

## SISTEMA DE CONTROL SUPERVISORIO PARA LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA "ACERO"

HÉCTOR RUIZ VERAZA, DAVID SAUCEDO MARTÍNEZ, ENRIQUE ESTRADA BAUTISTA  
y CARLOS GARCÍA MENDOZA  
Centro de Investigación y Desarrollo de Tecnología Digital (CITEDI)  
Instituto Politécnico Nacional  
Tijuana, B.C. México

**Resumen:** Se describe el diseño y la implementación de un sistema de control supervisorio para la subestación eléctrica "Acero". El diseño del sistema esta basado en los microprocesadores.

### SUPERVISORY CONTROL SYSTEM FOR THE "ACERO" ELECTRIC SUBSTATION

**Abstract:** This paper describes the desing and implementation of supervisory control system for the "ACERO" electric substation. The desing of this system is based on microprocessor concepts.

## 1. INTRODUCCIÓN

En este artículo se describe el proyecto desarrollado para la Comisión Federal de Electricidad (CFE), consistente en un sistema de control supervisorio para automatizar la operación de la Subestación Eléctrica "Acero" en la ciudad de Monclova, Coah.\*

Este tipo de sistema es de gran utilidad para lograr alta eficiencia en la transmisión y distribución de energía eléctrica.

El sistema se planteó como piloto y demostró, una vez en operación, su funcionalidad y la gran ayuda

que presta en la supervisión y control de las variables del sistema.

El proyecto, llamado "Automatización de la Subestación Eléctrica Acero", se planteó mediante un convenio de la ESIME-IPN con el Departamento de Transmisión, Oficinas de Control de la CFE, con la mira de integrar el sistema de control supervisorio con el mayor porcentaje de equipo nacional y desarrollar completamente la programación.

A continuación se describe en forma breve el sistema implementado, el equipo que lo integra y su interconexión. Los diagramas de flujo detallados de la programación son muy extensos y no se considera adecuado presentarlos en este artículo.

## 2. COMPOSICIÓN DEL SISTEMA

El sistema de control supervisorio está formado por una instalación central y una unidad terminal remota (UTR). La comunicación entre la central y la UTR es por medio de un enlace de radio que trabaja en UHF.

---

\*El sistema de control supervisorio descrito en este artículo se instaló en Monclova, Coah., para la CFE, en septiembre de 1982 y desde entonces ha estado funcionando. El grupo que lo desarrolló, una vez terminada la integración del sistema, estableció en Tijuana, B. C. el Centro de Investigación y Desarrollo de Tecnología Digital (CITEDI) del IPN y ha diseñado y construido una familia completa de ordenadores electrónicos, de manera que actualmente tiene capacidad para ofrecer *hardware* y *software* nacionales para aplicaciones en sistemas de este tipo.

La UTR es programable, ya que está configurada alrededor de un microprocesador. En el diagrama de la figura 1 se muestran los principales componentes del sistema.

### 2.1 Instalación central

La instalación central del sistema está integrada por los siguientes elementos:

- 1) Una microcomputadora central
- 2) Una microcomputadora del monitor
- 3) Un monitor a color
- 4) Un impresor de alarmas
- 5) Una unidad de discos *floppy*
- 6) Una consola de operador
- 7) Un reloj digital
- 8) Un sistema de fuerza ininterrumpible de Lo-rain.

El sistema de comunicación se compone a su vez de:

- 1) Un modem
- 2) Un radio UHF, 15 watts.

La información y elementos de control que maneja el sistema son:

#### 30 señales analógicas

- 24 corrientes
- 2 MVARs
- 2 MWATTS
- 2 KV

#### 46 señales digitales

- 28 para abrir y cerrar (14 interruptores)
- 2 de reposición de baja frecuencia
- 16 para abrir y cerrar (8 recierres)

#### 40 señales de señalización

- 22 señales de interruptores y recierres
- 2 baja frecuencia
- 1 cuchilla
- 15 alarmas

Los comandos de la central son los que gobiernan el diálogo central-remota y los que ordenan abrir o

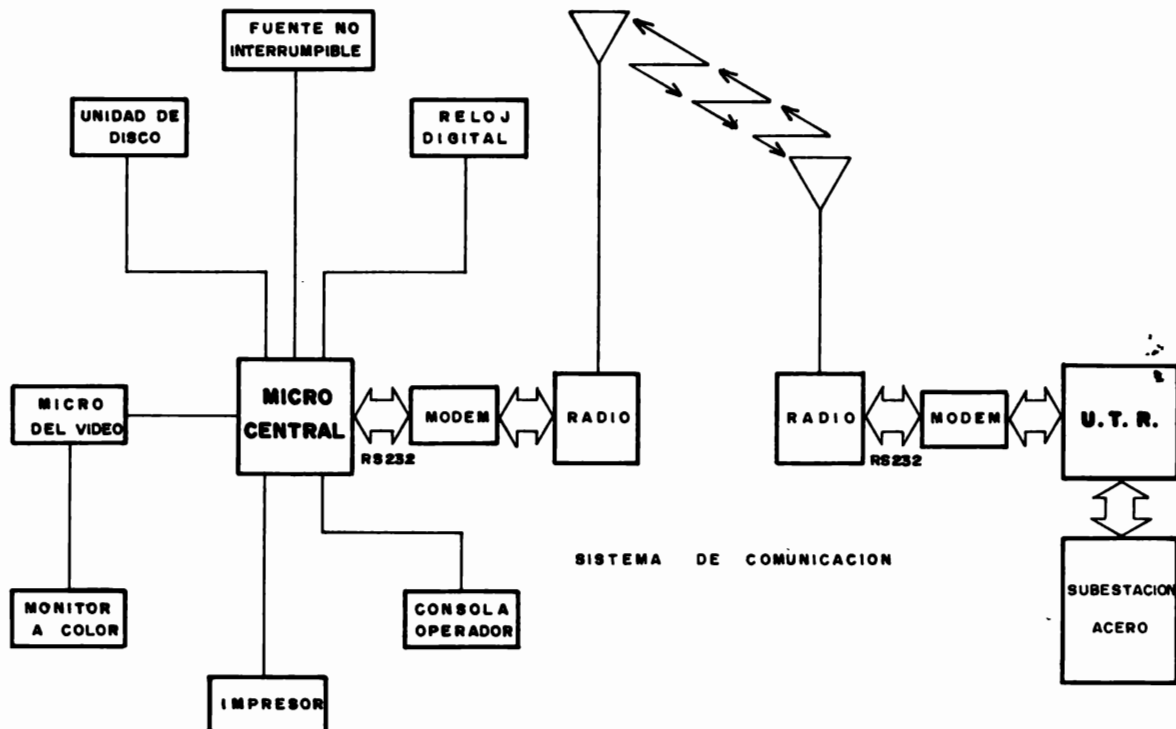


Fig. 1. Configuración en bloques del sistema de control supervisorio.

cerrar interruptores o meter y sacar recierres. Esto se representa en el diagrama unifilar de la figura 2.

2.1.1 *Microcomputadora central*

La microcomputadora central está en conexión directa con los siguientes elementos:

Elemento	Interfaz	No. Puerto
Modem	TU ART 1 Pto. serie A	71
Reloj	TU ART 1 Pto. serie B	81
Micro del monitor	TU ART 2 Pto. serie A	91
Impresor de alarmas y eventos	TU ART 1 Pto. serie B	A1
Consola de video	4FDC Pto. serie (J4)	01
Drives de disco floppy	4FDC conector J2	
Amplificador de alarmas	Pto. paralelo A TUART 2	94
Push to talk (PTT)	Pto. paralelo A TUART 1	74

Además de las interfaces arriba mencionadas la microcomputadora lleva dos tarjetas de memoria (64 KZ y 16 KZ) y la CPU. Un arreglo de las tarjetas y sus conectores se muestran en la figura 3.

La micro del monitor se encuentra, a su vez, formada por las siguientes tarjetas:

- 64 KZ
- ZPU
- 4FDC
- TU-ART
- DOS-48 KTP
- SDI-V
- SDI-D
- 32K BYTE SAVER

**CARACTERÍSTICAS DE LAS TARJETAS**

A continuación se presentan en forma resumida las características de las tarjetas que conforman la microcomputadora de la estación central:

- 64KZ (MEMORARIA DE LECTURA Y ESCRITURA)
  - Capacidad 65,536 bytes (64 K)
  - Selección de bancos Hasta 7 memorias auxiliares, direccionándolas del banco 0 al 7 (por puerto 40 H)

— ZPU (UNIDAD CENTRAL DE PROCESAMIENTO)

Microprocesador Z 80  
 Reloj 2 MHz ciclo de máquina: 500 nseg.  
 4 MHz ciclo de máquina: 250 nseg.

— 32 KBYTE SAVER (MEMORIA AUXILIAR) Capacidad 32 K, divididos en 16 PROMS.

— 48 KTP (MEMORIA DE DOS PUERTOS) Se utiliza con la interfaz SDI para almacenar la información que se desplegará en el monitor a color.

— TU-ART Cada tarjeta TU-ART contiene dos canales de comunicación serie, dos canales de datos paralelos y diez temporizadores.

— SDI-D Se encarga del acceso a memoria, control del modo y generación de pulsos de sincronía.

— SDI-V Convierte a señales analógicas la información que le suministra la SDI-D para así poder desplegar esa información en el monitor a color.

— 4FDC (INTERFAZ A DISCO FLEXIBLE) Contiene interfaces a controladores de disco de 5 y 8 pulgadas, además contiene un canal serie y un ROM de 1K con el sistema operativo residente en ROM.

2.1.2 *Programación de la central*

La programación de la central consiste de los siguientes módulos:

- a) "GEDIFI", programa con el que se inicializa el sistema. Saca los archivos y los pone en RAM. (Archivos de unifilares y archivos que utiliza la base de datos como patrón).
- b) "INICIO", inicializa las interfaces y limpia los registros auxiliares. Este programa llama a una rutina que contiene un registro donde se establecen las remotas que se incluirán en el barrido y las remotas que quedan fuera. También habilita impre-

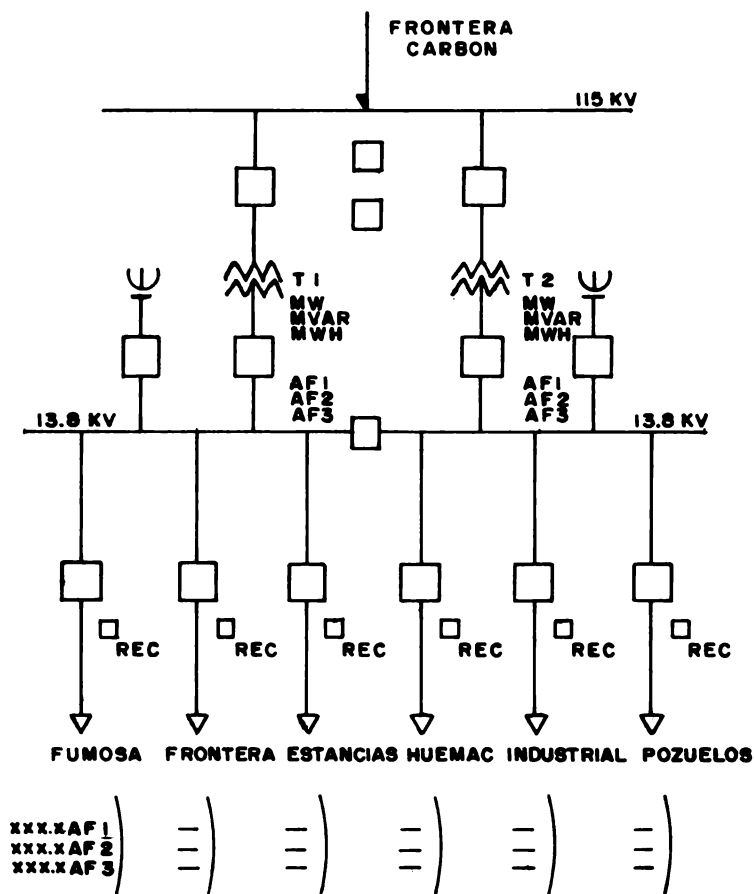


Fig. 2. Diagrama unifilar.

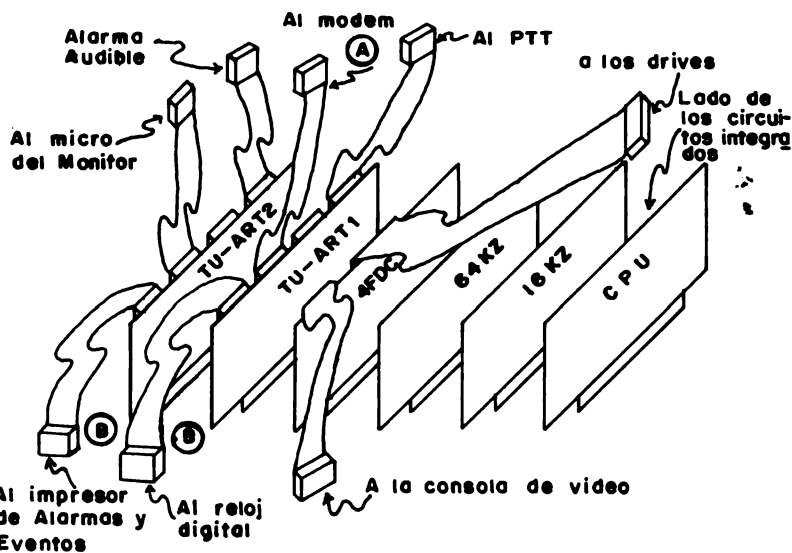


Fig. 3. Disposición de las tarjetas que integran la microcomputadora central.

sión del reloj en pantalla y es aquí donde empieza el ciclo de interrogación a remotas.

c) "MENU", muestra al operador la información disponible.  
Además de algunos comandos que no se muestran en pantalla por ser poco usuales.

d) "p", únicamente trabaja cuando se muestra el unifilar de alguna remota.

Procesa los siguientes comandos:

- Reconocimiento de eventos aleatorios.
- Comandos de abrir, cerrar e impresión.

Este programa determina, en los comandos de abrir o cerrar, cuándo son redundantes o si los comandos son o no válidos. Si el operador no tecldea el comando en un tiempo preestablecido, se cancela.

e) "PRODAT", procesa la información que llega procedente de la remota. Identifica a dicha remota, acomoda los bits que representan estados de los dispositivos, determina máximos y mínimos de la información analógica, actualiza las tablas de máximos y mínimos, y las tablas que indican:

- 1) El estado real de todas las señales digitales.
- 2) Eventos anteriores y actuales que se realizaron en interruptores y recierres (INT/REC) de la remota.
- 3) Eventos anteriores y actuales que se realizaron en alarmas de protección a la remota.
- 4) INT/REC alarmas por efectos aleatorios.
- 5) Eventos para impresión.
- 6) Movimientos de las alarmas para impresión.

Este programa guarda información de todo el sistema supervisorio y avisa al operador cualquier situación normal o anormal.

f) "T", transmite a las remotas el comando de interrogación así como los comandos de abrir y cerrar. Este módulo verifica la coherencia de la información recibida hasta cinco veces; si la información recibida no es coherente, continúa con el barrido, emitiendo un mensaje de mala comunicación. Una vez hecho esto, pasa al programa "PRODAT".

La operación e interacción entre los diferentes módulos se ilustra en la figura 4.

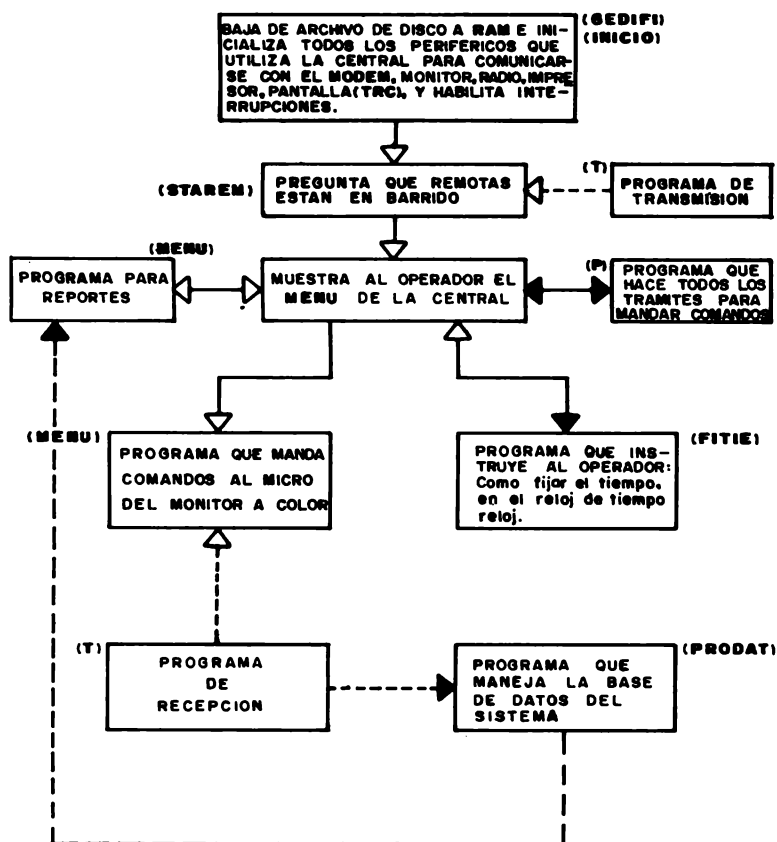


Fig. 4. Operación de la estación central.

## 2.2 Unidad terminal remota

En esta sección se describirá la manera como se integró la UTR, y su operación.

La UTR está integrada por los siguientes elementos:

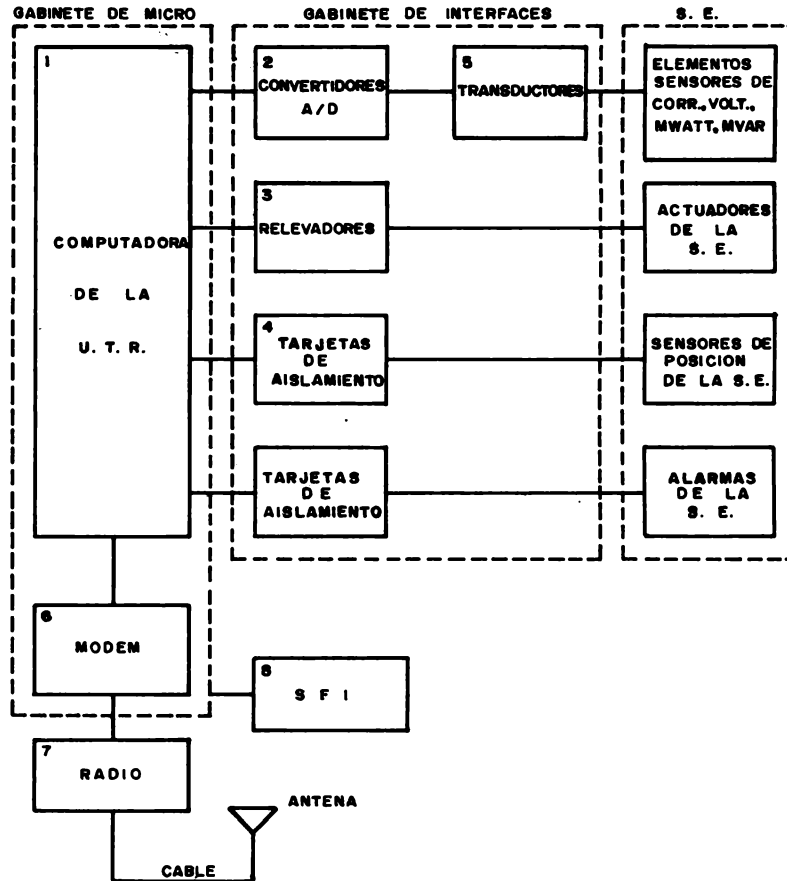
- 1) Microcomputadora
- 2) Convertidores A/D
- 3) Panel de relevadores
- 4) Tarjeta de aislamiento
- 5) Transductores

La interconexión de estos elementos se muestra en la figura 5.

### 2.2.1 Interfaces de la UTR

Como se mencionó anteriormente, la Subestación Eléctrica "Acero" se opera con diversas señales, las cuales son transferidas de la siguiente forma:

- a) Las señales analógicas de campo pasarán por los transductores (que convierten las señales de medición de los transformadores de potencial, TPs, y los transformadores de corrientes, TCs, a corrien-



- 1.- MICROCOMPUTADORA DE LA UTR (ASIDI Z2B1)
- 2.- CONVERTIDORES A/D (TARJETAS CROMENCO D + 7A)
- 3.- PANEL DE RELEVADORES (8 TIPO LATCH PARA RECIERRES P & B, KUL 5D, 11D/48 Y 30 SENCILLOS, P & B, KRPI4D, VER ANEXO NO. 1)
- 4.- TARJETAS DE AISLAMIENTO (DISEÑO E.S.I.M.E., VER ANEXO NO. 1).
- 5.- TRANSDUCTORES (8 DE CORRIENTE TIPO 30CS 501; 2 DE VOLTAJE, 30 P&B01; 2 DE VAR 20EP&B01; 2 DE WATT-HORA, 20 WH&B, 20 WH&B 7115 D2&B&B0. TODOS DE TRANSDATA).

Fig. 5. Elementos de la UTR.

tes de 0 a 1 mA). Las señales de salida de los transductores se agrupan en cables con siete señales analógicas con un conjunto multiconductor al que se suman ocho salidas digitales. Estas

van a las tarjetas de aislamiento pasando por amplificadores y llegan a los módulos D + 7A por medio de otros cablecintas multiconectores. (Ver figuras 6 y 7.)

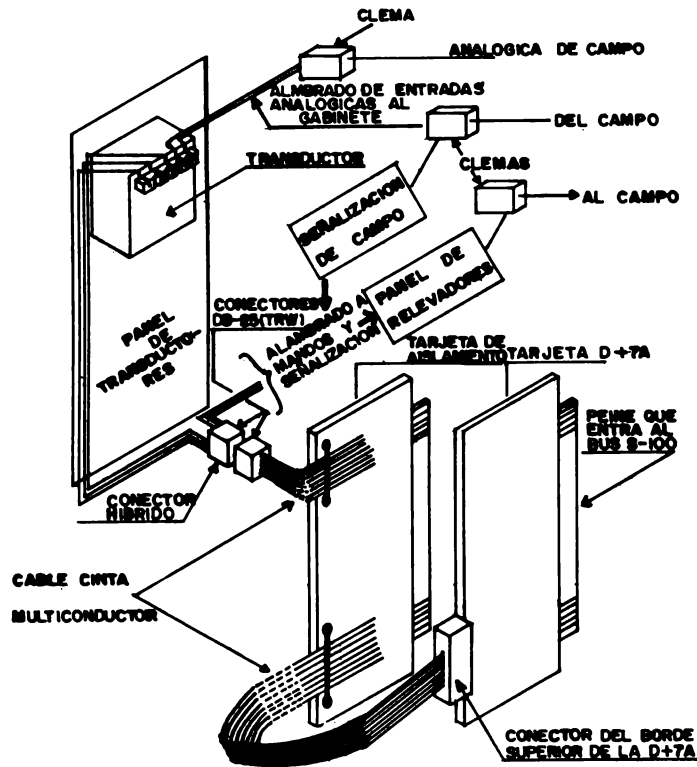


Fig. 6 Trayectoria típica de señales.

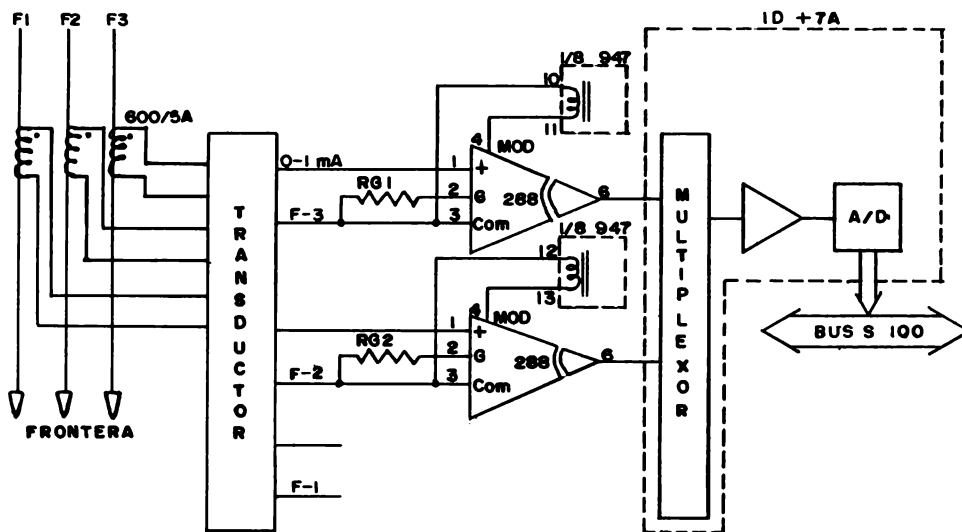


Fig. 7 Entrada de señales analógicas.

- b) Las señales digitales de mando pasan del puerto de salida paralelo del D + 7A a la tarjeta de aislamiento, donde siguen por un optoacoplador, un amplificador y salen de la tarjeta a los conectores DBS-25 del alambrado de mandos que va a dar al panel de relevadores. (Ver figuras 6 y 8.)
- c) Las señales de señalización entran del campo a las clemas, pasan de éstas a los conectores DBS-25 y a las tarjetas de aislamiento. En dichas tarjetas pasan por un optoacoplador y de ahí pasan al puerto de entrada paralelo D + 7A. (Ver figuras 6 y 9.)

señales, llega a la remota por ducto subterráneo y de allí entra a las interfaces de la UTR hasta las clemas.

Cada interruptor ocupa seis cables de campo según se indica:

- 2 para cerrar
- 2 para abrir
- 2 de señalización

La alarma y la señalización de la cuchilla ocupan dos líneas cada uno.

Cada circuito de señalización lleva un filtro como el que se muestra en la figura 10.

Las señales de la remota se manejan con los puertos de la tarjeta D + 7A. Los puertos se direccionan

2.2.2 Alambrado de la remota

Todo el cableado de campo, de entrada o salida de

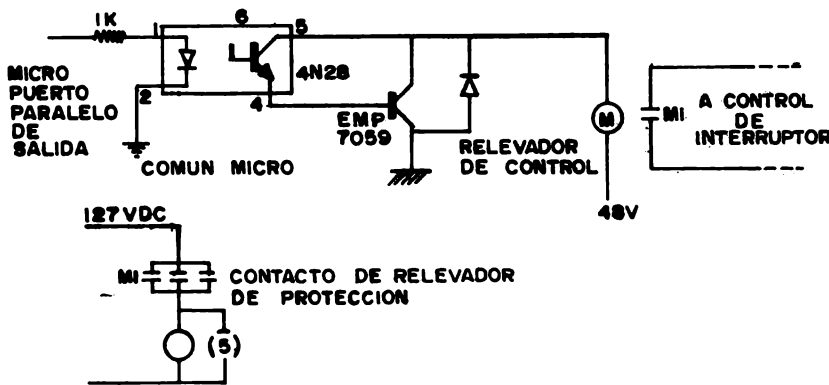


Fig. 8 Salida de una señal digital de mando.

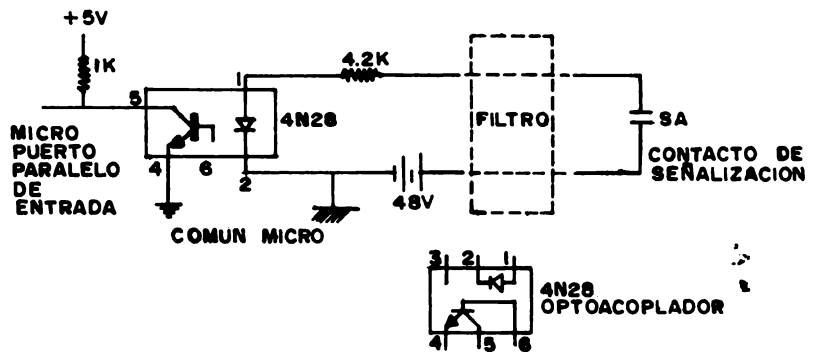


Fig. 9 Entrada de señales de señalización.

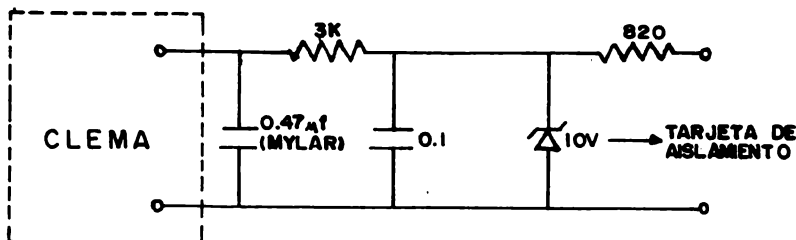


Fig. 10. Filtros de señalización.



con alambrado de brincadores que determinan los valores de los cinco bits más significativos de la dirección del puerto. Una familia de puertos comprende uno de entrada paralelo, otro de salida paralelo y siete puertos analógicos.

Las señales analógicas llegan a la UTR del campo a través de dos tiras de clemas con un arreglo específico. De las clemas las señales van a los transductores respectivos, de allí siguen el camino que se indica en la figura 6.

Para manejar las señales de entrada y salida se usaron cinco tarjetas D + 7A y una 8PIO, el funcionamiento y aislamiento de la entrada o salida de los puertos del 8PIO son semejantes al descrito para los digitales de la D + 7A.

En cuanto a la asignación de direcciones de los puertos paralelos de entrada/salida, se usaron las siguientes: D8, E0 y F8.

### 2.2.3 Operación de la remota

La UTR está programada para que realice una serie de tareas en forma autónoma y otras gobernadas por la central del sistema supervisorio. Aquí se enumeran de manera sencilla las funciones y los circuitos que las realizan:

- Se inicializa la operación de la UTR colocando los relevadores de los recierres en el estado que se encuentre su señalización.
- Lee la señalización de interruptores y alarmas discriminando cambios con una duración menor a 25 milisegundos.
- Registra el consumo de potencia.
- Supervisa las mediciones y reporta nuevos valores cuando sufran un cambio en 10% de su valor anterior para parámetros de corriente (amperes), potencia aparente (Megawatts), potencia reactiva (Megavars) y en un 2% en mediciones de potencial (kilovolts).
- Entabla diálogo con la central cuando se le solicita y efectúa los comandos que se le ordenen.

El diagrama de flujo de las funciones que realiza la UTR se indica en la figura 11.

### 2.2.4 Detalles de funcionamiento de la UTR

La microcomputadora sólo maneja señales digitales, su longitud de palabra es de 8 bits. Para leer las señales analógicas se requiere de interfaces convertidoras analógico/digital y para manejar las señales digitales se necesitan puertos paralelos de entrada/salida. (La tablilla de interfaz D + 7A tiene ocho puertos de entrada/salida, uno de ellos digital y siete analógicos). Para tener un aislamiento eléctrico entre las señales y los dispositivos de campo se construyó una tablilla de aislamiento por cada tablilla D + 7A.

Para controlar la posición de cada interruptor se tiene un circuito para abrir y otro para cerrar, además de un tercer circuito de señalización. Todas las operaciones se efectúan mediante salidas amarradas y un contador de tiempo que opera la salida restableciéndola a "normal" a los 200 milisegundos. Para realizar una función se cambia un bit de su posición "normal" a la posición "excitado". El puerto digital tiene bistables que mantienen la salida después de que se ejecutó un comando de salida mediante una instrucción OUT A (puerto). Para obtener la información de señalización se usan los circuitos mostrados en la figura 9.

Cada ocho contactos de señalización se agrupan para ocupar un puerto de entrada digital. El circuito introduce un nivel lógico alto cuando el contacto de señalización está abierto y un estado lógico bajo cuando el contacto está cerrado.

Las lecturas de señalización se logran por medio de instrucciones de entrada del puerto IN A que generan un pulso que obliga al circuito de entrada a salir de su tercer estado y meter información por el bus de datos del microprocesador al acumulador.

Los circuitos de control para los bits del 0 al 6 son como se mostró en la figura 8.

Los circuitos de control para los bits 7 se muestran en la figura 12.

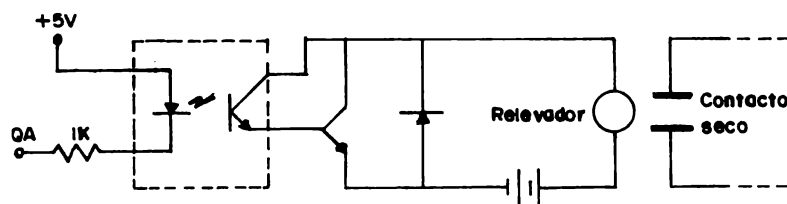


Fig. 12. Circuito de control para el BIT 7.

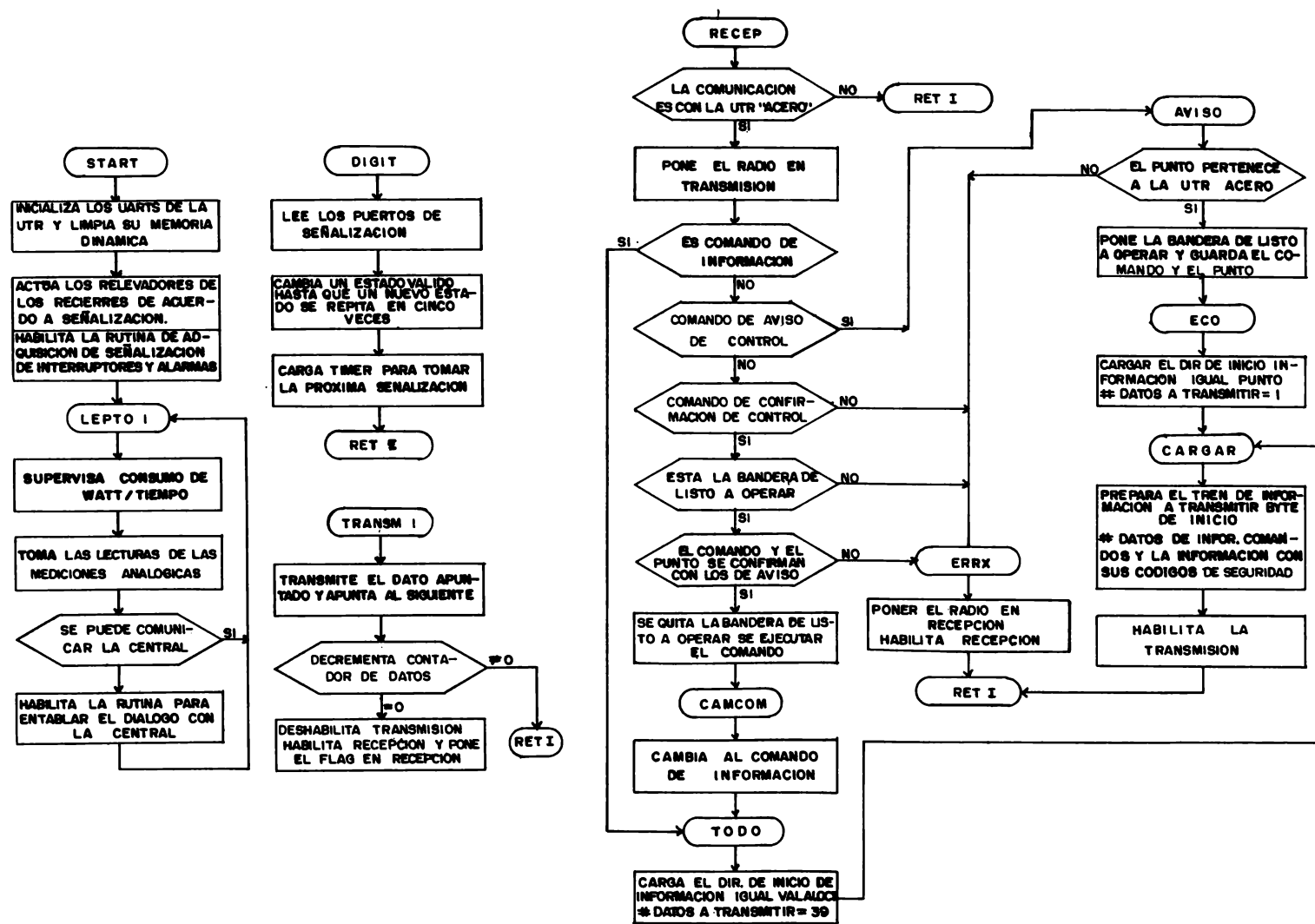


Fig. 11. Diagrama de flujo de la UTR.

Igual que en la entrada, por cada puerto paralelo de salida se agrupan ocho señales de control. Esta diferenciación del bit se debe a que, por sus funciones especiales, este bit al "resetarse" se pone en alto; es decir, en su posición normal está invertido.

El manejo de las mediciones de señales analógicas se lleva a cabo de la siguiente manera: en la salida de transductores alimentados por transformadores de corriente o potencial, se tiene una corriente de 0 a 1 mA, la cual debe convertirse a voltaje y darle la ganancia necesaria para excitar los puertos analógicos.

Para esta función se utilizan amplificadores de aislamiento 228J y un generador de frecuencia de alimentación para los amplificadores (tipo 947).

Para leer un punto analógico se ejecuta la instrucción IN A (puerto). El multiplexor de la D + 7A selecciona la entrada analógica por leerse y la conecta a una de las entradas del comparador analógico, mientras que la otra entrada del comparador analógico está conectada a la salida de un convertidor digital/análogo. Un registro de aproximaciones sucesivas (SAR) es controlado por el comparador analógico que a su vez alimenta a otra entrada del convertidor D/A y genera una palabra incrementándola hasta que el comparador detecta señales iguales en sus entradas.

Al completar la conversión de 8 bits del SAR, se introducen al bus de datos a través de circuitos de tercer estado. En 5.5 microsegundos se realiza la lectura y conversión de un puerto analógico.

### 2.2.5 Temporización importante de algunos ciclos

La UTR está programada para realizar una lectura de adquisición de información cada 6.208 milisegundos utilizando un temporizador. Las condiciones de cambio de estado se confirman cinco veces antes de dar por hecho un cambio con objeto de filtrar digitalmente cualquier indicación de tipo esporádico (con ello resulta una decisión de cambio de estado en 25 milisegundos).

Los valores de watts/tiempo se verifican cada dos segundos, registrando una cuenta cuando el transductor detecta 10 watts consumidos. El conteo se lleva en 16 bits y en forma cíclica.

Las mediciones analógicas totales se realizan cada dos milisegundos. Para diálogo con la central, la UTR tarda 800 milisegundos en contestar una vez aceptado un comando de transmitir.

Un ciclo normal se lleva a cabo aproximadamente en seis segundos a la velocidad de transmisión de 300 bauds.

## 3. RESULTADOS

Este proyecto se terminó de instalar en el campo, en Monclova, Coah. y en Ciudad Frontera, Coah., en septiembre de 1982.

El tiempo inicial estimado de elaboración de este proyecto no fue el suficiente para terminarlo por factores propios de todo trabajo de investigación; sin embargo, se llevó a cabo en 24 meses hasta su operación.

Se adquirió muy buena experiencia en el desarrollo de la programación de sistemas de control supervisorio.

*Posibilidad de expansión.* Para una ampliación futura, sin necesidad de aumentar el número de tarjetas de interface, y sólo alambrando los puertos extras y las tarjetas de aislamiento, se pueden aumentar 48 funciones de control o señalización y cinco señales analógicas (6 puertos del PIO de 8 bits cada uno y 5 entradas analógicas que hay extras en una D + 7A).

Si hay un mayor crecimiento se deberá agregar una D + 7A por cada 7 analógicas, 8 funciones de control y 8 señalizaciones. En caso de saturarse el tablero de inserción de 21 tarjetas se puede aumentar otro en donde se inserten las nuevas tablillas de aislamiento, con voltajes de + 18 y + 8 volts.

## BIBLIOGRAFÍA

1. ESIME-IPN: "Reporte del proyecto de automatización de la Subestación Eléctrica Acero para la Comisión Federal de Electricidad", julio, 1983.
2. Estrada Bautista, Enrique J.: "Diseño del software para la microcomputadora maestra del sistema de control supervisorio de la Subestación Eléctrica Acero de la CFE". Tesis de licenciatura, ESIME, IPN, 1983.
3. García Mendoza, Job Carlos: "Diseño del software para control de la microcomputadora del monitor a color del sistema de control supervisorio de la Subestación Eléctrica Acero de la CFE". Tesis de licenciatura, ESIME-IPN, 1983.
4. Cromemco Inc.: "Cromemco ZPU, Instruction Manual", 1978.
5. Cromemco Inc.: "Resident disk Operating Sistem, Instruction Manual", 1979.
6. Cromemco Inc.: "Cromemco D + 7A 1/0, Instruction Manual", 1979.
7. Cromemco Inc.: "Cromemco 8PIO, Instruction Manual", 1979.
8. Digital Pathays Inc.: "Digital clock SLC-1, User's Manual, 1980.
9. Cromemco Inc.: "Cromemco 4FDC Disk Controller, Instruction Manual", 1978.
10. Cromemco Inc.: "Cromemco TU-ART Digital Interface, Instruction Manual", 1978.