SISTEMA DE TELEMEDIDA PARA SUBESTACIONES ELECTRICAS

ANDRADE, MIGUEL
FLORES, FERNANDO
HOENEISEN, BRUCE
PEÑAFIEL, PABLO

RESUMEN

Se ha desarrollado e instalado un sistema de telemedida para subestaciones eléctricas. El sistema transmite 16 señales análogas (0 Volt. a +10 Volt., sin signo, codificado en 12 bits) y 16 señales digitales (contacto auxiliar abierto/cerrado) a través de una línea telefónica dedicada de un par, al centro de despacho de carga, donde la información se presenta mediante led's e indicadores de cristal líquido en un tablero mímico del sistema eléctrico. La velocidad de transmisión es de 300 baudios (FSK con tonos a 1070 Hz y 1270 Hz) de manera que los datos se refrescan cíclicamente con un período inferior a 2 segundos. Se ha incorporado conectores telefónicos que hacen posible la comunicación entre el centro de despacho de carga y cada subestación. Durante la conversación telefónica se suprime la transmisión y el refresco de datos. Cada subestación requiere la instalación de un sistema de telemedida independiente.

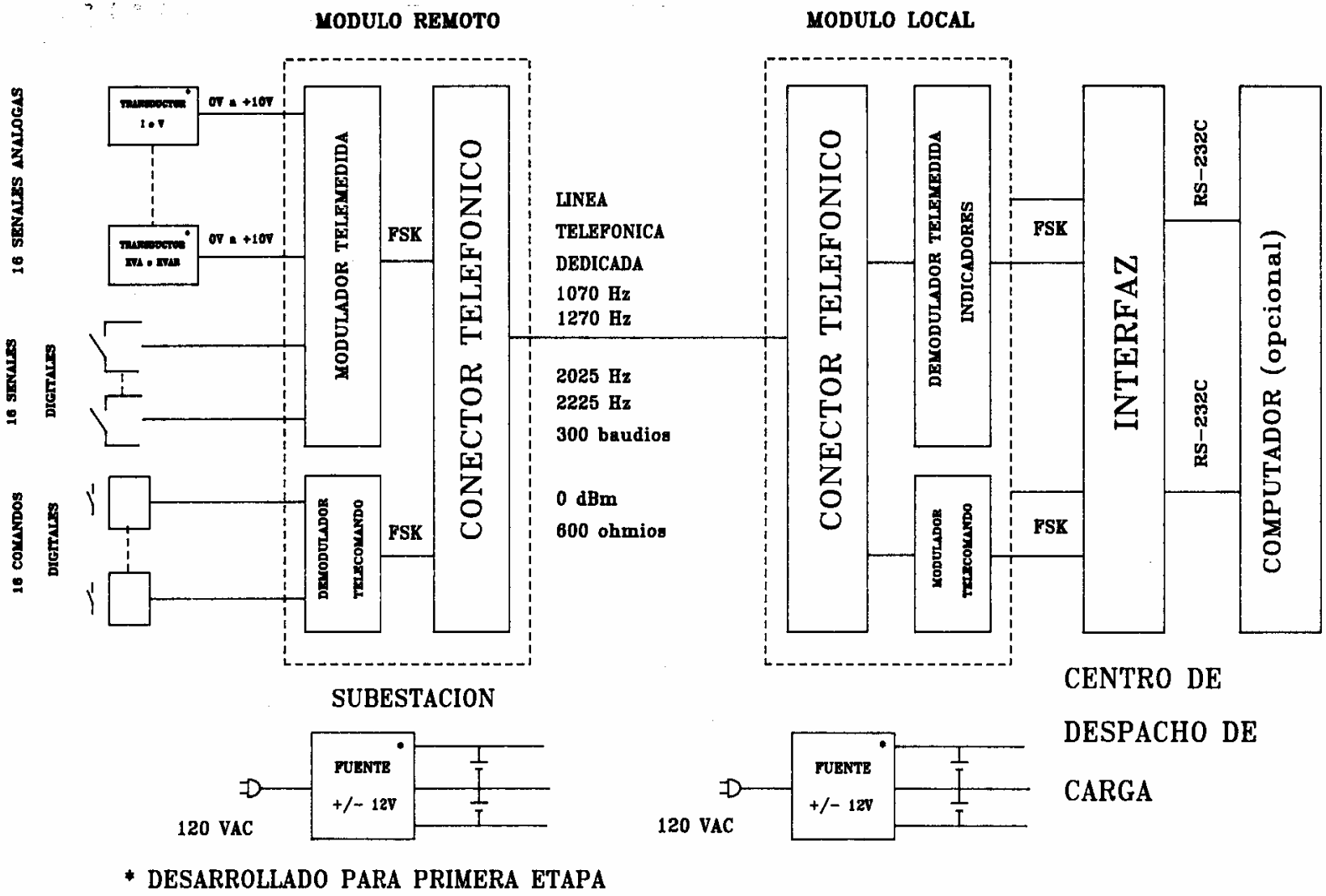
1.- INTRODUCCION

El centro de despacho de carga de la Empresa Eléctrica Quito administra ininterrumpidamente el flujo de energía eléctrica en función de los requerimientos de consumo de los usuarios. Para no sobrepasar las especificaciones nominales de trabajo de generadores y transformadores, los operadores de cada subestación comunican periódicamente por radio (VHF) los voltajes, corrientes, activos y reactivos de las diferentes líneas de transmisión. En el centro de despacho se registra la información recibida y se supervisa el funcionamiento normal del sistema, ordenando acciones correctivas (como apertura y cierre de disyuntores y seccionadores en las subestaciones) si fuese necesario.

La estabilidad del sistema de generación y distribución depende del conocimiento oportuno de los estados de carga en las subestaciones y centrales eléctricas. Sobre esta base se diseñó el sistema de telemedida para subestaciones eléctricas en Marzo/86, con el objetivo inicial de desarrollar en el País la tecnología de telemedida que actualice, en el centro de despacho, las lecturas correspondientes al estado de las subestaciones, de manera automática y continua.

El sistema consta de las siguientes partes (figura 1):

- 2 Fuentes de poder dobles (+12V , 3A ; -12V,1.5A).
- 4 Baterías 12V, 40AH.
- 1 Módulo remoto (con modulador de telemedida, conector telefónico y teléfono).
- 2 Transductores de voltaje.
- 6 Transductores de corriente.
- 10 Relés auxiliares (contacto remoto flotante abierto/cerrado).
- 1 Módulo local (con conector telefónico, teléfono y demodulador de telemedida con panel mímico para la S/E Vicentina, conteniendo 8 indicadores de cristal líquido de 2" x 1.20" para 4 dígitos y 10 indicadores led rojo/verde).



* DESARROLLADO PARA PRIMERA ETAPA

FIGURA 1.- DIAGRAMA EN BLOQUES

La construcción de fuentes de poder, transductores y módulos remoto y local se realizó en el período Octubre/86 - Marzo/87.

El sistema de telemedida fue presentado en el estante de la EEQ durante el evento EXPO-CON 87 (Marzo/87) organizado por el IEEE Sección Ecuador. Para efectos de esta exposición se añadieron interfaces RS-232c (sin líneas de control) tanto en el módulo remoto como en el módulo local. Por medio de estas interfaces se conectaron computadores personales a cada módulo para monitoreo de los datos transmitidos.

En Abril/87 fueron instalados los módulos remoto y local en la S/E Vicentina (barrio Vicentina) y en el centro de despacho de carga de la EEQ (Av. 10 de Agosto y Las Casas) respectivamente. Actualmente, el sistema de telemedida se encuentra funcionando en forma ininterrumpida.

2. FUENTES DE PODER

La polarización de los circuitos electrónicos requiere de una fuente de +12 V , 3 A y otra de -12 V , 1.5 A, tanto en la subestación como en el centro de despacho. Con la instalación de 2 baterías de 12 V , 40 AH se garantiza el funcionamiento de un módulo durante 24 horas sin energía eléctrica en la fuente de poder. En funcionamiento normal, las fuentes mantienen las baterías cargadas y proveen los voltajes de polarización. Los +5 V para la lógica digital se generan en cada módulo alimentando con +12 V a un regulador de +5 V.

3. TRANSDUCTORES

Se han desarrollado transductores de voltaje y corriente (figuras 2 y 3). En una segunda etapa se desarrollarán transductores de activos (KVA) y reactivos (KVAR). Los transductores se instalan dentro del tablero de control de la subestación y se conectan mediante cables de audio blindados de dos conductores al módulo remoto.

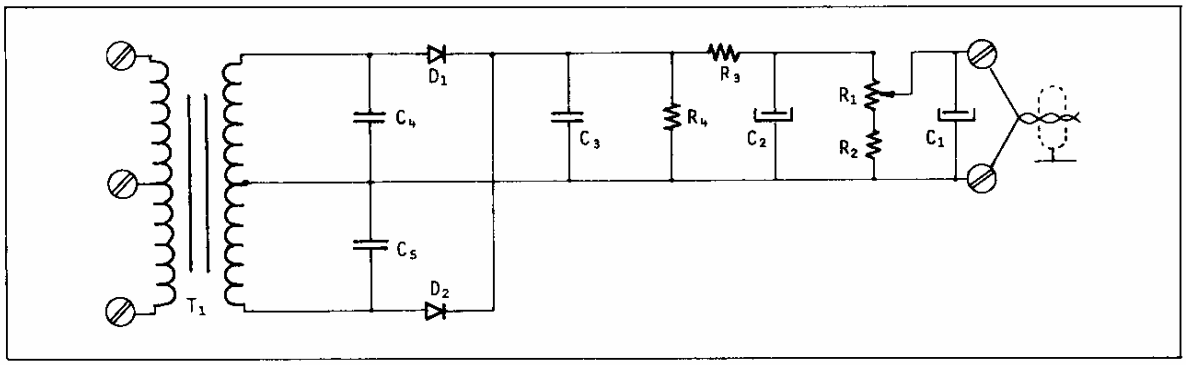


Figura 2.- Transductor de tensión

La función de los transductores es la de convertir las señales de voltaje, corriente, activos y reactivos, en voltajes continuos entre 0 V y +10 V, de tal manera que exista una relación lineal entre los valores medidos y los voltajes resultantes. Se garantiza que el efecto de carga del transductor en el punto de medición es despreciable.

Cuando un disyuntor o seccionador se abre, la lámpara roja correspondiente se apaga y simultáneamente se enciende una lámpara verde que indica el nuevo estado. Los relés auxiliares están conectados a las lámparas verdes y se activan cuando éstas se encienden, es decir, cuando un disyuntor o seccionador se abre. Esta conexión se escogió porque las lámparas verdes no están relacionadas con los circuitos de protección.

Los contactos del relé auxiliar se conectan al módulo remoto con cable blindado de audio de dos conductores. Se ha protegido

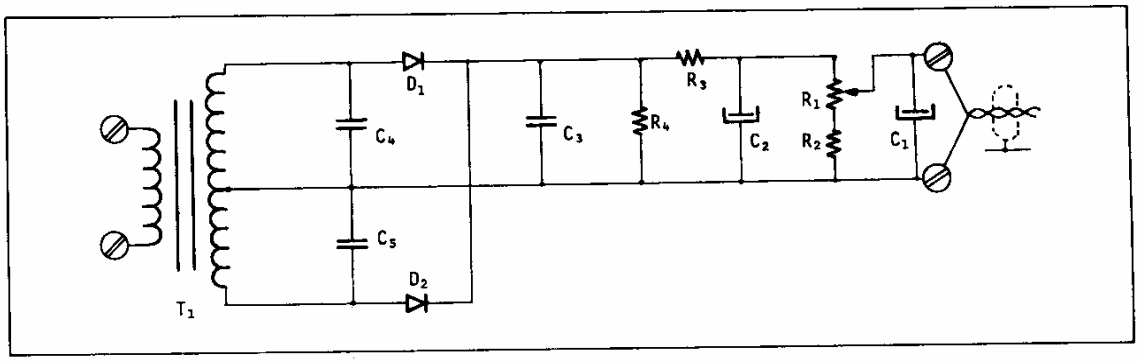


Figura 3.- Transductor de corriente

con un fusible el caso de sobrecorriente por cortocircuito en la bobina del relé auxiliar.

4. MODULO REMOTO EN LA SUBESTACION

El módulo remoto comprende tres circuitos: modulador de telemedida; conector telefónico; y, demodulador de telecomando (que se desarrollará cuando se decida implementar el telecomando).

a) Modulador de telemedida

El modulador de telemedida (figura 4) acepta 16 entradas análogas (0 V a +10 V provenientes de los transductores de voltaje, corriente, activos y reactivos) y 16 en-

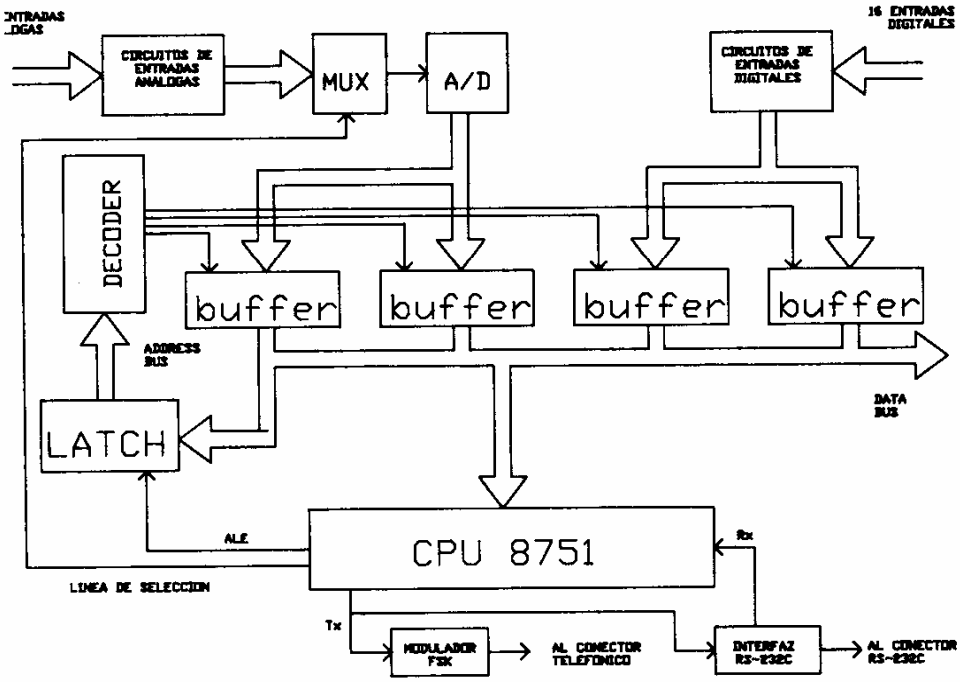


Figura 4.- Modulador de telemedida

tradas digitales (conectadas a contactos abierto/cerrado de los relés auxiliares) y codifica secuencialmente esta información. Los circuitos de entrada de las señales análogas (figura 5) protegen al equipo contra conexiones inadecuadas en los transductores. Los circuitos de entrada de las señales digitales (figura 6), a más de proteger al equipo, introducen una histéresis que elimina el ruido en la determinación de los niveles lógicos asociados con los estados abierto/cerrado de los relés auxiliares.

Las señales análogas pasan selectivamente por un multiplexer hacia un conversor análogo/digital de 12 bits. Como resultado de la conversión se almacenan en RAM dos bytes por cada señal.

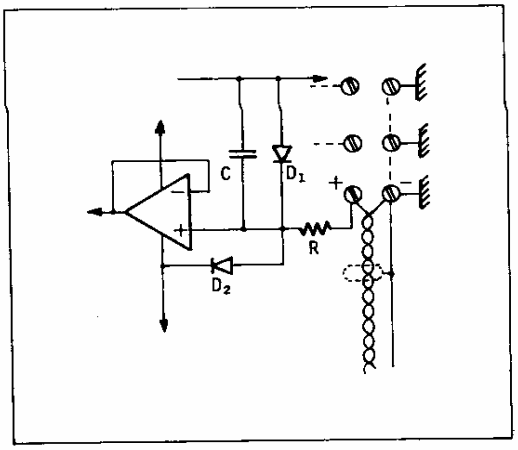


Figura 5.- Circuito de entrada para señales análogas.

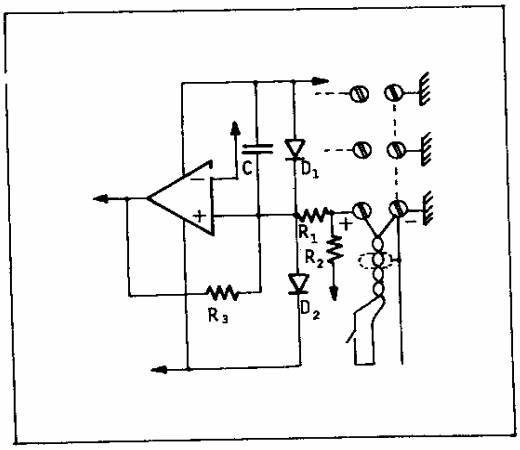


Figura 6.- Circuito de entrada para señales digitales.

Las señales digitales se agrupan en dos bytes y se almacenan en tres bytes de RAM por razones de codificación.

Los bytes de datos se transmiten en forma serial asincrónica de acuerdo al siguiente formato (figura 7):

- 1 bit de inicio (0_L);
- 8 bits de información; y,
- 1 bit de parada (1_L).

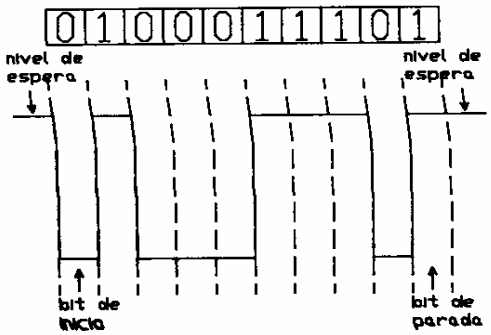


Figura 7.- Formato de transmisión de un byte.

En total, la transmisión de cada byte requiere de 10 bits.

De los 8 bits de datos (MSB D_7, D_6, D_5, ..., D_0 LSB), el más significativo (D_7) determina si la información corresponde a una lectura análoga o digital ($D_7 = 0_L$) o a la identificación de la señal medida ($D_7 = 1_L$). Las señales análogas tienen códigos desde 80_H hasta $8F_H$ y se transmiten en secuencia con el formato $8n_H$ - Byte1 - Byte2 (n = 0, 1, ..., F). Todos los canales digitales se codifican con 90_H y se transmiten con el formato 90_H - Byte1 - Byte2-Byte3 (figura 8).

El tiempo de refresco es de 1.74 segundos, que corresponden a la duración de la transmisión de 520 bits (52 bytes del ciclo con 10 bits por byte transmitido) a 300 baudios.

La señal digital transmitida entra a un modulador de FSK que convierte al 1_L en señal senoidal de 1070 Hz y al 0_L en señal senoidal de 1270 Hz. En un modem comercial para línea telefónica, se asigna 1270 Hz al

CICLO DE TRANSMISION

	HEXADECIMAL	BINARIO	SIGNIFICADO
INICIO	80_H	1 0 0 0 0 0 0 0	Código del canal análogo 1.
	BYTE1	0 X X X X X X X	7 bits menos significativos del canal análogo 1.
	BYTE2	0 0 0 X X X X X	5 bits más significativos del canal análogo 1.
	81_H	1 0 0 0 0 0 0 1	Código del canal análogo 2.
	BYTE1	0 X X X X X X X	7 bits menos significativos del canal análogo 2.
	BYTE2	0 0 0 X X X X X	5 bits más significativos del canal análogo 2.
Transmisión de 16 canales análogos			
	$8F_H$	1 0 0 0 1 1 1 1	Código del canal análogo 16.
	BYTE1	0 X X X X X X X	7 bits menos significativos del canal análogo 16.
	BYTE2	0 0 0 X X X X X	5 bits más significativos del canal análogo 16.
Transmisión de 16 canales digitales	90_H	1 0 0 1 0 0 0 0	Código de los 16 canales digitales.
	BYTE1	0 X X X X X X X	7 bits correspondientes a los canales digitales 1, 2, ... 7.
	BYTE2	0 X X X X X X X	7 bits correspondientes a los canales digitales 8, 9, ... 14.
	BYTE3	0 0 0 0 0 0 X X	2 bits correspondientes a los canales digitales 15 y 16.

SE REPITE EL CICLO DESDE INICIO

Figura 8.- Descripción de un ciclo de transmisión.

1_L (marca) y 1070 Hz al 0_L (espacio), sin embargo, las conexiones computador-modem usan una interfaz RS-232c que realiza la inversión de la señal transmitida.

Con niveles análogos en la banda de audio, la información pasa al conector telefónico.

b) Conector telefónico

El conector telefónico acondiciona las señales transmitidas y recibidas a la impedancia de la línea privada y permite la comunicación entre operadores. Durante la conversación telefónica se suspende la transmisión de datos.

La señal de transmisión sale con 0 dBm a los 600 ohmios de la línea balanceada del teléfono. La señal de recepción se regula a 0.6 V_{pp} para evitar distorsión por exceso de amplificación en las etapas posteriores.

Cada teléfono dispone de un botón de llamada que genera un tono de 400 Hz. En recepción, el tono es filtrado, amplificado y reproducido por un parlante de 8 ohmios 2 watt.

5. MODULO LOCAL EN EL CENTRO DE DESPACHO

El módulo local comprende 2 circuitos: conector telefónico (idéntico al colocado en el módulo remoto); y, demodulador de telemedida.

La señal análoga proveniente del módulo remoto viaja por la línea privada (LP) hasta el conector telefónico del módulo local, donde se acondiciona a los niveles nominales de recepción. En este estado, la información pasa al demodulador de telemedida.

El demodulador de telemedida (figura 9) usa un filtro pasabanda que deja pasar los tonos de información (1070Hz y 1270 Hz) al demodulador de FSK; en este circuito se obtienen los datos en forma digital.

La CPU recibe la información y la decodifica. Los bits correspondientes al estado abierto/cerrado de disyuntores y seccionadores encienden los led's bicolor (rojo/-verde) del panel mímico. Las lecturas de los canales análogos son escaladas de

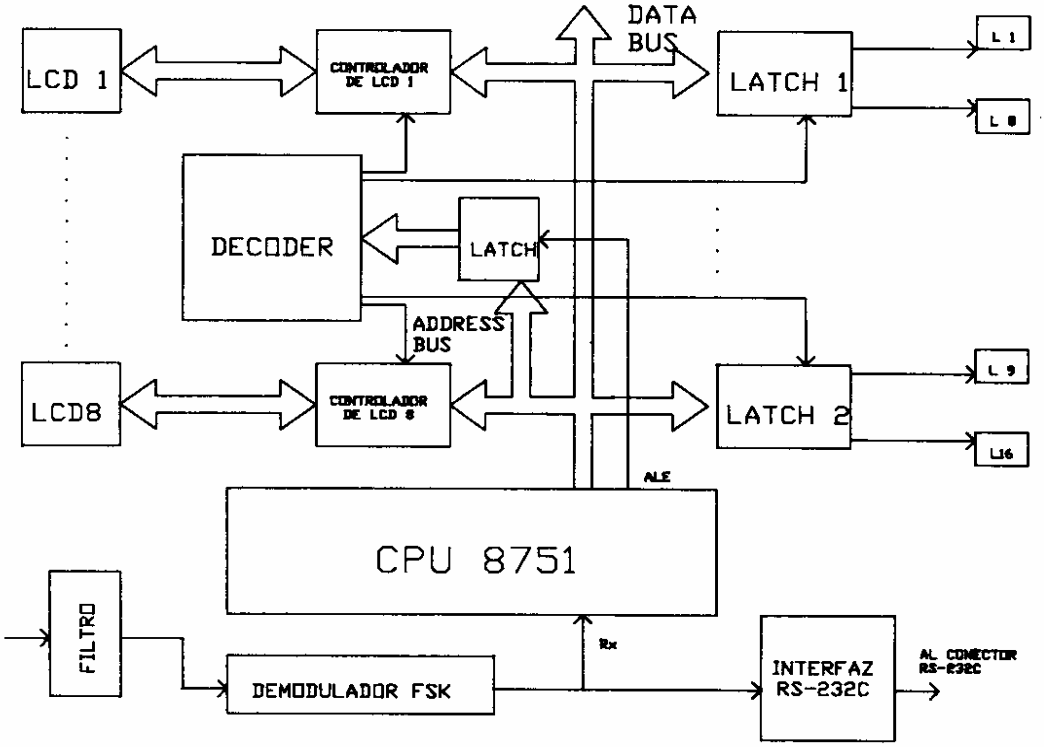


Figura 9.- Demodulador de telemedida

acuerdo al valor de voltaje, corriente, *activos o* reactivos que representan y finalmente, transformadas de formato binario a BCD para ser enviadas a los displays.

La señal digital que sale del demodulador de FSK, se pone en niveles RS-232c (sin líneas de control) para que pueda ser procesada por un computador personal. Se ha previsto la posibilidad de implementar las líneas de control para una comunicación adecuada entre el computador y el panel mímico.

6. INSTALACION Y MANTENIMIENTO

Los transductores de voltaje y corriente, al igual que los relés auxiliares (contacto abierto/cerrado), se encuentran instalados dentro del panel de control de la S/E Vicentina. Todo el cableado pasa por las canaletas existentes y llega en un conduit metálico hasta el módulo remoto que se encuentra empotrado en una de las paredes de la subestación (a 2 metros de altura). El teléfono de pared está al alcance del operador de la subestación.

El módulo local está empotrado en una de las paredes del centro de despacho de carga de la EEQ y permite visualizar las lecturas de interés en el diagrama unifilar de la subestación (figura 10).

Durante la instalación se produjo la avería de un multiplexer análogo en el módulo remoto, atribuida a un transitorio en la fuente de poder. Esta falla es la única que se ha presentado hasta el momento y fue rápidamente ubicada y solucionada con el análisis de los datos recibidos. Para el futuro se ha pensado en el desarrollo de rutinas de autodiagnóstico que aumenten la confiabilidad del equipo.

7. CONCLUSIONES

Se ha construido e instalado un sistema de telemedida para subestaciones eléctricas que actualmente está funcionando de manera ininterrumpida en el centro de despacho de carga de la EEQ.

Los transductores de voltaje y corriente

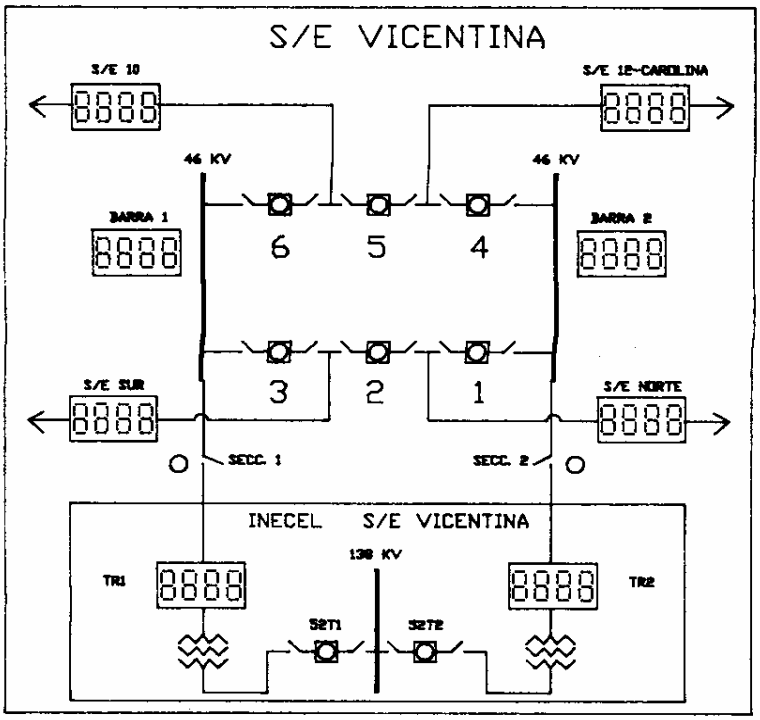


Figura 10.- Diagrama del panel mímico de la S/E Vicentina

convierten las señales alternas en tensión continua (0 V a +10 V) proporcional al valor medido. Los datos modulados en FSK se transmiten por una línea telefónica privada y se actualizan cíclicamente con un período inferior a 2 segundos.

El equipo presenta en un panel mímico las mediciones de voltajes y corrientes en las líneas de transmisión y los estados abierto / cerrado de disyuntores y seccionadores de la S/E Vicentina.

De acuerdo a los criterios de diseño, futuras mejoras y modificaciones dependen eminentemente de software y en una mínima cantidad de hardware. Para la implementación del telecomando se ha reservado el espacio físico necesario en los equipos instalados.

La experiencia adquirida en el desarrollo, construcción e implementación de este sistema , ha permitido visualizar una importante reducción de presupuesto en la implementación de sistemas de supervisión, control y adquisición de datos, con el beneficio paralelo de la disminución de la dependencia tecnológica como resultado de la superación de la ingeniería ecuatoriana.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos de manera especial al Ing. Alfredo Mena P. Gerente de la Empresa Eléctrica Quito, principal impulsor de este proyecto. Agradecemos también al Ing. Herbert Jacobson por la consecusión de varios circuitos integrados; a la EEQ por el financiamiento; al Ing. Efraín del Pino por su ayuda en la elaboración de la documentación gráfica; a los Ingenieros Mario Alarcón, Fernando Gómez, Manuel Rueda, Raúl Ruiz y al personal del centro de despacho de la EEQ y de la S/E Vicentina, quienes estuvieron dispuestos a brindarnos toda clase de ayuda durante la instalación; al Sr. Silvio León y a las Srtas. Norma Coca y Gloria Constante por su invalorable y dedicada colaboración en la fabricación de circuitos electrónicos e instalación del equipo; y, a todos los colegas y amigos que siguieron de cerca y colaboraron con la realización de este proyecto.

BIOGRAFIAS

ANDRADE, MIGUEL. Nació en Quito el 29 de Septiembre de 1953. La educación primaria la realizó en la Escuela San Vicente. Obtuvo su Título de Bachiller en el Colegio Experimental Central Técnico. En 1977 Egresó de la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Escuela Politécnica Nacional. Hasta 1981 colaboró con ECUATRONIX CIA. LTDA. como Jefe del Departamento de Producción.
Su experiencia profesional está orientada al diseño, instalación y mantenimiento de equipos de radiodifusión, audio y control industrial. Actualmente presta asesoramiento y servicio técnico a Radio Católica Nacional y a Radio Visión.

HOHNEISEN, BRUCE. Ingeniero Civil Electricista de la Universidad de Chile, "Master of Science", y "Doctor of Philosophy" en Ingeniería Eléctrica y Física del "California Institute of Technology". Ha hecho contribuciones a la Física y Tecnología de semiconductores, a la física de semiconductores y a la física de partículas. Su experiencia profesional incluye telecomunicaciones y control industrial.
Ha diseñado más de 100 transmisores de televisión y de radio AM y FM que se encuentran operando en toda la República. Desde Enero/87 radica en México donde realiza investigación en el Instituto de Física de la Universidad de Guanajuato.

FLORES, FERNANDO. Nació en Riobamba el 21 de Agosto de 1959. Obtuvo su título de Bachiller en el Colegio San Felipe en 1976. Realizó sus estudios superiores en la Escuela Politécnica Nacional y se graduó de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones en 1984. Desempeña el cargo de Profesor Auxiliar en el Departamento de Control de la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Escuela Politécnica Nacional.
Ha sido un impulsor dinámico para la implementación de la materia Computadores Personales y los laboratorios de Computadores Personales y Control con Microprocesadores. Desde Febrero/87 colabora con la Asociación de Empresas Estatales de Telecomunicaciones del Acuerdo Subregional Andino (ASETA) en la conformación de una red internacional para comunicación de datos.

PEÑAFIEL, PABLO. Nació en Riobamba el 21 de Mayo de 1959. Realizó sus estudios secundarios en el Colegio Cardenal Spellman, obteniendo el título de Bachiller en 1976. Se graduó en la Escuela Politécnica Nacional como Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones en 1982. Actualmente desempeña el cargo de Profesor Agregado I con la cátedra de Teoría Electromagnética II y el Laboratorio de Microondas.
Su experiencia profesional está orientada al área de telecomunicaciones.