

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA
ELECTRICA Y ELECTRONICA



EL MICROPROCESADOR EN LA PROTECCION DE SISTEMAS DE POTENCIA

T E S I S

Para optar el Título Profesional de
INGENIERO ELECTRICISTA

ROBERTO ARTURO GUERRA CHIRINOS

PROMOCION 1974 - 2

Lima - Perú

1987

DEDICADA A :
MIS QUERIDOS PADRES Y
HERMANOS
A MI ESPOSA Y MIS HIJOS
A MI ABUELA Y TIOS

CONTENIDO

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Introducción | 5 |
| Capítulo 1 | |
| 1.0 Requisitos de un sistema de Protección para Sistemas de Potencia | 7 |
| 1.0.1 Confiabilidad | 7 |
| 1.0.2 Selectividad | 7 |
| 1.0.3 Rapidez de Operación | 8 |
| 1.0.4 Sensibilidad | |
| 1.1 Realización del sistema de Protección con dispositivos electro-mecánicos y magnéticos | 10 |
| 1.1.1 Relés térmicos y Electromagnéticos | 11 |
| 1.1.1.1 Relés Térmicos | 11 |
| 1.1.1.2 Relés Electromecánicos | 12 |
| Capítulo 2 | |
| 2.0 El microprocesador en la Protección de Sistemas de Potencia | 16 |
| 2.0.1 Sistema 1 | 16 |
| 2.0.2 Sistema 2 | 17 |
| 2.0.3 Sistema 3 | 19 |
| Capítulo 3 | |
| 3.0 El control computarizado central y las funciones de protección | 22 |
| 3.1.0 Lista de Funciones | 23 |
| 3.1.1 Funciones de Control y Protección | 23 |

| | | |
|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.1.1.1 | Recolección de datos y manipuleo | 23 |
| 3.1.1.2 | Control de la Supervisión | 26 |
| 3.1.1.3 | Registro de las actuaciones de los relés .. | 29 |
| 3.1.1.4 | Programa de Estimación de Estado | 31 |
| 3.1.1.5 | Recomendación de Procedimientos de Operación | 32 |
| 3.1.1.6 | Estudio automático de Fallas | 33 |
| 3.1.1.7 | Monitoreo de la Estabilidad del Sistema ... | 42 |
| 3.1.1.8 | Acciones correctivas para Problemas de Estabilidad | 46 |
| 3.1.2 | Funciones de Despacho | 51 |
| 3.1.2.1 | Control automático de Generación | 51 |
| 3.1.2.2 | Despacho económico | 52 |
| 3.1.2.3 | General | 52 |
| Capítulo 4 | | |
| 4.1 | Adquisición de Datos | 53 |
| 4.1.1 | Convertidores Análogo/Digital para Voltaje, Corriente y Potencia | 53 |
| 4.1.2 | Convertidores para Frecuencia | 56 |
| 4.1.3 | Convertidores de Desfasaje | 56 |
| 4.2 | Magnitudes Eléctricas necesarias para la Protección | 56 |
| 4.3 | Selección de componentes y Diseño Electromecánico | 57 |
| 4.3.1 | Resistencias | 57 |
| 4.3.2 | Potenciometros | 58 |
| 4.3.3 | Transistores y diodos | 59 |
| 4.3.4 | Diodos Zener | 59 |
| 4.3.5 | Circuitos Integrados | 59 |
| 4.3.6 | Comparación económica entre el sistema propuesto y la solución con relés electromecánicos | 64 |
| Conclusiones | | 67 |
| Bibliografía | | 70 |

PARTES

CAPITULO_1

Descripción y enunciado de los requisitos de un Sistema de Protección para Sistemas de Potencia como Confiabilidad, Selectividad, Rapidez, Sensibilidad, así como la descripción de los Relés existentes en la industria eléctrica.

CAPITULO_2

El Microprocesador en la Protección de los Sistemas de Potencia, descripción de los 3 Tipos de Sistemas en que se puede incorporar al Microprocesador.

Sistema 1 : Un Microprocesador por Relé de Protección.

Sistema 2 : Un Sistema Basado en Microprocesador para atender las necesidades de protección de una Subestación.

Sistema 3 : Es el Sistema Interconectado hacia una Central de Cómputo que proveerá la Administración de Carga y preparará la estrategia de un Gran Sistema Interconectado.

CAPITULO_3

El Control Computarizado Central y las Funciones de Protección. Se definen las Funciones de Control y Protección, así como las de Despacho de Carga en Avance.

CAPITULO_4

Selección de Componentes y Criterios de Diseño, Arquitectura del Sistema y Telecomunicaciones con Centros de Despacho. Problemas especiales que deben considerarse y su alternativa de solución.

PERFIL DEL TRABAJO PRESENTADO PARA OPTAR TESIS DE GRADO

TITULO : EL MICROPROCESADOR EN LA PROTECCION DE SISTEMAS DE POTENCIA

OBJETIVO: MOSTRAR QUE EL USO DEL MICROPROCESADOR EN EL CONTROL DE SISTEMAS EN TIEMPO REAL ES UN CAMPO MUY INTERESANTE PARA LA APLICACION EN LA PROTECCION DE SISTEMAS DE POTENCIA.

SI BIEN ES UN TEMA ESPECIFICO DE LA INGENIERIA ELECTRICA SU TRATAMIENTO PARA LA FABRICACION DE RELES TIENE MUCHA RELACION CON LOS REQUISITOS DE CONTROL DEL SISTEMA Y SU RELACION CON LOS DEMAS EQUIPOS DEL SISTEMA DE POTENCIA

ALCANCE : EN EL PRESENTE TRABAJO DESCRIBO LA ARQUITECTURA QUE PROPONGO Y LOS PROBLEMAS QUE DEBEN SER TOMADOS EN CUENTA EN LOS DISENOS ,ASI COMO LA ALTERNATIVA RECOMENDADA PARA CADA UNO DE ESTOS PROBLEMAS.

EN EL PERU LOS RELES DE PROTECCION TRADICIONALMENTE SON IMPORTADOS DE PAISES DESARROLLADOS A PRECIOS MUY ELEVADOS OCASIONANDO QUE OBTENEMOS POR SOLUCIONES MINIMAS EN PROTECCION EN MUCHOS CASOS.

EN LA ACTUALIDAD LOS PAISES DESARROLLADOS TIENEN REDES ELECTRICAS MUY AMPLIAS Y DENSAS ,TRANSMITIENDO GRANDES VOLUMENES DE ENERGIA Y LA NECESIDAD DE UN CONTROL CENTRALIZADO ES YA VITAL PARA ELLOS. POR ESO ESTAN TRABAJANDO EN LA DIRECCION DE OBTENER UN SISTEMA INTEGRANDO COMUNICACIONES, PROTECCION, TELEMANDO Y ADQUISICION DE DATOS RESULTANDO UN SISTEMA SOFISTICADO Y POR LO TANTO COSTOSO .

NUESTRO SISTEMA ELECTRICO ES EN COMPARACION AL DE ELLOS ES PEQUEÑO Y EN MUCHOS PUNTOS DEL PAIS ES RUDIMENTARIO. POR LO QUE NO SE JUSTIFICARIA LA IMPLANTACION DE UN SISTEMA COMO ESE, EN EL PERU Y POR LO TANTO ESTAREMOS POSTERGANDO UNA NECESIDAD FUNDAMENTAL EN ESTOS TIEMPOS
LA ADMINISTRACION DE LA ENERGIA

CAPITULO 1

1.-Requisitos de un Sistema de Protección para Sistemas de Potencia

Podemos resumir los requisitos de un Sistema de Protección en cuatro básicos :

1.0.1.-Confiabilidad

Esta característica está relacionada con la probabilidad de falla del Sistema de Protección y abarca desde la probabilidad de la falla en los equipos de medida, conexionado, relés, contactores auxiliares, fuentes auxiliares, elementos de desconexión y la calidad del personal.

En orden de mayor a menor, la frecuencia de fallas en Sistemas de Protección, se presentan en :

Relés

Interruptores

Conexionado

Transformadores de corriente

Transformadores de tensión

Baterías o fuentes auxiliares

Fallas del personal

1.0.2.-Selectividad

Esta propiedad o requisito, califica la correcta discriminación del tipo de falla, su ubicación dentro del Sistema de Potencia y su segregación de manera tal y en el momento adecuado para que el resto del sistema que se encuentra en buen estado, pueda cumplir a satisfacción sus prestaciones de servicio.

1.0.3.-Rapidez de Operación

Este requerimiento exige al Sistema de Protección reaccionar en forma rápida para :

- . Limitar los daños causados al equipamiento y a las personas durante fallas.
- . Evitar la pérdida de sincronismo del sistema.
- . Disminuir las sobrecargas al resto del sistema, pues la energía no puede transmitirse en igual proporción durante fallas.

1.0.4.-Sensibilidad

Se exige además que en condiciones de falla mínima, también operen satisfactoriamente, evitando la operación ante sobrecargas u oscilaciones del sistema garantizando la estabilidad del sistema.

Ante el compromiso de rapidez y sensibilidad, se sacrifica rapidez de operación en razón de evitar operaciones innecesarias, durante transitorios.

Iremos tratando a continuación, el desarrollo de los métodos utilizados hasta la fecha para una efectiva protección hasta plantear la incorporación del microprocesador en el Sistema de Protección, sus ventajas, posibilidades, etc.

Tratando en todo momento de promover la participación de los demás profesionales de la rama eléctrica y electrónica para que participen en este esfuerzo, de buscar que la brecha tecnológica con el resto del mundo no siga perjudicando a nuestro país.

El campo de las aplicaciones es un mundo libre al cual hay que ingresar de forma decidida .

1.1.0.-Realización del Sistema de Protección con Dispositivos Electromecánicos y Electromagnéticos

Partamos de la Ecuación General de los comparadores donde dos señales de entrada determinan, según su relación de fase o magnitud, la operación de disparo de un disyuntor o varios según características predeterminadas.

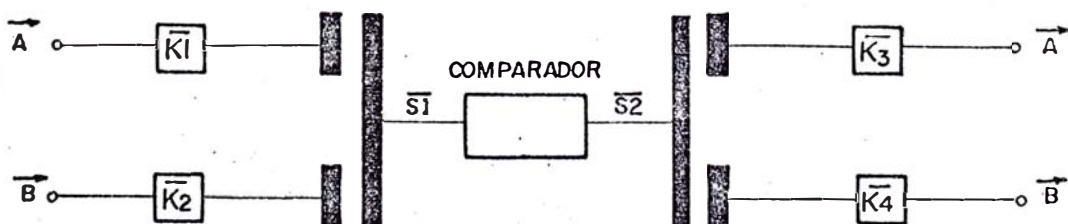
Las señales derivadas de las magnitudes primarias de tensión y/o corriente de un Sistema de Potencia contienen la información para determinar las condiciones del sistema como normales o anormales.

Sean por lo tanto, dos variables : A y B, que se aplican al comparador a través de transductores de parámetros $\bar{K}_1, \bar{K}_2, \bar{K}_3, \bar{K}_4$.
Donde :

$$\begin{aligned} \bar{K}_1 &= |K_1| \angle 0^\circ \quad (\text{escalar}) \\ \bar{K}_2 &= |K_2| \angle \theta_2 \\ \bar{K}_3 &= |K_3| \angle 0^\circ \quad (\text{escalar}) \\ \bar{K}_4 &= |K_4| \angle \theta_4 \end{aligned}$$

y tomando como referencia la señal : \bar{A}

$$\bar{A} = |A| \angle 0^\circ \quad \text{y} \quad \bar{B} = |B| \angle \phi$$



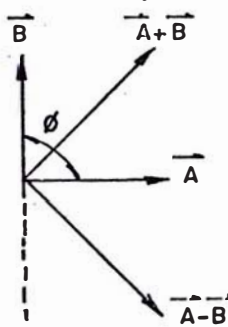
Sea :

$$\begin{aligned} S_1 &= K_1 \bar{A} + K_2 * \bar{B} \\ S_2 &= \bar{K}_3 * \bar{A} + K_4 * \bar{B} \end{aligned}$$

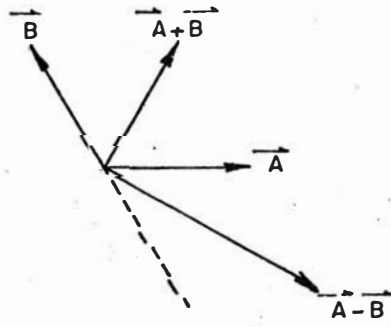
$$\begin{aligned} S_1 &= [|K_1| |A| + |K_2| |B| \cos(\theta_2 + \phi)] + j [|K_2| |B| \sin(\theta_2 + \phi)] \\ \vec{S}_2 &= [|K_3| |A| + |K_4| |B| \cos(\theta_4 + 0)] + j [|K_4| |B| \sin(\theta_4 + 0)] \end{aligned}$$

Estas señales S1 y S2 son aplicadas al comparador ,con el cual se discriminará la situación normal de la situación con falla ,este puede ser de amplitud o de fase, debiendo establecer aqui que existe una dualidad entre ambos tipos. Explicado de la siguiente forma :

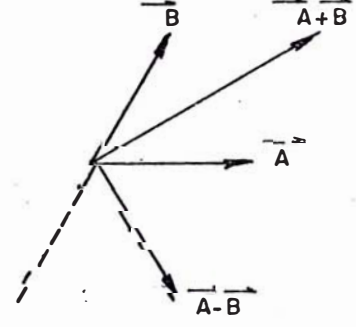
1)Un comparador de amplitud puede operar como comparador de fase simplemente cambiando una señal por la suma de las dos señales originales y la otra por la diferencia de las señales originales.



$|\bar{A} + \bar{B}| = |\bar{A} - \bar{B}|$
 $\phi = 90^\circ$
 (Punto de Iniciación)

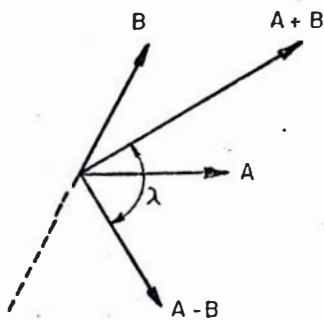


$|\bar{A} + \bar{B}| < |\bar{A} - \bar{B}|$
 $\phi > 90^\circ$
 (No Opera)

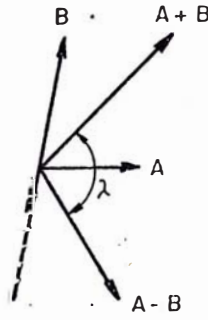


$|\bar{A} + \bar{B}| > |\bar{A} - \bar{B}|$
 $\phi < 90^\circ$
 (Si Opera)

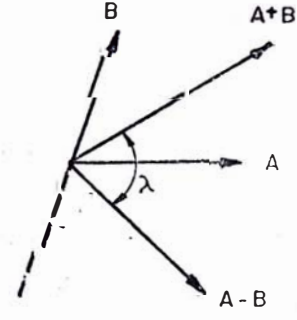
2)Y viceversa un comparador de fase puede usarse como un comparador de amplitud.



Si: $|A| = |B|$
 $\lambda = 90^\circ$
 (Principio de Operación)



$|A| < |B|$
 $\lambda \geq 90^\circ$
 (No Opera)



$|A| > |B|$
 $\lambda < 90^\circ$
 (Si Opera)

Por lo tanto, depende de la selección adecuada de las características de los transductores K1, K2, K3 y K4; para obtener una característica de operación deseada. A continuación se tratará los distintos tipos de equipos que se han desarrollado para lograr una operación segura de los Sistemas de Potencia.

1.1.1.-Relés Térmicos y Relés Electromagnéticos

Fueron los primeros en ser fabricados y su funcionamiento se basa en los efectos mecánicos producidos por el paso de la corriente en elementos calefactores o bobinas para calentar elementos bi-metálicos y/o ejercer fuerza contra elementos antagonistas.

Su utilización, está muy difundida y procederemos a explicar, con un poco de detalle, cada uno de ellos.

1.1.1.1.-Relés Térmicos :

Estos elementos son usados para evitar los daños en máquinas eléctricas por sobrecargas. Debido a la gran variedad de tamaño, diseños, condiciones ambientales diferentes, regímenes de trabajo variables en el tiempo, trabajos con repetidos ciclos de arranque, parada y/o inversión de marcha es necesario proveer un dispositivo protección, cuya curva de calentamiento y de enfriamiento, sea lo más aproximada a la del equipo a proteger, es decir ligeramente mayor.

Durante muchos años, se han usado las constantes de elementos bi-metálicos, así como bloques cuya constante térmica era similar al equipo a proteger, estas construcciones tienen muchas ventajas con respecto a otras soluciones planteadas usando circuitos eléctricos u electrónicos, pues como las constantes de tiempo son grandes, se requerirán condensadores muy grandes, los cuales no son confiables en el tiempo, pues sus características son muy sensibles a las variaciones de temperatura y envejecimiento, esto sin mencionar a las resistencias.

Teniendo en cuenta que los relés de imagen térmica son más fáciles de calibrar y su construcción muy sencilla, queda aún el problema de tener una constante de enfriamiento diferente y también el inconveniente de que, mientras la máquina se encuentra en su ambiente industrial, diferente al del relé, pues este último normalmente está en un área bien ventilada y limpia.

Puesto que el calentamiento es una función del tipo exponencial, podemos hacer el proceso de integración con la ayuda de un microprocesador cuyas entradas serían las corrientes de fase que serían multiplicadas por sí mismas y por el valor de la resistencia interna para tener el :

$$(I^2) \cdot R \quad (\text{pérdidas Joule})$$

Este producto por el Intervalo de Tiempo de muestreo, nos hará conocer la energía transferida al equipo. El enfriamiento del mismo, es una función también de la diferencia de temperatura del equipo y la temperatura ambiente; esto también podrá controlarse.

La ventaja adicional que podrá obtenerse, es que el relé basado en un microprocesador podrá manejar varios equipos simultáneamente, pues la frecuencia de muestreo es alta. Posteriormente indicaremos el orden de magnitud de estos tiempos, cuando se explique la arquitectura propuesta.

1.1.1.2.-Relés Electromecánicos

Los relés electromecánicos usados con una magnitud de entrada, dos magnitudes y hasta tres, abarcan una amplia gama de protecciones desde la fundamental de sobrecorriente, pasando por los relés direccionales basados en el producto fasorial de las magnitudes, la protección diferencial, la protección de distancia, sobre y mínima tensión, diferencial de barras y continúan protecciones tan especiales que son combinaciones y/o artificios en las magnitudes medidas, que hacen una lista muy larga.

Los dispositivos de decisión para determinar si una condición es normal o de falla son de diversos tipos, como :

Armadura: Basada en el principio de la fuerza electromagnética que atrae un hierro móvil venciendo una fuerza antagonista, generalmente un resorte, la condición de equilibrio se da cuando la fuerza electromagnética (proporcional al cuadrado de la corriente que pasa por el devanado) es igual a la fuerza antagonista.

El problema que se presenta en el caso de corriente alterna, es que el valor de la fuerza electromagnética es oscilante y debe introducirse las espiras de sombra para evitar que la armadura vibre.

Las características del diseño demandan núcleos, grandes para el caso de uso en protección, para evitar la saturación con corrientes de falla elevadas, esto significa inercias grandes y consumos mayores.

Su uso como elementos auxiliares está muy difundido, tanto en corriente continua como en alterna.

De Inducción : Basados en la interacción entre el campo producido por la magnitud o magnitudes a controlar y la corriente parásita inducida en un objeto metálico, buen conductor.

Su uso está muy difundido en la protección de sobrecorriente, en la cual se actúa sobre un disco móvil, debiendo vencer un par antagonista, éste último producido por un resorte y un freno magnético constante.

También se encuentra este principio en los relés del tipo vatimétrico, donde el torque es producido por dos flujos cuya adecuación a las necesidades se realiza intercalando circuitos desfasadores.

En los relés tipo direccionales, se usa el rotor en forma de copa, el cual está hecho de material conductor y puede girar en su eje debido al campo rotatorio que se genera por bobinas que reciben las magnitudes necesarias. Este último tipo es muy veloz comparado con los otros tipos tradicionales, se menciona que un buen tiempo es menor que 10 miliseg., y además muy sensible y discriminatorio. Los problemas constructivos son muy delicados para lograr su característica de operación, por lo cual el precio de este tipo de ejecuciones es elevado. El mantenimiento también es dificultoso, presentándose problemas generalmente en los contactos, pues son ligeros y por lo tanto, débiles a las corrientes de operación, necesitando en muchos casos, contactores auxiliares que perjudican su característica de velocidad.

Otra característica de funcionamiento que es una desventaja, es el tiempo necesario para volver a su posición de inicio, pues si después de una sobrecorriente cuya temporización no origina un disparo, se sucede un cortocircuito el tiempo de operación no tendrá ninguna similitud con lo calibrado, originándose la pérdida de selectividad, lo cual ocasionará la apertura anticipada y/o innecesaria de un disyuntor. Inclusive una corriente en el relé igual a la de arranque, irá desplazando el elemento de inducción cuyo recorrido será menor, por lo tanto la corriente de falla que haga actuar al relé en un tiempo determinado será menor a lo esperado según calibración.

Relés temporizados con mecanismo de relojería, normalmente utilizados como elementos auxiliares en los sistemas de protección y mando para producir bloqueos, órdenes temporizadas o señalizaciones. Generalmente del tipo armadura y mecanismo de escape para la medición del tiempo en la energización o a la caída.

También están difundidos los temporizadores electrónicos, que llevan incorporadas protecciones contra variaciones del voltaje de alimentación, filtros para eliminar la componente alterna, dispositivos contra cortocircuito en la salida.

CAPITULO 2

2.0.0.-El Microprocesador en la Protección de Sistemas de Potencia

Enfocaremos los casos desde el más elemental hasta el más complejo, identificando las áreas de aplicación para cada arquitectura, sus ventajas y factibilidad.

2.0.1.-Sistema 1

Enunciaremos como el más elemental de los sistemas, donde un microprocesador se encarga de las siguientes tareas :

- Conversión analógica - digital de una señal, mediante una muestra de un ciclo, tomada a partir del pase por cero de su valor instantáneo.
- Comparación del valor obtenido con los valores de referencia pre-determinados.
- Decisión si el valor medido es normal o es una falla.
- En el caso de falla, iniciar el período establecido como máximo permitido con esta condición de falla.
- Cuando el tiempo haya transcurrido, ordenar el disparo.
- Al desaparecer la falla, tomar la posición de reposo estando listo para la siguiente muestra.

Como puede claramente observarse, tenemos dos períodos que controlar :

- Período para la toma de muestras.
- Período máximo permitido de una condición de falla.

Y es sabido que el segundo es mucho más largo que el de muestreo (un ciclo).

Por lo tanto, encargar el control del tiempo al microprocesador, es una pérdida de la capacidad de toma de decisiones que posee el microprocesador.

Este sistema se ha utilizado ya en algunos casos con resultados satisfactorios, pero la solución no lleva a un ahorro económico, pues el microprocesador necesita de auxiliares y periféricos que toman o le entregan señales acondicionadas para el funcionamiento del sistema, por lo cual si se utiliza un microprocesador para cada falla, el costo sería prohibitivo, más aún por los sistemas de control auto-test de Hardware y Software que se duplicarían para el caso de sistemas redundantes.

Como prototipos, seguirán introduciéndose en el mercado, pero serán superados; ver análisis en la sección Conclusiones y Recomendaciones

2.0.2.-Sistema 2

Este es el que recomiendo para nuestro país, por lo siguiente:

- Por su bajo costo inicial, recuperación de la inversión en poco tiempo. Oportunidad que se presenta para nuestro país de ingresar en un mercado que aún no ha establecido Standards en este campo y que recién entra a la etapa de ensayos con el Sistema 1; mientras que aquí planteáramos el uso del Terminal Remoto Inteligente.
- El tamaño actual de las subestaciones principales, que serán el común denominador en los años venideros, permiten un campo de ensayo, donde los proyectos pilotos puedan implementarse en una etapa inicial como redundante, en segunda etapa con los relés tradicionales como back-up, hasta tener la seguridad necesaria en software y hardware.
- Posibilidad de comunicarse mediante MODEM telefónico o mediante Onda Portadora a velocidades bajas para evitar interferencias y bajo protocolos internacionales de Intercambio de Información.

CAPITULO 1

1.-Requisitos de un Sistema de Protección para Sistemas de Potencia

Podemos resumir los requisitos de un Sistema de Protección en cuatro básicos :

1.0.1.-Confiabilidad

Esta característica está relacionada con la probabilidad de falla del Sistema de Protección y abarca desde la probabilidad de la falla en los equipos de medida, conexionado, relés, contactores auxiliares, fuentes auxiliares, elementos de desconexión y la calidad del personal.

En orden de mayor a menor, la frecuencia de fallas en Sistemas de Protección, se presentan en :

Relés

Interruptores

Conexionado

Transformadores de corriente

Transformadores de tensión

Baterías o fuentes auxiliares

Fallas del personal

1.0.2.-Selectividad

Esta propiedad o requisito, califica la correcta discriminación del tipo de falla, su ubicación dentro del Sistema de Potencia y su segregación de manera tal y en el momento adecuado para que el resto del sistema que se encuentra en buen estado, pueda cumplir a satisfacción sus prestaciones de servicio.

- c) Dependiendo de esta proyección, analizará si se encuentra en mínima generación evaluando las corrientes de cortocircuito y análisis de estabilidad para la calibración de protección, preveiendo en estos casos, la variación de los niveles de cortocircuito y tiempos de apertura necesarios para evitar el colapso del sistema.

Para esto último, es necesario tener microprocesadores en las subestaciones remotas que puedan recibir instrucciones para cambiar sus calibraciones de protección y transmitir a la central la confirmación de la nueva calibración a partir del momento establecido.

Esta función no puede ser alcanzada con los equipos electromecánicos ni con los estáticos fabricados a la fecha, pues sus regulaciones son siempre mediante taps mecánicos y los circuitos de temporización, son graduados con potenciómetros para circuitos R.C., por lo tanto, la utilización de los sistemas basados en microprocesador que aceptan valores digitales transmitidos a distancia, se imponen para el futuro.

La misma previsión se llevará a cabo para los casos de mínima y máxima generación, preparando al receptor remoto para que en caso de pérdida de enlaces principales o disminución de la frecuencia del sistema, prevea el rechazo de carga de cada S.E.

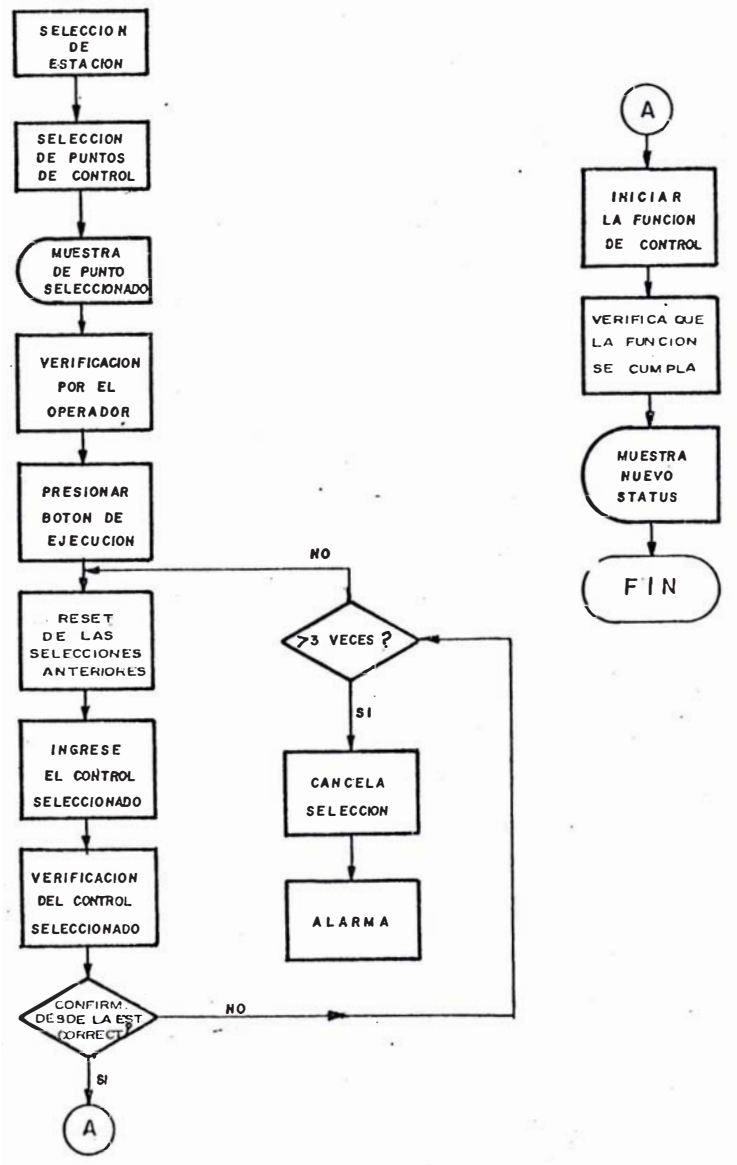
- d) Estas provisiones, mejoran la estabilidad del sistema, la seguridad en el suministro sin los compromisos que en la actualidad se tiene, como por ejemplo :

- Diferencias de la corriente de cortocircuito para mínima y máxima generación, pues con una calibración fija debe cumplir con la selectividad, confiabilidad, seguridad y disponibilidad para ambos casos

- Diferentes acciones en las S.E. de un sistema interconectado, pues en caso de pérdida de un enlace importante, en las S.E. que queden conectas a las barras suministradoras, habrá que aumentar carga mientras que en las otras, deberá efectuarse el rechazo de las mismas, y en condiciones diferentes, las operaciones serían a la inversa.

Estas operaciones estarán pre-establecidas y ante la llegada de la Orden A o B, se ejecutarán en cada S.E. las respectivas medidas ya previstas en los estudios de estabilidad, evitando de esta manera sobrecargas en otras líneas débiles que pueden salir fuera de servicio si no se toma en cuenta medidas como éstas, históricamente se tiene la experiencia de los black-out del Nor-Este de los Estados Unidos.

FIGURA No 3
DIAGRAMA DE FLUJO-CONTROL DE LA SUPERVISION



- c. En la computadora central, el mensaje nuevamente es chequeado para verificar que el punto apropiado fuera necesariamente el escogido.

Si hay concordancia se transmite ,a continuación , el Código de la Orden a la S.E. remota.

- d. En la S.E. remota ,el Código de la Orden es interpretado para que se realice la operación en el punto previamente seleccionado. Un mensaje idéntico al Código de la Orden, será normalmente reenviado al computador central como reconocimiento de la recepción de este mensaje.
- e. Si no hubiera acuerdo con el primer mensaje ,la Senal de Comando no será enviada. En su lugar una Senal de Reset será enviada a la estación remota para eliminar cualquier selección. Si se desea, el computador podrá intentar algún número predefinido de veces.Cualquier falla debería causar un mensaje de Reset hacia la terminal remota.
- f. La recepción de un mensaje de ejecución correcta desde la terminal remota, deberá iniciar un temporizador de control de falla en la operación del equipo. El programa puede entonces ser excitado para esperar un cambio de estado en el punto controlado o que el tiempo del temporizador de control de falla haya concluido. El cambio de estado, será mostrado y registrado como una función de control para la terminación satisfactoria. Si el tiempo expira, una falla de operación es reportada .

Ver diagrama de flujo en la figura No 3.

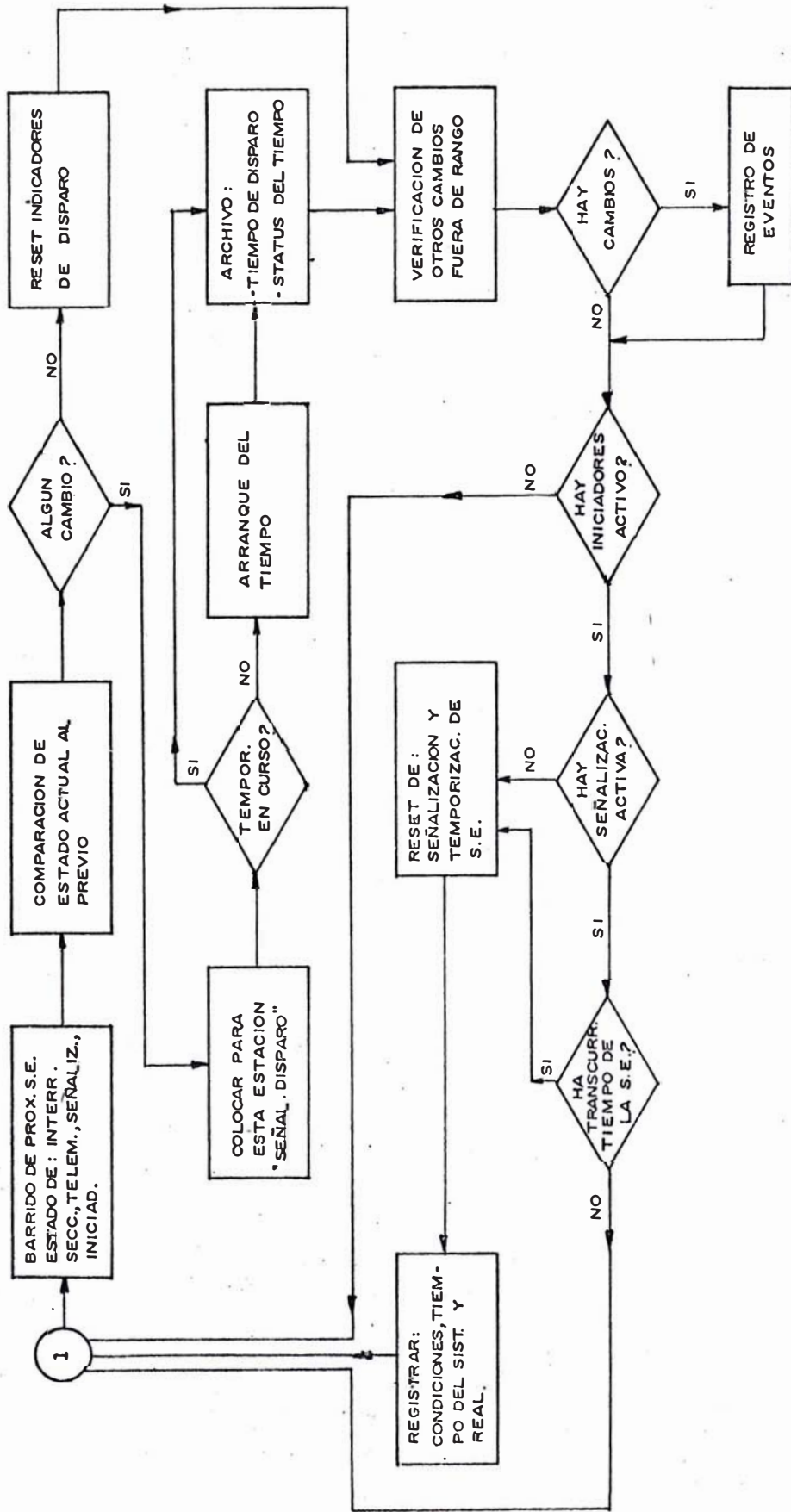
3.1.1.3.-Registro de las Actuaciones de Relés

Esto es sólo una extensión del propósito básico de todo sistema de adquisición de datos, registro de eventos. La diferencia aquí es la cantidad de los dispositivos controlados. Es sólo recientemente posible que el costo por punto sea razonable, con los sistemas llevados por computadora.

El proceso de seguimiento simple sería innecesariamente muy lento y que el seguimiento de los datos más críticos, especialmente durante situaciones de perturbaciones, y la velocidad de seguimiento es lo más importante. El programa propuesto, por lo tanto, utiliza una rutina en la cual pospone la información de los registros de actuación, hasta que los disparos y otros datos críticos de las demás subestaciones hayan sido registrados. Esta postergación se acaba cuando ya no se presentan disturbios en el sistema durante un ciclo completo de seguimiento (rastreo) o por un lapso de tiempo predeterminado después de la llegada de dicha información. La información de señalización, es entonces seguida en las estaciones afectadas y registradas con una prioridad baja.

El diagrama de flujo es revisado mejor a través de un ejemplo. Asumiendo que una falla temporal ocurre entre las S.E. A y B. El Disparo, señalización y teledada fuera de rango se presentarán. En segundos, otras operaciones ocurren, tal como recierre o seccionamiento accionados a motor, operando cuando la computadora central detecta un disparo, este colocará una Bandera de Disparo, significando que un disparo fue detectado en este ciclo. Aquí también se tendrá una bandera de señalización para indicar que la S.E. remota debe ser seguida para tomar los eventos en los registros, si es que no está ya en comunicación. Los disparos son registrados con tiempo y status actual, luego otros cambios de estado y telemetría fuera de rango. Después, se verifican los señalizadores de los relés. Como los señalizadores están activados, la verificación es hecha para saber si alguna señalización de disparo está activa.

DIAGRAMA DE FLUJO - REGISTRO DE LAS ACTUACIONES DE RELES



Desde que una señalización de disparo está activada para esta S.E., no se puede iniciar un nuevo lazo de seguimiento. La verificación del Timer mostrará que él está aún activado, siendo posible proceder con un seguimiento de la siguiente estación.

Eventualmente, el seguimiento puede llegar a la estación en el momento que una cadena de eventos está ocurriendo, ambos indicadores de arranque y disparo estarán activados ahora. En el segundo barrido de la Estación A, asumiremos que no se han presentado cambios de estado; entonces nosotros desactivaremos los indicadores de disparo de A, pero los indicadores de disparo de B están activados. Si nosotros también asumimos que el temporizador de A no ha terminado su tiempo, el rastreo de otras estaciones pueden continuar. Si la Estación B tampoco tiene cambios de estado cuando es rastreada y ninguna otra señal de disparo está activada, entonces ambas estaciones, A y B, pueden ser rastreadas y su información será registrada.

Similarmente si un tiempo se cumple, aunque algunas estaciones tengan indicadores de disparo activo, se cambian las prioridades y los iniciadores o relés de arranque son interrogados y registrados.

Ver figura No 4.

3.1.1.4.-Programa de Estimación de Estado

Un programa de estimación de estado usa la configuración del sistema de potencia ya conocido y sus características y los valores medidos del sistema de adquisición de datos para proveer un modelo adecuado del sistema de potencia. Este modelo viene ser un caso base para la mayoría de casos de estudio posterior, tal como contingencias ,de flujo de potencia y estabilidad del sistema.

Este programa hace posible el verificar y corregir los datos de medida que llegan. Otro valor importante es que el mínimo de los sistemas actuales de medida pueden ser reducidos algo desde que ellos pueden ser exactamente calculados desde otras medidas ya tomadas.

El estimador de estado está continuamente actualizado por las medidas y los cambios de la configuración de estado. Con estas entradas, el modelo del sistema es mantenido al día. Sin embargo, puede ser deseable substituir algunos valores de algunas lectoras para otras configuraciones, para observar de una manera productiva que podría pasar para el sistema. Estos cambios podrían ser llevados a cabo por una variedad de razones, tales como flujo de carga, estabilidad del sistema y análisis transitorio.

3.1.1.5.-Recomendación de Procedimientos de Operación

Los resultados de la estimación de estado del sistema son usados como base de datos por un programa de recomendación de procedimientos. El sistema en su estado actual es probado para sus efectos de las desconexiones programadas contenidas en una lista de estudios "A". Esta lista es confeccionada por los requerimientos de estudios especiales hecho por el operador, desconexiones programadas de mantenimiento y listas de contingencias hechas de acuerdo a los criterios de operación del sistema.

Por ejemplo, el criterio puede consistir simplemente de una contingencia sola o puede ser un juego de consideraciones complejo .

Todos los casos de la lista "A" serán probados para sus efectos por un programa de cobertura.

Este es un programa de evaluación de contingencias rápido pero aproximado, usado para simular contingencias. Basado en el conocimiento de las inexactitudes del programa de cobertura se preparará una segunda lista "B". Esta lista contiene aquellos casos, los cuales son suficientemente serios que necesitan una evaluación más exacta para el programa de contingencias.

Aquellos casos de contingencias que producen condiciones del sistema inaceptables predichas en el programa de contingencia serán agrupados en 2 tipos.

Tipo 1 : Aquellas que son consideradas catastróficas. Las que deben ser evitadas. Si es posible hacerlo, tomando acciones correctivas sobre el estado actual del sistema.

Tipo 2 : Son aquellas que permiten su corrección después de ocurridas. Desviaciones desde el estado actual de operación podrían no ser justificables para prevenir la ocurrencia de las contingencias de este tipo.

3.1.1.6.-Estudio Automático de Fallas y Calibración de Relés

Estudios de falla hechos automáticamente y cálculo de las calibraciones de relés son casos especiales de recomendaciones de operación. Estos programas podrían involucrar muchos estudios de áreas relativamente pequeñas del sistema. Un número limitado podría trabajar automáticamente en la vecindad de cualquier falla o cambio del sistema. Estos podrían correr a pedido del operador para cualquier cambio propuesto del sistema. Sería deseable correrlo en forma periódica para todo el sistema.

Algunos usos específicos del estudio automático de fallas están listados como sigue :

- a. Automáticamente : Cambios de estado y carga de generación iniciarán un chequeo de cualquier interruptor puede tener su rating de interrupción excedido.
- b. A pedido, podría listarse las corrientes y tensiones para cualquier falla potencial. Esto probablemente podría ser usado donde estudios fuera del servicio son hechos a menudo.
- c. A pedido, tiempos de coordinación y tiempo total de eliminación de fallas por cada falla puede ser listada. Esto sería valioso para determinar los riesgos que se toman en casos de conexión anormal de las líneas por razones de mantenimiento o emergencia.

Sería necesario especificar la ubicación de la falla y los relés que son considerados hábiles. Esto sería necesario indicar si las condiciones del sistema son diferentes a las existentes en ese momento.

Cálculos de las calibraciones para relés y recomendaciones están muy relacionadas a lo anterior. Esto podría ser una extensión de los programas requeridos manualmente de verificación de coordinación.

- d. Evaluar los cambios de configuración para determinar los lugares que requieren ser verificados, si fuera necesario.
- e. Verificar las coordinaciones de los relés de fase con las nuevas configuraciones del sistema.
- f. Calcular las nuevas calibraciones para la coordinación adecuada, de los lugares requeridos.

FIGURA No 5
ESTUDIOS AUTOMATICOS DE FALLAS Y CALIBRACION DE RELES

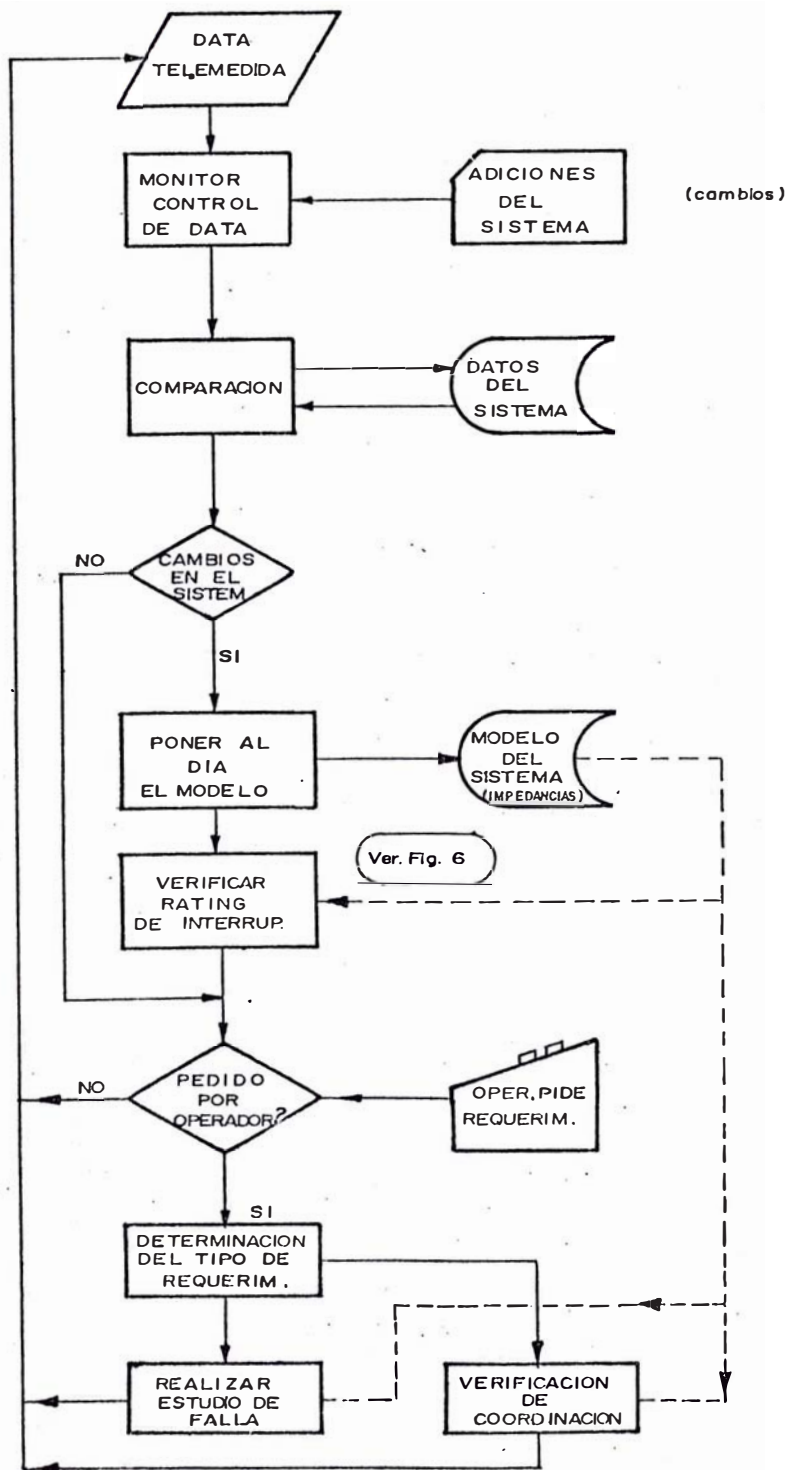


FIGURA No 6
VERIFICACION DE LA CAPACIDAD DE LOS INTERRUPTORES

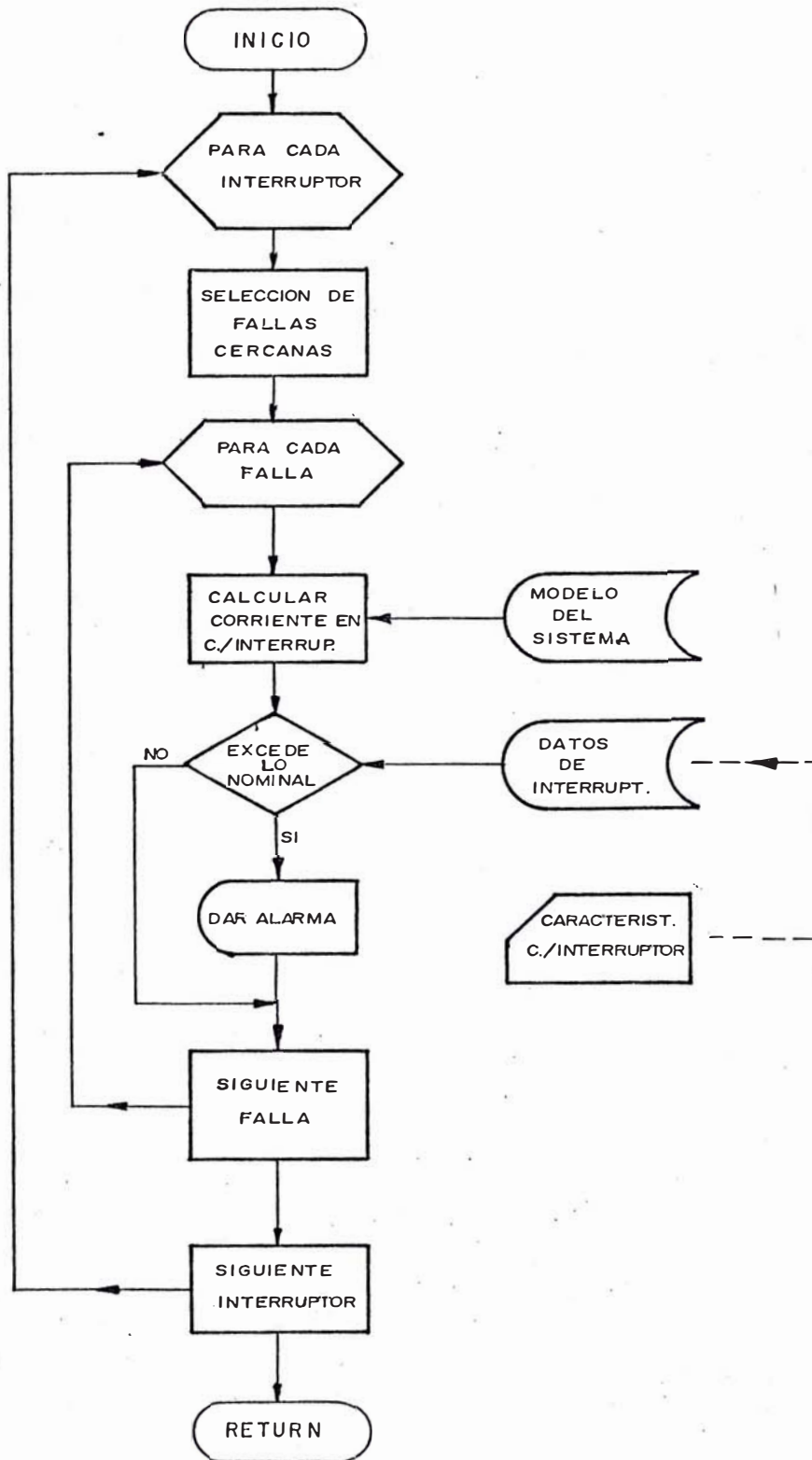


FIGURA No 7
REALIZAR ESTUDIO DE FALLA

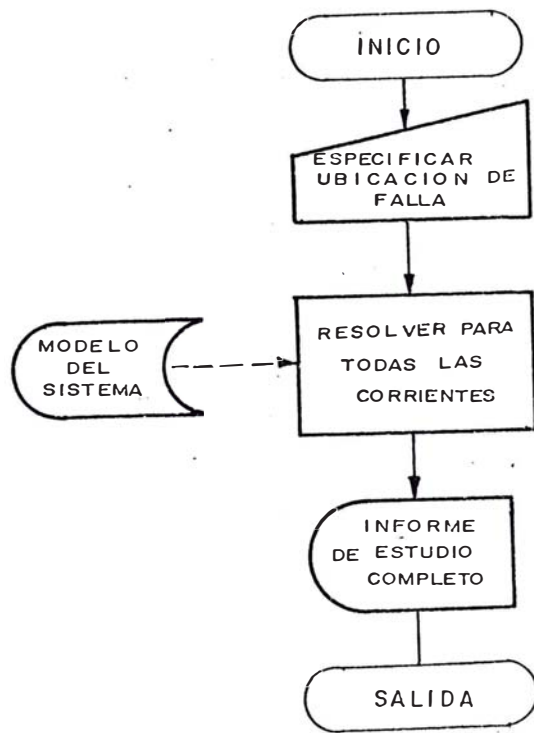


FIGURA No 8
VERIFICACION DE LA COORDINACION

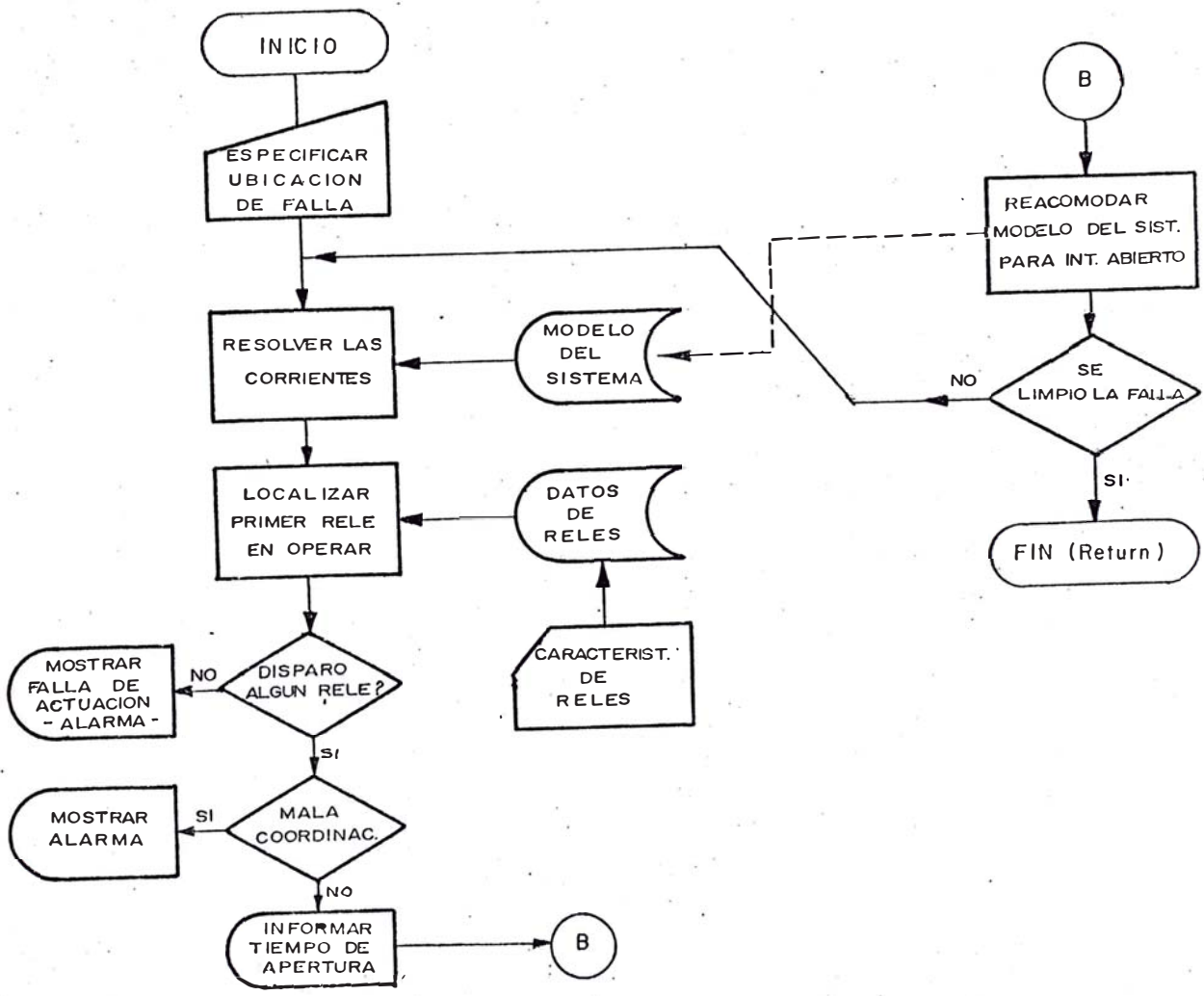


FIGURA No 9 A
ESTUDIOS AUTOMATICOS Y CALIBRACION DE RELES

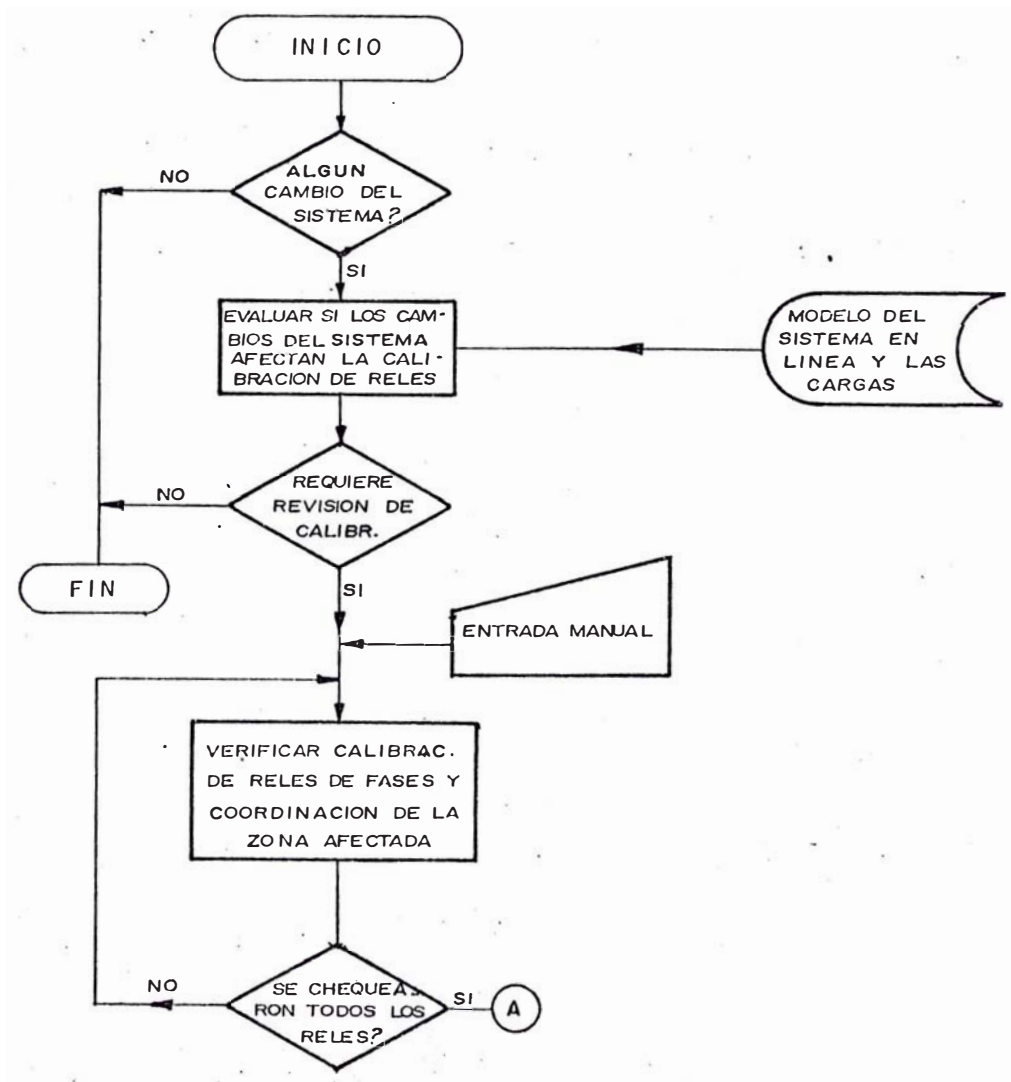
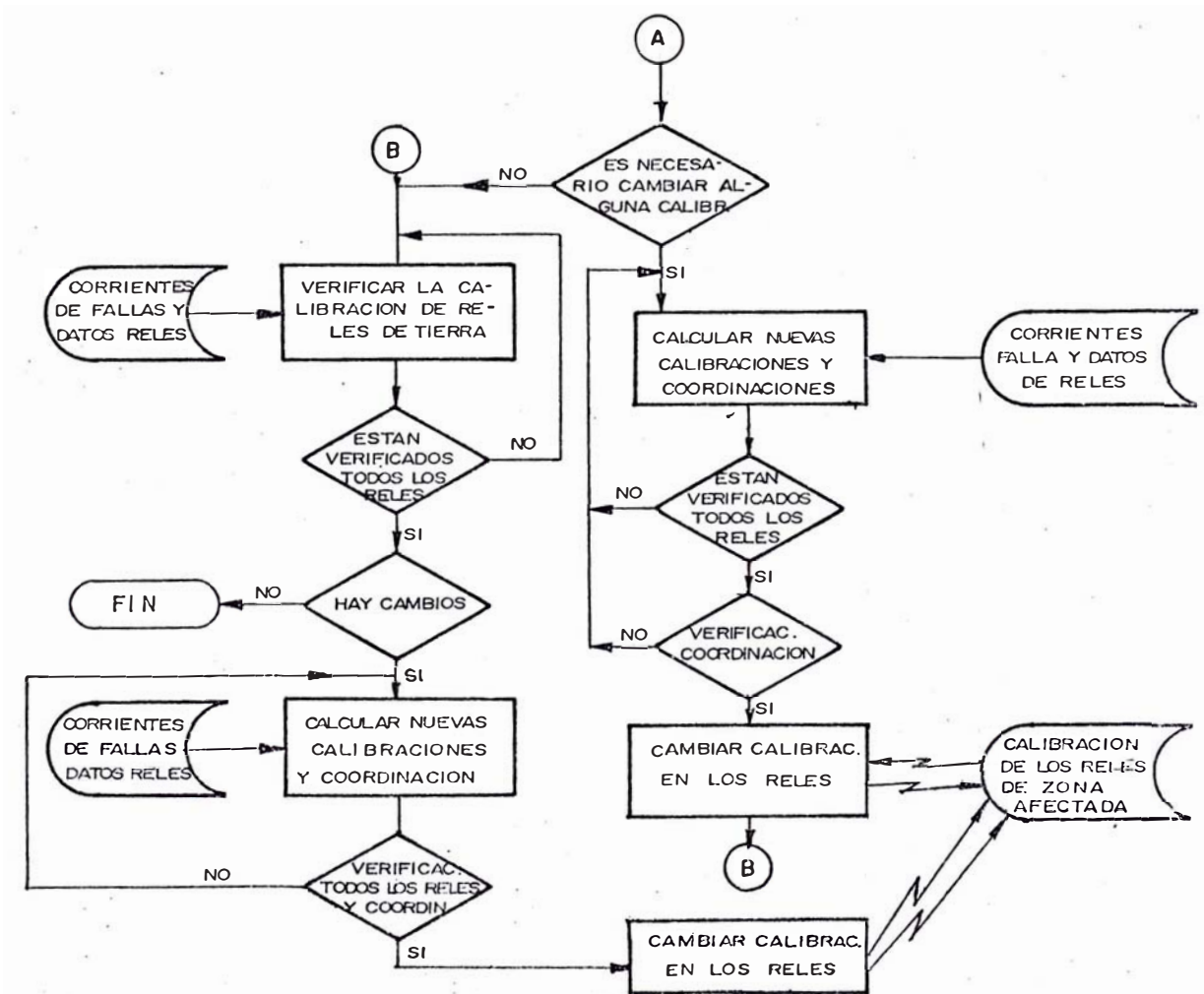


FIGURA No 9 B
ESTUDIOS AUTOMATICOS Y CALIBRACION DE RELES

(viene de pag. 39)



- g. Verificar las calibraciones de los relés de tierra bajo las nuevas configuraciones y nuevas condiciones de operación.
- h. Calcular las calibraciones de relés de tierra, donde fuera requerido.
- 1. Emitir (copia impresa) de los cambios requeridos en las calibraciones de los relés de fase y de tierra sobre prioridad en base a :
 - (1) Crítico
 - (2) No Crítico
- Diagnosticos que pueden ser incluidos para explicar el impacto posible de las nuevas calibraciones en el nuevo sistema si ocurriera una falla subsecuente, la cual podría ser una segunda o tercera contingencia del sistema original, antes y después que los cambios de calibración sean aplicados.
- j. Actualizar la base de datos de la calibración de los relés inmediatamente que las calibraciones sean aplicadas.
- k. La base de datos del sistema debe incluir tres categorías principales para calcular las calibraciones de los relés :

- (3) Fabricante del relé - nomenclatura del relé, tipo, número del modelo, rango, característica polinómica o tabla de bloqueo para cada modelo usado en el sistema.
- (4) Asignamiento de relés por estación, dispositivos de interrupción, relación de los transformadores de tensión, corriente, calibración actual.
- (5) Ultimo estudio de fallas

El programa de calibraciones podría seleccionar el valor de arranque, punto de calibración y chequeo, basados en los criterios de coordinación y determinar los valores apropiados para los relés de fase, tierra u otros asignados a cada interruptor en cada subestación.

3.1.1.7.-Monitoreo de la Estabilidad del Sistema de Potencia

El monitoreo de la estabilidad de estado estable y de estado transitorio involucra las mediciones "en-línea" de las cantidades eléctricas del sistema de potencia, las cuales son indicativas de la estabilidad relativa del sistema de potencia. Estas mediciones podrían venir desde el estimador de estado si existe. Si es necesario, los datos primarios del sistema de adquisición de datos podrían ser usados, ver Figura No. 10

Una indicación general de la estabilidad del sistema puede ser inferida de las cantidades básicas, tales como frecuencia del sistema, de los voltajes de barra, flujo en líneas de enlace y flujo de las líneas importantes.

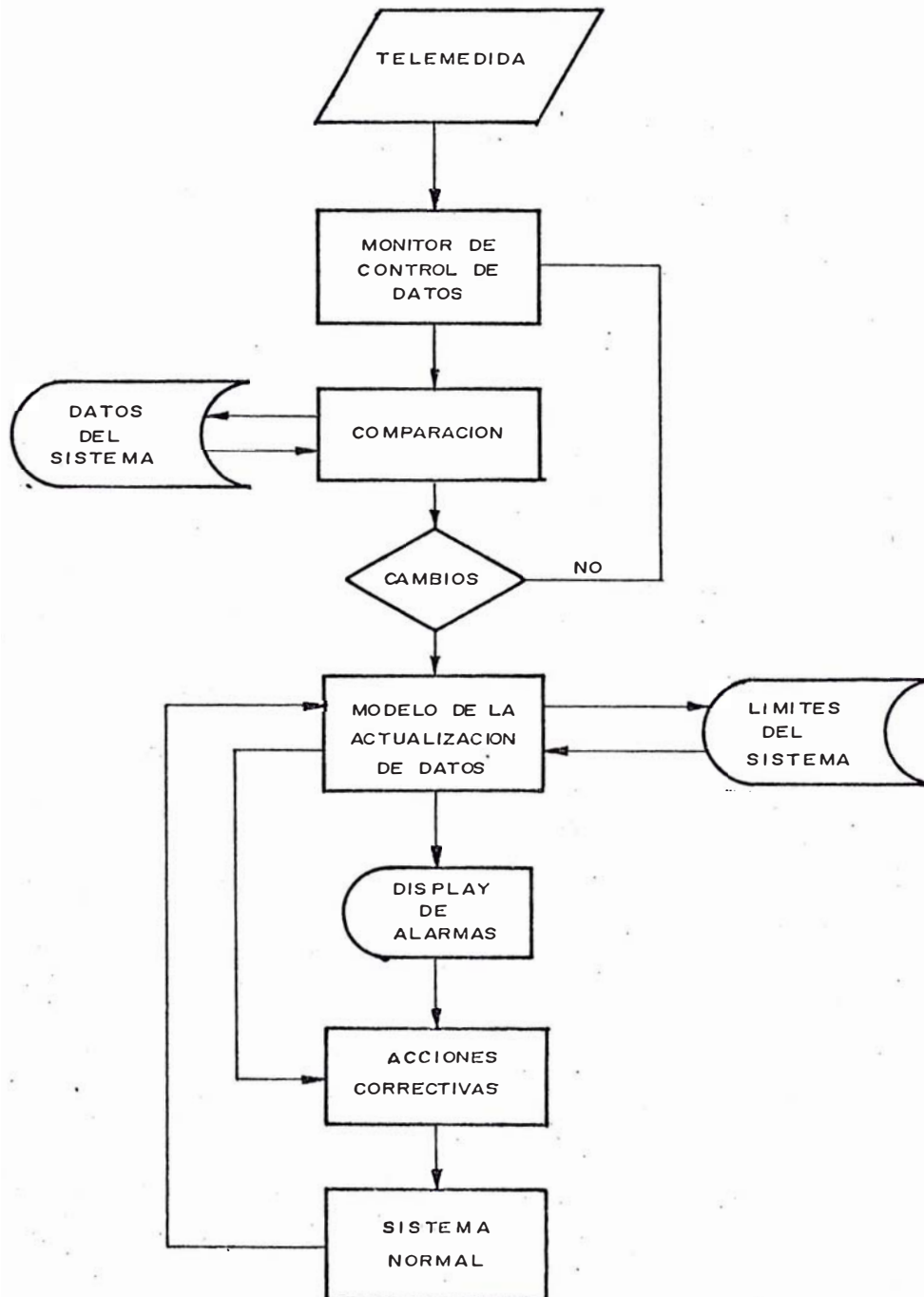
La velocidad de rastreo de 1 ó 2 segundos son adecuados. Estos valores están usualmente disponibles en los centros de operación para otros propósitos.

El computador central monitorea estos valores para detectar condiciones anormales.

Mediciones de las diferencias del ángulo de fase de las principales barras del sistema podrían ser también indicativas de los márgenes de seguridad. Sin embargo, esto no ha sido usado hasta la fecha, debido a que estos valores de ángulo tendrían que medirse, transmitirse y recibirse en forma sincronizada. Lo cual es físicamente imposible principalmente por las comunicaciones. Pues demandaría muchos canales de transmisión, que no están a disposición de las compañías de Electricidad. Además que los tiempos de propagación de las comunicaciones no serían iguales desde cada una de las S.E. remotas hasta el Centro de Control.

Si se desea asegurar la estabilidad mediante el mantenimiento de las condiciones del sistema dentro de límites máximos de operación previamente establecidos, se requiere la información completa sobre las cargas del sistema de transmisión.

FIGURA No 10
MONITOREO DE LA ESTABILIDAD DE ESTADO ESTABLE



Los flujos de las líneas y otras condiciones de operación son chequeadas contra los límites establecidos. La desventaja de tal sistema es que los límites de operación están fijos, basados en estudios no "en-línea", pero los límites actuales pueden cambiar como cambian las condiciones de carga. Un esquema puede por lo tanto, incluir los cálculos necesarios en forma automática de los límites de operación nuevos "en-línea" como cambian las cargas del sistema.

Algunos usuarios pueden desear evaluar las contingencias del sistema en condiciones de operación. El propósito es determinar cuando el sistema puede soportar las contingencias postuladas sin interrumpir el servicio, apertura de otras líneas o sobrecargas excesivas. Las contingencias comunmente incluyen :

- Pérdida de generación
- Pérdida de una línea, transformador o sección de barra
- u otros disturbios seleccionados por el operador

Un estudio de contingencia usa la salida del estimador de estados como condición de operación inicial. Si es necesario verificar las condiciones transitorias y de estado estable durante y después de un disturbio, es necesario proveer las capacidades computacionales para efectuar estudios de estabilidad y flujo de potencia a gran velocidad. Si se desea tan sólo verificar la estabilidad de estado estable sería suficiente tener la capacidad de resolver el problema del Flujo de Potencia del Sistema fuera de Línea.

Si una condición insegura es detectada, puede no ser evidente que la acción a ser tomada podría aliviar la situación. Las acciones correctivas posibles son :

- Cambio del esquema de generación
- Arranque de generación adicional
- Revisión del intercambio de energía
- Reposición de sistemas o líneas fuera de servicio
- Reducción de carga
- Otras.

La efectividad de las acciones correctivas propuestas pueden ser verificadas para las nuevas condiciones del sistema pre-disturbio con el programa de flujo de potencia y repitiendo el estudio de contingencia para determinar si la condición será corregida.

El computador central puede también ser usado para evaluar la seguridad de una condición de operación futura mediante el uso de cargas pronosticadas, programación de generación y despacho, intercambios de energía, salidas de líneas de transmisión programadas para proveer los datos de entrada. Los efectos de las contingencias son entonces determinados como se indicó antes.

Las capacidades computacionales requeridas para el análisis de seguridad pueden ser provistas de manera digital o en forma híbrida, dependiendo del costo, basados en la velocidad requerida para la solución y tener alternativas a tiempo.

Pero si esto es utilizado para el monitoreo y el control automático, las velocidades de rastreo tendrían que ser más altas, como la inestabilidad puede ocurrir en el primer medio segundo de ocurrida la falla. No hay esquemas de control de estabilidad centralizado en uso por el momento, principalmente porque el control local en las plantas de generación están realizados en forma efectiva. Aún si el control centralizado ofreciera ventajas la velocidad requerida de respuesta representa un reto formidable pues las comunicaciones son muy lentas.

3.1.1.8.-Acciones Correctivas para Problemas de Estabilidad

Figuras Nos. 11, 12 y 13

El rechazo de carga por relés de mínima frecuencia ha sido generalmente aceptado como una defensa de emergencia contra el colapso completo.

La instalación de la computadora central ofrece al menos la posibilidad de tomar pasos correctivos antes que cualquier segregación del sistema tenga lugar. Allí hay al menos dos posibles formas de actuar por el computador central.

- a. Cálculos para predecir el comportamiento del sistema en caso de que ocurrieran ciertas contingencias asumidas.
- b. Monitoreo de variables claves seleccionadas (cargas en las grandes líneas y tal vez otras) intervalos frecuentes, basando las acciones según los cambios de estas variables.

La primera trata de proveer una respuesta más exacta a una pregunta hipotética : Qué podría ocurrir si?

La segunda trata de dar una predicción, con sólo una certeza moderada, la probabilidad de impedir problemas. Dependiendo de varios factores, cualquiera o ambos pueden ser adoptados. Estos serán discutidos en dicho orden.

Es ya una práctica común en los estudios de planeamiento el simular varias contingencias, usando un modelo digital de computadora del sistema de potencia. El asunto es, justificar el banco de memoria necesario, tiempo de computadora, facilidades de datos para la evaluación de las posibles contingencias.

Para alcanzar una confianza razonable de sus predicciones, el modelo debe ser mantenido al día. Más aún, las características dinámicas de las cargas deben ser simuladas con razonable precisión.

Entonces, es cuestión de que acción tomar. Conocer que la pérdida de cierto enlace podría llevar a consecuencias serias no sería útil, si no ocurre : c) y d)

- c. El margen de reacción se incrementa por una acción del operador
- d. Medidas compensatorias puedan ser tomadas si la contingencia ocurre

Dado que el programa requerido es complejo, puede ser peligroso el incluir medidas correctivas sin la intervención del operador.

Si la información disponible fueran tales como las potencias y su razón de cambio en las relativas pocas líneas de interconexión principales si podría ser muy útil. Estas podrían ser los enlaces mayores en centros de carga importantes, probablemente una área metropolitana. Si el resultado fuera indicar que más de uno de tales enlaces parecen estar sobrecargados, serían activados avisos para tomar acciones correctivas .

En orden de seriedad (de menos a más)

- a. Sonar alarma para cambios en el despacho
- b. Arrancar generadores de emergencia
- c. Rechazar cargas

Estas aproximaciones son más fáciles de programar y podrían ocupar menos memoria de la computadora que la aproximación mencionada antes. Indudablemente, allí debe haber un buen juicio para saber si hay una ganancia real en la confiabilidad del servicio .

FIGURA No 11
ACCIONES CORRECTIVAS PARA PROBLEMAS DE ESTABILIDAD
AUTOMATICO POR PROGRAMA

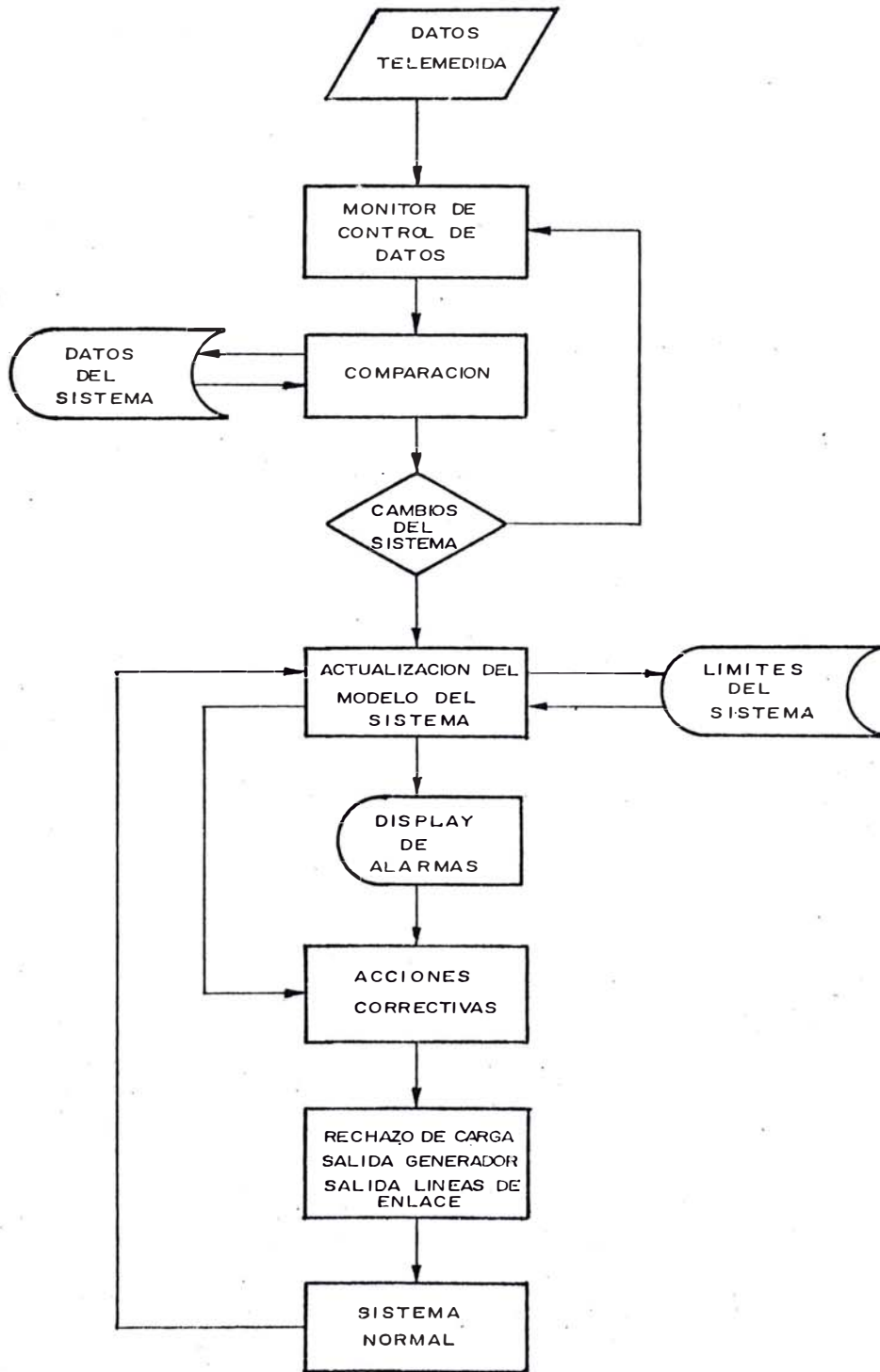


FIGURA No 12
SEPARACION CONTROLADA PARA CONDICIONES DE PERDIDA DE SINCRONISMO
ACCIONES POR OPERADOR

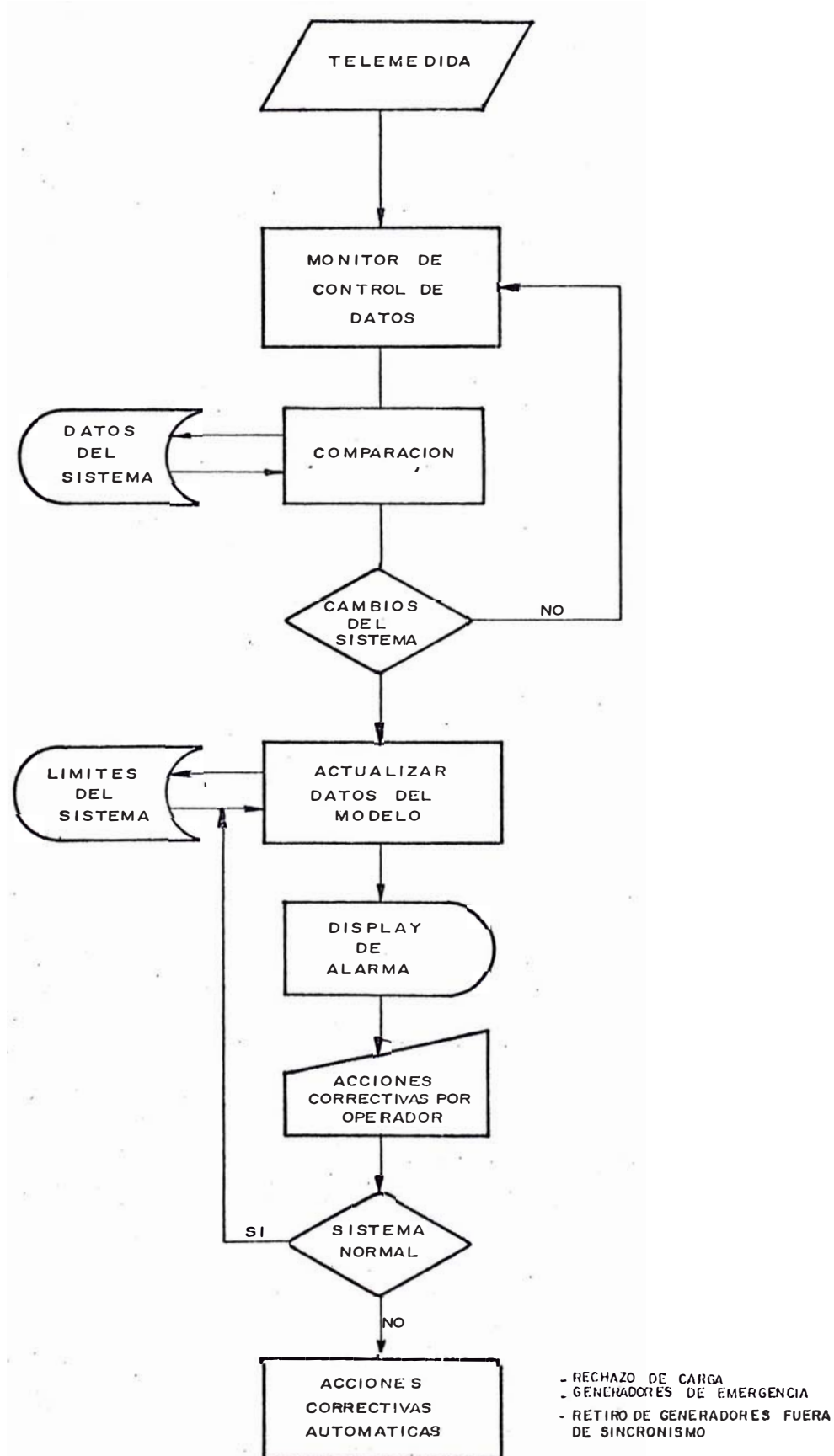
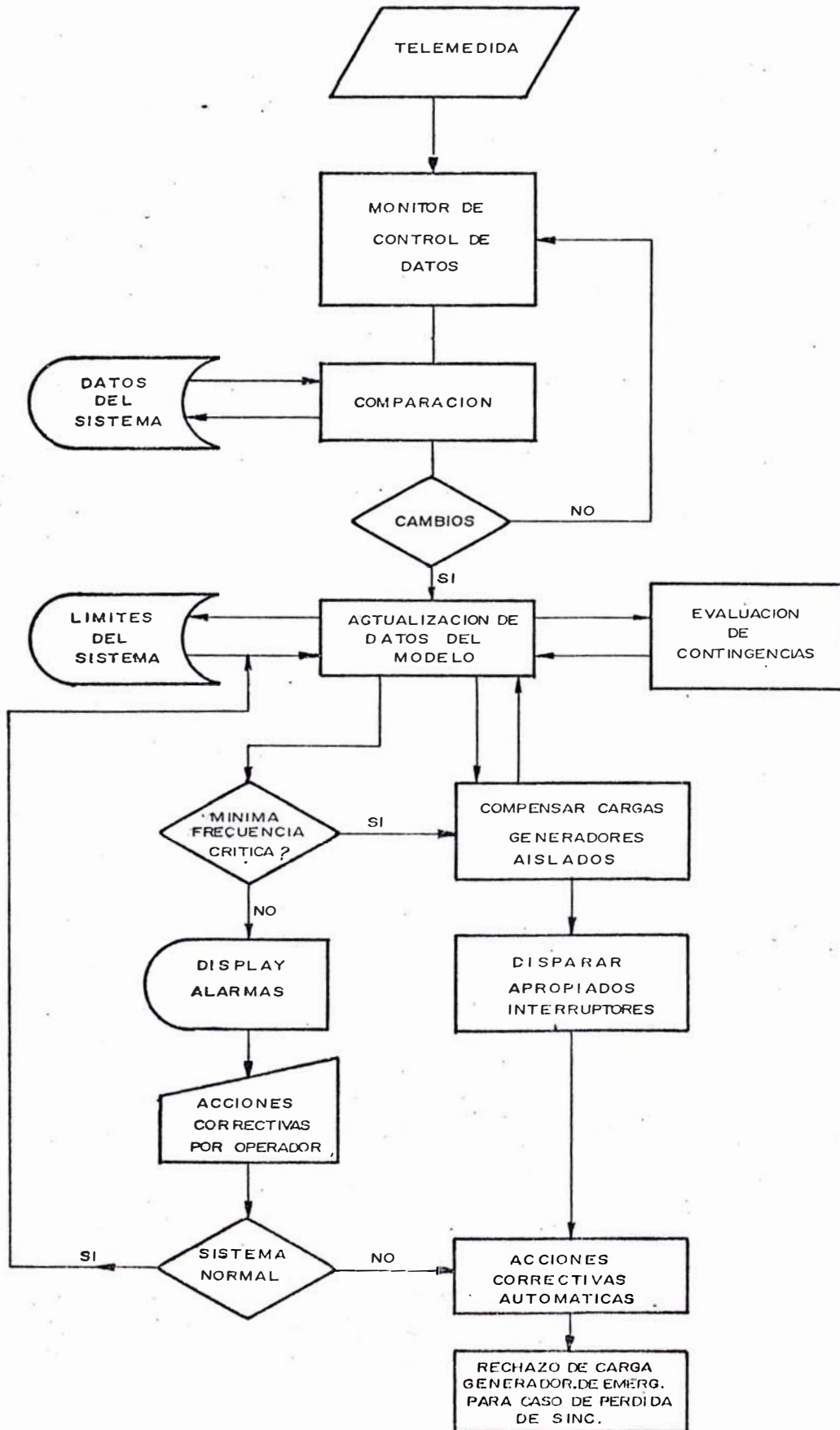


FIGURA No 13
COMPENSACION DE CARGAS - GENERACION EN AREAS AISLADAS
ACCION MANUAL ,SUPERVISADA POR PROGRAMA



Pero el esfuerzo requerido para dar, por lo menos, una alarma no parece muy grande, pero el problema sigue siendo las Comunicaciones. Más confianza podría ser ganada con la experiencia.

La concordancia de cargas está asociada con el concepto de aislamiento de redes en el Rechazo de carga. Por el aislamiento de un generador, una compañía puede asegurar la disponibilidad de una máquina para restaurar el sistema, después que una contingencia catastrófica causó un apagón total. Un decaimiento sostenido de la frecuencia, generalmente significa una catástrofe que se viene e inicia el programa de rechazo de carga con datos del flujo de potencia al momento que la computadora central puede decidir lógicamente donde particionar la carga, de manera tal que el generador aislado no quede atrapado y tenga la capacidad de reserva para restablecer el sistema principal.

3.1.2.-Funciones de Despacho

El control automático de generación y el despacho económico son dos funciones primarias de despacho cuya habilidad de proveer grandes ahorros a través de costos de generación ya ha justificado el gasto de los computadores centrales.

3.1.2.1.-Control Automático de Generación

Provee los ajustes incrementales a cada gobernador del generador para adecuarse a las condiciones del sistema. Estos cambios de carga son determinados por la medición de las variaciones de frecuencia y eliminando los errores del sistema. (Ejemplo : La diferencia entre la carga medida y la generación)

El porcentaje de participación para cada máquina será establecido por el programa de despacho económico.

3.1.2.2.-Despacho Económico

Este programa provee el uso económico óptimo del sistema de generadores para los incrementos diarios de carga. Los costos de combustible son ajustados según ocurren estos y un estudio completo de la participación de los generadores, cargas de base, etc. son hechos para todos los niveles de carga. Estos resultados son integrados dentro del programa carga-frecuencia y usado para alcanzar los costos operativos mínimos.

3.1.2.3.-General

La mayoría de las otras funciones de despacho son selectivamente usadas por las compañías en un modo fuera de línea. El camino, sin embargo, debería ser hacia un uso más amplio "en-línea" sobre una base de baja prioridad o a través de computadores periféricos "en-línea".

Programas y diagramas de flujo para la mayoría de funciones enumeradas están disponibles a través de varias compañías usuarias o fabricantes de computadoras.

Las funciones de control y protección descritas y dictadas por la experiencia son enteramente factibles con la tecnología presente y aceptadas por las compañías. Estas son sólo una porción del trabajo que una computadora central puede hacer. El desarrollo del mañana para las funciones de control y protección y las funciones de despacho acopladas a éstas en computadores en las subestaciones y un sistema veloz de comunicación nos llevarán a una compañía operada por una computadora completamente autónoma y auto-verificada en el futuro.

Por el momento en el Perú los sistemas de comunicaciones entre las Centrales y subestaciones son muy débiles y el monto a **invertir** en la situación actual, con precios basados en tecnologías no basadas en microprocesadores son prohibitivas.

CAPITULO 4

DESCRIPCION DEL SISTEMA DE PROTECCION BASADO EN MICROPROCESADOR

4.1.-Adquisición de Datos

Para que el sistema descrito, cualquiera de ellos, cumpla con lo especificado, la mayor dificultad estriba en la adquisición de los datos del sistema a controlar y su conversión adecuada para que entrando al mundo digital mantenga su rango y precisión, a continuación se describe los requisitos que deben cumplir los convertidores análogo/digital y la adecuación de las señales y su sincronización para conseguir un sistema coherente en el tiempo para cumplir con la misión especificada como :

Vigilar las magnitudes eléctricas presentes en un sistema de potencia para fines de protección y adquisición de datos en subestaciones. Una extensión de éstas se usaría para incluir señalización y alarma en plantas generadoras térmicas o hidráulicas, así como también mando secuencial semi-automático de control para arranque y parada de equipos en las centrales.

4.1.1.-Convertidores Análogo/Digital para Voltaje ,Corriente y Potencia

Para los propósitos buscados en el presente trabajo es suficiente contar con una medida del valor eficaz de la forma de onda sinusoidal de la tensión y corriente, para lo cual utilizaremos un circuito llamado conversor de potencia por división en el tiempo que fue planteado en 1952 por E.A. Goldberg , pero que la literatura no le dió buenos augurios y su difusión estuvo restringida, pero que un estudio reciente de simulación en computadora y la verificación de un convertidor comercial actual basado en dicha técnica ha demostrado que tiene una lectura muy

exacta, buena linealidad, estabilidad y repetitividad en las mediciones, su única desventaja en forma general es para nuestro caso una magnífica característica, pues tiene un ancho de banda angosto que sirve a su vez de filtro para las frecuencias altas (armónicas y ruido).

Bajo condiciones de 60 Hz, 5A, 120V el error es tan pequeño como 50 ppm (partes por millón) (0.005% : 5 milésimos por ciento).

Este conversor de potencia por división en el tiempo usa la técnica de modulación por duración del pulso, para obtener un producto. Si la altura del pulso es proporcional a una magnitud y el ancho es proporcional a la otra, entonces el valor promedio puede ser interpretado como una muestra instantánea del producto. El valor promediado del tren de pulsos en la salida es proporcional a la potencia activa instantánea. De esta manera tampoco será necesario un circuito de sincronización entre las muestras de manera rigurosa para la medición del valor eficaz del voltaje o de la corriente.

El circuito entregará su salida proporcional al valor eficaz, al circuito convertidor análogo-digital, el cual siendo de 8 bits, recibe una tensión análoga entre 0 y 10 voltios cuya magnitud es directamente proporcional al valor eficaz de la señal a medir, con un rango de voltaje de 0 a 2 veces la tensión nominal.

En el rango de voltaje:

| | |
|-----|-------------------------|
| 0v | 0 (voltios) |
| 5v | U nominal (voltios) |
| 10v | 2 x U nominal (voltios) |

En el rango de corriente :

| | |
|-----|----------------|
| 0v | 0 (amperios) |
| 5v | 5 x I nominal |
| 10v | 10 x I nominal |

De esta manera estamos de acuerdo a los rangos y cifras de sobrecarga permanentes exigidas para los relés e instrumentos.

La conversión análoga/digital se iniciará ante un pulso "inicio de conversión", convirtiendo la lectura análoga a una palabra de 8 bits de acuerdo con la ley Mu usada en telefonía para la digitalización de la señal de voz, obtendremos de esta forma una precisión correspondiente a 0.7% a media escala del primer segmento para 0 a 2 veces la corriente y una precisión de 0.5% a media escala del segundo segmento, como trabajaremos generalmente en el rango del primer segmento se aprovecha mejor el número de bits disponible pues asignamos los primeros 7 bits al primer segmento (128 posibles valores) e igualmente 128 posibles valores al segundo segmento.

En el caso de los conversores de voltaje se puede efectuar similar esquema, por razones de fabricación y reemplazo al ser similares a los de corriente en valores de entrada. Pero puede también tener su propia pendiente, en este caso usaremos la misma ley para ambos conversores.

La conexión de esta parte del circuito al resto del sistema del microprocesador deberá ser realizada con optoacopladores a la barra (bus) de control y a la barra de datos.

Líneas de control : Se preveen las siguientes senales de control al sistema de conversión:

- Reloj (clock) de 4 KHz
- Muestro/Inicio de conversión
- Reset

4.1.2.-Convertidores para Frecuencia

Para los convertidores de frecuencia a señal digitalizada usaremos un artificio, con un detector de pase por cero sensaremos una fracción del voltaje, por ejemplo 5 V.pp y controlaremos con estos pulsos a una memoria flip-flop, su salida dará una onda cuadrada con la cual controlaremos la descarga de un condensador desde una tensión de referencia a través de un switch electrónico, de manera que el voltaje residual en el condensador pueda asumirse como una aproximación lineal entre el rango de 6.6 ms a 10 ms, siendo su punto medio 8.333 ms correspondiente a la mitad del valor del voltaje inicial (frecuencia nominal = 60 hz) el cual se compara a una fuente regulada que tiene el valor de referencia ,con estas señales se alimentará un amplificador operacional cuya salida será muestreada y mantenida para su conversión análoga/digital.

4.1.3.-Convertidores de desfasaje

Para los convertidores del desfasaje entre tensión y corriente se utilizará una frecuencia de manera que sirva de reloj tal que el desfasaje máximo posible: +/- 90 grados se codifique entre 0 y 255, correspondiendo para inductivo de 0 a 127 y capacitivo 128 a 255, correspondiendo al 127:f.p.=0 (90 gr.ind.) y 128:f.p.=0 (90 gr.cap.), esto no resulta contraproducente sino al contrario pues los circuitos siempre tienen una componente resistiva lo que impedirá que por error de conversión (1/2 bit) tengamos lecturas inductivas en lugar de capacitivas o viceversa.

4.2.-Magnitudes Eléctricas Necesarias para la Protección

Las señales analógicas presentes en una red eléctrica que nos permiten discriminar el estado de la misma entre situación normal o situación con falla son :

- El voltaje de cada fase (valor eficaz)
- La corriente de cada fase (valor eficaz)
- El desfasaje entre ellos
- La frecuencia de la red

con estos valores se puede generar cualquiera de las relaciones indicadas en el Capítulo 1, necesarias para los comparadores, en magnitud o en fase. Más aún las protecciones por medición de la impedancia son muy fáciles de implementar eliminando la necesidad de impedancias incorporadas para simular la línea o cable a proteger pues se realizará por software.

A continuación se tratará los problemas que se enfrentarán los circuitos electrónicos encargados de la adquisición de datos, así como una preselección recomendada para los componentes individuales

4.3.-Selección de Componentes y Diseño Electromecánico

La especificación de los componentes así como su funcionalidad, relación entre ellos y conexiones son de importancia capital. Debido a la gran versatilidad de la tecnología de los circuitos electrónicos existe una gran variedad de opciones para las etapas de desarrollo, por lo que es necesario efectuar una evaluación exhaustiva para eliminar las deficiencias en configuraciones simples o complejas y es el Ingeniero de Desarrollo y Protección quien con la debida orientación en el campo del microprocesador, la electrónica y del campo de la protección de sistemas de potencia trabaje para tener diseños bien coordinados.

Los tipos de componentes recomendables son los siguientes :

4.3.1.-Resistencias

Las que son de valores fijos tienen una tasa de falla de 0.1 a 0.4 veces en un millón de horas de trabajo.

Las de tipo metal-oxide y la de film metálico dan la precisión

y confiabilidad más deseadas.

Mientras que las de alambre enrollado son susceptibles a fallas por circuito abierto para valores ohmicos altos, por la finura del hilo conductor. Pero se pueden usar hasta de 3000 ohmios cuando el requerimiento de potencia disipada es alto. Más seguridad se alcanza si son cubiertas con pintura vitrea (vitreous enamel) para prevenir daño mecánico o corrosión electrolítica.

Las resistencias de carbón son adecuadas para el rango 100 a 100 kilohmios y las tolerancias de 2% de incremento en su valor debido a envejecimiento y de 0.17% por temperatura son tolerables en los circuitos.

Las resistencias de carbón partido no son recomendables por el riesgo de circuito abierto.

4.3.2.-Potenciómetros

Son los elementos con la más alta tasa de fallas : 40 veces por millón de horas de trabajo, puesto que los relés electromecánicos y estáticos hacen uso muy extensivo de estos componentes, tanto en los circuitos de alta corriente, como en los auxiliares y los de baja corriente, son estos aparatos propensos a fallas, obligando a los fabricantes a colocar elementos con un factor de seguridad de 4 ó más en la capacidad nominal del componente y la necesaria en dicha parte del circuito. Debemos notar también que estos componentes requieren de mantenimiento y la verificación periódica de sus características.

En nuestra aplicación será un objetivo disminuir a lo mínimo requerido el número de potenciómetros y se usarán del tipo de carbón pero sellados; para evitar el ingreso de polvo.

4.3.3.-Transistores y Diodos

Estos componentes son de larga vida pero susceptibles a falla por perforación debido a picos de tensión, por lo que serán protegidos por filtros Pasa-bajos en todos sus terminales.

La aplicación de la soldadura en sus terminales debe ser realizada de manera que no permita la elevación de la temperatura de los componentes, usando disipadores de calor u otro medio que sea rápido como la de soldadura fluida.

Estos componentes deberán ser seleccionados con el doble de la capacidad requerida en tensión de bloqueo, corriente, dI/dt , dv/dt , teniendo siempre la protección de circuitos Pasa-bajos en sus terminales para evitar los picos, de esta manera podremos estar a una tasa de falla de 0.1 veces por millón de horas.

4.3.4.-Diodos Zener

Para nuestra aplicación éstos serán de pocos rangos de voltaje a diferencia de las aplicaciones actuales donde se requieren voltajes muy variados.

Deberán ser al igual que los transistores o diodos protegidos con circuitos Pasa-bajos contra las sobretensiones.

4.3.5.-Circuitos Integrados

Adaptador para Interfase de Comunicaciones Asíncronas (ACIA)

Este dispositivo permite las comunicaciones serie hacia el mundo exterior al microprocesador, estamos incluyendo esta facilidad pues la usaremos en la rutina de comunicaciones para transmitir el estado del sistema de potencia de la S.E. y el estado del sistema de protección a la estación central a través de un MoDem (modulador -- demodulador), que con la técnica de Codificación por Desplazamiento de la Frecuencia permite usar canales Telefónicos, de Onda Portadora o Radio.

Como las comunicaciones existentes en **nuestro** sistema de potencia son muy reducidas y en muchos casos inexistentes, esta facilidad permitirá incluir sistemas baratos de radio con comunicación bidireccional (half-duplex) para ejecutar rutinas de barrido y recolección de datos mediante codificación en frecuencia.

Ejemplo : MC 68B50 de Motorola, frecuencia del reloj "Clock" 1 MHz.

Características de los Componentes Optoacopladores

Estos dispositivos protegerán a los semiconductores contra sobretensiones e impulsos que no hayan sido suprimidos por los filtros pasabajos y sus respectivos explosores que estarán a la entrada de los convertidores análogo-digital.

En algunas aplicaciones se utiliza multiplexores para disminuir el número de componentes pero este caso dedicado a Protección no debemos escatimar este pequeño costo pues si falla un convertidor perderemos varias magnitudes haciendo al sistema inseguro, recién después de los optoacopladores podremos unir líneas comunes.

Los optoacopladores proveen de protección hasta de algunos kilovoltios.

Ejemplo de este dispositivo: 4N-26 Monolítico para 1 bit.

Controlador de Acceso Directo a Memoria (DMAC)

Este dispositivo libera al microprocesador del trabajo de llevar los datos desde los convertidores análogo-digital hacia la memoria RAM, no quiere decir que el microprocesador no pueda manejar este trabajo, si lo puede ejecutar pero de una manera muy lenta, el DMAC está orientado exclusivamente para esto, pudiendo hacerlo muy rápidamente tenemos tres modos en los que puede ejecutarse esta transferencia y son descritos a continuación : Motorola MC 68 B44 (trabajando a 1 MHz).

- a. Por robo de ciclo, proceso mediante el cual cada vez que ocurre un ciclo no activo del microprocesador se realiza una transferencia directa a memoria.
- b. Por estiramiento del ciclo no activo del microprocesador, durante un tiempo definido para transferir un paquete de datos a memoria.
- c. Por parada total del microprocesador, haciendo un pase de información en forma completa y recién al final se devuelve el control de la operación al microprocesador.

Los tres métodos son factibles, pero es preferible el c) porque requiere menos Hardware es más sencilla su sincronización y garantiza que un paquete de información completo es transferido a la memoria, evitándose la sospecha de haber trabajado con datos pertenecientes a muestras diferentes.

Adaptador de Interfase Programable (PIA)

Mediante este dispositivo colocaremos afuera las señales de mando de apertura y/o cierre para los interreuptores a través de Unidades Temporizadas Programables (PTM), las cuales son inicializadas a valores pre-definidos de acuerdo con los estudios de coordinación de manera fija o de manera variable según una tabla o escala de tiempos.

Se requiere una sola PIA para manejar los distintos PTM a los cuales le entregará la orden de empezar a descontar el tiempo o volver a su valor inicial. Cuando el tiempo programado transcurrido la orden de disparo será transmitida al interruptor respectivo se dispondrá de tiempos fijos y tiempos variables, dependiendo de la falla por lo que en forma general tendremos tantos PTM como tipos de falla queramos detectar.

Este adaptador puede ser el MC 68B21 de Motorola trabajando a 1 MHz, mientras los módulos temporizadores programables (PTM) son los componentes MC 68B40, que son compatibles con la familia del 6800 de Motorola.

MEMORIAS RAM

Serán del tipo estáticas y no-volátiles de esta manera tendremos un almacenamiento confiable y no sensible a las pérdidas de suministro de tensión auxiliar, aún contando con una fuente redundante puede ocurrir una falla en los cables alimentadores que hagan perder por instantes la tensión del suministro de las baterías.

Ejemplo : MC 6810A de 128 x 8 bit de Motorola.

MEMORIAS EPROM

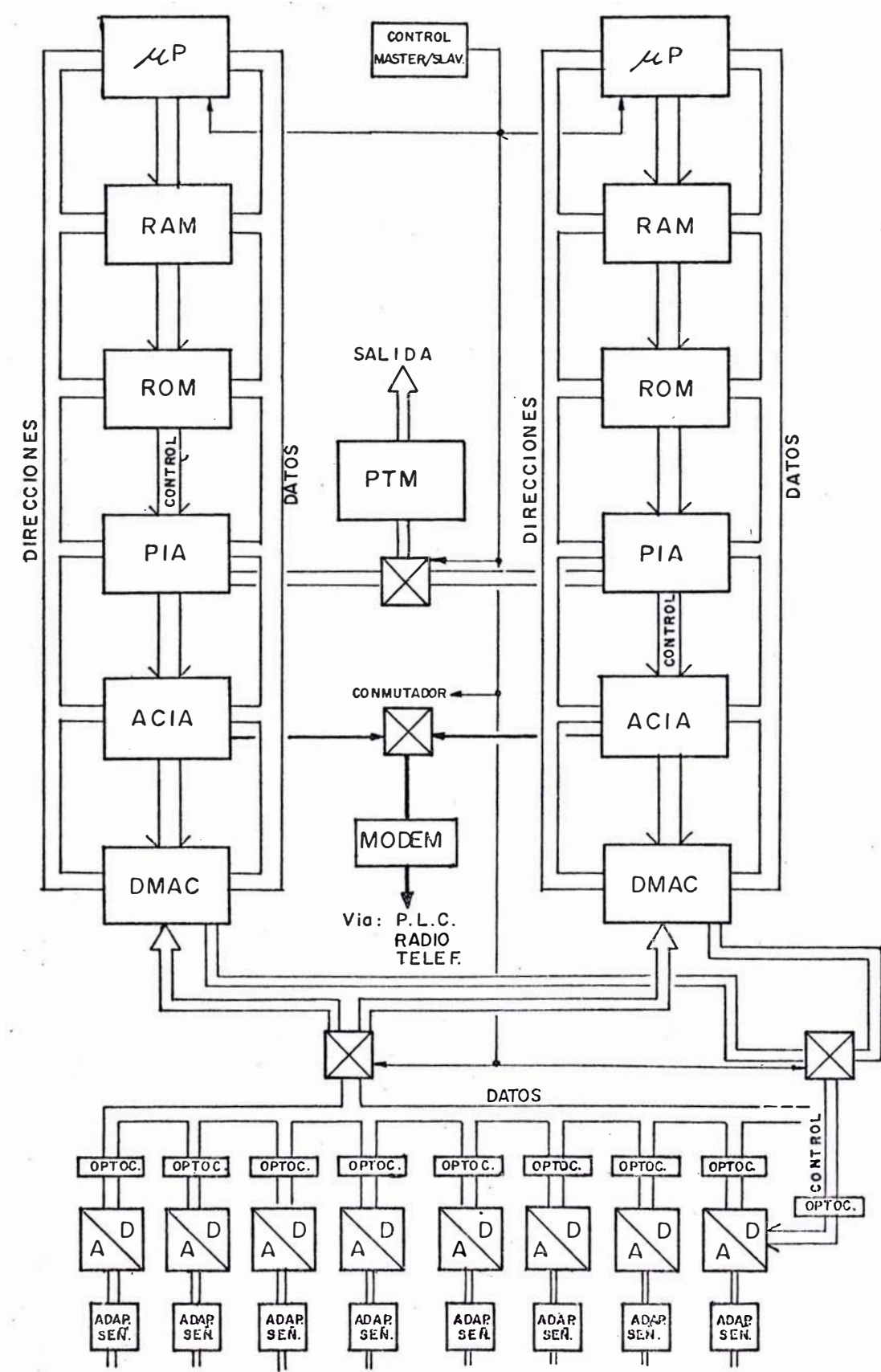
Para el proceso de producción así como de prototipo es preferible el uso de este tipo de memorias en lugar de las ROM, pues su facilidad de reprogramación permite su uso nuevamente, ante circunstancias variables como nuevo programa o nuevos valores límite para la discriminación de situación normal o de falla.

Ejemplo : MC 2708 de Motorola.

MICROPROCESADOR

El microprocesador escogido para este tipo de aplicación puede ser de 8 bits pues permite manejar hasta 256 niveles en las magnitudes lineales y con la adecuación de la función de transferencia con la ley de telefonía (ley u) podemos ampliar el rango de precisión a 12 bits es decir el equivalente a un error de 1/2 bit será a 1 en 4096, que en porcentaje equivale a 0.0244%, mucho menor que cualquier dispositivo electromecánico o electrónico actual.

FIGURA No 14
ARQUITECTURA DEL SISTEMA PROPUESTO



Esta aseveración es real pues apenas convertimos la señal analógica en digital los errores por temperatura, envejecimiento diferencial son minimizados completamente a valores insignificantes, pudiendo intercalarse inclusive detectores de error capaces de restituir el bit perdido. Pero este circuito adicional no lo utilizaremos en esta aplicación por que los recorridos que tiene la señal digital son muy cortos.

Escogeremos aqui el MC 6800 B de Motorola por tener una programación muy sencilla y una familia de componentes ya bastante probada. Trabajaremos a un ritmo de reloj de 1 Mhz., aunque es capaz de operar a 2 Mhz.

4.3.6.-COMPARACION ECONOMICA ENTRE EL SISTEMA PROPUESTO Y LA SOLUCION CON RELES ELECTROMECHANICOS

A continuación se indican los costos referenciales de los aparatos entregados en almacén de Lima como material suelto ,es decir sin diagrama de conexiones, sin pruebas, sin conexionado, sin tablero.

CASO A: Protección de línea aérea de distribución

| ITEM | DESCRIPCION | P.U. | Cantidad | Total Item |
|------|------------------------------|------|----------|------------|
| 01 | Relé sobrecorriente | 1185 | 3 | 3555 US\$ |
| 02 | Relé sobrecorriente a Tierra | 1185 | 1 | 1185 US\$ |
| | | | TOTAL | 4740 US\$ |

CASO B: Protección de cable de distribución (neutro aislado)

| ITEM | DESCRIPCION | P.U. | Cantidad | Total Item |
|------|------------------------|------|----------|------------|
| 01 | Relé de sobrecorriente | 1185 | 2 | 2370 US\$ |
| 02 | Relé Térmico | 1250 | 1 | 1250 US\$ |
| | | | TOTAL | 3620 US\$ |

CASO C: Protección de Transformador 10 MVA, 60 KV.

| ITEM | DESCRIPCION | P.U. | CANTIDAD | TOTAL ITEM |
|------|-----------------------|------|----------|------------|
| 01 | Relé sobrecorriente | 1185 | 6 | 7110 US\$ |
| 02 | Relé Diferencial | 5400 | 1 | 5400 US\$ |
| 03 | Transf. Intermediario | 1000 | 1 set | 1000 US\$ |
| 04 | Relé sobretensión | 1500 | 1 | 1500 US\$ |
| | | | TOTAL | 15010 US\$ |

Si esta subestación tuviera una llegada en Alta Tensión (60KV.) y cuatro Salidas en Baja Tensión (30 KV) los gastos en aparatos ascendería a :

34230 US\$

Mientras que el Sistema propuesto basado en Microprocesador solo alcanzaría a:

Por magnitud a controlar

| | | |
|--------------------------------------------------|----------|-------|
| Convertor de: Potencia /Voltaje | | 10.00 |
| Convertor Análogo /Digital | | 6.00 |
| Estabilizador de Voltaje Referencial | | 3.00 |
| Protector de sobretensiones Metal Oxide Varactor | | 1.70 |
| Protector de sobretensiones Explosor 750 v. | | 3.00 |
| Fusibles | | 1.70 |
| Condensadores (diversos valores) | 5 unid. | 2.00 |
| Resistencias (diversos valores) | 10 unid. | 2.00 |
| Optoacopladores | 12 unid. | 5.00 |
| Diodos Luminosos | 3 unid. | 0.30 |
| Temporizador Programable | 1 unid. | 6.00 |
| Relè de Salida | 1 unid. | 7.00 |
| | TOTAL | 46.70 |

Equipo base, es independiente del número de magnitudes a controlar, como máximo 50.

| | | |
|-----------------------------------------|---------|--------|
| Microprocesador Motorola 6800 B | 2 unid. | 25.00 |
| Memoria EPROM 1 Kbyte | 2 unid. | 10.00 |
| Memoria Estática RAM 2 Kbyte | 2 unid. | 10.00 |
| Adaptador a Periféricos PIA | 2 unid. | 18.00 |
| Adaptador Asíncrono ACIA | 2 unid. | 18.00 |
| Controlador de Acceso Directo a Memoria | 2 unid. | 20.00 |
| Buffers para conmutación o bifurcación | | 9.00 |
| Misceláneos | | 30.00 |
| TOTAL US\$: | | 140.00 |

Por lo tanto el costo para este Sistema asciende a:

TOTAL US\$: 1307.50

La relación entre los costos es del orden de 26 veces. Más cara es la solución con relés electromecánicos .

Si anadimos como elemento de comparación el hecho de poder implementar una rutina de auto-verificación y facilidad de comunicaciones con Centros de Control, la ventaja del sistema propuesto es no comparable , pues el sistema de protección electromecánico necesita de mayores componentes para digitalizar las magnitudes y/o indicadores de estado .

El costo de las unidades de entrada es alto en razón de haber escogido la máxima seguridad para evitar la propagación de fallas y también no se ha multiplexado la conversión A/D , en razón de que un convertidor multiplexado fallado nos provocará la pérdida de varias magnitudes ,pero si se detecta una falla en algún componente su salida puede ser inhabilitada hasta que se le repare.

CONCLUSIONES

- 1.- Que proyectar, producir, probar y ensayar un Sistema de Protección para Sistemas Eléctricos de Potencia basado en Microprocesador es factible en el Perú.
- 2.- Que el nivel tecnológico necesario para el manejo de este tema está al alcance de los ingenieros egresados de la UNIVERSIDAD PERUANA .
- 3.- Que el costo de desarrollo y pruebas del prototipo es bajo, pero requiere el apoyo de las empresas de Electricidad y de la Universidad para garantizar la continuidad del desarrollo en este campo, ya que las beneficiadas serán las Empresas del Ramo.
- 4.- Que este tipo de Tecnología Aplicada producirá otros bienes con partes o componentes para tener nuevos instrumentos más baratos y exactos, estos recién están colocándose en los mercados internacionales.
- 5.- Que esta implementación está actualmente en trabajo en diversos países con el mismo objetivo ,pero como su mercado es muy exigente y tiene mucha competencia están desarrollando soluciones que se dirigen o bien al Sistema 1 o al Sistema 3 ,definidos en el Capítulo 2 .
Cuando están orientados al Sistema 1, las soluciones se vuelven más caras que la solución convencional .
Cuando se orientan al Sistema 3, quieren resolver el problema integral de :

Terminal Remoto compatible con Canal de comunicaciones más Computadora Central.

este es un esfuerzo técnico extraordinario y como esto requiere grandes recursos financieros ha resultado en una solución muy costosa .

El gran escollo actual son las comunicaciones, por que son muy lentas por razones de confiabilidad en los canales usados en la transmisión de datos, por ejemplo :

Onda portadora a través del conductor de fase de una línea aérea, que se tiene que usar una velocidad de 50-100 Baudios ,por que el medio de transmisión :Linea de Alta Tensión , esta muy "contaminado" con ruidos e interferencias .

Línea Telefónica ,solo en los lugares donde se cuenta con este servicio ,se tiene la limitación en velocidad y niveles de potencia por que están restringidos por las compañías concesionarias de telefonía. Velocidades entre 300-1200 Baudios.

Radio , su uso para estos fines no es recomendable en nuestro país por la gran dificultad geográfica que perturba los canales normales en forma aleatoria pues depende de las condiciones atmosféricas las cuales son muy cambiantes en nuestro territorio.

Como el Perú no tiene enlaces telefónicos hasta las subestaciones ni centrales generadoras dependemos de la Onda Portadora .

Por lo que un sistema centralizado de Planeamiento, Comando, Control, y Protección es un proyecto todavía muy lejano.

Pero con lo propuesto en esta Tesis, resolveremos el problema de la protección para una S.E. en forma barata, confiable y segura con las posibilidades de comunicaciones sin esforzar los canales existentes, en los que se usará la técnica de Codificación por Desplazamiento de la Frecuencia (FSK :Frecuency Shifting Keying), que es muy segura y confiable aún en medios con mucha interferencia y ruido como los sistemas de Onda Portadora.

6.- La comparación económica demuestra una diferencia abismal entre los costos a favor del sistema basado en microprocesador.

7.- El sistema basado en microprocesador es fácilmente reprogramable mediante el cambio del software, via comunicaciones, para adecuarse a una situación diferente, algo imposible en el caso de los reles electromecánicos o electrónicos actuales.

8.- La autoverificación es implementada sin mayor costo de Hardware

9.- Al programarse pueden incluirse Calibraciones diferentes para un mismo día. Correspondiendo a las condiciones de Mínima Generación o Máxima, esto es muy importante por que los estudios de Estabilidad serán mejor aprovechados.

10.-El apoyo que están brindando las compañías de Electricidad a este tipo de proyectos, está dando sus frutos en otros países, donde se ensayan estas arquitecturas con el aval de los gobiernos, las publicaciones que empiezan a emitirse muestran que no hay una especificación ni un consenso sobre la arquitectura adecuada para esta aplicación pues aún están en etapa de prototipo, debemos ensayar nuestra alternativa para que no resulte el Perú pagando los costos de desarrollo de los países industrializados, a través de precios elevados aplicados a sistemas aún en etapa de prueba, que ellos procurarán vender en países subdesarrollados.

BIBLIOGRAFIA

Principles of Data Acquisition and Conversion

Eugene L.Zuch

Datel Intersil Inc.

Microcomputers in an Analog World

Goerge F.Bryant

Datel Systems Inc.

Systematic errors of a Time-Division Power Converter under
Sinusoidal and Non-sinusoidal Conditions

P.S.Filipski

Transactions on Power Delivery,IEEE July 1986

A Field Programmable Time-Overcurrent Relay

G.Beumouyal and Boisemann

Transactions on Power Delivery,IEEE July 1986

An Integrated Station Local Control-Telecontrol System in the
scénario of an Overall Telecontrol System.

Ventosa,Sánchez y otros

Transactions on Power Delivery,IEEE October 1986

Microprocesadores: Fundamentos, Diseño y Aplicaciones
en la Industria y en los Microcomputadores

José M. Angulo Usategui , Praninfo 1984

Electra No. 94, Publicación CIGRE , Mayo 1984

Grupo de Trabajo No. 34 - Protección.

Electra No: 97, Publicación CIGRE , Diciembre 1984

Grupo de Trabajo No. 34 - Protección.

Grupo de Trabajo No. 35 - Comunicaciones.

Microprocessors in Instrumentation

William C.Randle, Norm Kerth

Proceedings of IEEE , Febrero 1978

Proceedings of IEEE , Special Issue on Microprocessors
technology and application , Junio 1976

A/D and D/A Converter Application ,EXPO - ELECTRO 77 ,New York

D.J.Dooley and D.W.Soderquist

Precision Monolithics ,Inc.

Microcomputers for Data Acquisition, Control and Automation

Frank DiCesare,Steven Buntten and Paul M. DeRusso

IEEE Transaction on Education, Mayo 1985

Westinghouse Engineer , September 1972

What are the Prospects for Substation - Computer Relaying

G.D. Rockefeller

Central Computer Control and Protection Functions

IEEE Committee Report , Enero 1978