaciones, el cual verifica bit a bit una trama de datos y calcula un número equivalente a la paridad par, impar o nula del conjunto, y se agrega al final del mensaje.
- PLC: Programmable logic controller, es un computador digital usado para automatización de procesos electrónicos, como un control de maquinaria y líneas de ensamblaje. Son usados en múltiples industrias y maquinaria.
- Red: conjunto de dispositivos conectados entre sí, que trabajan bajo un mismo protocolo y cuya finalidad en común es establecer comunicaciones entre todos.
- Sensor: Es un dispositivo capaz de detectar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarlas en variables eléctricas.
- SCADA: Proviene de las siglas "Supervisory Control And Data Acquisition" (Control de Supervisión y Adquisición de Datos). Es un sistema basado en computadores que permite supervisar y controlar variables de proceso a distancia, proporcionando comunicación con los dispositivos de campo (controladores autónomos) y controlando el proceso de forma automática por medio de un software especializado.
- Software: programas o aplicaciones diseñadas para ser ejecutadas en una computadora.
- TCP/IP: "Transport control protocol/Internet protocol". Protocolo de control de transmisión y protocolo de Internet para el envío de tramas por una red.

- Topología maestro/esclavo: disposición de integrantes de una red, en la cual se llama maestro al dispositivo encargado de dictar el comportamiento del resto de los integrantes (esclavos).
- Transductor: Un transductor es un dispositivo capaz de transformar o convertir un determinado tipo de energía de entrada, en otra de diferente a la salida.

A.2 Guía rápida de uso del sistema.

Sistema de Monitoreo de variables eléctricas de bancos de baterías en las subestaciones de la Compañía Nacional de Fuerza y Luz.

Conexión de los módulos.

Como se observa en la figura A.2.1 la conexión de los sensores se realiza en las regletas verdes que vienen numeradas del 1 al 15 para los sensores de tensión indicando cada uno de los grupos de baterías, el sensor de corriente viene marcado como “Ib” que indica corriente de banco. La figura 5.5 y 5.8 indican la patilla de cada sensor que debe conectarse a cada entrada de la regleta.

El lugar donde se conecta la fuente de energía se indica con “+/-” en la regleta de color verde en la esquina inferior izquierda. El puerto de salida de datos MODBUS serie está claramente marcado como RS-232, este puerto se conecta con un cable especial que tiene de un lado un puerto DB9 y al otro extremo RJ45 que entra al convertidor de medios para obtener datos MODBUS Ethernet.

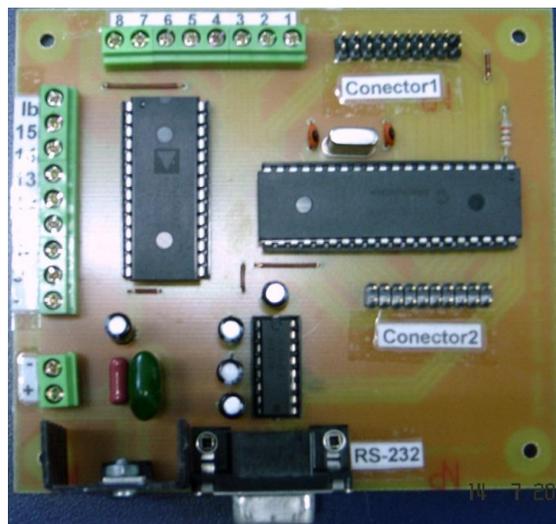


Figura A.2.1 Módulo de unidad de procesamiento de datos.

Los puertos marcados como “Conector1 y Conector 2” Se conectan mediante buses de datos paralelos entre cada uno de los circuitos impresos, como lo muestra la figura A.2.2 también viene marcado con el respectivo nombre donde se conectan cada uno de los buses. Para la conexión se utilizan fajas como las de conectar buses paralelos en la PC.

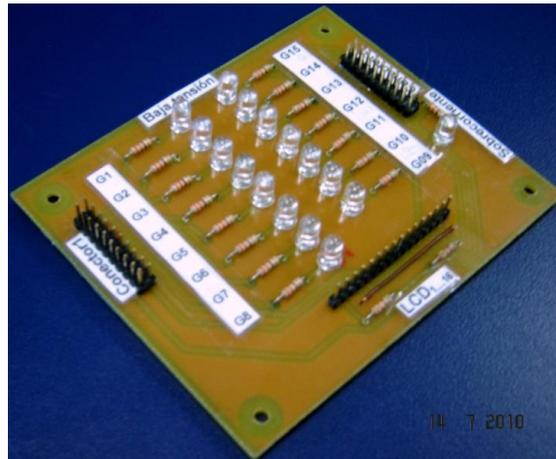


Figura A.2.2 Módulo de Visualización.

La figura A.2.2 muestra como el módulo de visualización se encuentra debidamente etiquetado, se indica cada uno de los grupos a que pertenece cada LED de alarma de baja tensión y el de sobre corriente. Además los pines de conexión de LCD se encuentran marcados en su respectivo orden, de igual manera se conecta con un bus paralelo de datos, la figura A.2.3 ilustra la conexión del módulo de visualización en forma completa.

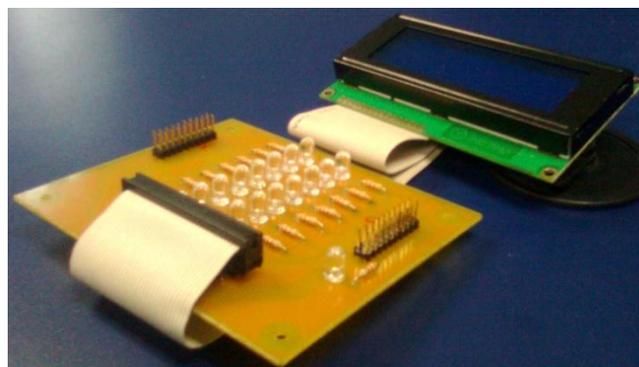


Figura A.2.3 Módulo de Visualización con LCD.

Para poner en funcionamiento el sistema se debe conectar la fuente de alimentación y el mismo queda encendido y en espera de la solicitud del SCADA para obtener datos de los sensores, esta interrupción se logra conectando el convertidor de medios a la red Ethernet por medio de un cable RJ 45 y un puerto Ethernet conectado a la red general y activando la pantalla SCADA de monitoreo del patio de interruptores Porrosatí. La figura 5.14 muestra los puertos de conexión del convertidor de medios marca Lantronix.

Configuración del sistema.

La figura A.2.4 nos muestra las pantallas que se deben configurar para una adecuada comunicación del sistema con el convertidor de medios, el software ofrece una serie de herramientas para probar y establecer la comunicación entre dispositivos.

Se debe establecer la dirección IP que se le va a asignar al dispositivo junto con la dirección Ethernet o número de hardware, éste se obtiene de la etiqueta adherida al convertidor.

Una vez asignadas estas direcciones se puede hacer un test de comunicación ingresando la dirección IP y número de puerto, se puede hacer un pin al dispositivo y comprobar la comunicación. El número de puerto está pre programado en el PIC como 247 (0xF7), la dirección de IP la indica el administrador de la red teniendo en cuenta que sea una dirección libre en la misma.

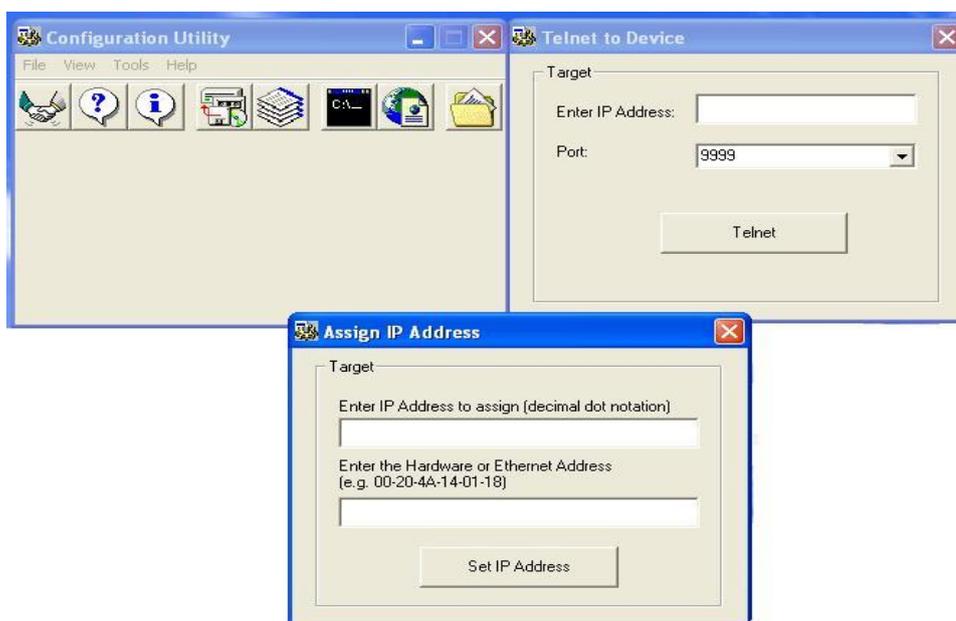


Figura A.2.4 Ventanas de configuración.

Una vez conectados y alimentados sensores e impresos y configurado el dispositivo Lantronix, se abre la ventana de monitoreo del patio de interruptores Porrosatí del sistema SACADA y al solicitar información mediante la función 0x03 de MODBUS obtendrá datos del valor de tensión y corriente proveniente de los sensores en pantalla que serán refrescados cada 30 segundos, así como también en el LCD. Para inicializar el sistema y el convertidor de medios se quita y vuelve a colocar la fuente de energía. La trama de datos serie se debe configurar de la siguiente manera: 9600 baud, no parity, 8-bit, y 1 stop bit.

A.3 Información sobre la empresa¹⁰

La Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL) fue creada el 8 de abril de 1941. El 20 de setiembre de 1968 el ICE adquirió a la Electric Bond and Share Co, el 98.6 por ciento de las acciones de la CNFL y dejó el saldo en manos de empresarios costarricenses.

Está legalmente constituida como Sociedad Anónima inscrita en el Registro de la Propiedad y su vigencia está garantizada hasta el año 2107 (Ley 8660, Ley de Fortalecimiento y Modernización de las Entidades Públicas del Sector Telecomunicaciones, artículo 54, Alcance 31 de La Gaceta 156, del 13 de agosto del 2008). Con el fin de marcar sus ámbitos de acción y establecer una política de coordinación de esfuerzos, en 1970 el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) y la Compañía Nacional de Fuerza y Luz, S.A. suscribieron un Convenio para la Prestación Mutua de Servicios, el cual entró en vigencia el 1 de julio de 1971, con el aval de la Contraloría General de la República.

La CNFL es la principal empresa distribuidora de electricidad en Costa Rica. Para garantizar esa función cuenta con un sistema de distribución formado por 35 subestaciones, 5.804 kilómetros de líneas en operación y 1.499 MVA de capacidad instalada en transformadores de distribución, con una cobertura del 99% de la zona servida. Sus redes de distribución cubren 903 Km² del Gran Área Metropolitana, que es donde se concentra la mayor parte de la población, la vida institucional y las principales actividades comerciales y productivas del país.

La CNFL cuenta con 480 mil clientes, que representan el 37 % del total nacional; y una gestión comercial que abarca el 46% del mercado eléctrico costarricense. Su área de servicio abarca el 1.8% del territorio nacional, con el 45% de la demanda eléctrica. El potencial de generación es de 88,1 MW de capacidad instalada en nueve plantas hidroeléctricas, las cuales generaron el 11% de la energía comercializada y el 89% restante se le compra al ICE.

¹⁰ Tomado de www.cnfl.go.cr

VISIÓN

“Ser una empresa modelo en la prestación de servicios eléctricos y afines, logrando la satisfacción del cliente basados en el desarrollo tecnológico, socio ambiental y la calidad técnica y humana de nuestro personal”.

MISIÓN

“Somos una empresa del sector eléctrico que brinda servicios públicos en el mercado nacional y que, comprometidos con la satisfacción del cliente, desarrollamos nuestras competencias esenciales y utilizamos los recursos de forma óptima, para contribuir con el crecimiento económico y social, y con el desarrollo ambiental del país”.

A.4 Esquemáticos de Eagle para impresos.

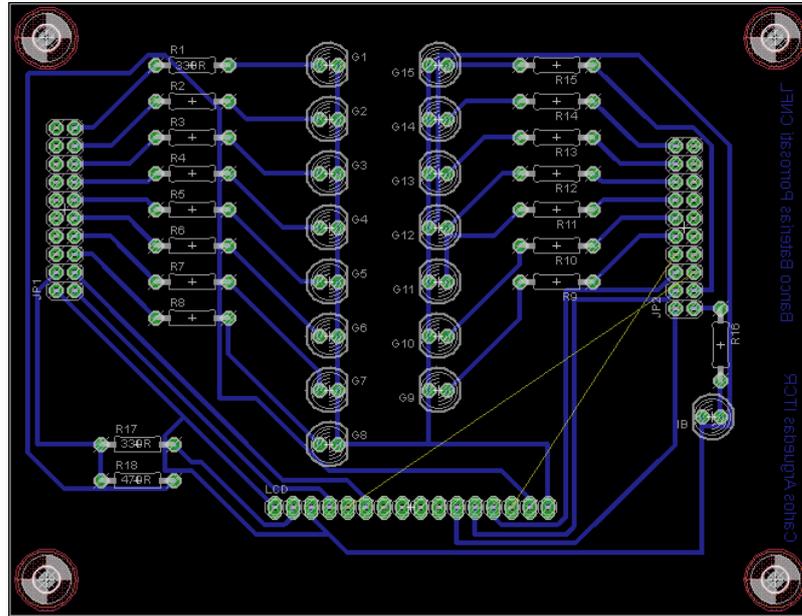


Figura A.4.1 Plantilla para impreso de visualización.

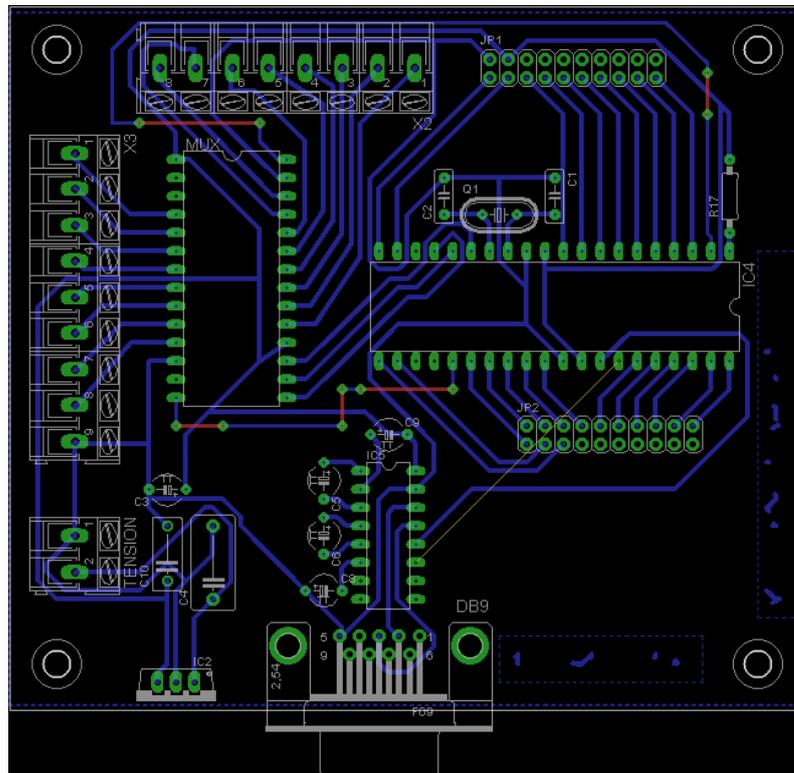


Figura A.4.2 Plantilla para impreso de unidad de procesamiento.

Anexos.

Anexo B.1 Hoja de datos sensor de tensión serie CR5300.

DC Voltage Transducer

DIN RAIL / PANEL MOUNT, RMS



CR5310 CR5311 CR5320
Single Element
.01 - 200 VDC Input Range

The **CR5300** Series, DC Voltage Transducers and Transmitters, are designed to provide an output DC signal that is proportional to the input DC voltage. These devices are especially suited for applications with a current shunt to monitor DC current.

Applications

- Power Supply over/under sensing
- Battery chargers and systems
- Mobile applications
- Power sensing

Features

- Output isolated from input
- 0 - 5 VDC or 4 - 20 mA DC outputs
- 35mm DIN rail or panel mount
- Connection diagram printed on case

Regulatory Agencies

- Approved to UL3111-1, First Edition, Amendment 2
- Approved to CAN/CSA-C22.2, No. 1010.1-92
- Meets requirement of IEC 61010-1 and BS EN 61010-1



CR5310 with Resistor Application is shown below.



C
Transducers

PART NUMBERS				Add suffix for input range
CR5310	•		Single Element with ±5 VDC output	
CR5311	•		Single Element with ±10 VDC output	.05 - 0-0.05 VDC
CR5320	•		Single Element with 4 - 20 mA DC output	.1 - 0-0.1 VDC
				1 - 0-1 VDC
				5 - 0-5 VDC
				10 - 0-10 VDC
				50 - 0-50 VDC
				150 - 0-150 VDC
				200 - 0-200 VDC

- .01 - 0-0.01 VDC
 - .05 - 0-0.05 VDC
 - .1 - 0-0.1 VDC
 - 1 - 0-1 VDC
 - 5 - 0-5 VDC
 - 10 - 0-10 VDC
 - 50 - 0-50 VDC
 - 150 - 0-150 VDC
 - 200 - 0-200 VDC
- other ranges available

If you need a relay output, use a **CR3395**.
See Section E for Details.



CR Magnetics, Inc. 3500 Scarlet Oak Blvd. St. Louis MO USA 63122 V: 636-343-8518 F: 636-343-5119
Web: <http://www.crmagnetics.com>

E-mail: sales@crmagnetics.com

Anexo B.2 Hoja de datos sensor de corriente serie CR5200.

DC Current Transducer

DIN RAIL / PANEL MOUNT, RMS



Single Element - .79" Window
2 to 300 ADC Input Range



Single Element - 1.2" Window
20 to 300 ADC Input Range

The **CR5200** Series, DC Current Transducers are designed to provide a DC signal which is proportional to a DC sensed current. These devices are designed for direct current only, targeting them towards general and daily applications. The ranges 2 to 10 Amp utilize an advanced Magnetic Modulator technology and the ranges 20 amps and above utilize Hall Effect technology.

Applications

Battery chargers and systems
DC motor drives
Power supply management
Mobile applications

Features

Closed loop sensing for accuracy
35mm DIN rail or panel mount
Available with ± 5 VDC, ± 10 VDC or 4 - 20 mADC outputs
Non-contact DC current sensing
Connection diagram printed on case

Regulatory Agencies

Approved to UL 61010B-1



C
Transducers

All single element current transducers are available in split core design.
Simply put an "S" at the end of the prefix

PART NUMBERS			
CR5210(S)	-		Single Element with ± 5 VDC output (split core design)
CR5211(S)	-		Single Element with ± 10 VDC output (split core design)
CR5220(S)	-		Single Element with 4 - 20 mADC output (split core design)
NOTE: DC Split Core Transducers Available in 20 Amps and Higher			
NOTE: CR5200 Series is available with 12V Power Supply. Use same application as 24V Power Supply.			
Example Part Number: CR5210-300-12.			

Add suffix for input range

2	-	0-2 ADC
5	-	0-5 ADC
10	-	0-10 ADC
20	-	0-20 ADC
30	-	0-30 ADC
50	-	0-50 ADC
75	-	0-75 ADC
100	-	0-100 ADC
150	-	0-150 ADC
300	-	0-300 ADC

Ranges available up to and including 600 ADC



CR Magnetics, Inc. 3500 Scarlet Oak Blvd. St. Louis MO USA 63122 V: 636-343-8518 F: 636-343-5119

Web: <http://www.crmagnetics.com>

44

E-mail: sales@crmagnetics.com

Anexo B.3 Hoja de datos de regulador de voltaje LM7805.



May 2000

LM78XX Series Voltage Regulators

General Description

The LM78XX series of three terminal regulators is available with several fixed output voltages making them useful in a wide range of applications. One of these is local on card regulation, eliminating the distribution problems associated with single point regulation. The voltages available allow these regulators to be used in logic systems, instrumentation, HiFi, and other solid state electronic equipment. Although designed primarily as fixed voltage regulators these devices can be used with external components to obtain adjustable voltages and currents.

The LM78XX series is available in an aluminum TO-3 package which will allow over 1.0A load current if adequate heat sinking is provided. Current limiting is included to limit the peak output current to a safe value. Safe area protection for the output transistor is provided to limit internal power dissipation. If internal power dissipation becomes too high for the heat sinking provided, the thermal shutdown circuit takes over preventing the IC from overheating.

Considerable effort was expended to make the LM78XX series of regulators easy to use and minimize the number of external components. It is not necessary to bypass the out-

put, although this does improve transient response. Input bypassing is needed only if the regulator is located far from the filter capacitor of the power supply.

For output voltage other than 5V, 12V and 15V the LM117 series provides an output voltage range from 1.2V to 57V.

Features

- Output current in excess of 1A
- Internal thermal overload protection
- No external components required
- Output transistor safe area protection
- Internal short circuit current limit
- Available in the aluminum TO-3 package

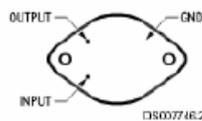
Voltage Range

LM7805C	5V
LM7812C	12V
LM7815C	15V

LM78XX Series Voltage Regulators

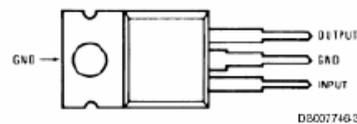
Connection Diagrams

Metal Can Package
TO-3 (K)
Aluminum



Bottom View
Order Number LM7805CK,
LM7812CK or LM7815CK
See NS Package Number KC02A

Plastic Package
TO-220 (T)



Top View
Order Number LM7805CT,
LM7812CT or LM7815CT
See NS Package Number T03B

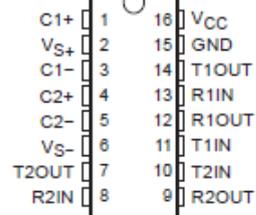
Anexo B.4 Hoja de datos de controlador de bus de datos RS 232.

MAX232, MAX232I DUAL EIA-232 DRIVERS/RECEIVERS

SLLS047L - FEBRUARY 1989 - REVISED MARCH 2004

- Meets or Exceeds TIA/EIA-232-F and ITU Recommendation V.28
- Operates From a Single 5-V Power Supply With 1.0- μ F Charge-Pump Capacitors
- Operates Up To 120 kbit/s
- Two Drivers and Two Receivers
- ± 30 -V Input Levels
- Low Supply Current . . . 8 mA Typical
- ESD Protection Exceeds JESD 22 - 2000-V Human-Body Model (A114-A)
- Upgrade With Improved ESD (15-kV HBM) and 0.1- μ F Charge-Pump Capacitors is Available With the MAX202
- Applications
 - TIA/EIA-232-F, Battery-Powered Systems, Terminals, Modems, and Computers

MAX232 . . . D, DW, N, OR NS PACKAGE
MAX232I . . . D, DW, OR N PACKAGE
(TOP VIEW)



description/ordering information

The MAX232 is a dual driver/receiver that includes a capacitive voltage generator to supply TIA/EIA-232-F voltage levels from a single 5-V supply. Each receiver converts TIA/EIA-232-F inputs to 5-V TTL/CMOS levels. These receivers have a typical threshold of 1.3 V, a typical hysteresis of 0.5 V, and can accept ± 30 -V inputs. Each driver converts TTL/CMOS input levels into TIA/EIA-232-F levels. The driver, receiver, and voltage-generator functions are available as cells in the Texas Instruments LinASIC™ library.

ORDERING INFORMATION

T _A	PACKAGE†		ORDERABLE PART NUMBER	TOP-SIDE MARKING
0°C to 70°C	PDIP (N)	Tube of 25	MAX232N	MAX232N
	SOIC (D)	Tube of 40	MAX232D	MAX232
		Reel of 2500	MAX232DR	
	SOIC (DW)	Tube of 40	MAX232DW	MAX232
		Reel of 2000	MAX232DWR	
SOP (NS)	Reel of 2000	MAX232NSR	MAX232	
-40°C to 85°C	PDIP (N)	Tube of 25	MAX232IN	MAX232IN
	SOIC (D)	Tube of 40	MAX232ID	MAX232I
		Reel of 2500	MAX232IDR	
	SOIC (DW)	Tube of 40	MAX232IDW	MAX232I
		Reel of 2000	MAX232IDWR	

† Package drawings, standard packing quantities, thermal data, symbolization, and PCB design guidelines are available at www.ti.com/sc/package.



LinASIC is a trademark of Texas Instruments.

PRODUCTION DATA Information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

Copyright © 2004, Texas Instruments Incorporated

 **TEXAS
INSTRUMENTS**

POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

1

Anexo B.5 Hoja de datos de PIC 18F4550.



MICROCHIP PIC18F2455/2550/4455/4550

28/40/44-Pin, High-Performance, Enhanced Flash, USB Microcontrollers with nanoWatt Technology

Universal Serial Bus Features:

- USB V2.0 Compliant
- Low Speed (1.5 Mb/s) and Full Speed (12 Mb/s)
- Supports Control, Interrupt, Isochronous and Bulk Transfers
- Supports up to 32 Endpoints (16 bidirectional)
- 1-Kbyte Dual Access RAM for USB
- On-Chip USB Transceiver with On-Chip Voltage Regulator
- Interface for Off-Chip USB Transceiver
- Streaming Parallel Port (SPP) for USB streaming transfers (40/44-pin devices only)

Power-Managed Modes:

- Run: CPU on, peripherals on
- Idle: CPU off, peripherals on
- Sleep: CPU off, peripherals off
- Idle mode currents down to 5.8 μ A typical
- Sleep mode currents down to 0.1 μ A typical
- Timer1 Oscillator: 1.1 μ A typical, 32 kHz, 2V
- Watchdog Timer: 2.1 μ A typical
- Two-Speed Oscillator Start-up

Flexible Oscillator Structure:

- Four Crystal modes, including High Precision PLL for USB
- Two External Clock modes, up to 48 MHz
- Internal Oscillator Block:
 - 8 user-selectable frequencies, from 31 kHz to 8 MHz
 - User-tunable to compensate for frequency drift
- Secondary Oscillator using Timer1 @ 32 kHz
- Dual Oscillator options allow microcontroller and USB module to run at different clock speeds
- Fail-Safe Clock Monitor:
 - Allows for safe shutdown if any clock stops

Peripheral Highlights:

- High-Current Sink/Source: 25 mA/25 mA
- Three External Interrupts
- Four Timer modules (Timer0 to Timer3)
- Up to 2 Capture/Compare/PWM (CCP) modules:
 - Capture is 16-bit, max. resolution 5.2 ns ($T_{CY}/16$)
 - Compare is 16-bit, max. resolution 83.3 ns (T_{CY})
 - PWM output: PWM resolution is 1 to 10-bit
- Enhanced Capture/Compare/PWM (ECCP) module:
 - Multiple output modes
 - Selectable polarity
 - Programmable dead time
 - Auto-shutdown and auto-restart
- Enhanced USART module:
 - LIN bus support
- Master Synchronous Serial Port (MSSP) module supporting 3-wire SPI (all 4 modes) and I²C™ Master and Slave modes
- 10-bit, up to 13-channel Analog-to-Digital Converter module (A/D) with Programmable Acquisition Time
- Dual Analog Comparators with Input Multiplexing

Special Microcontroller Features:

- C Compiler Optimized Architecture with optional Extended Instruction Set
- 100,000 Erase/Write Cycle Enhanced Flash Program Memory typical
- 1,000,000 Erase/Write Cycle Data EEPROM Memory typical
- Flash/Data EEPROM Retention: > 40 years
- Self-Programmable under Software Control
- Priority Levels for Interrupts
- 8 x 8 Single-Cycle Hardware Multiplier
- Extended Watchdog Timer (WDT):
 - Programmable period from 41 ms to 131s
- Programmable Code Protection
- Single-Supply 5V In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) via two pins
- In-Circuit Debug (ICD) via two pins
- Optional dedicated ICD/ICSP port (44-pin devices only)
- Wide Operating Voltage Range (2.0V to 5.5V)

Device	Program Memory		Data Memory		IO	10-Bit A/D (ch)	CCP/ECCP (PWM)	SPP	MSSP		EAUSART	Comparators	Timers 8/16-Bit
	Flash (bytes)	# Single-Word Instructions	SRAM (bytes)	EEPROM (bytes)					SPI	Master I ² C™			
PIC18F2455	24K	12288	2048	256	24	10	2/0	No	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F2550	32K	16384	2048	256	24	10	2/0	No	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F4455	24K	12288	2048	256	35	13	1/1	Yes	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F4550	32K	16384	2048	256	35	13	1/1	Yes	Y	Y	1	2	1/3

Anexo B.6 Hoja de datos de multiplexor analógico/digital.



LC²MOS 8-/16-Channel High Performance Analog Multiplexers

ADG406/ADG407/ADG426

FEATURES

- 44 V supply maximum ratings
- V_{SS} to V_{DD} analog signal range
- Low on resistance (80 Ω maximum)
- Low power
- Fast switching
 - $t_{ON} < 160$ ns
 - $t_{OFF} < 150$ ns
- Break-before-make switching action

APPLICATIONS

- Audio and video routing
- Automatic test equipment
- Data acquisition systems
- Battery powered systems
- Sample hold systems
- Communication systems
- Avionics

PRODUCT HIGHLIGHTS

1. Extended Signal Range.
2. The ADG406/ADG407/ADG426 are fabricated on an enhanced LC²MOS process giving an increased signal range which extends to the supply rails.
3. Low Power Dissipation.
4. Low R_{ON} .
5. Single/Dual Supply Operation.
6. Single Supply Operation.
7. For applications where the analog signal is unipolar, the ADG406/ADG407/ADG426 can be operated from a single rail power supply. The parts are fully specified with a single +12 V power supply and remain functional with single supplies as low as +5 V.

FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAMS

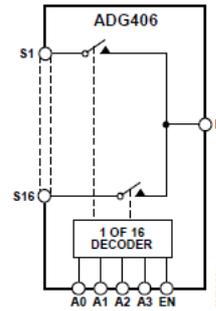


Figure 1.

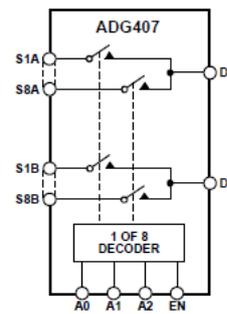


Figure 2.

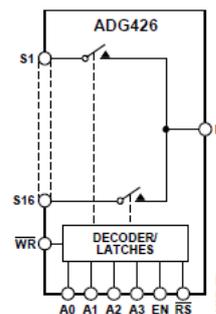


Figure 3.

Rev. B

Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties that may result from its use. Specifications subject to change without notice. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
Tel: 781.329.4700 www.analog.com
Fax: 781.461.3113 ©1994–2010 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

Anexo B.7 Hoja de datos de Microchip TCP/IP Stack.



AN833

The Microchip TCP/IP Stack

*Author: Nilesh Rajbharti
Microchip Technology Inc.*

INTRODUCTION

Note: This application note was originally written for the Microchip TCP/IP Stack released back in 2002; the stack has been updated many times since. The latest API information is now provided as a Windows® Help file, `TCP/IP Stack Help.chm`, which is distributed with the latest TCP/IP Stack that can be downloaded from <http://www.microchip.com/tcpip>. The stack now supports 8, 16 and 32-bit PIC® and dsPIC® devices. This application note is still useful as a reference material.

There is nothing new about implementing TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) on Microchip microcontrollers. Interested developers can easily find many commercial and non-commercial implementations of TCP/IP for Microchip products. This application note details Microchip's own freely available implementation of the TCP/IP Stack.

The Microchip TCP/IP Stack is a suite of programs that provides services to standard TCP/IP-based applications (HTTP Server, Mail Client, etc.), or can be used in a custom TCP/IP-based application. To better illustrate this, a complete HTTP Server application is described at the end of this document and is included with the stack's source code archive.

The Microchip TCP/IP Stack is implemented in a modular fashion, with all of its services creating highly abstracted layers. Potential users do not need to know all the intricacies of the TCP/IP specifications to use it. In fact, those who are only interested in the accompanying HTTP Server application do not need any specific knowledge of TCP/IP. (Specific information on the HTTP Server starts on page 77.)

This application note does not discuss the TCP/IP protocols in depth. Those who are interested in the details of the protocols are encouraged to read the individual Request For Comment (RFC) documents. A partial list of the key RFC numbers can be found at the end of this document.

STACK ARCHITECTURE

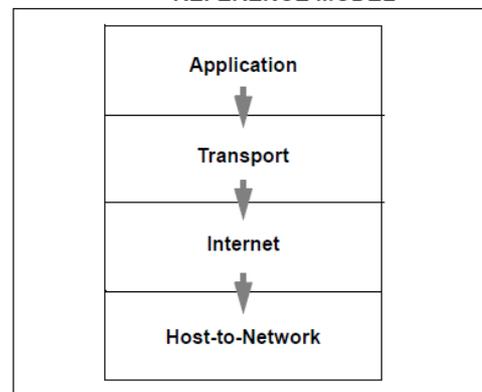
Many TCP/IP implementations follow a software architecture referred to as the "TCP/IP Reference model". Software based on this model is divided into multiple layers, where layers are stacked on top of each other (thus the name "TCP/IP Stack") and each layer

accesses services from one or more layers directly below it. A simple version of the TCP/IP Stack model is shown in Figure 1.

Per specifications, many of the TCP/IP layers are "live", in the sense that they do not only act when a service is requested but also when events like time-out or new packet arrival occurs. A system with plenty of data memory and program memory can easily incorporate these requirements. A multitasking operating system may provide extra facility and therefore, may make implementation modular. But the task becomes difficult when a system employing only an 8-bit microcontroller, with a few hundred bytes of RAM and limited program memory is used. In addition, without access to a multitasking operating system, the user must pay special attention to make the stack independent of the main application. A TCP/IP Stack that is tightly integrated with its main application is relatively easy to implement, and may even be very space efficient. But such a specialized stack may pose unique problems as more and more new applications are integrated.

The stack is written in the 'C' programming language, intended for both Microchip C18 and HI-TECH® PICC-18™ C compilers. Depending on which is used, the source files automatically make the required changes. The Microchip TCP/IP Stack is designed to run on Microchip's PIC18 family of microcontrollers only. In addition, this particular implementation is specifically targeted to run on Microchip's PICDEM.net™ Internet/Ethernet demonstration board. However, it can be easily retargeted to any hardware equipped with a PIC18 microcontroller.

FIGURE 1: LAYERS OF THE TCP/IP REFERENCE MODEL



Anexo B.8 Hoja de datos de Lantronix convertidor de medios.

DinRail Interfaces

2 DinRail's Interfaces

2.1 Serial Interface

CoBox DinRail has RJ45 and screw block serial ports. The RJ45 port only supports RS232, whereas the screw block port supports RS232 and RS485/422. By setting the switch located on the face of the DinRail, RS232 or RS485/422 can be selected.

NOTE: *CoBox DinRail is a single serial port device, meaning that only one port can be used at a time. In the configuration menu, channel one refers to either one of the ports being used. Channel two should be disregarded (this channel applies to another type of product.)*

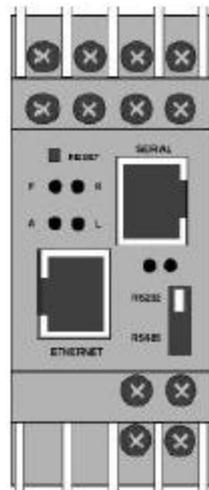


Figure 2-1
The CoBox DinRail Front Panel

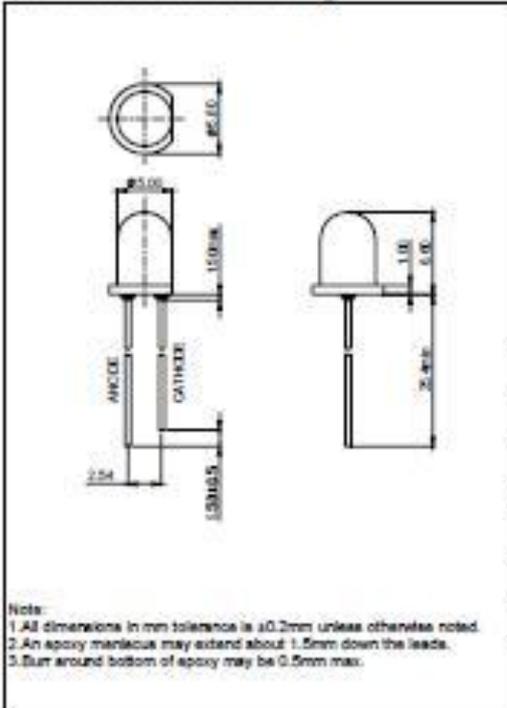
2.2 Network Interface

CoBox DinRail supports 10 Mbit Ethernet through its RJ45 (10BaseT) connector.

2-1

Anexo B.9 Hoja de datos LED.

Dimension Drawing



Applications:

- Toys
- Lighting
- Traffic light
- Automotive
- Commercial Outdoor Advertising
- Front Panel Indicator

Absolute Maximum Ratings($T_a = 25^\circ\text{C}$)

Items	Symbol	Absolute maximum Rating	Unit
Forward Current (DC)	I_f	50	mA
Peak Forward Current*	I_{fp}	100	mA
Reverse Voltage	V_R	5	V
Power Dissipation	P_D	150	mW
Operation Temperature	T_{opr}	-20 ~ +95	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature	T_{stg}	-40 ~ +100	$^\circ\text{C}$
Lead Soldering Temperature	T_{sld}	Max.260 $^\circ\text{C}$ for 5 sec Max. (3mm from the base of the epoxy bulb)	

*pulse width ≤ 0.1 msec duty $\leq 1/10$

Typical Electrical & Optical Characteristics ($T_a = 25^\circ\text{C}$)

Items	Symbol	Condition	Min.	Typ.	Max.	Unit
Forward Voltage	V_f	$I_f = 20\text{mA}$	1.8	—	2.4	V
Reverse Current	I_R	$V_R = 5\text{V}$	—	—	10	μA
Dominant Wavelength	λ_D	$I_f = 20\text{mA}$	618	—	630	nm
Luminous Intensity	I_v	$I_f = 20\text{mA}$	1700	—	3500	mcd
50% Power Angle	$2\theta_{1/2}$	$I_f = 20\text{mA}$	—	30	—	deg

Ranks Combination ($I_f = 20\text{mA}$)

Rank	0D	0E	0F	0G	—	
Dominant Wavelength (nm)	618-621	621-624	624-627	627-630	—	
Rank	0Q	1R	2R	0S	—	
Luminous Intensity (mcd)	1700-2000	2000-2500	2500-3000	3000-3500	—	
Rank	0G	0H	0J	0K	0L	0M
Forward Voltage(V)	1.8-1.9	1.9-2.0	2.0-2.1	2.1-2.2	2.2-2.3	2.3-2.4

Important Notes:

- 1) All ranks will be included per delivery.
- 2) Tolerance of measurement of luminous intensity is $\pm 15\%$.
- 3) Tolerance of measurement of dominant wavelength is $\pm 1\text{nm}$.
- 4) Tolerance of measurement of forward voltage is $\pm 0.05\text{V}$.
- 5) Pb content < 1000PPM.

Anexo B.10 Hoja de datos LCD.

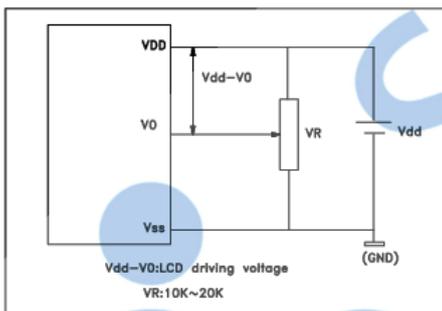
Series

Display Format	20 Characters X 4 Lines
Drive Method	1/16 Duty , 1/5 Bias
LCD Type	STN Blue
LED Backlight	White
Viewing direction	6° Ø0
Operating Temperature	-20° ~ +60°

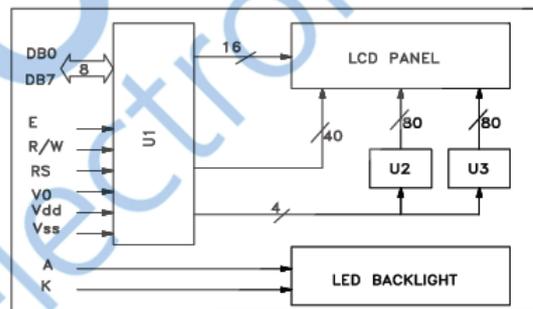
Electrical Characteristics

ITEM	Symbol	Condition	Standard value			UNIT
			Min.	Typ.	Max.	
Supply Voltage For Logic	$V_{DD}-V_{SS}$	--	4.5	5.0	5.5	V
Supply Voltage For LCD	$V_{DD}-V_0$	--	--	4.7	--	V
Input High Voltage	V_{IH}	--	2.2	--	V_{DD}	V
Input Low Voltage	V_{IL}	--	-0.3	--	0.6	V
output High Voltage	V_{OH}	$I_{OH}=0.2mA$	2.4	--	--	V
output Low Voltage	V_{OL}	$I_{OL}=1.2mA$	--	--	0.4	V
Power Supply Current	V_{DD}	$V_{DD}=5.0V$	--	2.0	5	mA
With B/L	I_{DD}	$V_{DD}=5.0V$	--	72	80	mA

Power supply



Block Diagram



EXTERNAL DIMENSIONS AND DISPLAY PATTERN

