DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNIDADES TERMINALES REMOTAS (RTU) DE BAJO COSTO PARA SISTEMAS DE CONTROL, SUPERVISION Y ADQUISICION DE DATOS (SCADA)

Montalvo Luis, Ing.
ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

RESUMEN

Se presenta la concepción, diseño y construcción de Unidades Terminales Remotas simples, modulares y de bajo costo, apropiadas para las necesidades de los sistemas de supervisión y control de cargas eléctricas en estaciones urbanas de distribución de los países en vías de desarrollo.

Una versión anterior del presente artículo fue publicada en las Memorias del Simposio Internacional sobre Control de Cargas Eléctricas en Distribución organizado por el Instituto Nacional de Energía y que tuvo lugar en Quito, Ecuador en el mes de Octubre de 1990.

ABSTRACT

The development, design and assembling of simple modular and low cost Remote Terminal Units appropriate to the requirements of supervision and control systems for Electrical Distribution Urban Substations in developing countries is presented.

An older version of the present paper was published in the Memories of the International Symposium on Control and Management of Distribution Electric Loads organized by Instituto Nacional de Energia and that took place in Quito, Ecuador in october 1990.

1. ANTECEDENTES

Dentro del marco del programa de asistencia al "Desarrollo Energético" de los países en vías de desarrollo de la Comisión de Comunidades Europeas (C.C.E.), la Empresa Eléctrica Quito S.A. (E.E.Q.S.A.) con el asesoramiento de la compañía belga Systems Europe ha realizado la implantación de un sistema prototipo de supervisión, control y adquisición de datos (SCADA) a nivel de una zona piloto del sistema de distribución de energía eléctrica de la ciudad de Quito. El sistema prototipo tiene como propósito fundamental recabar las experiencias necesarias para una ulterior automatización y optimización de su sistema global de distribución. La realización de dicho sistema SCADA requirió de la construcción de Unidades Terminales Remotas (RTUs), cuyo prototipo fue desarrollado a través de un convenio de cooperación técnica entre las compañías belgas Systems Europe y NEURODATA y la Escuela Politécnica Nacional de Quito, Ecuador. La fabricación en serie de las RTUs ha sido encomendada a la compañía ecuatoriana OPTRONIC Cía. Ltda.

2. INTRODUCCION

La RTU es la interfaz del sistema SCADA para la adquisición de datos y comando y ha sido concebida bajo los principios de modularidad, simplicidad y bajo costo. Para la adquisición de datos, la RTU dispone de módulos que aceptan señales de entrada digitales y analógicas de acuerdo con los módulos utilizados. Para la ejecución de telecomandos, dispone de módulos de salidas digitales en combinación con relés de potencia separados, permitiendo de esta manera realizar los montajes eléctricos de nivel de potencia adecuado para cada situación.

3. OBJETIVO DEL PROYECTO

El objetivo del presente proyecto es desarrollar y construir Unidades Terminales Remotas (RTUs) de bajo costo que permitan adquisición de datos y comando a distancia. Tales unidades deben ser simples y capaces de adaptarse de manera flexible a requerimientos diversos de sus puntos de entrada salida, tanto en lo que se refiere al número como a su tipo.

4. ARQUITECTURA DEL SISTEMA PROTOTIPO DE CONTROL Y GESTION DE CARGAS ELÉCTRICAS

El sistema prototipo de control y gestión de cargas eléctricas realizado tiene la configuración que se muestra en la Fig. 1. Esta constituido por el microcomputador de la Estación Maestra, sus correspondientes dispositivos de entrada/salida y seis Unidades Terminales Remotas (RTUs) instaladas en otras tantas subestaciones. La configuración realizada corresponde a una combinación estrella/bus en la que la comunicación de la Estación Maestra con las RTUs se lleva a cabo bajo los principios del modo de transmisión "Half Duplex", a través de dos canales telefónicos redundantes (dos pares telefónicos por cada canal), a los cuales se conectan las RTUs en paralelo en dos grupos de tres. Por tal razón se nace necesario: en primer lugar, la instalación, en los módulos MODEM, de transformadores de acoplamiento telefónico (splitters) que proporcionen al sistema el aislamiento galvánico y el acoplamiento de impedancias requeridos y en segundo lugar, la asignación de una dirección única a cada una de las RTUs.

5. CONCEPCION Y DISEÑO DE LAS UNIDADES TERMINALES REMOTAS

La adquisición de datos por parte de la Estación Maestra requiere que la RTU tenga la capacidad de leer tres tipos distintos de puntos, a saber:

5.1 Entrada Digital: contacto libre de potencial que puede adoptar una de dos posiciones, abierto o cerrado. El contacto puede representar el estado de un breaker, switch, rele o alarma.

5.2 Entrada de Acumulación de Pulsos: registro que contabiliza el numero de veces que, en un determinado periodo, ha sido abierto y cerrado un contacto libre de potencial. Los pulsos pueden

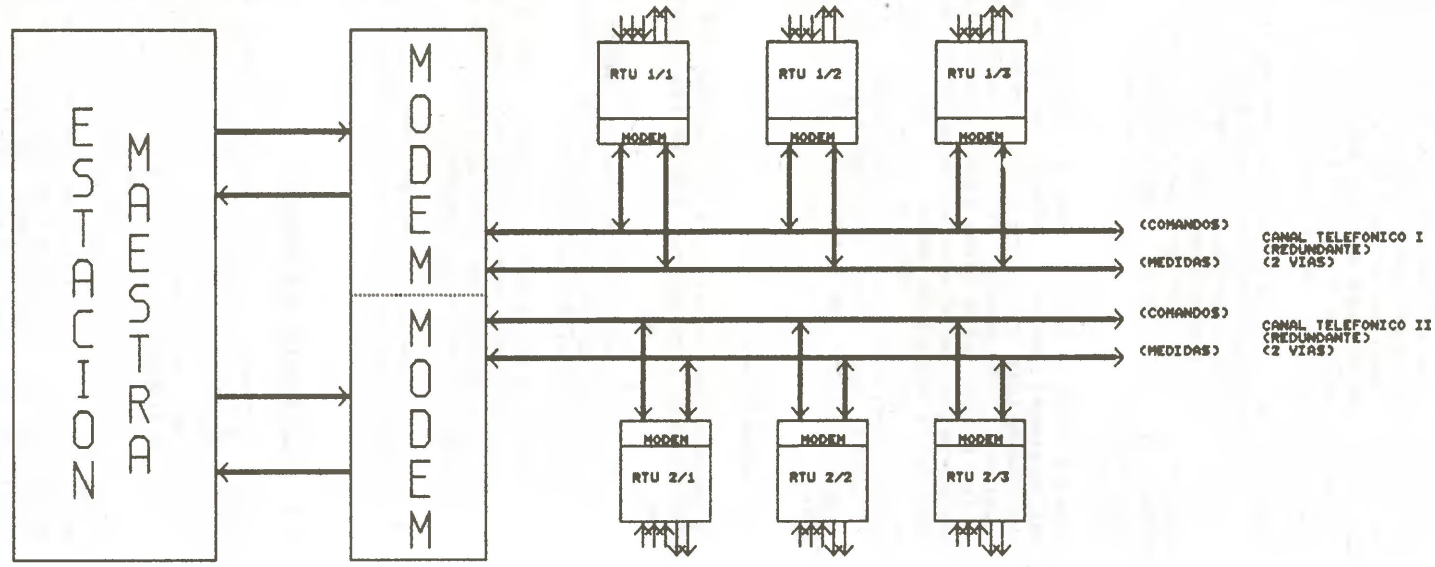


FIG. 1. ARQUITECTURA DEL SISTEMA PROTOTIPO DE CONTROL Y GESTION DE CARGAS ELECTRICAS

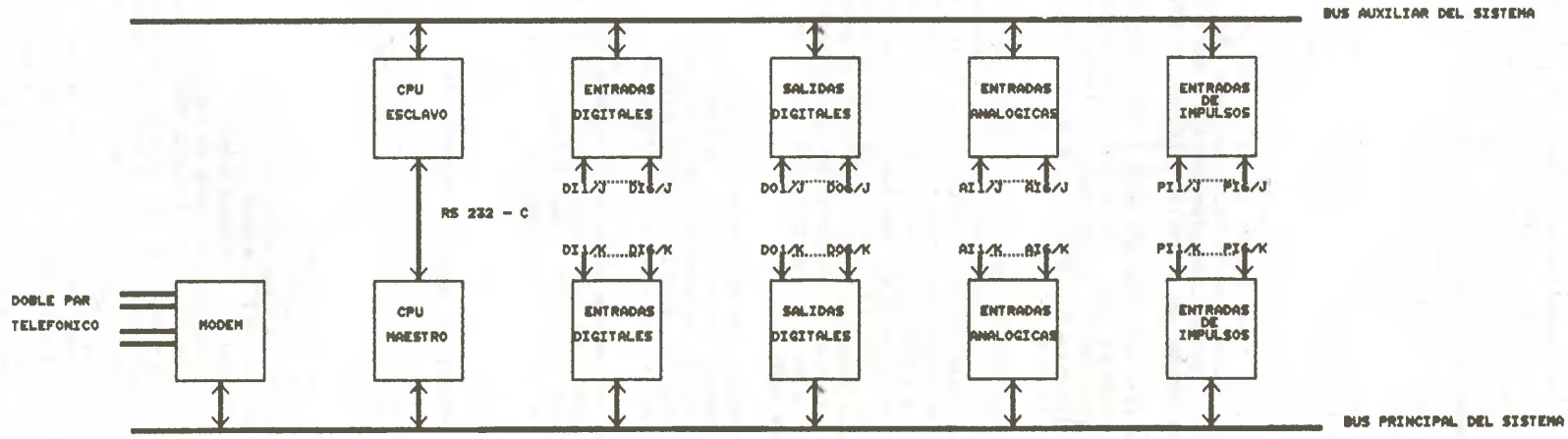


FIG. 2. DIAGRAMA DE BLOQUES GENERAL DEL SISTEMA

provenir de un medidor de kilowatios-hora.

5.3 Entrada Analógica: valor de voltaje o corriente DC de naturaleza analógica. Las entradas analógicas normalmente provienen de transductores que generan voltajes o corrientes normalizados (0 - 5 Vdc, 0 - 20 mA, 4 - 20 mA) que representan magnitudes eléctricas en el sistema de distribución, tales como (kilo-) voltios, amperios, watios, o vars.

La ejecución de telecomandos, provenientes de la Estación Maestra, tendrá efecto sobre dos tipos distintos de puntos, a saber:

5.4 Salida Digital: contacto libre de potencial que puede adoptar una de dos posiciones, abierto o cerrado. El contacto puede comandar de esta manera la operación de un relé, breaker o motor.

5.5 Salida Analógica: valor de voltaje o corriente de naturaleza analógica. Dicha señal puede ser utilizada para modificar el setpoint de un controlador analógico.

El sistema SCADA, del cual forman parte las RTUs, podrá requerir de cada RTU diferentes combinaciones de los puntos de entrada/salida que se acaban de enumerar y en consecuencia el sistema a diseñarse (RTU) deberá adaptarse de manera flexible a dichos requerimientos. Por tal razón, la concepción de la Unidad Terminal Remota (RTU) será modular y a ella podrán integrarse en cualquier combinación y en un número máximo de 22 los siguientes módulos:

* Módulo de entradas digitales
* Módulo de entradas de impulsos
* Módulo de entradas analógicas
* Módulo de salidas digitales
* Módulo de salidas analógicas

Cada uno de estos módulos proveerá 6 puntos de entrada o salida del mismo tipo. En consecuencia, la RTU tendrá una capacidad máxima de 22 * 6 = 132 puntos de entrada/salida.

6. DIAGRAMA DE BLOQUES GENERAL DEL SISTEMA

La Fig. 2 muestra en diagrama de bloques la máxima configuración que puede alcanzar la RTU.

Los módulos CPU constituyen la inteligencia del sistema y controlan la operación de los demás módulos integrantes de la RTU a través de los buses del sistema. Al bus principal deben conectarse necesariamente el módulo CPU maestro que constituye el cerebro principal del sistema y el módulo MODEM, que se encarga de la gestión del enlace telefónico de comunicaciones con la Estación Maestra; adicionalmente, pueden conectarse a dicho bus principal un máximo de 11 módulos de entrada/salida. En caso de que se requieran de más de 11 módulos de entrada/salida, se incorporará el bus auxiliar del sistema, al cual se deberá conectar un nuevo módulo CPU (esclavo) que se encargará de la gestión de un máximo de 11 nuevos módulos de entrada/salida. Es importante señalar que el bus auxiliar del sistema no necesita de un módulo MODEM.

La comunicación del módulo CPU maestro con el módulo CPU esclavo se lleva a cabo a través de un enlace CCITT V.24 (EIA RS232-C) con ritmo binario de 9600 bps.

Por razones de espacio, se han alojado en cada módulo de entrada/salida 6 puntos de entrada/salida del mismo tipo, de manera que la máxima capacidad de la RTU, es de 11*6 = 66 puntos de entrada/salida, sin el bus auxiliar del sistema y (11+11)*6 = 132 puntos de entrada/salida, con el bus auxiliar.

Los módulos CPU direccionan de manera única a los distintos módulos conectados a sus buses correspondientes, a través de un circuito "decodificador de dirección de módulo" incorporado en cada uno de los módulos y cuya dirección es asignable post-fabricación por el usuario mediante dip-switches.

Tanto el bus principal como el bus auxiliar del sistema tienen la misma configuración (no compatible con ningún bus normalizado existente) y su detalle funcional se muestra en la Fig. 3. Tales buses están constituidos por parte de las señales del microprocesador Z80, de la siguiente manera: 8 bits del bus de datos (D0 .... D7), 8 bits del bus de direcciones (A0 .... A7), 5 bits de las señales WR*, RD*, I/O*, ϕ/2, RES* del bus de control y el bus de fuentes de +12 V, +5 V y GND.

7. MODULO CPU

El módulo CPU constituye el cerebro de la RTU y tiene a cargo las siguientes funciones:

a) Recibir, a través del módulo MODEM, los comandos provenientes de la Estación Maestra del sistema SCADA.

b) Interpretar dichos comandos y ejecutarlos, a través de la lectura u operación de los puntos de entrada/salida de los módulos correspondientes.

c) Enviar los datos requeridos a la Estación Maestra, a través del módulo MODEM.

7.1 Descripción del Módulo

La Fig. 4 muestra el diagrama de bloques del módulo CPU. El dispositivo central del módulo es el microprocesador Z80, el cual se interconecta con los demás dispositivos del módulo a través del bus local del microprocesador. Todo el bus local de datos (D0 .... D7), el byte menos significativo del bus local de direcciones (A0 .... A7) utilizado en el direccionamiento de los módulos de entrada/salida y algunas de las señales del bus local de control (WR*, RD*, I/O*, ϕ/2, RES*) son enviadas a través de buffers tres estados hacia el bus del sistema.

En vista de que la lectura u operación de los puntos de entrada/salida de la RTU se realiza únicamente bajo solicitud de la Estación Maestra y puesto que el tiempo transcurrido entre dos de tales solicitudes consecutivas es relativamente largo con respecto a la frecuencia de trabajo del microprocesador (en el orden de segundos), la técnica de entrada/salida utilizada en la RTU es la técnica de interrogación secuencial

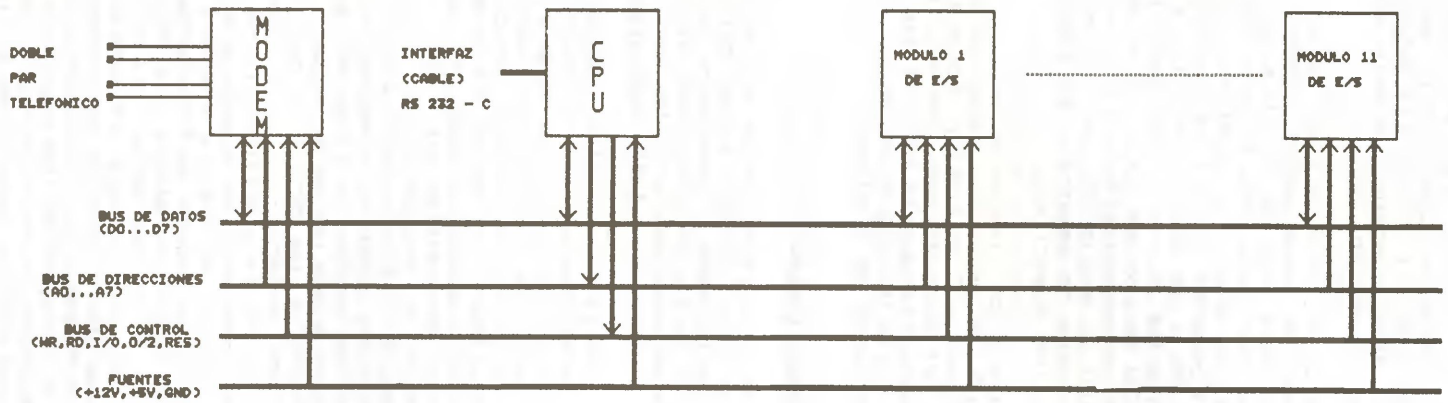


FIG. 3. DETALLE FUNCIONAL DE LOS BUSES DEL SISTEMA

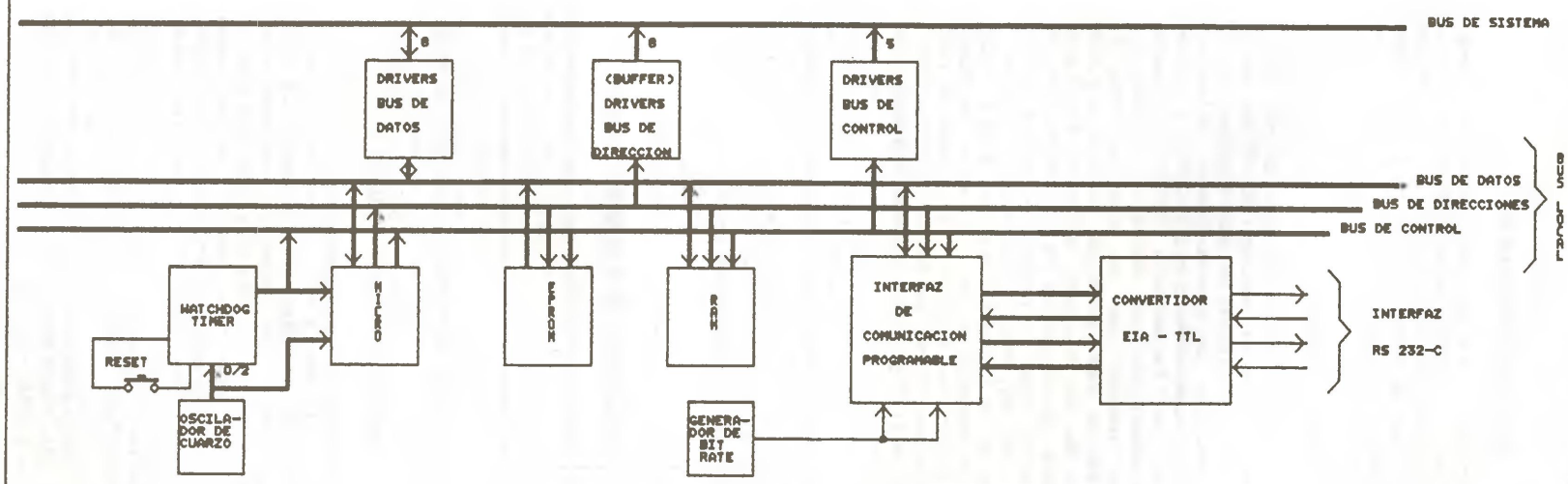


FIG. 4. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL MODULO CPU

(Polling); en consecuencia, ninguna de las señales del sistema de interrupciones y de acceso directo a memoria (DMA) del microprocesador es utilizada y se fijan a un potencial de 5 V. Tales señales son: NMI, INT, WAIT, BUSRQ y HALT.

7.1.1 Oscilador de cuarzo

Suministra dos frecuencias de reloj posibles: 2 MHz y 4 MHz, seleccionables con la ayuda de un puente de acuerdo con las necesidades. Para una frecuencia de 4 MHz, debe utilizarse un microprocesador Z80A.

7.1.2 Mapa de Memoria

La Fig. 5 muestra la distribución del espacio de memoria en el módulo CPU. Dicho espacio se halla dividido en dos bloques de 32 Kbytes cada uno, de los cuales el inferior, es decir el comprendido entre 0000H y 7FFFH, es ocupado por la memoria EPROM y el superior, es decir el comprendido entre 8000H y FFFFH es ocupado por la memoria RAM. El diseño se ha realizado de manera que, en cada uno de los bloques, puedan utilizarse de manera indistinta, sin necesidad de modificación de puentes, memorias de 8 Kbytes o 32 Kbytes. En caso de utilizarse memorias de 8 Kbytes, la distribución del espacio de memoria es la siguiente: de 0000H a 1FFFH EPROM, de 1FFFH a 7FFFH reserva para expansión de EPROM, de 8000H a 9FFFH RAM y de A000H a FFFFH reserva para expansión de RAM.

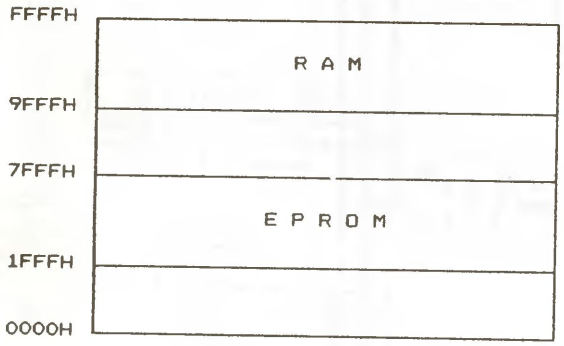


Fig 5: Mapa de Memoria del Módulo CPU

7.1.3 Watch-dog Timer (DS1232)

Con el propósito de garantizar el correcto funcionamiento de la RTU aún en el instante del encendido y en posibles situaciones anómalas, producto de factores imponderables (e.g. ruido), se ha dotato al módulo CPU de un circuito "watch-dog timer" que se ocupa de la reinicialización del microprocesador (Reset), bajo las siguientes circunstancias:

a) Llegada por primera vez o retorno de la tensión de alimentación al módulo CPU.

b) Abandono del microprocesador del marco de su programa, por cualquier razón (e.g ruido).

c) Activado del pulsante de reset manual instalado en el módulo.

7.1.4 Puerto de comunicaciones serial CCITT V.24 (EIA RS232C)

El módulo está dotado de un puerto de comunicaciones serial CCITT V.24 (EIA RS232-C), configurado en base al C.I. "Programmable Communications Interface i8251" que permite la conversión paralelo/serie de los datos. El ritmo binario del puerto de comunicaciones es de 9600 bps y es determinado por el "generador de bit-rate" que ha sido diseñado en base al circuito integrado LM555. Las señales CCITT V.24 (EIA RS232-C) generadas son: TXD, RXD, CTS y RTS; CTS autoriza al C.I. "PCI i8251" a enviar sus datos sobre la línea de transmisión TXD.

Este puerto de comunicaciones es utilizado en el caso de que el usuario requiera extender la capacidad de la RTU a más de 66 puntos de entrada/salida. En esta situación es necesaria la incorporación del bus auxiliar del sistema con sus correspondientes módulos CPU y de entrada/salida. La comunicación entre el módulo CPU central y el módulo CPU esclavo se lleva a cabo bajo el principio de comunicación maestro - esclavo, en el cual el módulo CPU central desempeña las funciones de maestro y el módulo CPU auxiliar las de esclavo.

La adaptación de niveles de voltaje TTL (0 Voltios, 5 Voltios) a niveles de voltaje EIA (+12 Voltios, -12 Voltios) y viceversa está a cargo del circuito integrado NM232CD, el cual genera internamente los voltajes de +12 Voltios y -12 Voltios a partir del voltaje de alimentación de 5 Voltios.

8. MODULOS ESCLAVO

Dentro de esta categoría se encuentran el puerto de comunicaciones serial del módulo CPU, el módulo MODEM y los módulos de entrada/salida, tales como: entradas digitales, entradas de impulsos, entradas analógicas, salidas digitales y salidas analógicas.

La Fig. 6 muestra la distribución del espacio de direccionamiento de los dispositivos de entrada/salida. En ella se puede apreciar que: el puerto de comunicaciones serial del módulo CPU ha sido asignado el rango de direcciones comprendido entre 00H y 0FH, el módulo MODEM ha sido asignado el rango de direcciones comprendido entre 10H y 1FH y los módulos de entrada/salida pueden ser asignados, por el usuario, cualquier rango de direcciones comprendido entre 20H y FFH. La razón de asignar un rango de 16 (10H) direcciones a cada uno de los módulos radica en el hecho de que dentro de cada uno de ellos pueden existir más de un puerto de entrada/salida. La identificación del rango de direcciones asignado a cada uno de los módulos esclavo se realiza a través de un circuito "decodificador de direcciones" instalado en cada uno de ellos. Adicionalmente, puesto que la configuración de una RTU es variable tanto en lo que se refiere al número como al tipo de módulos de entrada/salida, se ha dotado a cada módulo de entrada/salida de un puerto de identificación de su tipo, de manera de poder conocer la configuración de la RTU al momento de su instalación a través de la ejecución del programa de RESET en el módulo CPU. Los códigos de identificación del tipo de módulo han sido asignados de acuerdo con lo especificado en la Tabla 1, en la cual no se incluye el código de identificación del módulo de salidas

analógicas pues este módulo no fue desarrollado para el presente proyecto.

00H	PUERTO DE COMUNICACIONES SERIAL DEL MODULO CPU
10H	MODULO MODEM
20H	MODULO DE ENTRADA/SALIDA
30H	MODULO DE ENTRADA/SALIDA
40H	MODULO DE ENTRADA/SALIDA
50H	MODULO DE ENTRADA/SALIDA
60H	MODULO DE ENTRADA/SALIDA
70H	MODULO DE ENTRADA/SALIDA
80H	MODULO DE ENTRADA/SALIDA
90H	MODULO DE ENTRADA/SALIDA
A0H	MODULO DE ENTRADA/SALIDA
B0H	MODULO DE ENTRADA/SALIDA
C0H	MODULO DE ENTRADA/SALIDA
D0H	MODULO DE ENTRADA/SALIDA
E0H	MODULO DE ENTRADA/SALIDA
F0H	MODULO DE ENTRADA/SALIDA
FFH	MODULO DE ENTRADA/SALIDA

Fig. 6: Mapa de Direccionamiento de Dispositivos de Entrada/Salida.

Tabla 1: Códigos de identificación del tipo de módulo

Código (Hex)	Tipo de módulo
X0	Entradas de impulsos
X1	Entradas digitales
X2	Entradas analógicas
X3	Salidas Digitales
NOTA: X significa "no importa"	

Es importante señalar que el usuario debe asignar una dirección única a los módulos esclavo conectados a un mismo bus; esto es, no debe asignar la misma dirección a uno o más módulos.

8.1 Módulo Modem

El módulo MODEM es la interfaz de enlace entre la RTU y la Estación Maestra. La comunicación se lleva a cabo de acuerdo a la recomendación CCITT V.23, es decir: modo de transmisión "Half Duplex" (transmisión en los dos sentidos pero no de manera simultánea), modulación FSK con frecuencias de 2100 Hz para el espacio y 1300 Hz para la marca y velocidad de modulación de 1200 baudios.

Con el propósito de elevar la confiabilidad del enlace de comunicaciones se ha dispuesto un canal telefónico con dos pares redundantes, es decir que transportan la misma información simultaneamente.

8.1.1 Descripción del módulo

La Fig. 7 muestra en diagrama de bloques la constitución del módulo MODEM. Los elementos fundamentales de este módulo constituyen el puerto de comunicaciones serial (PCI i8251) y el MODEM (MSM-6927-RS). El C.I. i8251 es el circuito programable que permite la conversión paralelo/serie de los datos, de acuerdo a la norma CCITT V.24 (EIA RS232-C). El ritmo binario del puerto de comunicaciones es de 1200 bps y es determinado por el "generador de bit-rate" que ha sido diseñado en base al circuito integrado LM555. Las señales CCITT V.24 (EIA RS232-C) generadas son: TXD, RXD, CTS y RTS; CTS autoriza al circuito integrado "PCI i8251" a enviar sus datos sobre la línea de transmisión TXD.

El C.I. MSM-6927-RS es un circuito especializado que permite la tranmisión y recepción serial de datos binarios a través de un canal telefónico utilizando modulación FSK, de acuerdo con la norma CCITT V.23. Dispone internamente de toda la circuitería necesaria para realizar la modulación, demodulación y filtrado requeridos para realizar el enlace de comunicaciones serial asincrónico. Un cristal de 3,57954 Mhz es utilizado como frecuencia de referencia para los dos osciladores internos del MSM-6927-RS, a saber 2100 Hz para el espacio y 1300 Hz para la marca.

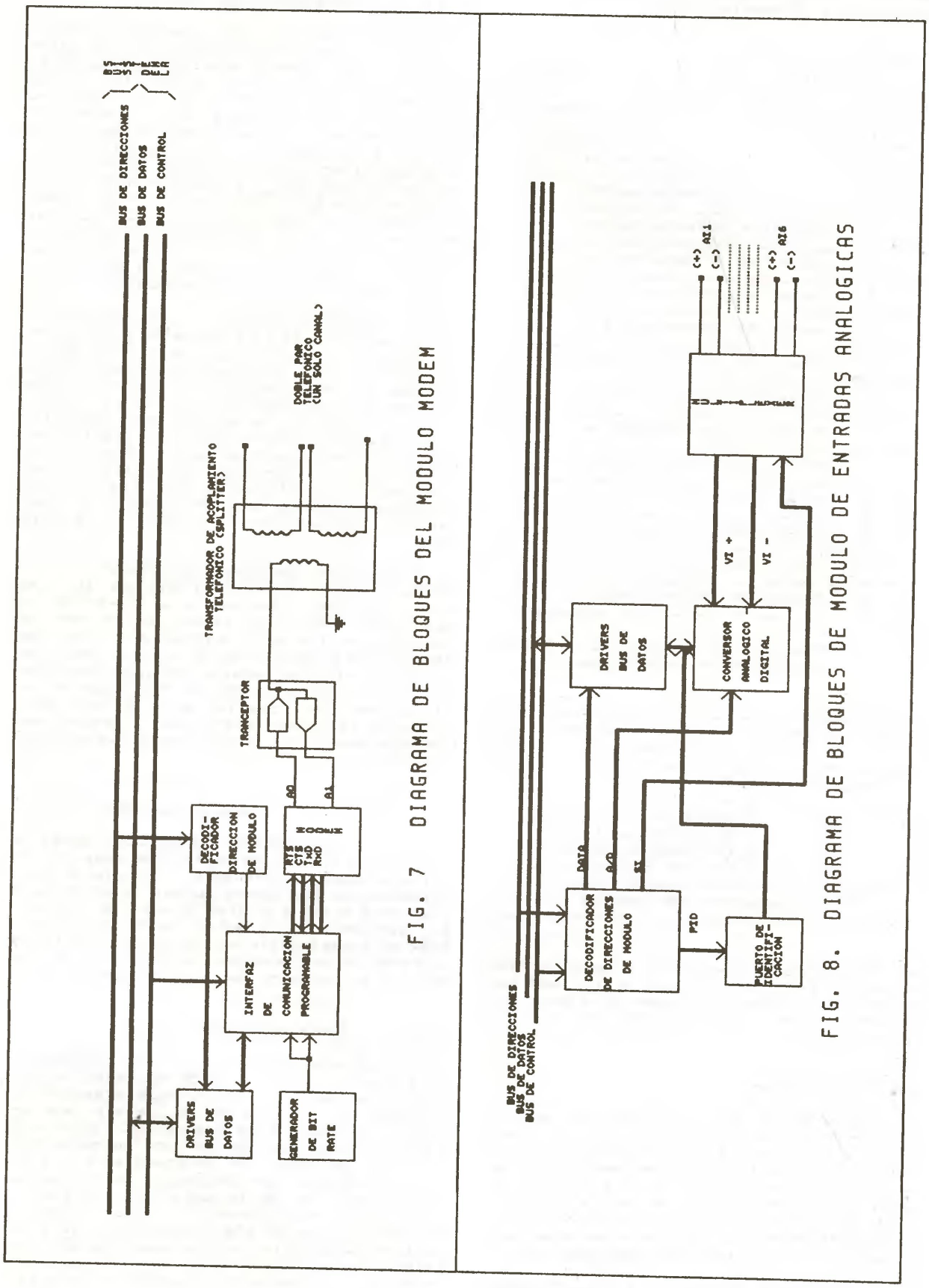
El C.I. MSM-6927-RS recibe, desde el C.I. i8251, señales TTL en su entrada XD, las modula en FSK y las envía a través de su salida AO. Por otro lado, recibe señales moduladas en FSK en su entrada AI y luego de demodularlas las transmite al C.I. i8251 en la salida RD. Las señales FSK que transitan por el C.I. MSM-6927-RS son filtradas y amplificadas adecuadamente antes de ser acopladas a la línea telefónica, a través del transformador de acoplamiento telefónico correspondiente.

8.2 Módulo de Entradas Analógicas

El módulo de entradas analógicas posee 6 canales y es capaz de recibir en cada uno de éllos señales de corriente o voltaje DC comprendidas en los rangos normalizados entre 0 y 20 mA o entre 4 y 20 mA o entre 0 y 5 Vdc. En realidad, si la señal es de corriente, ésta es transformada en una señal de voltaje a través de una resistencia de precisión conectada en serie en cada uno de los canales.

8.2.1 Descripción del módulo

La Fig. 8 muestra en diagrama de bloques la constitución del módulo de Entradas Analógicas. La medición del voltaje presente en cada uno de los canales se lleva a cabo en base a la técnica de "capacitor flotante"; es decir, cada uno de los canales está provisto de un capacitor independiente y aislado (flotante) que se carga continuamente con el voltaje de la señal de entrada. A través de un multiplexer analógico, diseñado en base a 6 relés electromecánicos de alta confiabilidad y un multiplexer digital, se selecciona uno sólo de los canales para ser leído por el convertidor analógico/digital de 10 bits (C.I. AD-7579). Esta técnica permite dotar al sistema de las características de alta inmunidad al ruido (CMRR) y elevada impedancia de entrada.


BUS DE DIRECCIONES
BUS DE DATOS
BUS DE CONTROL
DOBLE PAR TELEFONICO (UN SOLO CANAL)
TRANSFORMADOR DE ACOPLAMIENTO TELEFONICO (SPLITTER)
TRANCEPTOR
DECODI-FICADOR DIRECCION DE MODULO
MODEM
RTS CTS TXD RXD
B0
B1
INTERFAZ DE COMUNICACION PROGRAMABLE
DRIVERS BUS DE DATOS
GENERADOR DE BIT RATE
FIG. 7 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL MODULO MODEM
(+) AI1
(-)
(+) AI6
(-)
VI +
VI -
DRIVERS BUS DE DATOS
CONVERSOR ANALOGICO DIGITAL
DATA
A/D
ST
PID
DECODIFICADOR DE DIRECCIONES DE MODULO
PUERTO DE IDENTIFI-CACION
BUS DE DIRECCIONES
BUS DE DATOS
BUS DE CONTROL
FIG. 8. DIAGRAMA DE BLOQUES DE MODULO DE ENTRADAS ANALOGICAS

El convertidor analógico/digital (C.I. AD7579) se encarga de transformar el voltaje analógico del canal seleccionado en un valor digital con una precisión de 10 bits y de enviarlo hacia el módulo CPU a través del bus de datos del sistema.

8.3 Módulo de Entradas Digitales

La Fig. 9 muestra en diagrama de bloques la constitución del módulo de Entradas Digitales. El módulo de entradas digitales posee 6 canales y es capaz de sensar el estado de otros tantos contactos libres de potencial. Los estados "cerrado" o "abierto" de los contactos son sensados mediante la presencia o ausencia de corriente en el diodo emisor de luz de un opto-acoplador, dicho estado a su vez es detectado por el fototransistor del opto-acoplador y esa información entregada a través de drivers al bus de datos del sistema. La presencia de los opto-acopladores en el módulo proporciona aislamiento óptico a cada una de las entradas digitales.

El voltaje de polarización de los diodos emisores de luz de cada opto-acoplador es independiente para cada uno de éllos y proviene de un convertidor DC/DC con aislamiento galvánico para cada uno de sus voltajes de salida (Vcci).

Para proteger los circuitos de entrada de sobrevoltajes y sobrecorrientes, cada una de las entradas esta provista de un diodo de absorción de transitorios y un fusible.

8.4 Módulo de Entradas de Impulsos

El módulo de entradas de impulsos es idéntico al módulo de entradas digitales y únicamente se diferencia por el código de identificación de módulo que le ha sido asignado. La función de acumulación de los pulsos que se suceden en las entradas se la realiza mediante el software que se ejecuta en el módulo CPU.

8.5 Módulo de Salidas Digitales

La Fig. 10 muestra en diagrama de bloques la constitución del módulo de Salidas Digitales. El módulo de salidas digitales provee 6 contactos libres de potencial independientes cuyo estado es determinado por la información proveniente del bus de datos y retenida por los latches locales. La corriente de las señales digitales entregadas por los latches es previamente amplificada antes de ser utilizada para excitar las bobinas de los relés. Los contactos de los relés son del tipo "normalmente abierto" y pueden soportar corrientes del orden de hasta 100 mA, lo cual es suficiente para comandar bobinas de relés de potencia. Esta concepción ofrece las siguientes ventajas:

a) Mejor asilamiento galvánico entre los circuitos de alta y baja potencias.

b) Cableado normalizado con secciones 0,25 y 0,33 mm

c) Mejor protección del módulo CPU contra los arcos eléctricos causados por las bobinas de los relés.

Es importante conectar un diodo de regulación en paralelo con la bobina del relé de modo de proporcionar un camino de corriente a la energía almacenada en la bobina al momento de su apagado. De igual manera es necesario conectar un capacitor en paralelo con los contactos del relé de modo de absorber el arco eléctrico generado al momento de su apertura y de esta forma proteger los contactos del relé.

9. MODULO DE FUENTES

La Fig. 11 muestra en diagrama de bloques la estructura del módulo de fuentes. Como se puede apreciar la configuración, en gran parte, es la clásica de módulos de fuente y consta: del filtro de interferencia electromagnética, el transformador reductor de tensión, el puente de diodos "rectificador de onda completa" y el regulador lineal de voltaje. A partir del voltaje de 27,5 V entregado por este regulador, se obtienen mediante reguladores de voltaje tipo switching los voltajes de 12 V y 5 V. Caracteristica particular del módulo de fuentes es el banco de baterías de respaldo con que cuenta. En efecto, en ausencia de energía eléctrica en el sector, la RTU es alimentada por las baterías de respaldo, las cuales alimentan también la bobina del relé de protección. Una vez que el voltaje desciende por debajo de un cierto nivel, el relé se corta y las baterías son desconectadas de la RTU, evitando de esta manera su descarga por debajo del nivel de recuperación. Al regresar la energía al sector, el relé reconecta las baterías a fin de cargarlas a través del circuito de carga del módulo de alimentación. El módulo se complementa con circuitos de protección contra cortocircuitos, de modo de limitar en tales circunstancias la corriente suministrada.

10. PROTOCOLO DE COMUNICACIONES

El protocolo de comunicaciones entre la Estación Maestra y las RTUs se basa en el principio de interrogación secuencial de los esclavos (RTUs) por parte de la Estación Maestra. El diálogo se inicia siempre con la Estación Maestra quien interroga a cada RTU a intervalos regulares y espera por su respuesta. Las RTUs no pueden bajo ninguna circunstancia tomar la decisión de comunicarse con la Estación Maestra.

Los comandos factibles de ser enviados por la Estación Maestra hacia las RTUs y sus resultados son los siguientes:

a) Force Scan Request: La RTU envía a la Estación Maestra la información sobre el estado y las medidas de todas sus entradas digitales y analógicas.

b) Exception Scan Request: La RTU envía a la Estación Maestra únicamente la información correspondiente a aquellos estados y medidas de sus entradas digitales y analógicas que han sufrido modificaciones luego de la última interrogación. De esta manera se minimiza el tráfico sobre los canales de comunicación.

c) Freeze Pulse Accumulators: Todas las RTUs detienen los contadores de acumulación de pulsos y memorizan sus contenidos. Dicha información será enviada hacia la Estación Maestra en la si-

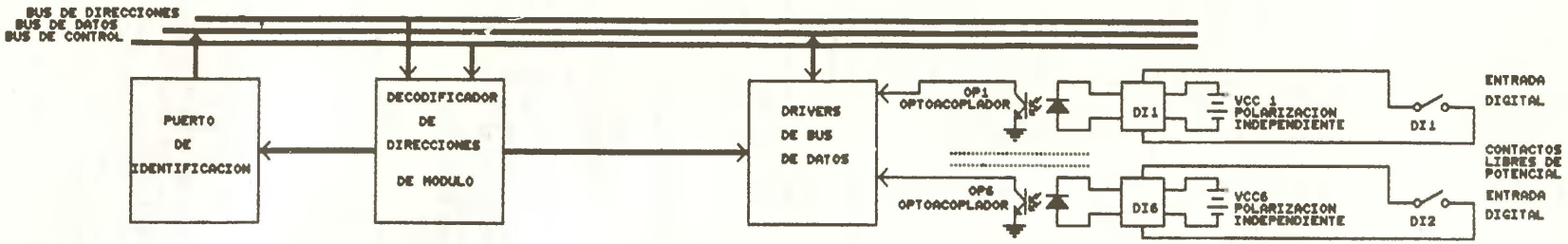


FIG. 9. DIAGRAMA DE BLOQUES DE ENTRADAS DIGITALES

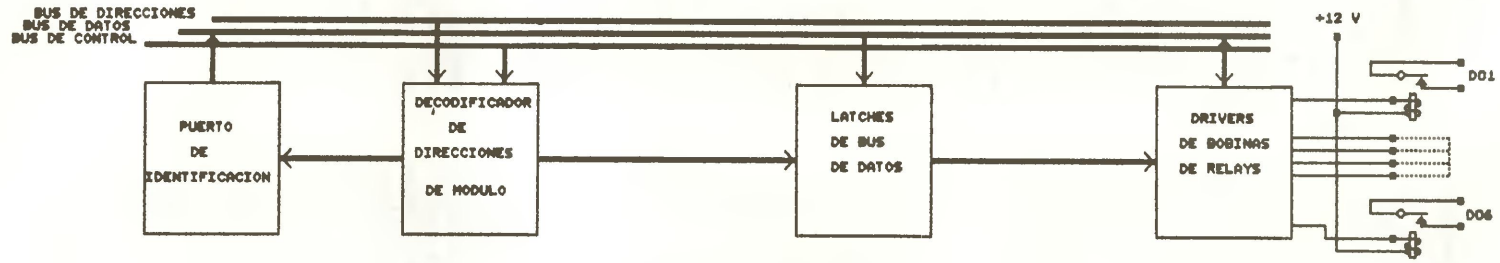


FIG. 10. DIAGRAMA DE BLOQUES DE SALIDAS DIGITALES

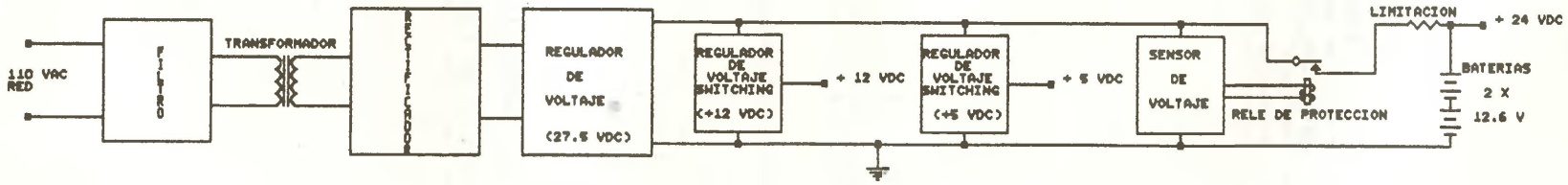


FIG. 11. DIAGRAMA DE BLOQUES DE MODULO DE FUENTES

guiente interrogación de la RTU. De esta manera se garantiza que los valores reportados de los contadores de pulsos sean sincrónicos.

d) Set Deadband: La estación maestra envía conjuntamente con el comando los valores de inicialización de "banda muerta" para las entradas analógicas de la RTU. La banda muerta es el rango de voltaje o corriente dentro del cual puede variar la entrada analógica sin que se considere que ha sufrido una modificación (e.g. 5%).

f) Select Before Operate Select: La RTU selecciona una salida digital para abrirla o cerrarla. El cierre o apertura de la salida digital seleccionada no se consuma con este comando pues la RTU debe esperar que el comando sea confirmado mediante un comando "Select Before Operate Execute".

e) Select Before Operate Execute: La RTU ejecuta el comando "Select Before Operate Select" previamente recibido.

g) Select Before Operate Cancel: La RTU anula el comando "Select Before Operate Select" previamente recibido y no lo ejecuta.

El procedimiento de reporte de la información de los puntos de entrada digitales y analógicos diseñado en base al principio de "reporte por exepción" permite optimizar la utilización de los canales de comunicación. Por otro lado, el procedimiento de seguridad "seleccione antes de operar SBO", utilizado para los telecomandos permite eliminar cualquier posibilidad de orden intempestiva como consecuencia de un error de comunicaciones.

La detección de errores en los mensajes enviados en cualquiera de las direcciones se realiza gracias al código CCITT CRC-16 enviado con cada uno de éllos. Este código permite detectar todos los errores de uno y dos bits, todos los errores de bits consecutivos de longitud 16 o menor, el 99.9969% de los errores de bits consecutivos de longitud 17 y el 99.9984% de los errores de bits consecutivos de longitud mayor a 17.

11. ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

Fisicamente la RTU ha sido alojada en el interior de un gabinete cuyas dimensiones exteriores son 600 * 600 * 400 mm. El gabinete ha sido construido en tol laminado de 2 mm de espesor y recubierto con pintura anticorrosiva de manera de hacerlo resistente a condiciones climáticas adversas.

11.1 Composición del Gabinete

En el sentido vertical, el gabinete se halla dividido en cuatro partes idénticas. En su parte superior, dentro de un rack de 19"/3U (Ver Fig. 12) se ha localizado la tarjeta madre que contiene el bus principal del sistema y los correspondientes conectores para recibir los módulos CPU, modem y de entrada/salida.

La segunda parte del gabinete ha sido reservada para alojar a un segundo rack idéntico al primero, conteniendo la tarjeta madre del bus auxiliar del sistema con sus correspondientes módulos CPU y de entrada/salida. Tal como se explicó en el numeral 6, este bus es necesario en el caso de que el número de puntos de entrada/salida requeridos exceda la capacidad de 66 puntos de entrada/salida del bus peincipal.

Las dos partes restantes del gabinete se han reservado para el banco de baterías de respaldo.

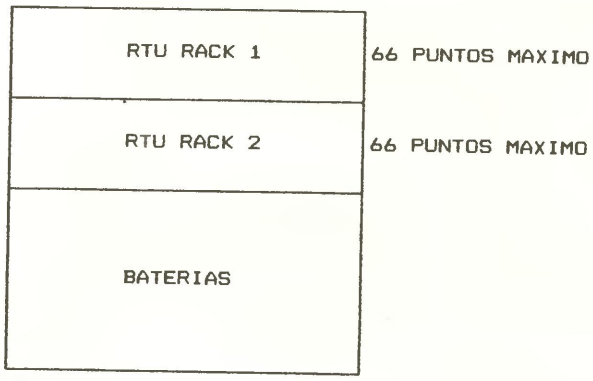


Fig. 12: Composición vertical del gabinete.

En el sentido de profundidad, el gabinete de la RTU consta de tres cuerpos, dos de éllos móviles mediante dos bisagras. El primer cuerpo es la puerta de acceso al cuerpo central de la RTU y está provisto de una cerradura, de manera que el acceso a las partes vitales de la RTU sea realizado únicamente por personal autorizado. El segundo cuerpo contiene los racks de los buses principal y auxiliar del sistema con los correspondientes módulos CPU, modem y de entrada/salida. En la parte frontal de este segundo cuerpo se pueden apreciar las luces de señalización de buen funcionamiento de la RTU y sus módulos y por la parte posterior se tiene acceso al cableado y conectores de los módulos de entrada/salida de manera de facilitar el afinamiento, mantenimiento y control técnico de la RTU.

El tercer cuerpo es fijo y posee una plancha de montaje sobre la cual se ubican: el módulo de fuentes, el filtro de interferencia electromagnética, el transformador de línea, el puente rectificador y dos rieles para sujeción de portafusibles de línea, borneras de conexión y relés de potencia de los puntos de salida digital. En este cuerpo se han realizado las perforaciones necesarias para dar acceso al cableado de los puntos de entrada/salida provenientes del exterior.

11.2 Composición de un Rack

Un rack contiene la estructura mecánica necesaria para sostener a la tarjeta madre con sus correspondientes módulos CPU, MODEM y un máximo de 11 módulos de entrada/salida. (Ver Fig. 13).

La tarjeta madre ocupa el fondo del rack. Sobre su cara frontal se hallan instalados conectores DIN hembra de 64 contactos para los módulos del sistema y sobre su cara posterior, a lado de cada conector DIN, se hallan instalados dos conectores FASCOM macho

de 6 contactos para el cableado de los módulos de entrada/salida.

Los conectores DIN son en número de 13 de los cuales los dos del extremo izquierdo han sido reservados para los módulos CPU y MODEM y los 11 restantes pueden recibir en cualquier orden a los módulos de entrada/salida existentes, como se muestra en la Fig. 13.

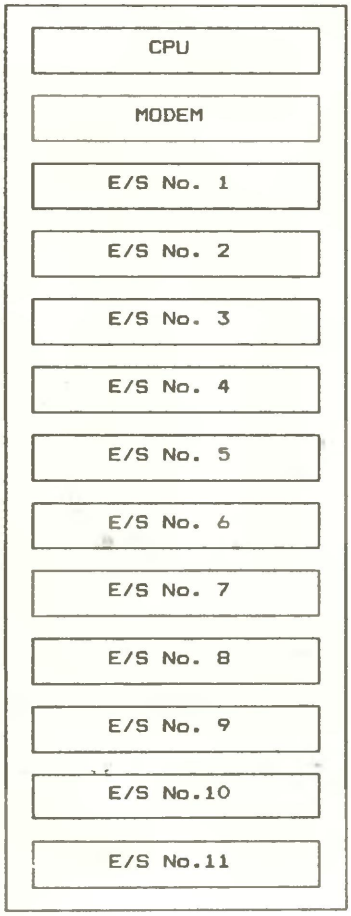


Fig. 13: Composición del Rack RTU.

Adicionalmente, la tarjeta madre posee un conector dedicado para recibir los voltajes comunes de +5 V y +12 V provenientes del módulo de fuentes instalado en la plancha de montaje

12. CONCLUSIONES

Mediante la cooperación mutua de instituciones europeas y ecuatorianas se han llevado a cabo la concepción y construcción en serie de Unidades Terminales Remotas simples, modulares y de bajo costo, apropiadas para las necesidades de los sistemas de supervisión y control de cargas eléctricas en estaciones urbanas de distribución de los países en vías de desarrollo.

La Unidad Terminal Remota ha sido concebida bajo los principios de simplicidad y modularidad de manera de facilitar su adaptabilidad a requerimientos diversos de sus puntos de entrada/salida. En la configuración básica, un módulo CPU maestro se encarga de la gestión de un número máximo de 11 distintos módulos esclavo de entrada/salida. Cada módulo de entrada/salida dispone de 6 puntos de entrada/salida del mismo tipo, esto es: entradas analógicas, salidas analógicas, entradas digitales, entradas de impulsos o salidas digitales. La capacidad máxima de la RTU en esta configuración es por tanto de 11*6 = 66 puntos de entrada/salida. En caso de requerirse un número de puntos de entrada/salida mayor a 66, dicha capacidad máxima de puntos de entrada/salida de la RTU puede ser duplicada mediante la inclusión de un nuevo módulo CPU a cargo de la gestión de 11 módulos de entrada/salida adicionales [(11+11)*6 = 132 puntos].

La comunicación de la Unidad Terminal Remota con la Estación Maestra se lleva a cabo a través de un módulo MODEM y sujetándose a la norma CCITT V.23.

BIBLIOGRAFIA

1 Tanembaum Andrew S., "Computer Networks", Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, 1981.

2 Andino Hernán, Mena Alfredo, "Control y Gestión de Cargas Eléctricas en Estaciones Urbanas de Distribución", Anales de las Jornadas en Ingeniería Eléctrica y Electrónica JIEE VOL XI, Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador, Julio de 1990.

3 Jamoulle Etienne, "Description d'un System Prototype de Surveillance et de Gestion des Charges de Distribution Adapte aux Besoins et Conditions d'un Pays en Voie de Developpement", SYSTEMS-EUROPE, Bruxelles, Belgique, 1990.

4 IEEE, "IEEE TUTORIAL COURSE Fundamentals of Supervisory Control Systems", IEEE Service Center, Piscataway, 1981.

5 Vankelecom Jack, "Description of the SEDIS System for Data Acquisition and Control in the Distribution Management System of Empresa Eléctrica Quito (EEQ) - Ecuador", Memories of the International Symposium on Mini Systems for Control and Management of Distribution Electric Loads in Developing Countries, INE, Quito - Ecuador, Octubre de 1990.

BIOGRAFIA

MONTALVO, LUIS.- Nació en Quito el 3 de Agosto de 1955. Obtuvo el título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones en la Escuela Politécnica Nacional (1982). Becado por la Comisión Fulbright y auspiciado por la Escuela Politécnica Nacional obtuvo el título de MSc. en Computer Engineering en Ohio University, Athens, Ohio (1986). Fue asistente de cátedra en el laboratorio de Robótica en el departamento de Ingeniería Eléctrica y Computación en Ohio University (1984 - 1986). Desde 1981 hasta la fecha trabaja en el área de Sistemas Digitales en el Departamento de Electrónica y Telecomunicaciones de la E.P.N. Sus principales áreas de interés son: Microprocesadores, Diseño VLSI y Procesamiento de Imágenes.