



73
28
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

“ A R A G O N ”

**INTEGRACION DE UN SISTEMA DE
CONTROL BASADO EN PLC'S PARA LA
AUTOMATIZACION DE UNA CENTRAL
HIDROELECTRICA**

T E S I S

Que para obtener el Título de:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P r e s e n t a :

JOSE FERNANDO SUAREZ GRACIAN

Director de Tesis: M.C. Gustavo Arroyo Figueroa

Codirector de Tesis: Ing. Benito Zuñiga Villegas

FALLA DE ORIGEN

San Juan de Aragón Edo. de Méx.

1995



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

PAGINACION VARIA

COMPLETA LA INFORMACION

Olvida los favores que has hecho y ten en cuenta las bendiciones recibidas.

Con cariño para mis padres.

En la gloria de un hombre siempre han participado otros.

Con gratitud para mis hermanos.

... sin un verdadero amigo el hombre no puede saber cuáles son los errores de su conducta.

Con aprecio para mis amigos.

INDICE GENERAL.

CAPITULO PRIMERO: NECESIDADES DE AUTOMATIZACION.

ANTECEDENTES	I-1
1.1 AUTOMATIZACION DE CENTRALES HIDROELECTRICAS.	I-2
1.1.1 <i>Panorama global.</i>	I-2
1.1.2 <i>Estado actual.</i>	I-3
1.1.3 <i>Alternativas para el control de CH's.</i>	I-4
1.1.3.1 <i>Sistema automático programable.</i>	I-4
1.1.3.2 <i>Control de CH's usando computadoras</i>	I-5
1.1.3.3 <i>Control distribuido.</i>	I-7
1.1.3.4 <i>Controlador Lógico Programable.</i>	I-7
1.2 EL PLC EN LA AUTOMATIZACION DE CH's.	I-8
1.2.1 <i>Estructura de un programa de control basado en PLC's.</i>	I-8
1.2.2 <i>Aplicaciones específicas del PLC en las CH's.</i>	I-10
1) <i>Relación puerta/álabes en una turbina (curva de leva 3-D).</i>	I-10
2) <i>Puesta en marcha y sincronización con la línea.</i>	I-10
3) <i>Control de la potencia.</i>	I-11
4) <i>Control del nivel de agua.</i>	I-11
5) <i>Auto sincronización de la unidad.</i>	I-11
6) <i>PLC de unidad individual.</i>	I-12
1.3 REFERENCIAS.	I-12

CAPITULO SEGUNDO: CENTRALES HIDROELECTRICAS.

2.1 OPERACION DE CENTRALES HIDROELECTRICAS	II-2
2.1.1 <i>Elementos principales de una central hidroeléctrica.</i>	II-4
a) <i>Obra de almacenamiento</i>	II-4

Integración de un sistema de control basado en PLC's para la automatización de un CH.

b) Canal de derivación	II-4
c) Tanque de reposo	II-5
d) Tubería de presión	II-5
e) Turbinas y accesorios	II-5
f) Canal de desfogue	II-5
g) Generadores y excitadores	II-5
h) Transformadores	II-5
i) Elementos de control y protección	II-5
2.2 CLASIFICACION DE CENTRALES HIDROELECTRICAS.	II-5
2.2.1 <i>Clasificación por el tipo de embalse.</i>	II-6
1) Centrales de lecho de río	II-6
2) Centrales con embalse.	II-6
3) Centrales de rebombeo.	II-6
4) Centrales mareomotrices.	II-6
2.2.2 <i>Clasificación por el tipo de carga que suministran.</i>	II-7
1) Centrales para carga base.	II-7
2) Centrales para carga pico	II-7
2.2.3 <i>Clasificación de acuerdo a la altura.</i>	II-7
1) Centrales con gran altura.	II-7
2) Centrales con mediana altura	II-7
3) Centrales con altura pequeña.	II-7
2.3 SISTEMAS DE CONTROL	II-7
2.3.1 <i>Niveles de control.</i>	II-7
2.3.1.1 <u>Sistemas de primer nivel</u>	II-8
2.3.1.2 <u>Sistemas de segundo nivel</u>	II-8
2.3.1.3 <u>Sistema de tercer nivel.</u>	II-8
2.3.2 <i>Comunicación.</i>	II-9
1) Configuración paralela.	II-9
2) Configuración radial.	II-9
3) Configuración de bus.	II-10

2.4 NECESIDADES DE EQUIPAMIENTO	II-10
2.4.1 <i>Modernización de CH's</i>	II-10
2.5 REFERENCIAS.	II-11

CAPITULO TERCERO: CONTROLADOR LOGICO PROGRAMABLE.

3.1 ASPECTOS GENERALES.	III-2
3.1.1 <i>Arquitectura.</i>	III-3
3.2 CONTROLADOR SIMATIC S5.	III-4
3.2.1 <i>Características generales.</i>	III-4
3.2.2 <i>Partes principales.</i>	III-6
1) Tarjetas de E/S.	III-6
2) Unidad de proceso central (CPU).	III-7
3) Memoria.	III-8
4) Bus de datos.	III-9
5) Fuente de alimentación.	III-9
3.2.3 <i>Identificación de señales.</i>	III-9
3.2.3.1 <u>Designación de entradas y salidas.</u>	III-9
3.2.3.2 <u>Designación de señales.</u>	III-10
3.2.3.3 <u>Señales intermedias.</u>	III-11
3.2.3.4 <u>El programa.</u>	III-12
3.2.4 <i>Descripción de partes.</i>	III-13
1) Fuente de alimentación.	III-13
2) Tarjeta central CPU.	III-14
3) Tarjetas de entrada/salida	III-16
4) Posibilidades de ampliación.	III-16
5) Tarjetas inteligentes.	III-17
6) Comunicación punto a punto.	III-17
7) Comunicación en red.	III-17
8) Red SINEC L1.	III-19

9) Red SINEC H1.	III-19
10) Red SINEC L2.	III-19

CAPITULO CUARTO: PROGRAMACION DE LAS SECUENCIAS DE CONTROL DE UNA C.H.

4.1 LENGUAJE DE PROGRAMACION STEPS	IV-2
4.1.1 <i>Tipos de bloques.</i>	IV-2
4.1.2 <i>Métodos de programación.</i>	IV-2
1) Representación LAD.	IV-3
2) Representación CSF.	IV-4
3) Representación STL.	IV-4
4.1.3 <i>Designación de variables.</i>	IV-5
4.1.4 <i>Direccionamiento.</i>	IV-5
4.1.5 <i>El conjunto de instrucciones.</i>	IV-5
Operaciones binarias.	IV-5
Operaciones digitales.	IV-6
Operaciones de organización.	IV-6
Operaciones de sustitución.	IV-6
4.2 EL PROGRAMA	IV-6
4.2.1 <i>Definición del problema.</i>	IV-6
A) Secuencia de arranque.	IV-7
B) Secuencia de sincronización.	IV-9
C) Secuencia de Paro.	IV-11
Paro normal.	IV-11
Paro de emergencia.	IV-11
4.2.2 <i>Especificación de variables.</i>	IV-12
Designación y descripción de entradas	IV-13
Designación y descripción de salidas	IV-14
Designación y descripción de señales intermedias	IV-15
4.2.3 Organización del programa.	IV-16
4.2.4 Desarrollo de bloques de programa.	IV-16
A) PB9 Bases de tiempo.	IV-17

Integración de un sistema de control basado en PLC's para la automatización de un CH.

Base de tiempo de 20 ms	IV-17
Base de tiempo de 3 segundos	IV-18
B) PB 12 Control de frecuencia.	IV-19
C) PB 13 Control de voltaje	IV-22
4.3 REFERENCIAS	IV-24

CAPITULO QUINTO: RED DE AREA LOCAL SINEC L2.

5.1 ASPECTOS GENERALES.	V-2
5.1.1 Cableado de una LAN.	V-2
a) Par trenzado.	V-2
b) Cable coaxial.	V-2
c) Fibra óptica.	V-2
5.1.2 Transmisión de señales.	V-3
- Sistema de banda base.	V-3
- Sistema de banda de transmisión.	V-3
5.2 TOPOLOGIAS DE RED	V-3
Estrella.	V-3
Bus.	V-3
Arbol.	V-3
Anillo.	V-4
Anillo-estrella.	V-4
5.3 ACCESO A LA RED.	V-5
5.3.1 Método de acceso heurístico.	V-5
5.3.2 Métodos de acceso determinístico.	V-5
Testigo	V-5
Reservación.	V-6
5.3.3 Aplicaciones	V-6

Integración de un sistema de control basado en PLC's para la automatización de un CH.

5.4 RED SINEC L2	V-6
5.4.1 Componentes del sistema SINEC L2.	V-7
5.4.2 Características funcionales.	V-8
5.4.3 Aplicaciones.	V-8
5.4.4 Principio de operación.	V-9
Nodos activos.	V-9
Nodos pasivos.	V-9
5.4.5 Capacidades de comunicación	V-10
5.5 DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA RED SINEC L2.	V-11
5.5.1 Procesador de comunicaciones CP 5430	V-11
5.5.2 Leds de STOP y RUN	V-12
5.5.3 Terminal de bus RS 485.	V-13
5.5.4 Cable de la SINEC L2.	V-14
5.6 REFERENCIAS.	V-14
 CAPITULO SEXTO: PRUEBA Y VALIDACION DE SECUENCIAS DE CONTROL.	
6.1 CONDICIONES DE PRUEBA.	VI-2
6.2 VALIDACION DE BASES DE TIEMPO	VI-3
6.3 VALIDACION DE CONTROL DE FRECUENCIA	VI-4
6.4 VALIDACION DEL CONTROL DE VOLTAJE	VI-6
6.5 REFERENCIAS	VI-7

Integración de un sistema de control basado en PLC's para la automatización de un CH.

CAPITULO SEPTIMO: CONCLUSIONES Y EXPECTATIVAS.

7.1 CONCLUSIONES.	VII-2
7.2 EXPECTATIVAS	VII-4
a) Tendencias en la generación de hidroenergía.	VII-4
b) Tendencias en los sistemas de control	VII-5

APENDICE A.

DIAGRAMAS DE ESCALERA DE LAS SECUENCIAS DE CONTROL.

APENDICE B.

TEMPORIZADORES Y CONTADORES.

NECESIDADES DE AUTOMATIZACION

ANTECEDENTES

Actualmente los medios de producción se han vuelto tan importantes que la necesidad de controlarlos mediante sistemas "inteligentes" es una prioridad en el diseño de ingeniería. Cuando se toma la decisión de controlar uno de estos sistemas, trátese de procesos químicos o metalúrgicos, control de tráfico, sistemas de regulación económica, procesos industriales o generación de energía eléctrica, se tiene la prerrogativa de optimizar la producción y el aprovechamiento de los recursos primarios.

La industria de la energía eléctrica ha utilizado siempre tecnología moderna en sus aplicaciones más importantes y, en el caso de las centrales hidroeléctricas, CH's, posee un alto grado de automatización. La finalidad de este capítulo es presentar de manera general la transición al estado actual de automatización de las CH's y describir las tendencias de control actuales junto con sus elementos característicos más importantes.

1.1 AUTOMATIZACION DE CENTRALES HIDROELECTRICAS.

1.1.1 *Panorama global.*

En sus inicios, la automatización de centrales hidroeléctricas (CH's), se consiguió empleando elementos mecánicos integrados en sistemas que incluían levas, cadenas, eslabones, engranes y otros dispositivos semejantes [2]. Tales sistemas eran rígidos, es decir, realizaban normalmente sólo una tarea y necesitaban ser revisados de manera periódica.

En la segunda etapa se incluyeron dispositivos eléctricos de control como relevadores, temporizadores, solenoides y contadores. Las secuencias de control se hicieron electromecánicas (lógica de relevador) incluyendo al inicio sólo operaciones de paro y arranque de equipos [idem]. La automatización se volvió más flexible pero aún resultaba insuficiente. Posterior a la etapa electromecánica se emplearon de sistemas de estado sólido usando ya sea componentes discretos o circuitos integrados; sin embargo, no ofrecieron ventajas significantes respecto a su predecesor y generalmente requerían un relevador de protección en cada entrada y salida [2].

Hasta cerca de 1960, virtualmente todas las hidro-estaciones eran operadas por personal permanente en la planta, o controladas por el alambrado directo hacia una estación adyacente o centro de control. El control remoto, en sus variantes de telemando y teleseñalización, ya se aplicaba a la supervisión de CH's, pero factores como los enunciados a continuación impedían su exitosa implementación [2]:

- Equipo electromecánico no confiable para uso continuo prolongado.
- Operación lenta del sistema con retraso en el envío-recepción de señales.
- Técnicas insatisfactorias de transmisión de mediciones con exactitud pobre y retraso inherente.
- Existencia casi nula de equipo de control automático en este tipo de plantas.

Desde 1960, y hasta mediados de los 80's, se dió un cambio continuo al uso de VDU's (unidades de despliegue de video) y pantallas basadas en tecnología de minicomputadoras, microcomputadoras, computadoras de propósito general y equipo de control digital, creándose un importante número de sistemas híbridos que usaban un panel de control y VDU's para manejar todas las alarmas.

Hoy en día, los sistemas de automatización de CH's emplean sistemas digitales dedicados, controles electrónicos programables, controladores digitales, sistemas de control distribuido, sistemas basados en computadoras personales y minicomputadoras y, en forma creciente desde hace algunos años, controladores lógicos programables (PLC's). Se trata la mayoría de las veces de paquetes integrales para control de CH's que por una parte favorecen la modernización de las instalaciones existentes junto con funciones poderosas para requerimientos futuros y, por otra, mejoran la economía de la estación de potencia. Estos sistemas de control se implementan tanto en pequeña como en gran escala y pueden ser diseñados e instalados para una parte o para la totalidad de la planta logrando en ambos casos modernizar y mejorar las condiciones de operación. Vale la pena mencionar que las CH's que se construyen o proyectan actualmente, son diseñadas para operar en forma automática, sin atención [3].

1.1.2 Estado actual.

El estado actual de automatización en las CH's ha sido alcanzado en forma gradual. Originalmente las acciones de conmutación (conexión/desconexión) se realizaba en forma manual directamente sobre las máquinas; siguió luego la conmutación centralizada donde aún se necesitaban varios operarios haciendo rondas para manejar la planta. Subsecuentes mejoras llevaron a la existencia de un sólo operador que vivía cerca de la estación y únicamente realizaba secuencias de paro/arranque y, por último, los operadores sólo resultaron necesarios para la inspección y mantenimiento de la planta. Actualmente las estaciones de potencia hidráulica pueden ser clasificadas en una de tres formas de acuerdo a su tamaño [3]:

a) **Centrales vigiladas.** El automatismo es empleado en menor grado en esta clase de centrales. La misión del personal queda relegada a comprobar periódicamente el funcionamiento de los dispositivos en caso de avería y para cambiar el conjunto de valores globales en los aparatos correspondientes.

b) **Centrales automáticas.** Estas centrales funcionan sin personal de vigilancia. Las maniobras de puesta en servicio, regulación de potencia activa y reactiva, así como el paro de la maquinaria se realizan automáticamente [4]. El conjunto de parámetros de operación puede ser cambiado desde un centro de control remoto.

c) **Centrales inatendidas.** Este tipo de centrales poseen el mayor grado de automatización, son monitoreadas y controladas remotamente, y poseen un efecto predominante sobre el sistema de

potencia por lo que se emplean para soportar parte de la carga base. En una central inatendida, el sistema de control automatizado enlaza todas las unidades de generación y buses y centraliza todos los datos hacia una terminal de operador, impulsa la confiabilidad de la unidad, mejora la exactitud de las mediciones, automatiza el proceso de sincronización con la línea y calcula la carga de la unidad para maximizar la producción de energía por pie cúbico de agua disponible.

1.1.3 Alternativas para el control de CH's.

La simplicidad de una planta hidroeléctrica permite establecer una secuencia de control automática lineal, que puede ser implementada usando varios métodos. La opción a elegir está íntimamente ligada al tamaño y capacidad de la planta; es decir, el grado de automatización de la CH está en función a su mayor o menor contribución al sistema de potencia nacional.

De algunos años a la fecha, una nueva tendencia ha estado creciendo y una docena de sistemas automáticos, enfocados a CH's, han sido construidos entorno a computadoras especiales. Los grandes conjuntos de generación, como aquellos con esquemas de almacenamiento por rebombeo, tienen instalados sistemas de control digital y estaciones de potencia de tamaño moderado ya cuentan con sistemas industriales programables disponibles en el mercado. Las principales alternativas para el control de CH's son:

- 1) Sistemas automáticos programables.
- 2) Control por computadoras.
- 3) Control distribuido.
- 4) Controladores Lógicos Programables.

1.1.3.1 Sistema automático programable. El concepto de automatización programable se desarrolló en los últimos 15 o 20 años [5]. Los sistemas automatizados programables suelen estar constituidos por una serie de estaciones de trabajo interconectadas por un sistema de almacenamiento y manipulación de información. La estación de trabajo es una microcomputadora diseñada para control de procesos industriales apta para procesamiento lógico y secuencial, pero sin capacidad para efectuar cálculos matemáticos, que utiliza una computadora central para administrar y controlar las actividades. El sistema de control de la estación de potencia es del tipo jerárquico con un sistema programable por generador (ver Fig. I.1)

En términos de costo, un control programable para estaciones de importancia moderada es similar a un esquema de relevadores. La automatización programable está diseñada para ser adaptable a la configuración de la central particular. Esta característica de adaptabilidad se realiza haciendo funcionar el equipo bajo un programa de instrucciones preparado especialmente para cada central.

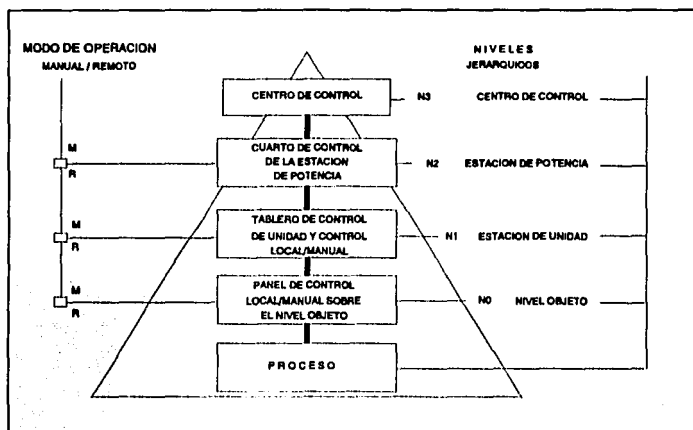


Figura I.1 Disposición jerárquica de las funciones de control en centrales hidroeléctricas

1.1.3.2 Control de CH's usando computadoras. Otra tendencia para el control de plantas de energía hidroeléctrica es el sistema basado en computadoras. En la actualidad existen paquetes integrales para el control de plantas hidroeléctricas que ofrecen, por una parte, la modernización de las instalaciones existentes y funciones poderosas para los requerimientos futuros y, por otra, el mejoramiento de la economía de la estación de potencia. Estos sistemas de control se implementan tanto en pequeña como en gran escala; asimismo, pueden ser diseñados e instalados para una parte o para la totalidad de la planta, consiguiéndose en ambos casos la modernización y mejoramiento de las condiciones de operación de la central.

El sistema de control basado en computadoras ofrece relativos bajos costos de inversión, incremento de la producción y mejor disponibilidad de la planta. La inclusión de unidades de despliegue visual provee información comprensiva a cerca del estado del proceso y eleva el nivel de seguridad en las instalaciones de la central, lo que facilita la labor de los operadores (2).

La estrategia de control consiste en incorporar varias computadoras para propósitos específicos: computadora de estación, computadora de unidad y computadora de comunicación hombre-máquina (8). La comunicación entre las partes a través de una red de área local (LAN), asegura la comunicación integral entre los elementos del sistema bajo toda condición.

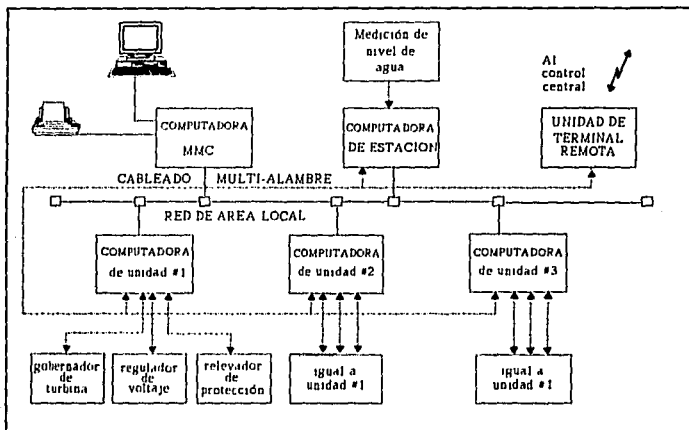


Figura 1.2 Elementos de un sistema de control basado en computadoras.

Las funciones de control del sistema se organizan en una estructura jerárquica de grupos de funciones que realizan una labor específica. Cada grupo de función tiene tareas propias diseñadas para el nivel al que pertenecen. En la figura 1.2 se muestran los niveles jerárquicos

FALLA DE ORIGEN

de control, se observa que el nivel objeto brinda la mayor cercanía al proceso. El control manual de la unidad tiene lugar desde el nivel objeto, por encima de él, está el nivel de unidad y el nivel de estación. El sistema puede operar en diferentes modos, ya sea remoto/local o automático/manual.

1.1.3.3 Control distribuido. El control distribuido se refiere a un sistema de instrumentación digital "distribuido" geográficamente y funcionalmente. En el contexto geográfico, los montajes electrónicos de control se localizan dentro del área del proceso por toda la planta conectados a sensores cuya información es procesada por un programa que determina la acción de los dispositivos reguladores. Los dispositivos de control se enlazan a través de una red de comunicaciones con un cuarto de control que centraliza la información. Se utilizan pantallas (CRT) para observar el funcionamiento y las condiciones de los controladores en las diferentes áreas de la central. Este sistema emplea consolas para enviar órdenes a los actuadores, y para asumir la operación manual del proceso si llegase a ser necesario. Existen dispositivos periféricos en la locación central que incluyen impresoras, enlaces a computadoras, y otros dispositivos de despliegue de información [8].

En el contexto funcional, el control distribuido se refiere a la segmentación o descentralización de las actividades de operación que promueve la distribución geográfica. Cada montaje electrónico está basado en un microprocesador capaz de coleccionar, procesar, y distribuir la información individualmente. Es ésta característica la que genera una de las mayores ventajas de los sistemas distribuidos: el ser configurables; esto es, permiten la programación de eventos de un proceso a través de algoritmos o subrutinas modulares. Una falla en el equipo de centralización de la información, no desconecta el sistema ya que el control local continúa si el enlace de comunicación es cortado. Por otra parte, una falla en la instalación local afecta uno o, en el peor de los casos, algunos lazos de control; en tal circunstancia, la adquisición de datos y operaciones para el control del proceso del resto de la central continúan funcionando de manera normal.

1.1.3.4 Controlador Lógico Programable. El uso de PLC's permite la automatización de las secuencias de operación de las unidades sin el uso de "mares" de relevadores necesarios en un esquema de UTR's (Unidades de Terminal Remota). También incluye funciones de cierre, desconexión y protección contra sobrecarga. El uso del PLC agrupa los beneficios del control

distribuido, de los sistemas basados en computadoras y de los sistemas de VDU's cuando se les interconecta mediante una vía de datos apropiada (red de área local), con un centro de operación central. En el siguiente apartado se presenta una descripción detallada del empleo del PLC en la automatización de CH's.

1.2 EL PLC EN LA AUTOMATIZACION DE CH's.

Los PLC's fueron aplicados por vez primera a la automatización de plantas hidroeléctricas a fines de los 70's junto con el gobernador para el secuenciamiento de los sistemas auxiliares de la planta [7]. Para el inicio de los 80's, los PLC's llegaron a ser ampliamente usados para control de la posición compuerta/álabe, así como para la automatización completa de la planta.

1.2.1 Estructura de un programa de control basado en PLC's.

La automatización de plantas hidroeléctricas mediante controladores lógicos programables (PLC's) es una norma aceptada crecientemente. Los sistemas de control basados en PLC's son capaces de combinar, a través de un programa, la automatización del control auxiliar de la planta con el gobierno digital y el control remoto supervisor dentro de un cuarto de control. Un programa de control tiene cuatro segmentos básicos: [2].

- a) **Primer segmento:** sistemas de protección y vigilancia.
- b) **Segundo segmento:** secuencia de arranque.
- c) **Tercer segmento:** secuencia de paro.
- d) **Cuarto segmento:** empleo de las capacidades lógicas y matemáticas del PLC (desarrollo de una librería de rutinas o diagramas lógicos específicos que detallen subrutinas para la operación de la planta).

Un quinto segmento para control del sistema y adquisición de datos (SCADA) puede mantenerse independiente de la estructura básica del sistema.

El desarrollo de sistemas basados en PLC's para el control de CH's se ha estimulado en parte, por la necesidad de automatizar las operaciones de la planta y la conveniencia del uso del PLC para esa tarea y; por otra, por la creciente demanda en la reducción de costos. Otros beneficios que guían a la selección de un PLC sobre las computadoras industriales y gobernadores digitales habituales son:

- Bajo costo (respecto de una computadora), potencia amplia, rápidos tiempos de rastreo.
- "Hardware" comercialmente disponible.
- Gran distribución global, redes de soporte y adiestramiento.
- Diseñado para trabajo continuo y ambientes de trabajo hostiles.
- Sin unidad de disco ni partes móviles
- Enteramente modular
- Diseñado para aceptar numerosas y diversas entradas y salidas.
- El programa completo está respaldado sobre un chip de memoria no volátil (EEPROM).
- Habilidad para comunicarse con otras unidades y con una computadora supervisora.
- Habilidad para manejar despliegue e impresión de información al operador.
- La obsolescencia es retrasada mediante la incorporación de tecnologías avanzadas en revisiones futuras del "hardware" existente.
- Pueden ser programados para superar el funcionamiento de un gobernador así como para realizar todas las funciones de control de la planta.
- Usando PLC's de tamaño mediano se consigue el balance correcto entre costo y capacidad.

Los PLC's están diseñados para trabajar en paralelo con otros PLC's y con computadoras supervisoras (ver Fig. I.4). Agregando módulos de comunicación, puede ser creado un bus local a través del cual la computadora y el PLC intercambien información. El secuenciado de múltiples unidades y compartición de carga son fácilmente conseguidas por el intercambio de instrucciones entre las unidades o desde una computadora supervisora. El intercambio de información a través de una red de comunicaciones brinda una de las mayores ventajas del empleo de PLC's: ser programados "en línea", esto significa que el dispositivo puede programarse sin ser removido o desconectado del circuito de control.

La automatización basada en PLC's ha creado esencialmente una planta inatendida. Tales sistemas enlazan las unidades de generación y buses de comunicación, permitiendo el acceso de información desde cualquier punto por una terminal de operador. Asimismo, impulsan la confiabilidad de la unidad, mejoran la exactitud de las mediciones, y automatizan el proceso de sincronización con la línea; además, el PLC es capaz de determinar la carga de la unidad para maximizar la producción de energía por pie cúbico de agua disponible.

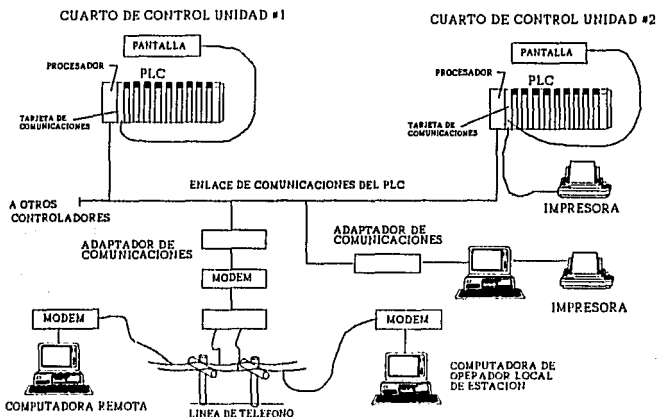


Figura 1.3 Esquema de un sistema de control basado en PLC's.

1.2.2 Aplicaciones específicas del PLC en las CH's.

1) **Relación puerta-álabes en una turbina (curva de leva 3-D).** La curva de leva es la relación idealizada compuerta-álabes para la máxima, media y mínima presión neta. A través de un programa en el PLC, se calcula la posición óptima del álabes de la turbina que permite la mayor eficiencia de la turbina para una presión dada y minimiza el efecto del fenómeno de cavitación que se presenta en los álabes de la turbina.

2) **Puesta en marcha y sincronización con la línea.** A partir de una señal, El PLC automáticamente arranca, sincroniza y carga una unidad de generación en un promedio menor a un minuto. EL PLC abre una compuerta para permitir el paso del agua hacia la turbina y ajusta su posición para obtener una razón de velocidad preestablecida de la turbina. En seguida se realiza un ajuste fino de la velocidad de la turbina hasta igualar la frecuencia, el ángulo de fase y el voltaje de la máquina con el de la línea. Posteriormente, el PLC es habilitado para

cerrar un contactor al vacío y conectar la unidad al sistema eléctrico. Al final de la secuencia el PLC reajusta la compuerta hasta llevar al generador a su punto de operación.

3) Control de la potencia. El control de la potencia es realizado por el PLC comparando la salida actual de potencia de la unidad con un punto de salida de potencia establecido, el cual es ingresado a través de la estación de operación. La salida de potencia es controlada al punto establecido.

4) Control del nivel de agua. El PLC se vale de un programa para mantener un nivel superior preestablecido por medio de la regulación de la salida (producción del sistema). El algoritmo de control se utiliza principalmente para las operaciones a filo-de-río. A fin de mantener una represa relativamente constante o nivel superior, el volumen de agua que viene desde la fuente debe pasarse a través de la planta hidroeléctrica. A consecuencia de esto, a medida que el nivel se eleva por arriba del punto establecido, la posición de los álabes o boquilla, es incrementada para descargar más agua dando como resultado una mayor salida de potencia. Por el otro lado, una disminución del nivel con respecto al punto establecido dará como resultado un decremento en la posición de los accionadores reduciendo así tanto la salida como el flujo.

En casas de máquinas con multi-generadores, se utiliza un algoritmo de optimización para operar la turbina/generador a su punto de eficiencia máxima. Esto permitirá una combinación de rotación de unidades en y fuera-de-línea y la modulación de la boquilla o los álabes para lograr el máximo ingreso de los recursos de agua disponibles mientras se mantiene un nivel superior constante. El algoritmo también limita el nivel mínimo y máximo de generación. El control de la compuerta del canal de desagüe también puede incorporarse dentro de este programa.

5) Auto sincronización de la unidad. A través de un programa de autosincronización, el PLC sincronizará automáticamente un generador a la línea de la central eléctrica. El algoritmo interactúa con el gobernador y el equipo regulador de campo para equiparar el voltaje del generador, la frecuencia y el ángulo de fase de la central eléctrica. Un relé de prueba de sincronización (secuencia de fases) se provee para asegurar una adecuada sincronización. Los parámetros para la rutina de auto sincronización se pueden acceder mediante la estación del operador.

6) **PLC de unidad individual.** En esta disposición, se ubica un PLC en cada unidad de generación. Los PLC's se instalan para controlar la unidad y para enviar los datos monitoreados a los instrumentos montados sobre un gabinete que aloja otros PLC's de nivel superior(o maestros) y a la terminal del operador. Una vez obtenida la entrada adecuada desde la terminal del operador ubicada remotamente, el PLC automáticamente arranca, sincroniza, y carga una unidad de generación en un promedio de 30 segundos.

1.3 REFERENCIAS.

- 1.- Raymond Lamb W, "*Capabilites of Automated Control System Employing Advanced Programmable Controllers*", Waterpower '87, proceedings of the International Conference on Hydropower, Portland, OR, USA, pags. 2263-2269, 1987.
- 2.- E.G Davidson, "*Control of Hydro-electric Plant*", IIE PROCEEDINGS, vol.133,Pt.C, No. 3, april 1986.
- 3.- G. Weisrock, "*Hidroelectric Power Station Control System*", IFAC Automation and Instrumentation for Power Plants, Banglore, India, 1986.
- 4.- Gaudencio Zoppetti J., "*Centrales Eléctricas*", Gustavo Gili, Barcelona, España,1982.
- 5.- C. F. E ., "*Fuentes de Energía y Desarrollo Nacional*" D.F, México, 1990.
- 6.- Raymond W. Lamb, "*Programmable Logic Controller Based Governor/plant Controller*", Proceedings of the International Conference on Hydropower Niagara Falls, NY, USA, 1989.
- 7.- J.A Moore, "*Digital Control Devices : Equipment and Applications*", ISA PRESS, 1986.
- 8.- Lennart Swahn, "*Hidropower Control Using Computers*", Asea generation 1987.
- 9.- Dale E. Kramer and Scott R. Hamilton, "*Distributed Control Applications for Utility Hydroelectric Plants*", Preceedings of the Internacional Conference on Hidropower, Niagara Falls, NY, USA, pags. 1248-1257, 1989.
- 10.- "*Hidro automatización : Paneles de Control y Protección*", L & S electric Inc., 1992.

CAPITULO SEGUNDO

CENTRALES

HIDROELECTRICAS

Dada la singularidad geográfica de cada sitio, se tienen diversas alternativas para la construcción de una central hidroeléctrica; sin embargo, existen una serie de elementos característicos a todas ellas que las hacen semejantes. El presente capítulo tiene por objetivo familiarizar al lector con la terminología de las centrales hidroeléctricas a través de la descripción de su operación, de los elementos que la componen, de los criterios empleados para su clasificación y de los sistemas de control y programas de automatización que se emplean en su operación y administración.

2.1 OPERACION DE CENTRALES HIDROELECTRICAS

Cada central hidroeléctrica es única en cuanto a sus características de diseño y construcción, las cuales son determinadas por la geografía del terreno; sin embargo, en términos de operación, Todas las CH's poseen un conjunto de elementos comunes que las hacen semejantes como puede apreciarse en los tres casos de CH's que se describen a continuación.

La figura II.1 representa el perfil de un río *R* utilizado para generación de energía eléctrica entre los puntos *A* y *B*, y los conductores para llevar el agua de *A* hasta *B* pasando por el tanque o vaso *T* y la casa de máquinas *M*.

El agua que baja por *R* pierde su energía potencial sin provecho alguno, mientras que la que llega a la obra de toma, *T*, por el canal de alimentación *AT* casi no disminuye su nivel ni su potencial. De la obra de toma hasta la casa de máquinas, *M*, el agua está contenida dentro de un tubo de acero o material apropiado. Conforme disminuye su altitud, la presión del agua aumenta por lo cual no hay más pérdida de energía que la ocasionada en el tubo y sus conexiones por fricción, adherencia, cambio de velocidad, etc.

En la casa de máquinas *M* la energía de presión del agua se transforma en energía mecánica, primero, y energía eléctrica después mediante un grupo turbina-generator. De *M* el agua es conducida a través del canal de desfogue

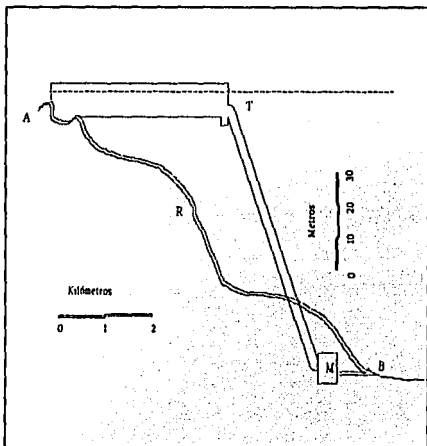


Figura II.1 Diagrama simplificado de una central hidroeléctrica.

MB hasta el punto *B* donde retoma su ruta natural. El canal de alimentación y el tanque o vaso están construidos en la falda de uno de los cerros que encajonan al río procurando reducir la longitud del tramo *TM* por ser el tubo de costo superior al canal.

La figura II.2 presenta el perfil de otra CH. Una cortina, también llamada dique o presa, *C* impide el flujo natural del agua y la obliga a represarse conservando el nivel de *A*, sin variación apreciable.

Un tubo de acero *MS* conectado a la casa de máquinas *M* por un extremo, y a la torre de toma *S* por otro, conduce el agua que entra por alguno de los orificios laterales de *S*. En la casa de máquinas *M*, la turbina-generador transforma la energía de movimiento del agua en energía eléctrica y el agua es devuelta al río sin presión y, en lo posible, sin velocidad.

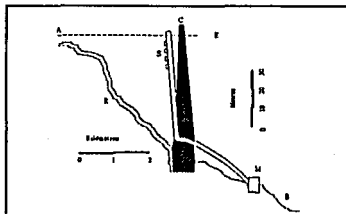


Figura II.2 Perfil de una central hidroeléctrica con cortina de retención.

La figura II.3 presenta el perfil de una construcción subterránea. EL agua tomada de *A* baja dentro de tubos de acero por un tiro o pozo vertical *P* de gran profundidad, y es conducida por un túnel *T* sin presión hasta desembocar en *B*. Las máquinas están en una cámara de dimensiones adecuadas y protegidas contra inundaciones, con amplia ventilación para máquinas y personal y comunicada con el exterior por elevador y escaleras de seguridad.

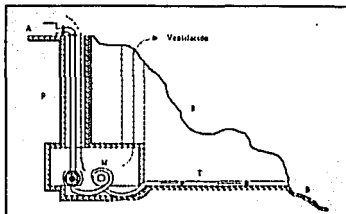


Figura II.3 Perfil de una CH con la casa de máquinas bajo tierra.

En la figura pueden distinguirse la obra de toma, *A*; el canal de alimentación, *P*; la casa de máquinas *M*; el canal de desfogue *T* y el ducto de ventilación.

2.1.1 Elementos principales de una central hidroeléctrica.

Independientemente del tipo de central de que se trate, en general, los componentes de un desarrollo hidroeléctrico son los que a continuación se mencionan (ver Fig. II.4):

a) **Obra de almacenamiento.** También se le llama obra de contención (dique). Su finalidad es crear una elevación de la superficie sobre su nivel normal de tal forma que permita la derivación del agua en la obra de toma y en el canal de derivación. La obra de contención permite el libre flujo del agua excedente a lo largo del río.

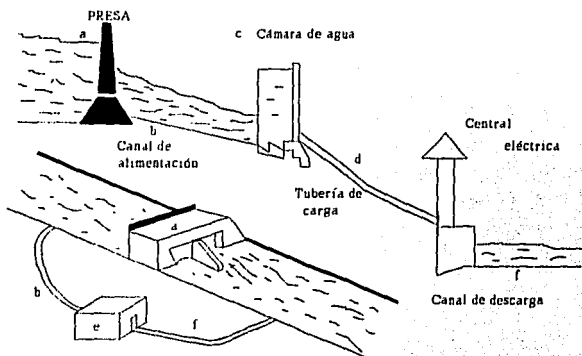


Figura II.4 Elementos básicos de una Central Hidroeléctrica.

b) **Canal de derivación.** Se le designa también como obra de toma o canal de alimentación. Conduce el agua desde la presa al recipiente de carga o a las turbinas de la central. Se construye en forma de tubería y en forma de canales inherentes al complejo, o a la intemperie.

c) **Tanque de reposo.** En él se realiza la decantación de arena y otros elementos extraños. Sirve de unión entre la tubería a presión y el canal de alimentación.

d) **Tubería de presión.** Consiste de tubos de acero colocados sobre la superficie del terreno, o en túneles, o bien de bajo de la superficie y con diámetro superior a 45 cms.

e) **Turbinas y accesorios.** Son los elementos encargados de transformar la energía del agua en energía mecánica.

f) **Canal de desfogue.** Semejante a los canal de alimentación, conduce el agua que sale de la turbina hacia el río. Está provistos de vertederos e instrumentos para medir el caudal constantemente.

g) **Generadores y excitadores.** Se localizan en la casa de máquinas, son los elementos que transforman la energía mecánica en energía eléctrica.

h) **Transformadores.** Son necesarios para elevar la tensión de la corriente eléctrica y hacer económica su transmisión hacia lugares apartados.

i) **Elementos de control y protección.** Son aparatos y dispositivos muy diversos que dan a la energía eléctrica las características necesarias para su buen aprovechamiento y previenen contra los peligros derivados de accidentes de operación o fenómenos atmosféricos naturales.

2.2 CLASIFICACION DE CENTRALES HIDROELECTRICAS.

Por central hidroeléctrica se entiende el complejo de obras civiles, hidráulicas y eléctricas que permiten transformar la energía potencial o cinética que contiene el agua de las caídas, los embalses o los ríos, en energía eléctrica. La clasificación de las instalaciones hidroeléctricas se hace con base en los siguientes criterios :

- 1) Por su tipo de embalse.
- 2) Por el tipo de carga que suministran.
- 3) Por la altura de la caída de agua.

2.2.1 Clasificación por el tipo de embalse.

1) Centrales de lecho de río (run-of-river). Se caracterizan por tener gran caudal y poca altura. La central se instala en el curso del río o en un canal desviado después de interceptar al mismo mediante un dique de contención o presa. Se pueden subclasificar en centrales con embalse de regulación diaria, semanal o sin embalse. En las centrales sin embalse el agua se utiliza solamente cuando está disponible por lo que no pueden operarse en forma controlada para satisfacer una porción de la curva de demanda. Una construcción al filo de río produce la mayor energía pasando toda el agua disponible a través de la turbina a la máxima presión para una razón igual al flujo del río, por lo cual su funcionamiento depende de la capacidad del embalse.

2) Centrales con embalse. Estas centrales utilizan un embalse aguas arriba que almacena el fluido para ser utilizado en forma controlada de acuerdo con los diversos requerimientos del sistema de energía eléctrica al que se conecta. Las centrales con embalse son de regulación anual o plurianual lo que permite su operación controlada por períodos largos. La existencia de un embalse permite a las centrales al filo de río ser empleadas para satisfacer cargas base o cargas pico del sistema.

3) Centrales de rebombeo. Este tipo de centrales utiliza dos embalses para su operación, uno situado aguas arriba y otro situado aguas abajo. Durante los períodos de poca demanda de energía, se utiliza energía eléctrica de otras centrales conectadas eléctricamente con la central de rebombeo para llevar agua del embalse inferior hacia el embalse superior. Durante períodos de gran demanda, el agua del embalse superior se utiliza para generar energía eléctrica. Este proceso utiliza la misma máquina síncrona como turbina o bomba mediante un diseño especial que le permite operar ya sea como motor(bomba) o como generador (turbina). Na de las grandes ventajas de las centrales de rebombeo es el hecho de que reducen los costos de operación de las centrales termoelectricas al operar conjuntamente durante las horas de demanda pico.

4) Centrales mareomotrices. Este tipo de centrales aprovecha el movimiento de las mareas como fuente primaria de energía. El proceso de generación consiste en almacenar agua cuando la marea es alta y turbinarla cuando está baja. Las oscilaciones anuales y mensuales de las mareas son bajas. Sin embargo, la oscilación diaria de las mareas sí es muy grande por lo que se recurre al sistema de rebombeo para asegurar una generación constante de estas centrales.

2.2.2 Clasificación por el tipo de carga que suministran.

1) Centrales para carga base. Este tipo de centrales satisfacen la carga base de la curva de demanda del sistema de energía eléctrica, es decir, la carga que es constante. Las centrales de lecho de río sin embalse y las centrales con embalse de regulación anual o plurianual en períodos de lluvia son las mejor calificadas para operar como centrales base.

2) Centrales para carga pico. Estas centrales satisfacen los picos de la curva de demanda del sistema de energía eléctrica. Las centrales de lecho de río con embalse así como las centrales de rebombeo son especialmente adecuadas para operar durante los períodos de demanda pico. Las centrales con embalse de regulación anual y plurianual también son utilizadas para cubrir picos de demanda.

2.2.3 Clasificación de acuerdo a la altura.

1) Centrales con gran altura. Este tipo de centrales se caracterizan por tener turbinas pequeñas. Debido a la gran altura de las caídas de agua no requieren embalse de gran tamaño. La altura de la caída de agua es de 300 mts o más. Los costos de estas centrales son generalmente bajos.

2) Centrales con mediana altura. Las características principales de estas centrales son: embalses de regulación anual o plurianual; turbinas Francis de velocidad normal, Kaplan o turbinas de Hélice; los costos son regulares. La altura de la caída de agua oscila entre 70 y 300 mts.

3) Centrales con altura pequeña. Estas centrales son generalmente del tipo de lecho de río sin embalse o con embalse de regulación diaria. Las turbinas son del tipo Francis express, Kaplan o de Hélice y son de gran tamaño. La altura de la caída de agua es de 70 mts o menos.

2.3 SISTEMAS DE CONTROL.

2.3.1 Niveles de control.

La operación automática de las estaciones de potencia hidráulica se basa en la implementación de tres niveles o sistemas de control cada uno de los cuales se encarga de una tarea definida.

2.3.1.1. Sistemas de primer nivel. También se les conoce como sistemas de proceso, están en contacto directo con las instalaciones, por ejemplo, con el conjunto turbina/generador o las compuertas de los vertederos. A través de ellos se establecen y vigilan las condiciones de operación de elementos como la unidad paro/arranque, la unidad de protección, la unidad de datos, velocidad del gobernador y regulador de voltaje, entre otros (ver figura II.5).

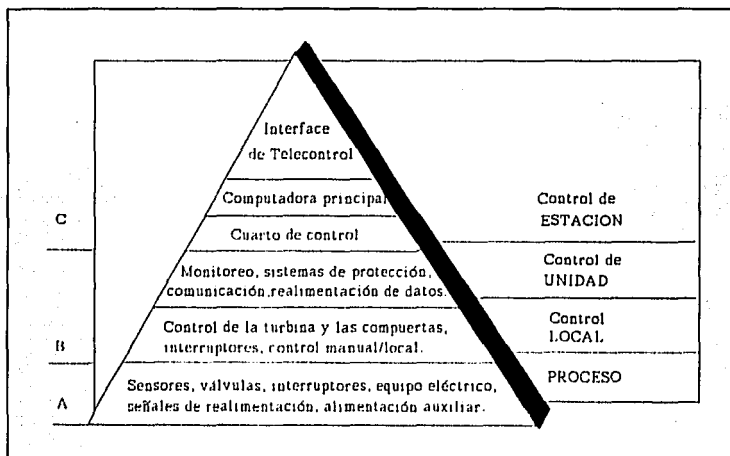


Figura II.5 Estructura jerárquica de un sistema de control para CH's. A) Sistemas de primer nivel; B) Sistemas de segundo nivel; C) Sistemas de tercer nivel.

2.3.1.2. Sistemas de segundo nivel. Están localizados en la estación de potencia o en la presa. Se hacen cargo de la operación global de la unidad y, la mayoría del tiempo, del monitoreo del proceso. Algunas de sus funciones incluyen: control de teletransmisión y realimentación de datos.

2.3.1.3. Sistema de tercer nivel. Está representado por el cuarto de control en el Centro de Control de Información. Se enlaza con el centro de despacho de carga y con los sistemas de control de segundo

nivel. Esta organización jerárquica tiene la ventaja de definir en forma clara las tareas en los diversos niveles de control y, en emergencias, transferir o tomar el control desde un nivel local inferior.

2.3.2 Comunicación.

Existen varias alternativas técnicas para la comunicación entre los diferentes componentes del sistema de control (ver figura II.6). Estas incluyen :

1) **Configuración paralela.** Toda la información, valores medidos y órdenes, son transmitidos a través de cables individuales, en uno y otro sentido, hacia el cuarto de control central y hacia una computadora o unidad de telecontrol (ver fig. II.6a). Las desventajas incluyen la gran cantidad de alambrado involucrado en los numerosos módulos de entrada/salida.

2) **Configuración radial.** Se conecta un PLC o una computadora central a través de una línea de dos cables y un procesador de comunicaciones para el control de cada una de las unidades de generación (ver Fig. II.6b).

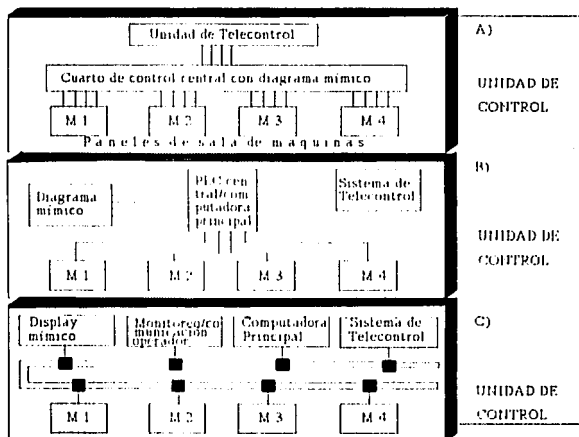


Figura II.6 Métodos de comunicación entre componentes de un sistema de control:
a) configuración paralela; b) configuración radial; c) configuración de bus.

3) Configuración de bus. Todos los componentes de la planta se interconectan a través de una red de área local (ver fig. II.6c). El equipo individual se conecta al bus de datos por medio de un acoplador y la transmisión de datos se lleva a cabo por un procesador de comunicaciones. Esta configuración es flexible, de entorno modular y cableado mínimo. Los datos pueden ser alimentados al sistema en cualquier instante desde cualquier punto. Una desventaja es la mayor cantidad de "software" respecto de la configuración radial.

2.4 NECESIDADES DE EQUIPAMIENTO.

2.4.1 Modernización de CH's.

El grado de modernización y los requerimientos de equipo en una CH se definen durante su fase de planeación inicial. Posteriormente, a pesar de que el mantenimiento y mejoría del equipo a través de los años haya sido suficiente para obtener un alto registro de disponibilidad, la obsolescencia de los sistemas básicos de control y monitoreo se pone en evidencia tarde o temprano. Dependiendo de la edad y condiciones del equipo existente y de los objetivos de control se surgen dos alternativas de modernización: modernización parcial y modernización total.

La modernización parcial es la alternativa aconsejable para las instalaciones relativamente nuevas donde las secciones de la planta están aún funcionando adecuadamente o en aquellas donde se pretenda mejorar el grado de automatismo de la central.

En una modernización parcial se pueden seleccionar elementos individuales de equipo de control y combinarlos de acuerdo a las características y objetivos de modernización de cada estación generadora. Es una forma de asegurar el equipo correcto para cada grado y cada tarea de automatización. En la figura II.7 se muestra como el costo del equipo empleado es una función directa del grado de automatización.

La modernización completa requiere de un esfuerzo intenso para dismantelar el equipo viejo e instalar el nuevo. Esta opción, no obstante ser más costosa, ofrece la posibilidad de instalar un sistema de control estructurado jerárquicamente. La modernización completa se realiza en centrales muy antiguas o que han sufrido algún siniestro en sus instalaciones, como en el caso de una inundación, luego del cual el equipo queda inservible.

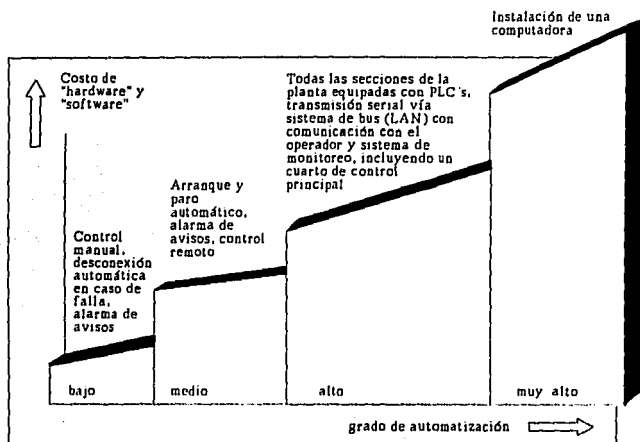


Figura II.7 Relación entre costo y grado de automatización.

2. 5 REFERENCIAS.

- 1.- Sandoval Muñoz Víctor. *Centrales Hidroeléctricas*. C.F.E. octubre de 1992.
- 2.- Zoppetti Júdez Gaudencio. *Centrales Hidroeléctricas*. Gustavo Gili 1982.
- 3.- Sven Anderson. *Retrofit of Trångslet Hydro Power Station*. STORA POWER, Borlänge, Sweden. 1992.
- 4.- Stach Winfred. *Modernizing Hydroelectric Power Station Control Systems*. Energy & Automation XI, 1989. No. 4. Pags. 14-17.
- 5.- Viejo Zubicaray M. y Alonso. *Energía hidroeléctrica*. Limusa.

CAPITULO TERCERO

CONTROLADOR

LOGICO

PROGRAMABLE

Actualmente, cuando aparece la palabra automatización, se tiene la noción de un sistema basado en computadoras; sin embargo, no es esta la única forma de automatización usada en la industria moderna. Junto con sofisticados controles de computadora, existen dispositivos de control que van desde los sistemas convencionales con levas, eslabones y paneles de relevadores, hasta los sistemas que incluyen controladores NC (Control Numérico), controles digitales dedicados (diseñados para una aplicación específica) y, desde hace unos años, algunos llamados controladores lógicos programables (PLC's). El presente capítulo describe de manera general las características físicas y funcionales de los PLC's y en particular el PLC SIMATIC S5.

CONTROLADOR LOGICO PROGRAMABLE.

3.1 ASPECTOS GENERALES.

Los controladores programables son computadoras de propósito especial basadas en microprocesadores. Fueron introducidos inicialmente por la industria automotriz en 1968 como un sustituto de los paneles alambrados de relevadores [2]. Aunque la intención original era reemplazar dispositivos de conmutación mecánica (módulos de relevadores), su uso se ha extendido desde el control de procesos simples hasta procesos de manufactura y monitoreo. En la actualidad, son usados en procesos digitales de alta velocidad, comunicación digital de alta velocidad, soporte de lenguajes de computadora de alto nivel y control de procesos.

La National Electric Manufacturing Association (NEMA) define los PLC's como "un aparato electrónico de operación digital que utiliza una memoria programable para el almacenamiento de instrucciones para la implementación de funciones específicas de lógica secuencial, temporización, conteo, y aritmética para controlar, a través de módulos de entrada/salida analógicos y digitales, diversos tipos de máquinas o procesos...".

Desde su aparición, la importancia y capacidad de los controladores programables ha crecido rápidamente. Sus características actuales pueden ser descritas en los siguientes términos :

- ▶ Son altamente confiables y pueden obtenerse en formas que se adaptan a condiciones extremas de operación ya que reúnen cualquier requerimiento de código de instalación.
- ▶ Son fácilmente programados. Esto se aplica no sólo al desarrollo de los conceptos necesarios para diseñar y construir el programa, sino también al acto de cargar el programa en el controlador.
- ▶ Son pequeños y baratos comparados con su antecesor basado en relevadores o con grandes computadoras de control de procesos.
- ▶ Son diseñados con capacidades de comunicación que les permite enlazarse con sistemas de computadoras locales y remotas o proporcionar interfaces con humanos. Esas interfaces varían desde un sistema simple de luces indicadoras a través de un desplegado alfanumérico,

hasta elaboradas pantallas de vídeo que proporcionan ventanas para observar el estado actual del proceso.

Los diseños iniciales se destinaron para aplicaciones de control de máquinas-herramientas. Actualmente, los PLC's son muy competitivos con otros dispositivos de control digital relacionados con aplicaciones de control de procesos, particularmente sistemas de control distribuido y sistemas que utilizan microcomputadoras como controlador. El número de procesos que incorporan al PLC como elemento del sistema de control crece continuamente.

3.1.1 Arquitectura.

Independientemente del tamaño, complejidad o costo, todos los PLC's poseen un conjunto básico de partes (ver figura III. 1). Algunas de esas partes son elementos de hardware mientras que otras representan características funcionales del software o de los programas. Además de un sistema de alimentación de energía y de un gabinete apropiado para el ambiente físico y eléctrico, todos los PLC's poseen los siguientes elementos:

- Interface de entrada.
- Unidad de procesamiento central (CPU).
- Sección de memoria.
- Lenguaje de programación.
- Herramienta de programación.
- Interface de salida.

Adicionalmente a las características anteriores, todo PLC puede ser provisto con enlaces para comunicación punto a punto o en red.

Los lenguajes de programación tienen muchas formas. Las primeras versiones se restringieron a igualar las convenciones de la lógica de relevador que dió origen al controlador. Consistían de diagramas de escalera que especificaban contactos de tipo de cierre y bobinas. El programa representaba un esquema de control de lógica de relevador. Esos tipos de lenguaje de escalera de relevadores son aún populares y, en muchos casos, su rango ha sido extendido simplificando la programación por la introducción de bloques de función. Lenguajes alternativos usan la representación Booleana de los esquemas de control como base de la representación en

computadora. Subsecuentes desarrollos han conducido a la introducción de una variedad de lenguajes de alto nivel. Algunos de ellos están especializados para la aplicación, mientras que otros son más generales.

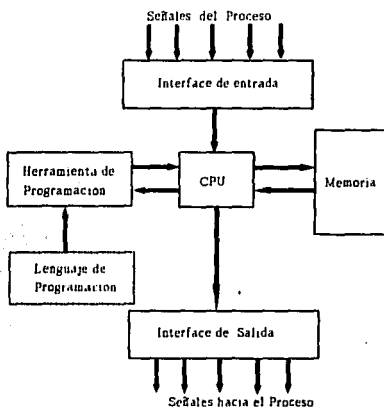


Figura III.1 Arquitectura de un Controlador Lógico Programable.

3.2 CONTROLADOR SIMATIC S5.

3.2.1 Características generales.

El SIMATIC S5 es un PLC de mediana capacidad adecuado para automatización de tareas de media y baja potencia tales como mando de máquinas, automatización y vigilancia de procesos. Se le encuentra en diversas ramas de la industria como la química, la siderúrgica, la del automóvil, la del cemento, la alimenticia, la de construcción de maquinaria, etc. Su estructura robusta permite su implementación en condiciones de operación difíciles. El SIMATIC-S5 115U es un controlador totalmente modular; cada parte es físicamente independiente de las otras, lo que le permite ser adaptable a diversas configuraciones de automatización. Ofrece ventajas adicionales como:

a) **Fácil instalación y mantenimiento.** Los módulos se sujetan a un bastidor con tornillos y resortes que, en caso de avería, se reemplazan en forma individual.

b) **Actualización.** La modernización del equipo siempre es posible debido a que las nuevas tarjetas son siempre compatibles con las anteriores.

c) **Ampliación y versatilidad.** La configuración de control puede crecer sin problema de acuerdo a las necesidades del proceso. Basta añadir más tarjetas de entrada y salida o tarjetas periféricas, para hacer más versátil la configuración inicial.

El SIMATIC S-5 115U se compone de un bastidor central donde se alojan las tarjetas y una o dos placas de bus para interconectarlas eléctricamente. El bastidor incluye la fuente de alimentación y una tarjeta de proceso central (CPU). De acuerdo con las necesidades, pueden instalarse diversas tarjetas periféricas: tarjetas de entrada/salida digital, tarjetas de entrada/salida analógica, procesadores de comunicación, tarjetas con procesamiento de señal, tarjetas inteligentes, etc. Los puestos de montaje de las tarjetas en los bastidores se encuentran numerados en sentido ascendente de izquierda a derecha empezando por el número 0 (ver figura III.2).

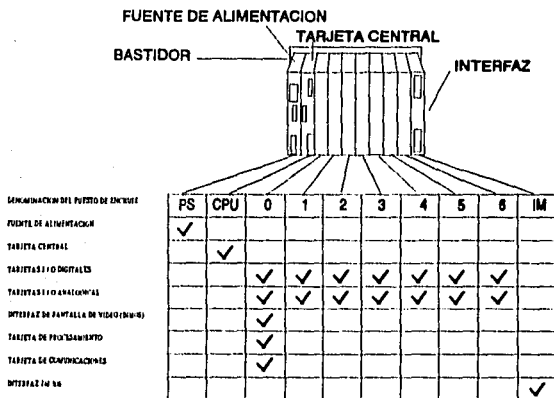


Figura III.2 Bastidor del controlador y disposición de tarjetas.

La fuente de alimentación y el CPU tienen en todos los casos una posición única en el bastidor, mientras que el resto de las tarjetas pueden ocupar cualquier puesto de montaje.

3.2.2 Partes principales.

Un PLC SIMATIC S-5 se compone de las siguientes partes funcionales:

- Tarjetas de entrada
- Tarjetas de salida
- Unidad Central de Proceso (CPU)
- Memoria de Programa
- Bus de Datos
- Fuente de alimentación

La figura III.3 muestra el esquema básico de un PLC.

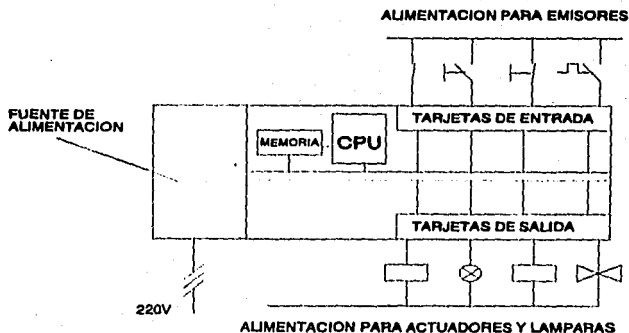


Figura III.3 Partes fundamentales de un PLC.

1) **Tarjetas de E/S.** Las entradas/salidas (E/S) de un PLC son normalmente un conjunto modular de periféricos de conexión interna. Los módulos de E/S permiten al PLC aceptar

señales de una variedad de dispositivos externos, por ejemplo, interruptores de límite, sensores ópticos e interruptores de proximidad. Las señales son convertidas de un voltaje externo en el rango de 115 Vac, 220 Vac o 24 Vdc a una señal TTL de 5 o 0 volts. El procesador del PLC usa esas señales para determinar la respuesta apropiada. Por su parte el módulo de salida recibe una señal TTL y la convierte a una salida de magnitud apropiada. Debido a las diferencias eléctricas entre el CPU y los periféricos de E/S externos, los puntos de E/S y la memoria interna están aislados eléctricamente. Las tarjetas de entrada/salida constituyen la interface entre los emisores (o generadores) de señal y los actuadores de la máquina o proceso que se va a controlar (ver fig III.3).

Tarjetas de entrada. La entrada para un PLC viene de un dispositivo de señal discreto, como un botón interruptor, microinterruptores, fotoceldas, interruptores de límite, interruptores de proximidad; o dispositivos analógicos como termopares, voltímetros y potenciómetros. Las tarjetas de entrada reciben las señales del proceso y las adaptan al nivel interno del equipo. La señal acondicionada se envía a la CPU quien ejecuta el programa de control a partir del cual se generan las señales de respuesta.

Tarjetas de salida. La salida de un PLC esta dirigida a conmutadores de cierre de motores, relés, lámparas, electro-válvulas, arrancadores de motor, etc. Los PLC's más sofisticados incluyen un procesador matemático, pantalla gráfica a color, puertos de comunicación serial, e interface para redes de comunicación. Las tarjetas de salida toman las señales de respuesta y , a partir del nivel interno, producen el nivel de voltaje adecuado para alimentar el elemento final de control.

Debido a su naturaleza modular, el número de E/S puede ser expandido para permitir mayor capacidad de direccionamiento cuando la tarea de control llega a requerirlo. Los límites de esta expansión son usualmente impuestos por la naturaleza del CPU y el tamaño de la memoria. La figura III.4 muestra la parte frontal de los módulos de E/S digitales del SIMATIC S5.

2) Unidad de proceso central (CPU). La unidad de proceso central o CPU es el cerebro del PLC. Se encarga de ejecutar el programa existente en la memoria. Dependiendo del programa, el CPU consulta si existe tensión aplicada a las entradas del PLC, examina la lógica de control para determinar que acción tomar, y ejecuta la respuesta de salida. Está constituido por un microprocesador, μP , un generador de impulsos de onda cuadrada o reloj, registros donde

realiza operaciones y un circuito auxiliar para comunicación con periféricos, redes de comunicación o interconexión con el sistema de entrada/salida.

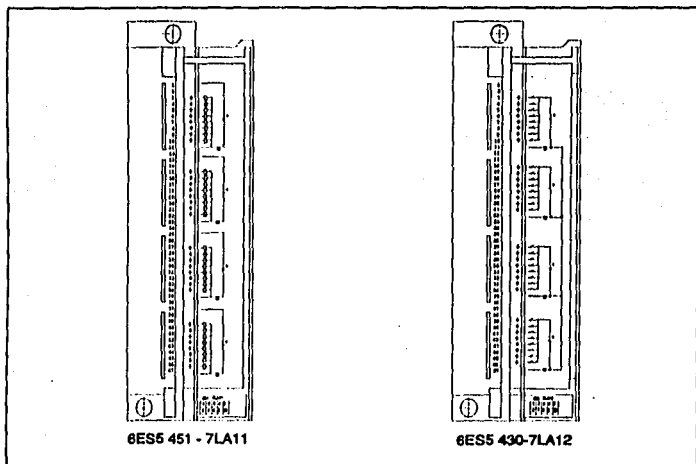


Figura III.4 Módulos de entrada y salida digitales del PLC SIMATIC S5. Su capacidad de direccionamiento es de 32 bits.

3) Memoria. El programa de control y el estado de los dispositivos periféricos se almacena en la memoria del PLC. Las instrucciones de control se escriben con ayuda de un programador. Aunque se utilizan varios tipos de memorias, éstas pueden ser clasificadas en dos categorías: volátil y no volátil. Los tipos de memoria usados en los PLC's incluyen : memoria de sólo lectura (ROM), memoria de acceso aleatorio (RAM), memoria programable de sólo lectura (PROM), memoria borrable y programable de sólo lectura (EPROM), memoria electrónicamente alterable y programable de sólo lectura (EAPROM), entre otras. El programa de usuario normalmente se graba en memoria RAM.

4) Bus de datos. El bus de datos es la vía por la que se intercambian todas las señales entre el CPU y las tarjetas de entrada y salida. Diversos elementos periféricos están disponibles para enlazarse con el bus de datos a fin de realizar tareas como: programar el PLC, preparar la lista del programa, transferir el programa y desplegar el estado del sistema. La siguiente es una lista parcial de periféricos :

- Herramientas de programación
- Programador de CRT (pantalla de toque)
- Consola de operador, impresora.
- Simulador
- Procesador gráfico
- Interface de comunicación para red

5) Fuente de alimentación. La fuente de alimentación genera la tensión de operación necesaria para que todos los elementos electrónicos del PLC funcionen, tales como el CPU, tarjetas de entrada y salida, etc. La tensión de operación generalmente es mucho menor que la tensión de suministro, del orden de 5 a 24 V. Sin embargo, los circuitos de los emisores y los circuitos de los dispositivos de control requieren de una tensión de trabajo superior (24 V, 115 V, 220 V, etc.). Esta tensión es suministrada por fuentes de alimentación externas, no por la fuente de alimentación del PLC.

3.2.3 Identificación de señales. Al PLC llegan señales de campo procedentes de los emisores y salen otras hacia lámparas y elementos finales de control. Asimismo, durante la ejecución del programa se generan señales internas auxiliares en la elaboración de la lógica de control. Las señales manejadas por el PLC se identifican mediante un nombre o designación.

3.2.3.1 Designación de entradas y salidas. Las señales de entrada y salida llegan y salen de los bornes de conexión de las tarjetas de entrada y salida (ver fig. III.5). Para su identificación en las tarjetas se agrupan en conjuntos de bits, y se les asigna un número de byte. Cada byte contiene 8 bits cada uno de los cuales representan una señal. Cualquier señal en la tarjeta queda definida mediante el número del grupo al que pertenecen (número de byte) y el número de elemento en el grupo (número de bit). Esta información recibe el nombre de **dirección de señal**.

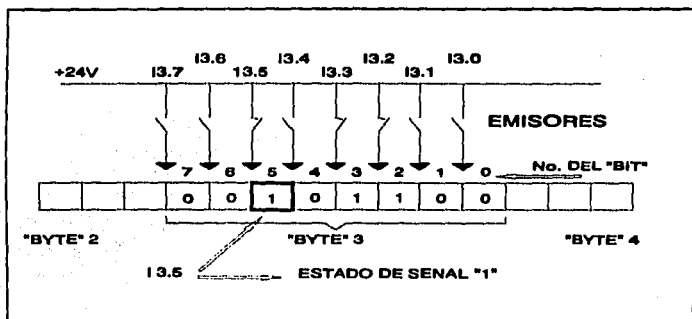


Figura III.5 Designación de entradas y salidas.

3.2.3.2 Designación de señales. Las señales manejadas por el PLC se identifican por la descripción del tipo de señal y por su posición en los bornes de la tarjeta (dirección). Las señales en una tarjeta se agrupan en conjuntos de 8, es decir, en bytes. A cada byte se le asigna un número. Los bits de cada byte se numeran del 0 al 7. Cada entrada/salida puede ser identificada como un bit, un byte o una palabra. Las letras "I" y "Q" designan una entrada y una salida, respectivamente; mientras que las letras "B" y "W" designan a un byte y a una palabra. El direccionamiento de las señales se hace especificando el tipo de señal (I, IB, IW, Q, QB, QW) seguido por un número de byte y de bit.

Ejemplos: tipo de
señal dirección

I	0 . 3	bit de entrada 3 en el byte de entrada 0.
IB	0	byte de entrada 0.
IW	0	palabra de entrada (toma los bytes de entrada 0 y 1).
Q	5 . 0	bit de salida 0 en el byte de salida 5.
QB	5	byte de salida 5
QW	5	palabra de salida (toma los bytes de salida 5 y 6)

De los ejemplos anteriores se advierte que en los tipos de señal byte (IB,FY,QB) y señal palabra (IW,FW,QW), la dirección queda determinada por el byte inicial, la especificación de número de bit no tiene sentido en tales casos. Así pues, los bits de entrada IO.0, IO.1, . . . , IO.7 se agrupan para formar al byte de entrada IBO, mientras que los bytes IBO e IBI lo hacen para formar la palabra de entrada IW0. El mismo criterio es aplicado en la especificación de banderas y salidas.

3.2.3.3 Señales intermedias. Las señales intermedias guardan resultados internos del proceso y cumplen la función de un relevarador auxiliar de control. Se les conoce como banderas o "flags". Al ser internas, las banderas no tienen asociadas conexiones con la tarjeta, pero en cambio poseen un área específica en la memoria del PLC. La designación de banderas se realiza especificando una "F" de flag como tipo de señal, seguido por la dirección de memoria. El proceso es similar a la designación de entradas y salidas con la excepción de que las señales de bandera byte se identifican por "FY", y no por FB, para evitar confusión con los Bloques de Función (FB).

Direccionamiento. El direccionamiento puede ser fijo o variable. En el primer caso, la dirección de una señal depende de su posición en la tarjeta y del montaje al que pertenece la

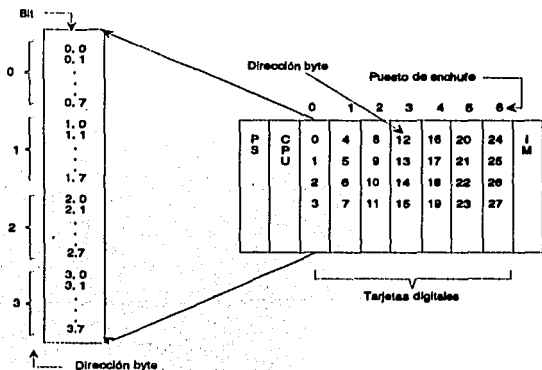


Figura III.6 Direccionamiento de señales de Entrada/Salida.

tarjeta. Cada montaje u estación de conexión posee 4 direcciones de byte considerando que las tarjetas con el mayor número de señales son aquellas de 32 puntos (ver Fig. III.6). Por otra parte, el direccionamiento variable es posible insertando una tarjeta IM (Interface Module) en el último puesto de montaje del bastidor. Las direcciones de byte de inicio para cada puesto se fijan ajustando los selectores, (micro-switchs), laterales de la tarjeta IM.

3.2.3.4 El programa. Las tareas de automatización se realizan a través de un programa de usuario almacenado en la memoria del PLC. El programa se escribe atendiendo a las reglas y al lenguaje del controlador particular de que se trate. Los equipos SIMATIC S5 emplean el lenguaje de programación Step5. Existen dos formas de procesamiento de un programa: procesamiento lineal y procesamiento cíclico.

El **procesamiento lineal** consiste en leer interpretar y ejecutar cada instrucción señalada por el puntero de programa hasta que todas ellas hayan sido procesadas. El apuntador direcciona la primera instrucción y pasa sucesivamente a las otras incrementándose o decrementándose de acuerdo con el contenido del programa.

El **procesamiento cíclico** se refiere a la repetición continua de las instrucciones de un programa una vez procesada la última instrucción (figura III.7).

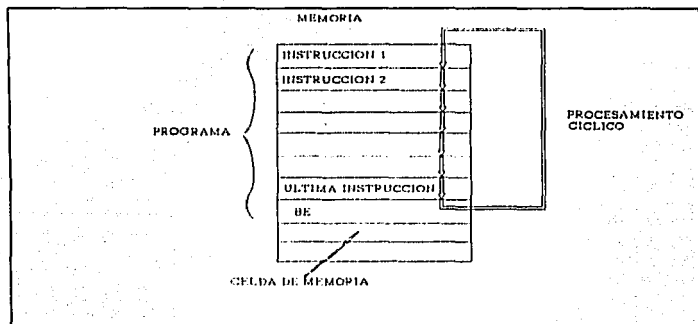


Figura III.7 Diagrama de ejecución y elaboración cíclica de un programa.

3.2.4 Descripción de partes.

En la figura III.8 se muestra la parte frontal de la fuente de voltaje y CPU del PLC SIMATIC S5 y su tarjeta de comunicaciones. A continuación se describen sus elementos.

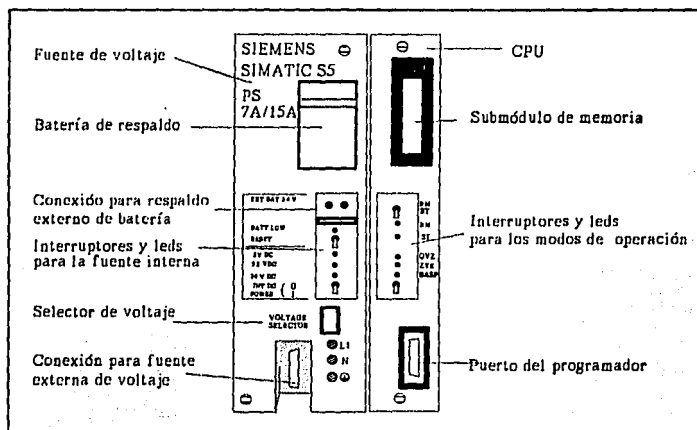


Figura III.8 Vista frontal de la fuente de voltaje y CPU del SIMATIC S5 115U.

1) Fuente de alimentación. La fuente de alimentación cuenta con los siguientes elementos:

- Selector y conectores para alimentación de voltaje. La fuente puede funcionar para diferentes tensiones de red: 24 Vcc, 115 Vca y 230 Vca. Para ca se ajusta el selector de tensión al valor deseado. La tensión de alimentación se aplica en los bornes marcados con L1, N y tierra.
- Interruptor "INT DC POWER". Este interruptor habilita o no las tensiones de alimentación interna del controlador sin necesidad de interrumpir la tensión de alimentación.

- **Leds de tensión interna.** Estos indicadores se iluminan cuando se suministra la tensión de operación interna correcta (5 V, 5.2 V y 24 V dc).

- **Receptáculo de batería y batería tampón.** Se encarga de mantener el programa de aplicación y los datos contenidos en la memoria RAM del CPU cuando se interrumpe el suministro de energía. El tiempo de respaldo es de aproximadamente 2 años.

- **Led de fallo de batería.** El led luce cuando:

- No hay batería
- la tensión de la batería es inferior a 2.8 V o la batería tiene la posición cambiada.

- **Conectores para tensión de respaldo externa.** Son entradas polarizadas donde se aplica desde el exterior una tensión de respaldo cuando se sustituye la batería y la fuente de alimentación se encuentra desconectada.

- **Interruptor para confirmar cambio de batería.** Sirve para avisar la conclusión del cambio de batería. Se conmuta el interruptor "RESET" una vez que la batería vieja ha sido sustituida.

2) Tarjeta central CPU. Constituye el cerebro del controlador. Contiene la unidad de control (procesador), memoria de programa (RAM), banderas, temporizadores, contadores y módulos funcionales de multiplicación, división, conversión de códigos y elaboración de valores analógicos.

Partes y manejo. En la parte frontal de la CPU se localizan los siguientes elementos:

- **Selector de modo de operación.** Permite elegir entre uno de los dos modos de operación: RUN (RN) y STOP (ST). Cada modo de operación posee características propias, según se describe a continuación.

Modo "STOP".

- No se ejecuta el programa.
- Se mantienen los valores de los temporizadores, contadores, banderas e imágenes de proceso presentes al entrar en el estado STOP.
- Quedan bloqueadas las tarjetas de salida (luce el indicador de error "BASP").

Modo "RUN".

- El programa se ejecuta eficientemente.
- Se ejecutan las temporizaciones arrancadas en el programa.
- Se cargan los estados de señal de las tarjetas de salida.
- Se direccionan las tarjetas de salida.

Se habla en ocasiones del modo de "ARRANQUE", que se ejecuta automáticamente por la CPU al encender el equipo si el selector de modo de operación se encuentra en RUN.

- **Leds indicadores de modo de operación.** Resaltan el modo de operación actual de la CPU.
- **Selector para elección de comportamiento de reinicio.** El comportamiento de banderas, temporizadores y contadores, puede ser remanente (RE), que conserven su valor o estado al efectuarse un arranque, o no remanente (NR), que se pongan a "0" al realizar un arranque. Dependiendo de la posición de este selector se activa o desactiva una u otra característica.

- **Leds indicadores de error.** Constituyen un primer nivel para el diagnóstico de fallas. La tabla III.1 incluye los leds de error del PLC y su interpretación.

LED	Significado
luce QVZ	Retardo de acuse (CPU pasó a STOP)
luce ZYK	Responde al perro guardián (CPU pasó a STOP)
BASI	Salidas digitales bloqueadas

Tabla III.1 Significado de leds indicadores de error.

- **Módulos de memoria.** Es posible instalar al CPU módulos de memoria RAM, EPROM o EEPROM de diferentes capacidades. El módulo RAM, volátil, almacena el programa de control durante la elaboración y prueba del programa. Los módulos EEPROM, no volátiles, alojan los programas definitivos previamente probados y depurados.

- **Puerto de conexión.** Se provee este elemento para la conexión de aparatos de programación, aparatos de servicio (panel de operación), red de área local SINEC L1, impresora o teclado.

3) Tarjetas de entrada/salida

Constituyen la interface hacia los emisores y actuadores de una máquina o de una instalación.

- **Las tarjetas de entrada** reciben las señales de campo y las adaptan a los niveles internos del equipo. La señal acondicionada viaja hacia el CPU a través de un bus para ser procesada.

- **Las tarjetas de salida** toman las señales elaboradas por el CPU y las llevan a un nivel adecuado para alimentar relés, electroválvulas, lámparas y en general elementos finales de control. Existen dos tipos de tarjetas de acuerdo con el tipo de señal: tarjetas digitales y tarjetas analógicas.

- **Tarjetas digitales.** Se utilizan para tareas de mando en las que sólo se presentan estados de señal "0" y "1". Existe una gran variedad de tarjetas digitales de entrada y salida, se distinguen unas de otras por el número de señales, el voltaje y la corriente que manejan.

- **Tarjetas analógicas.** Se emplean tarjetas analógicas cuando se manipulan magnitudes que varían continuamente, p. ej. temperaturas o presiones. Como en el caso de las tarjetas digitales, se distinguen por el número y rango de las señales que manejan.

- **Leds indicadores del estado de señal.** El estado de señal de las entradas y salidas se indican mediante diodos leds de color verde. Los leds se iluminan indicando estado de señal "1" y se apagan indicando estado de señal "0".

- **Conector frontal.** Los cables para las tarjetas de entrada y salida se fijan mediante tornillos de presión a las terminales situadas en la parte lateral derecha en el interior de los módulos de E/S.

4) **Posibilidades de ampliación.** Existen dos formas de agregar elementos al bastidor principal: en forma centralizada y en forma distribuida. En la ampliación centralizada los bastidores adicionales se colocan físicamente cerca del bastidor central (2.5 mts). No se requiere de una fuente adicional de alimentación y los datos se intercambian a través de la tarjeta de interface.

La ampliación distribuida, por otra parte, permite situar al controlador al pie del proceso en distancias de 400 y hasta 1000 mts.

5) Tarjetas inteligentes. Las tarjetas inteligentes que pueden conectarse al equipo SIMATIC S5 son de dos tipos fundamentales: Tarjetas **preprocesadoras de señal** y **tarjetas procesadoras de comunicaciones**.

- **Tarjetas preprocesadoras de señal.** También son conocidas como **tarjetas IP**, se utilizan para tareas de automatización que requieran cierta especialización, p. ej., para lecturas de recorrido, regulación de temperatura, cómputo rápido, o señales cuyos niveles son de tipo especial; poseen un procesador propio para ejecutar con rapidez la tarea para la cual fueron diseñadas. Las tarjetas IP hacen posible el proceso en paralelo de señales incrementando la velocidad de ejecución de las tareas críticas de tiempo liberando al CPU de actividades que no sean de control propiamente dichas.

- **Tarjetas procesadoras de comunicaciones.** Las tarjetas procesadoras de comunicaciones se utilizan para realizar el intercambio de datos entre el controlador y otros aparatos, como por ejemplo impresoras, pantallas de video, computadores u otros controladores. Los procesadores de comunicaciones descargan a la tarjeta central de tareas especiales de comunicación. Existen dos formas de comunicación que pueden establecerse :

- comunicación **punto a punto**, y
- comunicación **en red**.

6) Comunicación punto a punto. El término se refiere a la comunicación o intercambio de datos entre el controlador y un periférico determinado, p. ej., un monitor, un teclado, una computadora, una impresora, etc. El intercambio de datos se realiza mediante una línea específica que comunica a ambos dispositivos.

7) Comunicación en red. En esta forma de comunicación todas las unidades (los nodos), se acoplan a una línea de comunicación única y común a través de la cual se realiza el intercambio de datos. La comunicación por red ofrece las siguientes ventajas:

- menos cableado,
- ampliación más fácil, y
- comunicación directa entre unidades.

La figura III.9 ejemplifica la comunicación punto a punto y en red.

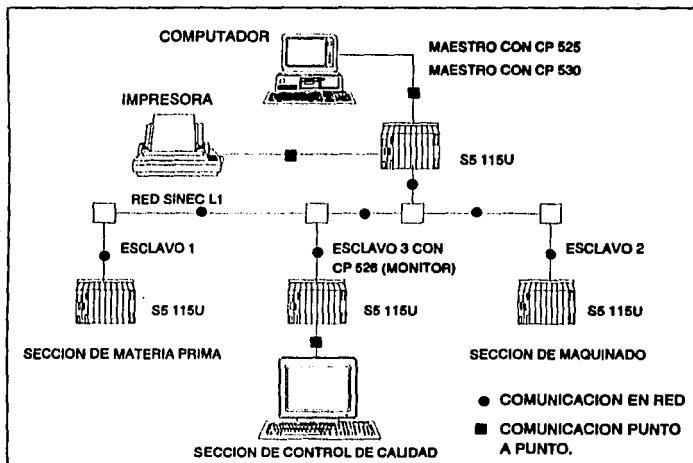


Figura III.9 Configuración punto a punto y comunicación en red.

Dependiendo del tipo de red que se desee existen tres posibilidades:

- Red SINEC L1,
- Red SINEC III, y
- Red SINEC L2.

8) Red SINEC L1. Es una red local para aplicaciones no críticas en el tiempo. Con ella se construyen redes de comunicación de gran extensión superficial; distancia máxima entre nodos : 4km; distancia total máxima: 50 Kms. Permite acoplar hasta 31 controladores. Es una red de comunicación "lenta" con una velocidad de transmisión de 9600 bits/s. Funciona mediante el principio "maestro-esclavo" donde un controlador organiza todo el tráfico de datos a través del bus y los otros controladores dependen de él.

9) Red SINEC H1. La red local SINEC H1 permite construir sistemas de comunicación complejos y extensos. Es posible conectar hasta 1024 participantes con una distancia máxima entre dos nodos de 2.5 Kms , y una área máxima de red de 1.5 x 1.0 kms.

La red SINEC H1 es una red de comunicación de alta velocidad: hasta 10 Mbits/s. Cada participante de la red está en disposición de organizar el acceso al bus.

10) Red SINEC L2. La red local SINEC L2 es un sistema de bus que se utiliza en aplicaciones de mediana escala y reúne las especificaciones de "Profibus" (Process Field Bus, bus de campo de proceso). Esta red acepta hasta 127 nodos con una velocidad máxima de transmisión de 500 Kbits/s con una distancia máxima de 5 kms. entre nodos.

REFERENCIAS.

- 1.- A. Porras/A.P. Montanero, "Autómatas Programables". Mc Graw Hill
- 2.- R.A. Gilbert; J.A. Llewelin, "Programmable Controllers Practise and Concepts",
- 3.- Hans Berger, *Automating with the SIMATIC S5-115U*, Siemens.

CAPITULO CUARTO

PROGRAMACION DE SECUENCIAS DE CONTROL DE UNA CENTRAL HIDROELECTRICA

El presente capítulo contiene la descripción y programación de las secuencias de arranque, paro y sincronización de una central hidroeléctrica. El trabajo se desarrolló tomando como modelo la central hidroeléctrica "El Encanto", localizada a 40 Kms de Teziutlán, Puebla; perteneciente a la región de transmisión oriente (RTO). "El Encanto" posee una capacidad instalada de 10 MW repartida en dos unidades de 5 MW cada una; se trata de una central del tipo de embalse con control automático y mando a distancia que, a la fecha, se halla en proceso de modernización.

PROGRAMACION DE LAS SECUENCIAS DE CONTROL DE UNA C.H.

4.1 LENGUAJE DE PROGRAMACION STEP5

Un controlador programable recibe órdenes de como ejecutar una tarea mediante un programa; el conjunto de instrucciones denominado "programa de usuario" o "programa de aplicación". En un PLC SIMATIC S5 el programa de usuario se crea a través del lenguaje STEP5 el cual permite la representación en diagramas de escalera (LAD), plano de contactos (CSF), lista de instrucciones (STL) y, opcionalmente, representación gráfica (GRAPH5). Aunque cada método posee ventajas y limitaciones propias, la mayoría de las veces una representación es convertible a cada una de las otras. Con Step5 se elaboran rutinas de automatización en programas de usuario que van desde operaciones lógicas simples como AND/OR y aritméticas básicas, hasta operaciones complejas como retardo de apagado, temporización de eventos, control de lazo cerrado o control PID.

Cada programa de usuario contiene instrucciones y declaraciones que manipulan las señales del proceso de acuerdo con tareas de control previamente definidas divididas en secciones individuales denominadas bloques. La organización de tareas en bloques genera un programación estructurada que ofrece, entre otras ventajas, una creación clara y simple de aplicaciones, fáciles cambios en las mismas, ejecución lineal y prueba del programa sección por sección.

4.1.1 Tipos de bloques.

Step5 está estructurado por diferentes bloques: de organización, de programa, de función, de comentarios, de secuencia y de datos. Todos son anidables; es decir, bloques de nivel superior llaman a bloques de nivel inferior. La máxima profundidad de anidamiento es de 8 bloques (ver figura IV.1).

4.1.2 Métodos de programación.

En la actualidad, un programa de usuario puede ser escrito en una de las siguientes formas de representación: Diagramas de escalera (Ladder diagram, LAD), Plano de contactos o mapa de flujo (Control System Flowchart, CSF), Lista de instrucciones (Statement List, STL), Representación gráfica (GRAPH 5) o en algún lenguaje de alto nivel.

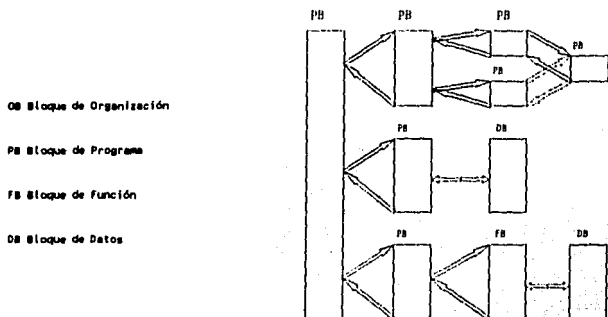


Figura IV.1 Estructura y bloques de un programa en Step5.

1) Representación LAD. En un diagrama de escalera, las instrucciones se implementan mediante arreglos de contactos (Fig IV.2a). Una conexión en serie corresponde a una operación "AND" y una conexión en paralelo corresponde a una operación "OR". Las combinaciones lógicas siguen las reglas de la lógica booleana y pueden ser tan complicadas como se desee. El estado de los operandos (entradas, salidas, banderas) se representa por corchetes que semejan un contacto (Normalmente Cerrado o Normalmente Abierto); el de paréntesis al final del segmento representa una bobina y es el fin del "escalón".

Cada "escalón" es independiente y reserva para sí un segmento. Los operandos se especifican por encima del símbolo de contacto. Los contactos pueden ser insertados arbitrariamente; en todo caso, el estado final del "renglón" es asignado al operando por encima del símbolo de bobina en el extremo derecho del segmento.


```

SEGMENTO 1          0000
|
| 1 1,0 ---| 1 1,1          0 4,0
|-----|/|-----| ..... 0 4,0
|
SEGMENTO 2
|
| 1 1,2 ---| 0 4,1
|-----|/|-----| ..... 0 4,1
|
| 1 1,3 ---|
|-----|/|-----|
|

```

FIGURA IV.2a Representación LAD.

2) **Representación CSF.** En el método de plano de contactos, también conocido como bloques de función, las operaciones lógicas son representadas por "cuadros" (Figura IV.2b). Una operación lógica comprende al menos un "cuadro lógico" y un "cuadro de asignación", pero puede formarse por un arreglo de "cuadros lógicos".

Los operandos (entradas, salidas, banderas) se especifican a la izquierda del "cuadro lógico" pudiendo especificarse cada uno de ellos tantas veces como se desee. El resultado de la operación lógica es asignado al operando definido a la derecha del "cuadro de asignación".

```

SEGMENTO 1          0000
|
| +-----+
| 1 1,0 ---| & | +-----+
| 1 1,1 ---| & | +-----+ = | 0 4,0
| +-----+
|
SEGMENTO 2          0004
|
| +-----+
| 1 1,1 ---| >= | +-----+
| 1 1,3 ---| & | +-----+ = | 0 4,1
| +-----+

```

```

SEGMENTO 1          0000
0000 :A 1 1,0 consulta por "1"
0001 :AN 1 1,1 consulta por "0" y
0002 := 0 4,0 AND
0003 :***
|
SEGMENTO 2          0004
0004 :O 1 1,1 consulta por "1"
0005 :ON 1 1,3 consulta por "0" y
0006 := 0 4,1 OR
0007 :***

```

Figura IV.2b Representación CSF.

Figura IV.2c Representación STL.

Las figuras IV.2a, IV.2b y IV.2c representan una misma operación.

3) **Representación STL.** En una lista de instrucciones una operación se representa como una cadena de oraciones (Figura IV.2c). El procesador central interpreta las oraciones en forma secuencial según se especifican. Un segmento puede comprender aproximadamente 250 oraciones Step5 y diversas operaciones lógicas.

La operación se escribe a la izquierda seguida por el operando cuyo estado de señal va a ser procesado. El resultado de la operación lógica se asigna a otro operando (una salida) mediante el símbolo "=" como se muestra en la figura IV.2c. La representación STL permite escribir un comentario a la derecha de cada operación, lo que representa una ventaja respecto de los otros métodos.

4.1.3 Designación de variables.

El controlador procesa las señales alimentadas a sus módulos de entrada enviando el resultado de la operación lógica al actuador a través de sus módulos de salida. Esas variables, las entradas y salidas, se conocen como operandos. En Step5 se emplean varios tipos de operandos, los más importantes son entradas (I), salidas (Q), banderas (F), temporizadores (T), contadores (C) y datos (D). La letra en paréntesis identifica el tipo de operando en Step5.

4.1.4 Direccionamiento.

Para hacer referencia a un operando, se le designa una "dirección" que lo hace único. En la memoria del PLC existe un área específica para cada tipo de operando. Una dirección se compone de un número de byte y un número de bit separados por un punto. En el PLC SIMATIC S5-U pueden especificarse hasta 128 bytes de entrada, 128 bytes de salida, 256 bytes de bandera, 128 temporizadores, 128 contadores y 256 datos "palabra". Algunos ejemplos de operandos válidos son :

I	12.5	señal de entrada
Q	20.0	señal de salida
F	200.7	señal interna (bandera)
T	34	temporizador
C	1	contador

4.1.5 El conjunto de instrucciones.

En base a su funcionamiento, las operaciones de Step5 puede ser subdivididas en cuatro tipos principales :

► **Operaciones binarias.** Emplean estados de señales (bits) para su realización, tal es el caso de las instrucciones AND y OR. El resultado de la operación se utiliza para arrancar un temporizador, para incrementar un contador o en otra operación.

- ▶ **Operaciones digitales.** Manejan valores numéricos (bytes) para hacer comparaciones, transferencias de registros y operaciones aritméticas.
- ▶ **Operaciones de organización.** Son empleadas para determinar el orden de ejecución de las instrucciones en un programa, ya sea por llamadas o saltos a los bloques del programa.
- ▶ **Operaciones de sustitución.** Son utilizadas en bloques de función (FB). El operando representa un parámetro que es reemplazado por un valor actualizado cada vez que se llama al bloque de función.

IV.2 EL PROGRAMA

El planteamiento de una estrategia de control requiere la definición de sus componentes; en Step5 esto se cumple estableciendo un esquema de control que contiene los elementos del proceso. En general, un esquema de control incluye las siguientes etapas:

- 1.- Definición del problema
- 2.- Especificación de variables
- 3.- Establecimiento de bloques
- 4.- Organización del programa
- 5.- Creación de bloques de datos (DB) y bloques de función (FB)
- 6.- Desarrollo de bloques de programa (PB) y bloques de comentarios (CB)
- 7.- Prueba del programa
- 8.- Depuración

Se presenta en seguida el programa de control desarrollado para la CH "El Encanto" de acuerdo con las etapas recién mencionadas.

4.2.1 Definición del problema.

La operación de una central hidroeléctrica, en términos generales, puede describirse en función de 3 algoritmos básicos : secuencia de arranque, secuencia de sincronización y secuencia de paro. A partir de la sincronización, quedan activos programas complementarios de control que supervisan el adecuado funcionamiento de la planta; como es el caso del programa de control de carga, el programa de control de generación, el registro de eventos y el control de reactivos,

entre otros. Para el caso de "El Encanto" el problema consiste en el desarrollo de los diagramas de escalera de las secuencias de arranque, paro y sincronización de la central en el lenguaje de programación Step5, a partir de la descripción de las mismas y de los diagramas de control de la operación actual. Las secuencias se presentan a continuación en forma simplificada.

A) Secuencia de arranque. El algoritmo para la puesta en marcha de un central hidroeléctrica se presenta en la figura IV.3. Las condiciones para iniciar la operación de la central pueden dividirse en permanentes e iniciales. Las condiciones permanentes se sensan en todo momento a partir de la orden de arranque, mientras que las condiciones iniciales se sensan sólo durante el paso del generador de su estado de reposo a su estado de funcionamiento estable. El proceso de puesta en marcha se describe a continuación (ver Fig. IV.4):

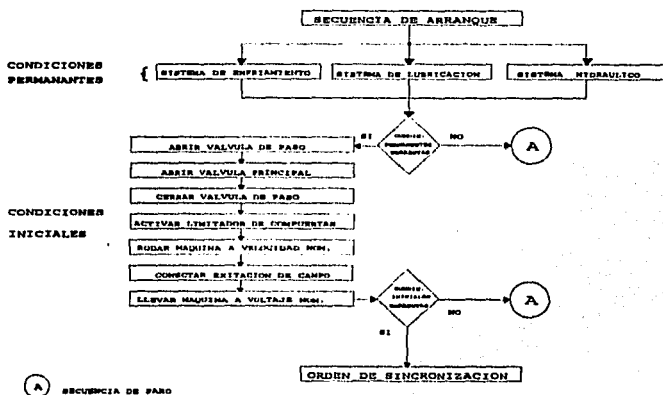


Figura IV.3 Algoritmo de la secuencia de arranque.

Una vez dada la orden de arranque se verifican primero las condiciones permanentes que abarcan los sistemas de enfriamiento, sistema de lubricación, sistema hidráulico y sistema de alarmas. El sistema de enfriamiento incluye sensado de la presión del agua de enfriamiento y

temperatura en chumaceras y generador. En el sistema de lubricación se verifica el funcionamiento de los motores que bombean el aceite a las chumaceras y se detecta su flujo; por otra parte, en el sistema hidráulico se determina que exista la presión adecuada para la operación del regulador de velocidad y del sistema posicionador de los álabes de la turbina. En sistema de alarmas constituye un registro de las situaciones de falla ocurridas durante la operación de la central; en ningún caso se puede iniciar un arranque teniendo una alarma operada. Las alarmas proveen información de situaciones inusuales como altas temperaturas en generador o chumaceras, baja presión en los sistemas hidráulicos y de enfriamiento, sobrevoltaje, sobrevelocidad, fin de tiempo de sincronización, entre otras. Si en algún momento se detecta una condición anómala, el proceso finaliza y se genera una señal de arranque incompleto o paro.

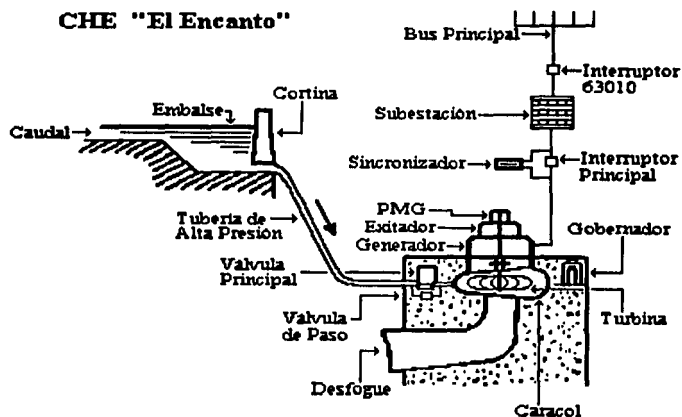


Figura IV.4. Perfil de la central hidroeléctrica "El Encanto".

El siguiente paso es la evaluación de condiciones iniciales que incluyen:

- Presión de agua de enfriamiento.
- A.V.R. (Automatic Voltage Regulator) en automático.
- Ninguna protección o alarma operada.
- Presión normal en tubería de presión.
- No exista orden de paro.

Si en algún momento se detecta una condición anómala, el proceso finaliza generándose una señal de arranque incompleto o paro; en otro caso, si las condiciones para arrancar son correctas se ejecutan las siguientes acciones:

- 1) Apertura de válvula de paso. El agua llena el caracol aumentando su presión interna.
- 2) Detección de presión adecuada en caracol.
- 3) Apertura de válvula principal (o válvula de mariposa) y activación del limitador de compuertas. La máquina comienza a rodar.
- 4) Cierre de válvula de paso.
- 5) Rodar la máquina a su velocidad nominal. Esta acción la realiza el regulador de velocidad.
- 6) Conexión del circuito de excitación del generador.
- 7) Llevar la máquina a su voltaje nominal mediante el regulador de voltaje.

Si en algún momento se detecta una condición anómala el proceso finaliza generándose una señal de arranque incompleto o paro; en caso contrario, se genera una orden de sincronización.

B) Secuencia de sincronización. La figura IV.5 muestra las condiciones necesarias para la sincronización y conexión del generador al bus del sistema. En la etapa de sincronización se lleva a cabo el ajuste del voltaje, la frecuencia y la fase de la señal de potencia generada a fin de igualarlas con las magnitudes de voltaje, frecuencia y fase del sistema eléctrico al que se interconectará la unidad. La sincronización se consigue en dos instancias; en la primera fase el regulador de voltaje y el de velocidad fijan el voltaje y velocidad del generador dentro de un margen preestablecido de concordancia ("ajuste rudo") y, en la segunda fase, se habilita al sincronizador automático quién se encarga de realizar el "ajuste fino" de voltaje, frecuencia y fase del generador.

En condiciones normales la sincronización se lleva a cabo en un par de minutos ordenándose al final el cierre del interruptor principal que conecta el generador al bus del sistema. Si en algún momento se detecta una condición anómala, el proceso finaliza generándose una señal de arranque incompleto o paro. Un desajuste en el sincronizador automático ocasiona un periodo de sincronización muy largo; previendo esta situación, se fija un tiempo máximo (T_{max}) de 15 mins. para sincronizar la unidad generándose una señal de paro al término de los mismos.

Como se aprecia en la figura IV.5, el sincronizador lee los parámetros del bus del sistema y del generador y los compara. Si el error es de $\pm 3\%$ se genera la señal de cierre del interruptor principal. Si el error es mayor, se envían señales de subir/bajar velocidad y voltaje a los reguladores respectivos antes de realizar otra comparación.

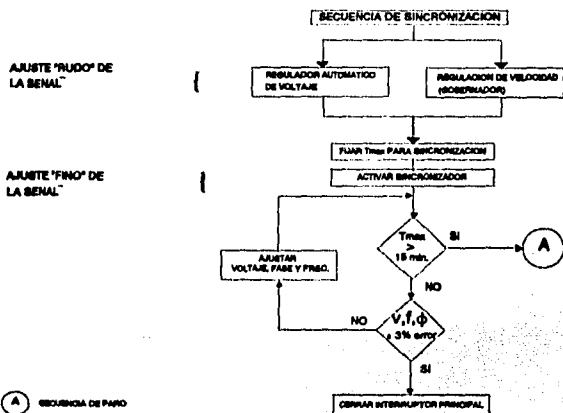


Figura IV.5. Algoritmo de la secuencia de sincronización.

C) Secuencia de Paro. Existen diversas condiciones por las cuales una unidad puede salir de operación; dependiendo de ello el paro puede clasificarse como normal o de emergencia. A continuación se describen las acciones ejecutadas en cada caso (ver figura IV.6).

► **Paro normal.** Se lleva suavemente la generación de potencia hasta un nivel mínimo, manteniendo constante la velocidad de la turbina, limitando la apertura de las compuertas de la turbina; posteriormente, se desconecta el generador del sistema; una vez desconectado de la línea se reduce gradualmente hasta cero la corriente de excitación. Después de desexcitar el generador se cierran totalmente las compuertas de la turbina sacando de operación al gobernador y, finalmente, se cierra la válvula principal suprimiendo la alimentación de agua a la turbina cuya velocidad comienza a decrecer hasta llegar al paro total. En caso de contar con freno, éste se aplica para detener la máquina más rápidamente.

► **Paro de emergencia.** El paro por emergencia se clasifica en dos categorías: 1) paro por emergencia eléctrica y; 2) paro por emergencia mecánica. La emergencia eléctrica incluye fallas como corto circuito o una alta temperatura en los devanados del generador, sobrecorriente o sobrevoltajes, entre otros. Por otra parte, la emergencia mecánica se presenta al rebasarse los límites mecánicos en la operación del generador (temperatura, vibración, velocidad); una temperatura elevada en chumaceras, por ejemplo, requiere sacar rápidamente de operación la unidad. Independientemente de la naturaleza de la emergencia, las acciones tomadas se encaminan a sacar de operación al generador lo más pronto posible.

En un paro por emergencia se presenta la siguiente secuencia de eventos: Simultáneamente se ordena el cierre de la válvula principal a la máxima velocidad posible (limitada por la magnitud del golpe de ariete), la apertura del interruptor de campo, lo que deshabilita el circuito de excitación del generador y la apertura del interruptor principal para desconectar al generador del sistema. Las acciones posteriores son de importancia secundaria e incluyen el cierre de las compuertas de la turbina; la deshabilitación de los reguladores de velocidad y de voltaje y finalmente, aplicar el freno en caso de que se cuente con uno.

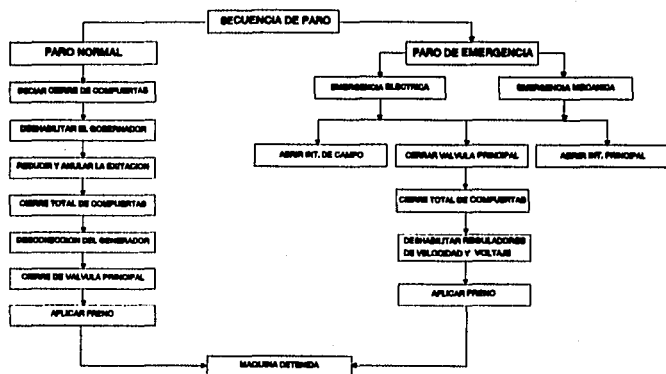


Figura IV.6 Algoritmo de la secuencia de paro.

4.2.2 Especificación de variables.

El programa de control implica el manejo de 48 señales digitales de entrada, 48 señales digitales de salida y 53 señales binarias internas (banderas); en las tablas IV.1, IV.2 y IV.3 se describen respectivamente cada una de ellas. La primera columna designa la dirección de la señal (operando) en el módulo de entrada (I), en el módulo de salida (Q) y en la memoria (F), según el origen de cada señal. El estado lógico presente en la dirección definida es el utilizado en las operaciones. La segunda columna corresponde al símbolo. Un símbolo es una alternativa para representar señales cuando el número de éstas es muy grande a fin de hacerlas más representativas para el programador. De esta forma, cada variable puede definirse hasta con 8 caracteres. La tercera columna es un comentario o descripción de la señal.

DESIGNACION Y DESCRIPCION DE ENTRADAS		
OPERANDO	SIMBOLO	COMENTARIO
I 12.0	X0	Orden de sincronización(PI.C o pulsador)
I 12.1	X1	Subir frecuencia(sincronizador)
I 12.2	X2	Bajar frecuencia sincronizador
I 12.3	X3	Subir voltaje (sincronizador)
I 12.4	X4	Bajar voltaje (sincronizador)
I 12.5	X5	Cerrar interruptor principal(sincronizador)
I 12.6	X6	Interruptor principal abierto(señalización)
I 12.7	X7	Válvula de paso abierta
I 13.0	X8	Válvula de paso cerrada
I 13.1	X9	Válvula principal abierta
I 13.2	X10	Válvula principal cerrada
I 13.3	X11	Subir voltaje(limitador de reactivos)
I 13.4	X12	Bajar voltaje(limitador de reactivos)
I 13.5	X13	Subir frecuencia(limitador de frecuencia)
I 13.6	X14	Bajar frecuencia(limitador de frecuencia)
I 13.7	X15	Presión de agua de enfriamiento
I 14.0	X16	Cerrar int. de máq. en comid. en
I 14.1	X17	Detección de voltaje nominal(6.5 Kv)
I 14.2	X18	Señalización de la secuencia en automático
I 14.3	X19	Señalización del limitador al 0%
I 14.4	X20	Señalización del limitador al 100%
I 14.5	X21	Señalización del variador al 0%
I 14.6	X22	Estado del voltaje de bus
I 14.7	X23	Orden de bajar voltaje
I 15.0	X24	Interruptor de campo cerrado
I 15.1	X25	Velocidad nominal (514 rpm)
I 15.2	X26	Velocidad al 0% (máquina parada)
I 15.3	X27	Detección de 0 voltaje en el generador
I 15.4	X28	A. V. R. en automático
I 15.5	X29	Presión normal en cárter
I 15.6	X30	Operó grupo de protecciones #1
I 15.7	X31	Operó grupo de protecciones #2
I 16.0	X32	Presión normal en tanque acumulador de aceite
I 16.1	X33	Detección de flujo de aceite en chumaceras
I 16.2	X34	Motor ca lubric. chumaceras funcionando
I 16.3	X35	Motor ca lubric. chumaceras funcionando
I 16.4	X36	Desbloqueo de la sec. de arranque incompleta y 2a op. 31
I 16.5	X37	Estado de interruptor 63010 (cerrado)
I 16.6	X38	Orden de secuencia de arranque al P.I.C.(reset de sus memorias)
I 16.7	X39	Orden de secuencia de paro al P.I.C.
I 17.0	X40	Interruptor neutro abierto(propia unidad)
I 17.1	X41	Interruptor neutro cerrado(otra unidad)
I 17.2	X42	Detección de tiempo normal en chumaceras
I 17.3	X43	Detección de tiempo en generador
I 17.4	X44	Estado de línea 63010 (V. de línea 66 KV.)
I 17.5	X45	Presión normal en tuberías de presión
I 17.6	X46	Operó shut down
I 17.7	X47	Mínima referencia de voltaje

TABLA IV.1 Designación y descripción de entradas.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

DESIGNACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE SALIDAS		
OPERANDO	SÍMBOLO	COMENTARIO
Q 20.0	Y0	Abrir válvula de paso
Q 20.1	Y1	Cerrar válvula de paso
Q 20.2	Y2	Abrir válvula principal
Q 20.3	Y3	Cerrar válvula principal
Q 20.4	Y4	Protección grupo #1
Q 20.5	Y5	Presión agua enfriamiento
Q 20.6	Y6	Presión normal tanques acumulador de aceite
Q 20.7	Y7	Operación de protecciones grupo #2
Q 21.0	Y8	Orden de arranque al Programador de carga
Q 21.1	Y9	Orden de paro al Programador de carga
Q 21.2	Y10	Orden funcionamiento normal al Programador de carga
Q 21.3	Y11	Abrir limitador
Q 21.4	Y12	Cerrar limitador
Q 21.5	Y13	Abrir variador
Q 21.6	Y14	Cerrar variador
Q 21.7	Y15	No usada
Q 22.0	Y16	Abrir interruptor de campo
Q 22.1	Y17	Cerrar interruptor de campo
Q 22.2	Y18	Desenergización total(bajar voltaje al A.V.R.)
Q 22.3	Y19	Subir voltaje
Q 22.4	Y20	Bajar voltaje
Q 22.5	Y21	Abrir interruptor de neutro propio
Q 22.6	Y22	Cerrar interruptor de neutro de la otra
Q 22.7	Y23	Cerrar interruptor de neutro propio
Q 23.0	Y24	Pres. normal en tubería de presión
Q 23.1	Y25	Temp. de generador
Q 23.2	Y26	Temp. de chamacera
Q 23.3	Y27	Orden de sincronización
Q 23.4	Y28	Cerrar interruptor principal
Q 23.5	Y29	Activar módulo de sincronización
Q 23.6	Y30	Abrir interruptor principal
Q 23.7	Y31	Desactivar relé maestro
Q 24.0	Y32	Condic. iniciales correctas
Q 24.1	Y33	Señal de secuencia de arranque al PLC
Q 24.2	Y34	Señal de secuencia de paro al PLC
Q 24.3	Y35	Señal de secuencia de arranque incompleta
Q 24.4	Y36	Parar lubricación de chamaceras
Q 24.5	Y37	Operó protección grupo #2
Q 24.6	Y38	Orden sincronía de línea 63010
Q 24.7	Y39	Encendido de calentadores y/o descongelar shut down
Q 25.0	Y40	Pase de tiempo de 16.6 ms.
Q 25.1	Y41	Base de tiempo de 3 seg.
Q 25.2	Y42	Condic. permanentes correctas(mód. funcionamiento)
Q 25.3	Y43	Paro de emergencia(operó gpo. de protecciones #1)
Q 25.4	Y44	Secuencia de paro terminada
Q 25.5	Y45	Bloqueo de cierre por C.S del int. 63010
Q 25.6	Y46	Cerrar interruptor 63010
Q 25.7	Y47	Protección de línea en caso de falla del PLC para los módulos de salida

TABLA IV.2 Designación y descripción de las señales de salida.

DESIGNACION Y DESCRIPCION DE SEÑALES INTERMEDIAS		
OPERANDO	SIMBOLO	COMENTARIO
P 10.0	CR0	Condiciones iniciales y permanentes
P 10.1	CR1	Inicio de pulso subir frecuencia máq. sincrona
P 10.2	CR2	Inicio de pulso bajar frecuencia máq. sincrona
P 10.3	CR3	Fin de pulso S/B frecuencia máq. sincrona
P 10.4	CR4	Sello del pulso S/B frecuencia máq. sincrona
P 10.5	CR5	Fin de memorización S/B frec. máq. sincrona
P 10.6	CR6	Orden de sincronía de línea
P 10.7	CR7	Tpo. de 15 min. para sincronización de línea
P 11.0	CR8	Tiempo de 1seg para cerrar int. 63010
P 11.1	CR9	No usado
P 11.2	CR10	Pulso de control S/B frecuencia
P 11.3	CR11	Sello del pulso de control S/B frecuencia
P 11.4	CR12	Fin de memorización S/B frecuencia
P 11.5	CR13	Control proporcional para subir frecuencia
P 11.6	CR14	Control proporcional para bajar frecuencia
P 11.7	CR15	Fin de pulso S/B frecuencia
P 12.0	CR18	Inicio del pulso cerrar variador. Abrir int. Ppal
P 12.1	CR20	Fin del pulso abrir limitador
P 12.2	CR30	Señal de secuencia de arranque
P 12.3	CR31	Fin de pulso abrir variador
P 12.4	CR34	Huqeen orden de cierre Interruptor Principal
P 12.5	CR35	Fin de pulso de cierre Interruptor Principal
P 13.0	CR40	Señal instantánea de paro
P 13.1	CR41	Inicio de pulso cerrar variador
P 13.2	CR42	Fin de pulso cerrar variador
P 13.3	CR43	Fin de pulso cerrar limitador
P 15.0	CR50	Operación de la protección S1(memorización de 15 segs)
P 15.1	CR51	Orden de sincronización por operación de protección S1
P 15.2	CR52	Fin de tiempo de sincronización
P 15.3	CR53	Fin de pulso cierre interruptor principal
P 15.4	CR60	Inicio de pulso subir voltaje
P 15.5	CR61	Inicio de pulso bajar voltaje
P 15.6	CR63	Fin de pulso subir/bajar voltaje
P 16.0	CR70	Parar lubricación
P 16.1	CR71	Encender calentadores
P 16.3	CR100	Fin del pulso cerrar variador. Después abrir int. Ppal.
P 16.5	CR200	Secuencia de paro al PLC
P 16.7	CR299	Tiempo de cierre del variador de 30 segs.
P 16.6	CR298	Tiempo del shut down abajo por paro de emergencia
P 18.0	CR300	Protecciones grupo #1
P 18.1	CR301	Presión de agua de enfriamiento
P 18.2	CR302	Presión normal en tanque (chumaceras)
P 18.3	CR303	Presión normal en tubería de presión
P 18.4	CR304	Detección de temperatura normal de generador
P 18.5	CR305	Detección de temperatura normal en chumaceras
P 18.6	CR306	Condiciones permanentes correctas
P 18.7	CR307	Secuencia de paro normal
P 19.0	CR308	Paro de emergencia
P 19.1	CR309	Operación de la protección del grupo #2
P 19.2	CR310	Secuencia de arranque incompleta
P 19.3	CR311	Fin de tiempo de sincronización
P 19.4	CR312	Reconocimiento de arranque
P 19.5	CR313	Reconocimiento de paro
P 19.6	CR314	Reconocimiento de paro de emergencia

TABLA IV.3 Designación y descripción de señales intermedias.

FALLA DE ORIGEN

4.2.3 Organización del programa.

Las secuencias de operación se definen como bloques de programa (PB's) individuales que cumplen una función específica dentro del proceso de generación. Los PB's se disponen en un arreglo jerárquico de ejecución secuencial como se muestra en la figura IV.7. El bloque de organización OB1 incluido en el esquema de control cumple, primero, con llamar a cada bloque de programa para su ejecución y, segundo, establece el funcionamiento cíclico del programa.

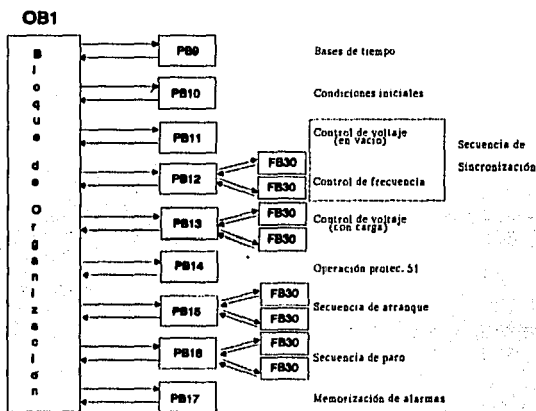


FIGURA IV.7. Organización de secuencias de operación en bloques funcionales.

La figura IV.7 presenta el diagrama de control propuesto a C.H. "El Encanto". Se observa que la secuencia de sincronización incluye los bloques de control de frecuencia y voltaje en vacío; así mismo, se distinguen secuencias complementarias como el control de voltaje con carga, memorización de alarmas, operación de la protección 51 y verificación de condiciones iniciales.

4.2.4 Desarrollo de bloques de programa.

Queda fuera del ámbito de este documento la presentación a detalle de cada bloque del programa. Las descripciones siguientes se enfocan sólo a algunos de los segmentos más

representativos que contienen aspectos importantes de programación¹. En el apéndice B; no obstante, se presenta el programa de automatización en su totalidad.

A) PB9 Bases de tiempo. La naturaleza secuencial de las etapas de control de una central hidroeléctrica implican la creación de bases de tiempo, o señales de reloj, que regulen el inicio, duración y término de eventos. El bloque de programa PB9 contiene la especificación de dos bases de tiempo, de 3 seg. y 20 ms., que cumplen con esta función.

► **Base de tiempo de 20 ms.** En general, cualquier señal de reloj puede implementarse a partir de dos temporizadores, uno para cada nivel lógico de la señal. En primer término, se programará una base de tiempo con período $T = 20$ ms. y ancho de pulso de 10 ms; es decir, una señal simétrica. La figura IV.8 contiene el diagrama de escalera y en la parte derecha la forma de onda esperada.

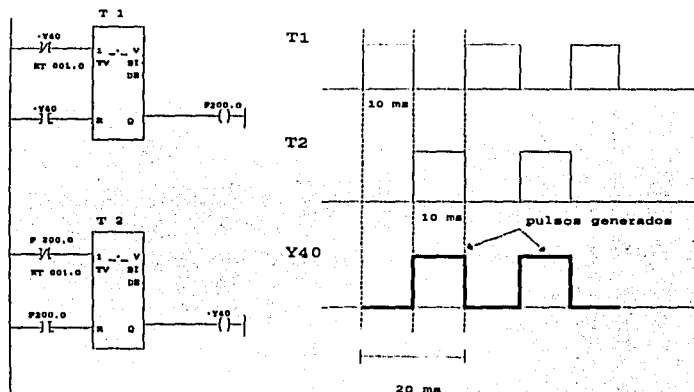


Figura IV.8 Segmentos 1 y 2 del bloque de programa PB9. Base de tiempo de 20 ms (diagrama de escalera y señal de reloj producida).

¹ VEASE "PROGRAMACION DE LAS SECUENCIAS DE CONTROL DE LA CENTRAL HIDROELECTRICA "EL ENCANTO" PARA UNA EXPLICACION DETALLADA

Al iniciar el programa de control, los temporizadores T1 y T2² están desactivos y la salida Y40 "Base de tiempo de 10 ms", presenta un nivel lógico bajo. T1 es arrancado por la entrada Y40 negada e inicia su cuenta descendente. Su salida, F200.0, permanece activa desde el arranque hasta el término de la cuenta. Cuando T1 llega a cero después de 10 ms., F200.0 cambia de estado (pasa de "1" a "0"). El cambio de nivel en F200.0, que se realimenta a la entrada de T2, produce dos acciones: primero; arranca a T2 activando su salida, Y40 y segundo; Y40 reestablece el temporizador T1. Al transcurrir 10 ms. se desactivan T2 y Y40. El cambio de estado en Y40 rearranca a T1 e inicia un nuevo ciclo de trabajo.

► **Base de tiempo de 3 segundos.** La base de tiempo de 3 seg se programa empleando un par de temporizadores como en el caso anterior; la principal diferencia radica en los tiempos de trabajo. La forma de onda a la derecha del programa en la figura IV.9 muestra la señal de salida.

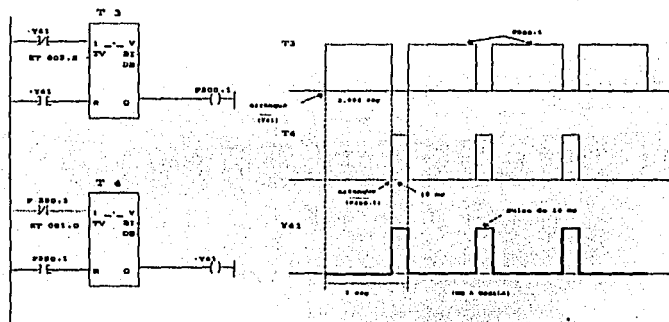


Figura IV.9 Segmentos 3 y 4 del bloque de programa PB9. Base de tiempo de 3 segundos (diagrama de escalera y forma de onda generada).

Al iniciar el programa de control, los temporizadores T3 y T4 están desactivos y la salida Y41 "Base de tiempo de 3 seg", presenta un nivel lógico bajo. El temporizador T3 es arrancado por

² CONSULTAR APENDICE A PARA UNA DESCRIPCIÓN DETALLADA DEL FUNCIONAMIENTO DE LOS TEMPORIZADORES

la entrada Y41 negada e inicia su cuenta descendente. La salida de T3, F200.1, permanece activa 2.990 seg desde el arranque hasta el término de la cuenta. Una vez que T3 llega a cero, su salida cambia de estado (pasa de "1" a "0"). Este cambio de nivel en F200.1 que está realimentada a la entrada de T4, arranca a éste temporizador activando su salida Y41. Y41 a su vez reestablece el temporizador T3. Cuando transcurren 10 ms. se desenergiza T4 y su salida, Y41. El cambio de estado en Y41 reanuncia a T3 e inicia un nuevo ciclo de trabajo.

B) PB 12 Control de frecuencia.

Los generadores empleados en la producción de energía eléctrica son de tipo síncrono, lo que significa que la frecuencia de la señal a la salida de la máquina está en función directa de la velocidad mecánica de rotación. La frecuencia en una máquina síncrona está definida por:

$$f_e = \frac{n_m P}{120}$$

donde : f_e = frecuencia eléctrica, Hz.

n_m = velocidad mecánica del campo magnético, rpm.

P = número de polos

El método más generalizado para el gobierno de la velocidad de las turbinas de reacción es por medio de compuertas o paletas guías que regulan la cantidad de agua alimentada a la turbina (ver figura IV.10). Las paletas rotan alrededor de pivotes sujetos a un anillo móvil, conocido como distribuidor, operado por cilindros de presión impulsados por el gobernador que, junto con el regulador de voltaje, son los principales dispositivos que controlan la operación de un generador hidráulico.

Esos dos dispositivos, el gobernador y el regulador de voltaje, determinan la forma en que la unidad hidroléctrica opera, ya sea en operación aislada, o como parte de un sistema interconectado.

Una unidad de generación hidroeléctrica, cuando es conectada a un sistema de bus infinito, debe operar a un voltaje dentro de un cierto rango. El excitador y el regulador de voltaje proporcionan la corriente de rotor necesaria al generador para controlar su salida de voltaje y potencia reactiva (VAR) manteniéndola dentro del rango del sistema. El sistema debe proveer la demanda de vars de la carga conectada a él y las unidades de generación conectadas al sistema, deben proveer los requerimientos de potencia reactiva del mismo. Usualmente los sistemas más grandes de generación son empleados para regular la potencia, el voltaje y los vars. Esto se logra controlando el ajuste de la velocidad del gobernador y del regulador de voltaje. El proceso es como sigue:

Cuando la carga aumenta, hay una reducción en la velocidad de la turbina, la cual es sensada por el gobernador. El gobernador actúan ante cualquier variación creciente o decreciente de

velocidad reestableciéndola a su magnitud normal permitiendo el paso de una cantidad menor o mayor de agua a través de impulsor de la turbina. Cabe mencionar que el control de carga en watts en una unidad hidro-generadora se obtiene mediante el ajuste de la velocidad característica del gobernador.

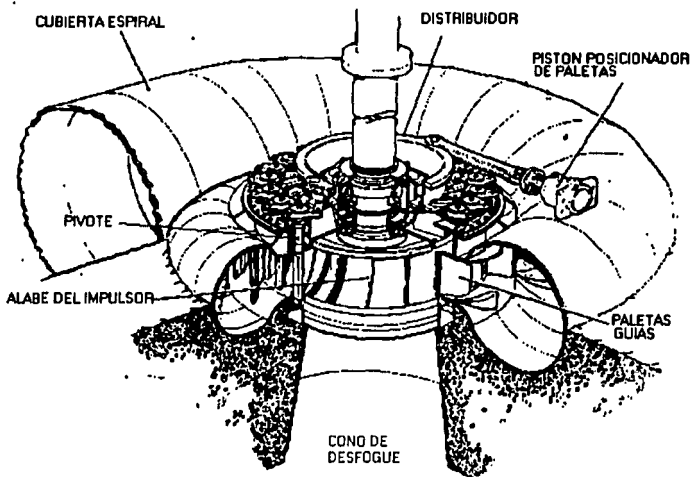


Figura IV.10 Dispositivos reguladores de la entrada de agua en la turbina.

En el proceso de sincronización, la máquina debe ser llevada a una frecuencia de 60 Hz para su conexión a la red eléctrica. La frecuencia se controla mediante la velocidad de giro de la turbina que, en vacío, depende de la cantidad de agua que llega a sus álabes; una vez sincronizado al sistema, la frecuencia del generador queda "amarrada" a la frecuencia del sistema y una variación en la velocidad de la turbina se refleja como una variación de la potencia activa generada (Watts).

Para asegurar una velocidad constante del generador operado bajo una carga variable, la energía producida por la turbina debe ser variada proporcionalmente a la carga. Esto se consigue en la práctica regulando la apertura de la compuerta o de las válvulas a través de las cuales es admitida el agua hacia la turbina. El bloque de programa PB12 presentado en la figura IV.10

se enfoca a la regulación de velocidad en vacío (y por tanto de la frecuencia) en función de la posición de las compuertas.

Los segmentos de programa mostrados en la figura inferior forman en conjunto un pulso de control a través del cual se modifica la posición de las paletas en la turbina (lo que altera la cantidad de agua suministrada, la velocidad de la turbina y la frecuencia de la señal), al que se designa como pulso para subir/bajar frecuencia. La figura IV.11 muestra la programación de los temporizadores y la forma esperada del pulso de control.

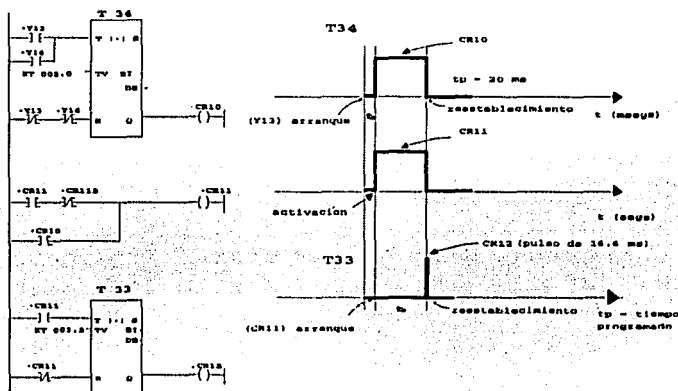


Figura IV.11 Control de frecuencia. Programación el pulso de control S/B frecuencia.

En el segmento inicial T34 es arrancado con una señal de subir (Y13) o bajar frecuencia (Y14) recibida de un segmento previo; después de 20 ms. CR10 se activa³ y energiza la salida CR11 del segmento siguiente sellando o "enganchando" el pulso de control subir/bajar frecuencia. La activación de CR11 arranca el temporizador T33 que inicia su cuenta descendente. Después de 3 seg., la salida CR12 se activa finalizando el pulso subir/bajar frecuencia reestableciendo los temporizadores T34 y T33 para iniciar un nuevo ciclo.

³ TEMPORIZADOR CON RETARDO A LA CONEXIÓN (VER APÉNDICE A PARA MÁS DETALLE)

Control proporcional de frecuencia. En una segunda etapa de control de frecuencia, ésta se regula en condiciones de operación normal. En las siguientes secuencias, los segmentos primero y segundo se combinan en forma alternada con el tercero a fin de generar pulsos de control proporcional (CR14) para subir/bajar frecuencia. La figura IV.12 muestra el programa y a la derecha la señal esperada.

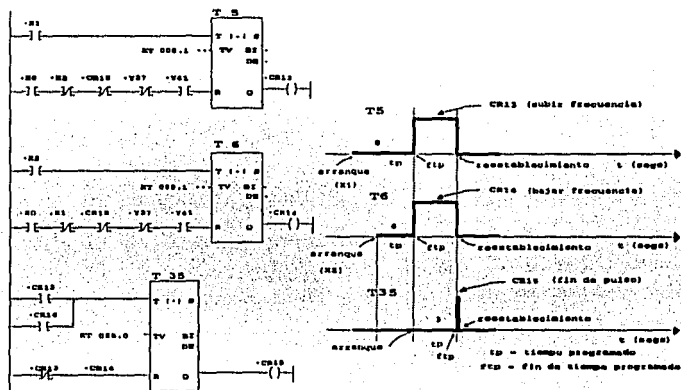


Figura IV.12 Pulso de control proporcional de frecuencia.

En los segmentos primero y tercero, T5 es activado por un orden externo de subir frecuencia (X1); después de 10 ms. se activa se activa la bandera CR13 (subir frecuencia). El cambio de nivel lógico en CR13 arranca a T35 en el tercer segmento. Al finalizar T35 su cuenta (3 seg), la bandera CR15 se activa y se reestablece a T5 finalizando el pulso de subir frecuencia. Apartir de este punto la secuencia se repite mientras la señal X1 esté presente.

En los segmentos segundo y tercero, T6 se arranca con la orden de bajar frecuencia (X2). Después de 10ms se activa la bandera CR14 (bajar frecuencia). Al cambiar de estado, CR14 arranca a T35 en el tercer segmento. Al finalizar T35 su cuenta (3 seg), la bandera CR15 se activa y se reestablece a T6 finalizando el pulso de bajar frecuencia. A partir de este punto la secuencia se repite mientras la señal X2 esté presente.

C) PB 13 Control de voltaje

La magnitud del voltaje inducido en una fase del estator de un generador síncrono esta definida por la expresión:

FALLA DE ORIGEN

$$E_A = K\phi\omega$$

donde: E_A = voltaje generado en el rotor
 K = constante que depende de la construcción del generador
 ϕ = flujo magnético, A/m.
 ω = velocidad de rotación, rad/seg.

El voltaje depende del flujo de la máquina, de su frecuencia o velocidad de rotación y de su construcción; sin embargo, el flujo magnético depende de la corriente que fluye en el circuito de excitación del generador. Es esta circunstancia la que se aprovecha en el bloque de programa PB13 para producir pulsos subir/bajar voltaje que se aplican al circuito de excitación del generador para el control de su voltaje terminal. El excitador y su regulador de voltaje, controlando la corriente del rotor del generador, determinan la magnitud del voltaje y la cantidad de vars a los cuales operará el generador.

La figura IV.13 muestra los segmentos 1 al 3 del bloque de programa que controla el voltaje terminal del generador. En los segmentos 1 y 2 se programan, en forma alternada con el segmento 3, pulsos de control de voltaje cuya forma de onda que se espera corresponda a la mostrada en la parte derecha de la figura.

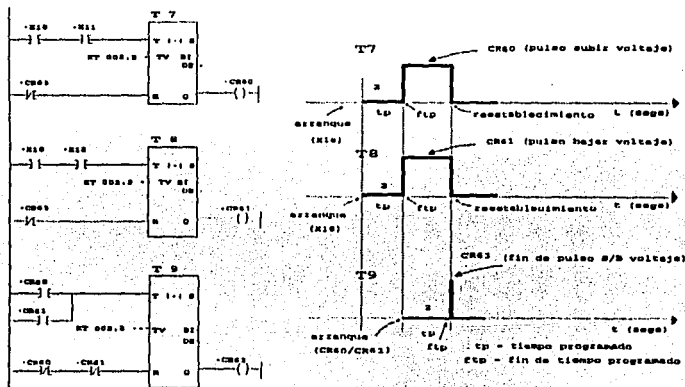


Figura IV.13 Programación de pulsos para control de voltaje.

Los segmentos 1 y 3 operan conjuntamente: T7 es arrancado cuando X18 (secuencia en automático) y X11 (subir voltaje) están presentes y determina el inicio del pulso "subir voltaje". Luego de 2 segundos, la bandera CR60 a la salida de T7 va a un nivel lógico alto lo que arranca a T9. Al cabo de 2 segundos se activa la bandera CR63 determinando el fin del pulso "subir voltaje".

Los segmentos 2 y 3 operan conjuntamente: T6 es arrancado cuando X18 (secuencia en automático) y X12 (bajar voltaje) están presentes y determina el inicio del pulso "bajar voltaje". Luego de 2 segundos, la bandera CR61 a la salida de T6 va a un nivel lógico alto lo que arranca a T9. Al cabo de 2 segundos se activa la bandera CR63 determinando el fin del pulso "bajar voltaje".

REFERENCIAS

- 1.- Hans Berger; *Automating with the SIMATIC S5 115-U*, SIEMENS. 1992.
- 2.- SIMATIC S5, Step5 Basic Package (Manual), SIEMENS.
- 3.- Texas Instruments 5TI2000 Programmers Operators Manual
- 4.- Engineering and Research Center Division of Power Engineering. *Training course for power operating personal.*

CAPITULO QUINTO

RED DE AREA LOCAL

SINEC L2

Uno de los mayores beneficios de un sistema de control basado en PLC's es la capacidad del PLC para ser programado en línea; esto es, que no es necesario detener el proceso para realizar cambios al conjunto de instrucciones. En este sentido, la adición de una red de área local al esquema de control no sólo permite la programación en línea del PLC, sino que resalta sus capacidades de comunicación. En el presente capítulo se mencionan brevemente las características físicas y funcionales de la red de área local SINEC L2, considerándola como un elemento complementario al empleo de PLC's en esquemas de automatización.

RED DE AREA LOCAL SINEC L2.**5.1 ASPECTOS GENERALES.**

Una red de área local (LAN), consiste de varios dispositivos de proceso de datos conectados a través de uno o más tipos de alambre que proveen comunicación digital en una distancia relativamente corta. Se trata de una interface serie/paralelo de alta velocidad entre sistemas de computadoras, sistemas de control y periféricos. Tales dispositivos incluyen :

Puentes (Bridges)	Repetidores
Unidades de interface de red y bus	Enrutadores
Terminales "tontas" (sin habilidad de proceso)	Software
Facsimil	Unidades de cinta
Servidores de archivo/computadoras centrales	Digitalizadores de texto
Gateways	Servidores de terminal
Computadoras personales	Equipo de video de teleconferencia
Servidor de impresora	Estaciones de trabajo

5.1.1 Cableado de una LAN.

Existen tres alternativas para el alambrado de una red de área local: a) par trenzado; b) cable coaxial y c) fibra óptica.

a) Par trenzado. Se emplea cuando la velocidad de transmisión es menor de 1 Mbps (Millón de bits por segundo). Es barato pero susceptible de ruido. Se emplea en redes de pequeña longitud.

b) Cable coaxial. Presenta bajos problemas de ruido y soporta velocidades de transmisión de hasta decenas de Mbps. Permite conectar más dispositivos sobre una distancia mayor que una red con par trenzado pero su costo es superior.

c) Fibra óptica. Es el tipo de cable más caro; en cambio, permite velocidades de transmisión de cientos de Mbps y hasta unos pocos Gbps. Es de tamaño reducido y no interfiere con señales de otros cables. Algunas redes más sofisticadas envían sus mensajes a través de ondas de radio y ondas de luz; sin embargo, no son tan comunes como el par trenzado y el cable coaxial.

5.1.2 Transmisión de señales.

Para la transmisión de señales se emplean dos técnicas principales que dependen del cable seleccionado y son: banda base y banda de transmisión.

- **Sistema de banda base.** Se emplea con cualquier tipo de cable, usa pulsos de voltaje constante y todo el espectro de frecuencia. Una desventaja del sistema de banda base es que presenta borrado o pérdida de pulsos cuando se envían sobre largas distancias.

- **Sistema de banda de transmisión.** El sistema de banda de transmisión emplea un multiplexado de división de frecuencia que segmenta el espectro de transmisión en canales. De esta forma se permite la transmisión de TV, radio y señales de datos digitales en el mismo cable. Este tipo de sistemas son diseñados para cubrir áreas importantes con una gran cantidad de usuarios.

5.2 TOPOLOGIAS DE RED

Por topología se entiende la disposición física de los elementos de la red. Las topologías más comunes son: estrella, bus, árbol, anillo y anillo-estrella (ver figura V.1). El término "local" que identifica este tipo de redes se debe al hecho de una LAN está confinada a un área inmediata dentro de una construcción o a algunos edificios dentro de un área de proceso.

Estrella. Constituyó la primer forma de LAN. En una topología de estrella cada usuario tiene línea directa a los recursos de la red y no tiene que compartir el ancho de banda de la línea. Todos los nodos de la red se conectan a una locación central que contiene un sistema de conmutación para conectar al nodo que lo solicite con un nodo destino. Es la más simple y la menos flexible.

Bus. La topología de bus emplea un medio de transmisión de múltiple acceso. La transmisión es en forma de paquetes que contienen los datos y la dirección destino. Cada nodo monitorea la red por paquetes direccionados a ese nodo y los copia desde la red.

Arbol. Es un caso general de la topología de bus.

Anillo. El arreglo en anillo consiste de una malla donde los usuarios están en serie dentro de un circuito cerrado sin comienzo ni final. Cada uno de los nodos se conecta al anillo a través de dispositivos repetidores que procesan los datos llegados al nodo, copian los datos del anillo direccionado a ese nodo y envían los paquetes al siguiente nodo del anillo.

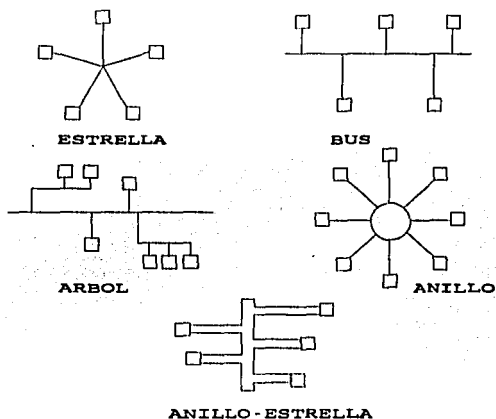


Figura V.1 Topologías para configuración de redes de área local.

Anillo-estrella. En esta topología el alambrado se pasa a través de una locación central llamada "concentrador alambrado de anillo". Todos los repetidores están ubicados en la misma posición física.

Algunos tipos de alambrados son más apropiados para determinadas topologías que otros; por ejemplo, los sistemas de banda base no son aconsejables para topologías de árbol mientras que la banda de transmisión no es útil en sistemas de anillo. En general, no hay una topología que sea la más aconsejable para todas las aplicaciones.

5.3 ACCESO A LA RED.

En todas las redes se presenta una competencia por los recursos de ésta. La regulación del acceso de un usuario a los recursos de la red se realiza por dos métodos principales: **heurístico** y **determinístico**.

5.3.1 Método de acceso heurístico.

Es el que prevalece en las redes tipo bus. Se designa como CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Acces/Collision Detection). En el método de acceso heurístico, la estación que desea transmitir vigila la red para sentir una posible señal portadora y determina si existe alguna transmisión. Si ninguna señal está presente, la red está libre y puede iniciarse el envío de datos pero sin dejar de vigilar el medio de transmisión. Si durante el proceso de vigilancia se detecta otra estación transmitiendo información, la primera estación deja de transmitir y espera un intervalo aleatorio antes de intentar transmitir otra vez.

Dentro del método heurístico existe la posibilidad que otra estación comience el envío de un mensaje al mismo tiempo; en ese caso, se dice que ocurre una colisión en los paquetes de datos. Los efectos de las colisiones se minimizan mediante el monitoreo constante de la red, ya que cuando una estación descubre que otra está enviando señales al mismo tiempo, cesa su transmisión y notifica a las otras estaciones que ha ocurrido una colisión. Su mayor desventaja es el reducido número de usuarios que pueden integrarse a la red pues un número alto de ellos incrementa la cantidad de colisiones y el tiempo de recuperación de la red.

5.3.2 Métodos de acceso determinístico.

El método determinístico garantiza a cada usuario una cantidad de tiempo real en la red mediante una **reservación** o **testigo** (token).

Testigo. En el sistema del testigo, un patrón especial de bits (el testigo) circulan en el bus o anillo. Cuando una estación recibe al testigo, se le permite enviar uno a más paquetes de datos por un período establecido de tiempo al final del cual el testigo es pasado a otro nodo que desea acceder a la red. Si la transmisión no se finaliza, el usuario debe esperar a que el testigo regrese al mismo punto.

Reservación. En el sistema de reservación, se inserta un mensaje en el anillo avisando a la red que se desea transmitir a través de ella. Al obtenerse la respuesta del sistema, se dispone del tiempo necesario para realizar el envío de información hasta el fin.

En el método determinístico cada usuario tiene igualdad de acceso al medio de transmisión una vez llegado su turno. Su desventaja es la implementación de los mecanismos de control del testigo y la reservación. En general, la técnica CSMA/CD funciona mejor en redes de tráfico bajo, mientras que la técnica del testigo y reservación funciona mejor con tráfico de red elevado ya que no existen las colisiones. En ambos métodos, no obstante se maneja la prioridad de acceso a la red .

5.3.3 Aplicaciones.

Una LAN se emplea para desempeñar tareas como las siguientes:

- Comunicaciones PC a PC.
- Compartición de recursos caros o escasos (graficadores, impresoras).
- Compartición de archivos o programas.
- Correo.
- Actualización de programas.
- Acceso remoto a funciones.
- Acceso remoto a experimentos.

Todas estas funciones pueden ser implementadas para proveer un **procesamiento distribuido** que consiste en la ejecución de tareas de cómputo procesadores conectados separadamente.

5.4 RED SINEC L2

SINEC L2 es una red de área local (LAN) tipo bus empleada para la intercomunicación de controladores lógicos programables, PC's AT compatibles y otros sistemas de control; así mismo, el sistema SINEC L2, como red de área local, enlaza controladores programables compatibles con PROFIBUS y con diversos dispositivos de campo. El PROFIBUS (bus de campo de proceso) es una designación dada a los buses de campo y buses de proceso que se basan en la norma DIN 19245, la cual especifica propiedades mecánicas, eléctricas, funcionales y características para un sistema de bus de campo de bit serial; en otras palabras, se trata de un

bus de campo de proceso estandarizado. El establecimiento de estas normas permite la conexión integral de equipo de diferentes proveedores sin necesidad de adaptaciones adicionales de consideración.

5.4.1 Componentes del sistema SINEC L2.

La red de área local SINEC L2 se integra por los siguientes elementos:

- ▶ Un procesador de comunicaciones CP 5430 para enlazar el PLC SIMATIC a la LAN.
- ▶ Un bus terminal RS 485 para conectar los nodos de SINEC L2 al cable de la LAN.
- ▶ Cable para interconexión de los buses terminales
- ▶ Módulo interface CP 5412 para el enlazar PC's IBM AT compatible con SINEC L2.
- ▶ EL software de configuración COM 5430

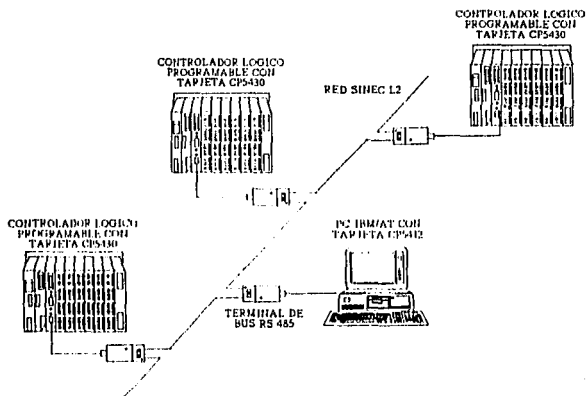


Figura V.2 Componentes del sistema SINEC L2.

5.4.2 Características funcionales.

Se pueden conectar hasta 32 nodos a un segmento de bus con una longitud de cable para las terminales RS 485 limitada a no más de 1200m para una velocidad de transmisión de 9.6 Kbits/s (baudios). Velocidades de transmisión más altas reducen la longitud permisible del cable.

SINEC L2 permite el empleo de repetidores para incrementar el número de nodos de la red hasta 122 sobre una distancia de 4800m (ver Fig. V.3)

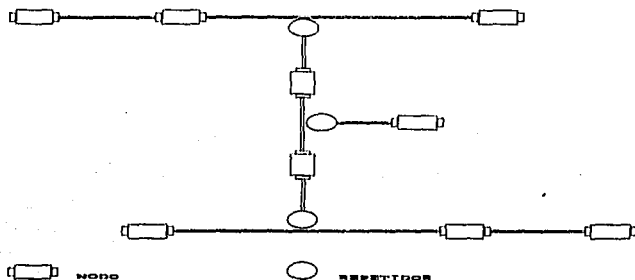


Figura V.3 Los repetidores permiten aumentar el número de nodos en una LAN.

5.4.3 Aplicaciones.

La red SINEC L2 tipo bus es ideal para la conexión de dispositivos de campo y controladores programables y donde quiera que se necesite la coordinación de una secuencia de procesos por ejemplo :

- en procesos de ingeniería
- en manejo de producción
- en ingeniería mecánica
- en ingeniería de potencia
- en la elaboración de automatización de servicios

Los siguientes dispositivos pueden ser interconectados a la red SINEC L2 :

- Controladores programables S5-115U, S5-135U, S5-150U Y S5-155U
- Protección de motores y equipo de control con capacidad de comunicación
- Transductores
- Actuadores
- Reóstatos de campo
- Dispositivos compatibles de campo (PROFIBUS, bus de campo de proceso)
- Comunicación con el operador, visualización y programación de la unidad.

5.4.4 Principio de operación.

Un aspecto esencial de la red es su método de acceso. SINEC L2 posee dos tipos de nodos con diferente privilegio de acceso : nodos activos y nodos pasivos.

Nodos activos.

- transmiten datos a otros nodos sin una petición
- solicitan datos de otros nodos

Nodos pasivos.

- intercambian datos únicamente cuando un nodo activo les pide hacerlo.

El método de transmisión de señales es a través de un *testigo*, esto es, que un nodo activo debe esperar hasta que reciba la autorización de acceder a la red. El testigo o autorización de acceso está formado por una secuencia especial de bits. El proceso es como sigue :

- El testigo (el derecho de acceder a la red) se pasa automáticamente de un nodo a otro en orden de la dirección del nodo.
- El testigo es pasado en un orden lógico jerárquico. El nodo con direccionamiento mayor pasa el testigo a un nodo con dirección inferior. El tiempo que transcurre entre el envío del testigo y su nueva recepción se conoce como *tiempo de rotación de testigo*.
- Cada nodo activo conoce la dirección de los otros nodos activos y verifica periódicamente si se han agregado o suprimido elementos a la red.

Pueden presentarse dos situaciones a partir del principio de operación de la red SINEC L2 :

- 1) Cuando únicamente un nodo es activo y todos los demás son pasivos, la red opera bajo el principio de *maestro esclavo*.
- 2) Cuando todos los nodos son activos, la red opera bajo el principio de *paso de testigo*.

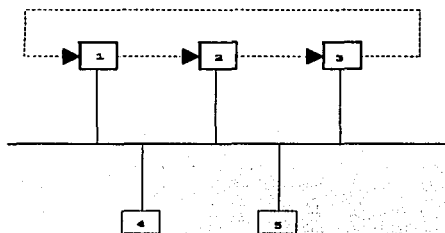


Figura V.4 RED SINEC L2 con nodos activos (1, 2 y 3) y nodos pasivos (4, y 5).

5.4.5 Capacidades de comunicación.

Las características más importantes de la red tipo bus SINEC L2 son :

- ▶ Numerosas opciones para la transmisión de datos y,
- ▶ Estructura abierta

El término de estructura abierta se refiere a la posibilidad de acoplar a la red dispositivos provenientes de otros fabricantes así como dispositivos compatibles con el bus de campo de proceso (PROFIBUS).

Dentro del ambiente de SINEC L2, los datos pueden ser intercambiados entre los siguientes elementos :

- Controlador programable S5 ↔ Controlador programable S5
- Controlador programable S5 ↔ PC/AT (o programador)
- Controlador programable S5 ↔ Dispositivo de campo SIEMENS
- Controlador programable S5 ↔ Controlador programable compatible con el PROFIBUS o el dispositivo de campo

5.5 DESCRIPCION DE LOS COMPONENTES DE LA RED SINEC L2.

5.5.1 Procesador de comunicaciones CP 5430.

La figura V.5 muestra el panel frontal y los elementos de control de la tarjeta de comunicaciones 5430. En las tablas V.1 y V.2 se presenta una descripción de los mismos.

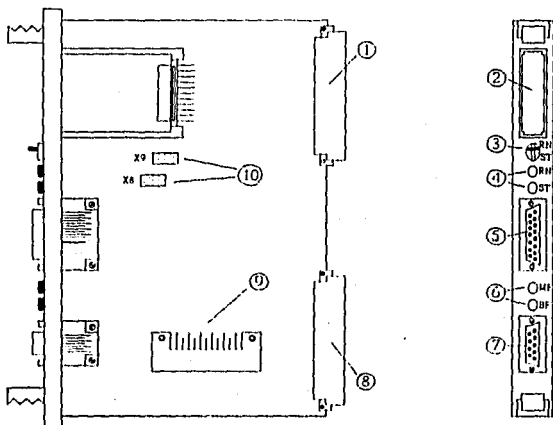


Figura V.5 Tarjeta de comunicaciones CP 5430.

1 Conector base X1

Junto con el conector base X2, X1 habilita la comunicación entre la CPU y la CP 5430; es decir, establecen la conexión al bus interno S5 de E/S.

2 Receptáculo para submódulo de memoria**3 Selector de modo STOP/RUN (ver descripción en tabla V.1)****4 Led de modo****5 Puerto del programador****6 Leds de falla (ver descripción en tabla V.2)****7 Interface L2 para terminal de bus (conector miniatura tipo D con 9 clavijas)****8 Conector posterior X2****9 Receptáculo para submódulo de sistema operativo****10 Selectores de prueba**

5.5.2 Leds de STOP y RUN. La tabla V.1 describe los leds de Stop y RUN.

LED	Estado de la CP 5430	Descripción
Led RUN encendido	RUN	Son posibles todos los métodos de transmisión de dato desde el programa de control del CPU y desde el bus del programador.
Led STOP encendido	STOP	<ul style="list-style-type: none"> ● El intercambio de datos entre el procesador de comunicaciones y la CPU a través del bus interno está deshabilitada ● Es posible la inicialización de la CP a través de la interface AS 511 ● Es posible el intercambio de datos a través del programador
Led RUN y led STOP encendidos	NO SINCRONIZADO	(Posible únicamente si la tarjeta CP no ha sido inicializada) <ul style="list-style-type: none"> ● No se permite ninguna transmisión de datos (bus interno deshabilitado) ● Es posible la inicialización de la tarjeta CP a través de la interface AS 511 Causa : NO se ejecutó DHB SYNCHRON o lo hizo con error. Medidas : Invocar el DHB(bloqueo de manejo de datos) SYNCHRON
Led RUN y led STOP apagados	.	Causa: <ul style="list-style-type: none"> ● No hay alimentación ● CP mal insertada ● Señalización de falla en los leds MF y BF (ver tabla V.2) Ninguna transferencia de datos posible Bus interno deshabilitado

Tabla V.1 Descripción de los leds STOP y RUN.

Los leds MF (falla de módulo) y BF (falla de bus) se iluminan o parpadean cuando se detecta una falla. Cuando alguno de estos leds luce, los indicadores de RUN y STOP son irrelevantes; además, el led de falla de módulo tiene preferencia sobre el led de falla de bus.

	Tipo de falla	Descripción/Causa
Led BF parpadea	Falla de bus	<ul style="list-style-type: none"> • Ninguna transferencia de datos posible (bus interno deshabilitado) • Es posible la inicialización a través del módulo de interface AS 511 • NO es posible intercambiar información a través del bus del programador Posibles causas: <ul style="list-style-type: none"> • Submódulo de memoria no insertado, defectuoso o borrado • Submódulo de sistema operativo y el paquete de programación COM 5430 no son compatibles
Led BF luce estable		Falla en el hardware del bus
Led MF parpadea o luce estable	Falla del módulo	Causa : falla en el hardware del CP 5430 Medida: reemplazar la tarjeta
MF y BF lucen o parpadean		<ul style="list-style-type: none"> • Ningún submódulo de sistema operativo • defecto en el submódulo del sistema operativo • defecto en el hardware

Tabla V.2 Descripción de leds de falla de Módulo (MF) y de falla de bus (BF).

5.5.3 Terminal de bus RS 485.

El terminal de bus RS 485 hace posible conectar el procesador de comunicaciones CP 5430, la computadora PC AT/IBM (o programador) y el PLC SIMATIC S5 directamente con la red SINEC L2 a través del cable de la red. Así mismo, el terminal de bus facilita la conexión de computadoras y paneles de operador a la LAN sin un alambrado adicional; de igual forma permite la conexión a cualquier interface estandarizada L2.

3.3.4 Cable de la SINEC L2.

Consiste de un par trenzado de doble forro y cable blindado con las siguientes propiedades:

- ° Impedancia fuente : 160 Ω
- ° Impedancia de lazo : 110 Ω /Km
- ° Capacitancia efectiva : 30 nF/km
- ° Atenuación : 0.9 dB/100 m (200 kHz)
- ° Sección del núcleo : 0.34 mm²

Las características físicas y mecánicas del cable, así como su correcta instalación son factores que determinan el nivel máximo de inmunidad al ruido.

6. REFERENCIAS.

- 1.- SINEC L-2 . Manual. SIEMENS (1992).
- 2.- J.A. Moore. *Digital Control Devices: Equipment and Applications*. ISA PRESS, 1986.

CAPITULO SEXTO

PRUEBA Y VALIDACION DE LAS SECUENCIAS DE CONTROL

El presente capítulo describe los resultados obtenidos en la evaluación de las secuencias de control desarrolladas en el capítulo IV. Debido a su extensión, no es posible incluir la totalidad de ellas en el presente trabajo; no obstante, en el apéndice A se presenta un listado parcial de los diagramas de escalera e instrucciones del programa final. La referencia [1] contiene el total de las secuencias no presentadas aquí.

La verificación del programa de control se realizó mediante pruebas de laboratorio en las que se simularon condiciones de operación de cada bloque de programa. Las señales generadas por cada secuencia de instrucciones se registraron y analizaron oportunamente, comparándolas con las señales previstas en la programación que acompañan a cada diagrama de escalera presentados en el capítulo cuarto. Los bloques de programa que así lo requirieron, fueron modificados.

Cabe mencionar que la etapa de validación en sitio de las secuencias se llevará a cabo en una fecha posterior a la conclusión de este documento, por lo que su descripción queda fuera de alcance.

PRUEBA Y VALIDACION DE LAS SECUENCIAS DE CONTROL

En las páginas siguientes se presentan los resultados obtenidos en la evaluación de las secuencias de control programadas en el capítulo cuarto; esto es, las bases de tiempo, el control de voltaje y el control de frecuencia. Para una revisión de la totalidad de las secuencias, consultar la referencia [1].

VI.1 CONDICIONES DE PRUEBA

Concluida la programación, la lista de instrucciones se transfiere a la memoria RAM del PLC para su ejecución; posteriormente, cuando el programa ha sido depurado, se translada a un módulo de memoria EPROM para su almacenamiento definitivo. Antes de lo anterior, sin embargo, el programa debe ser sometido a prueba. La figura VI.1 muestra el equipo utilizado en la validación de las secuencias de control. El esquema incluye computadora, PLC, módulo de interruptores, fuente externa de voltaje de cd y osciloscopio.

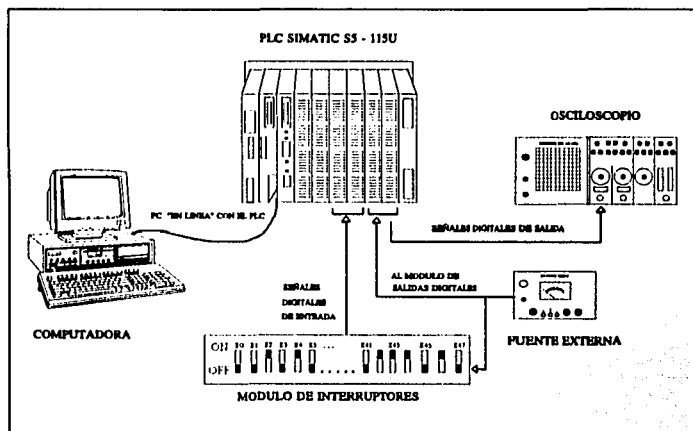


Figura VI.1 Circuito de prueba para la validación de secuencias de control.

La computadora, a través del teclado, permite la edición del programa de instrucciones en lenguaje Step5. Cuando se activa la comunicación PC-PLC, se dice que están "en línea" lo que habilita el flujo de la información en un sentido y otro. A través del módulo de interruptores se alimentan las señales digitales de entrada requeridas por el programa, mientras que la fuente externa de voltaje proporciona energía a los módulos de salida digitales y a las entradas digitales: finalmente, el osciloscopio es incluido para la visualización y registro de las señales de salida.

VI.2 VALIDACION DE BASES DE TIEMPO

Ya que proporcionan la sincronización necesaria entre las distintas fases de operación de una central hidroeléctrica, las señales de reloj son elementos primarios dentro del esquema de control cuyo funcionamiento debe vigilarse en forma permanente. Este apartado satisface tal requerimiento al evaluar el funcionamiento del bloque de programa PB9 que contiene las señales de reloj de 3seg. y de 20 ms.

En las figuras VI.2a y VI.2b se presentan los oscilogramas obtenidos para cada caso.

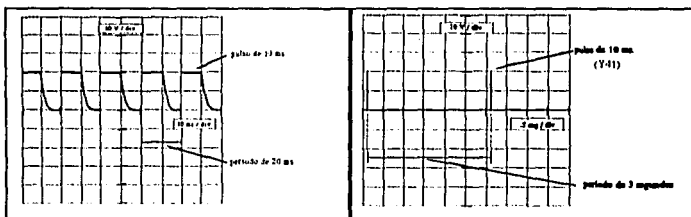


Figura VI.2a Base de tiempo de 20 ms.

Figura VI.2b Base de tiempo de 3 seg.

Interpretación de resultados. La señal obtenida en el caso de la base de tiempo de 10 ms. no resultó estrictamente simétrica como se esperaba (ver figura IV.7 en cap. IV); sin embargo, su ciclo de trabajo y periodo sí se ajustaron a lo programado. Por otra parte, la señal de 3 seg. sí mostró las características previstas (ver figura IV.8 en cap. IV).

El desempeño individual de cada base de tiempo se considera adecuado debido a que su funcionamiento en las diferentes partes del programa se encontró satisfactorio.

VI.3 VALIDACION DE CONTROL DE FRECUENCIA

La regulación de frecuencia tiene lugar en dos etapas diferentes, complementarias una de la otra, donde se generan pulsos que determinan el subir o bajar la frecuencia de la señal de salida en el generador. Las formas de onda obtenidas en la primera etapa de control de frecuencia se presentan en las figuras IV.3a y IV.3b

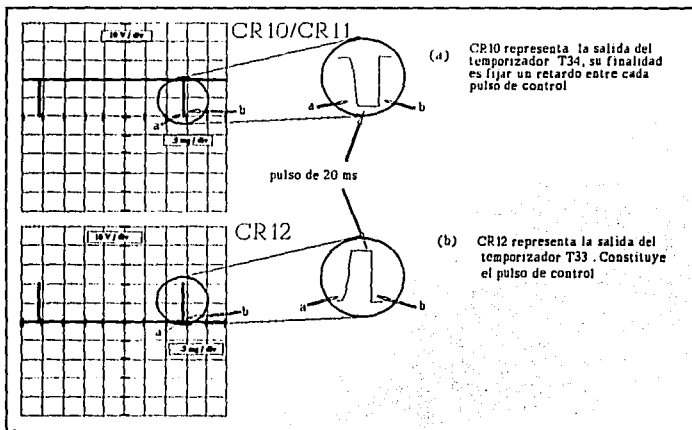


Figura VI.3 Primera etapa de control de frecuencia. El pulso en "a" determina el lapso entre cada pulso de control; mientras que en "b" se presenta el pulso de control con duración de 20 ms.

Interpretación de resultados. CR10(CR11) representa la salida de T34 (ver figura IV.9 en cap. IV). Consiste de un pulso con un ancho de 3 segs. que se repite cada 20 ms.; esto es,

CR10(CR11) permanece activo 3 segundos y se desactiva por 20 ms. CR10(CR11) determina el inicio del pulso de control para subir/bajar frecuencia. Por su parte, CR12 determina el final de ese mismo pulso complementa la función de CR10(CR11) cerrando un ciclo de trabajo e iniciando otro nuevo para generar el siguiente pulso. La acción conjunta puede entenderse en los siguientes términos: en (a) CR12 va a un nivel alto. Al mismo tiempo, CR10(CR11) va a cero. En (b), después de transcurridos 20 ms., CR10(CR11) conmuta a un nivel lógico alto y fuerza a CR12 a un nivel lógico bajo. Este estado se prolonga por 3 segundos luego de los cuales se repite el ciclo.

En la segunda etapa de control de frecuencia se regulan las variaciones presentadas en la operación del generador una vez sincronizado a la línea. La regulación se realiza en los segmentos 5,6 y 7 del bloque de programa 12 (PB12). Las señales de control aparecen en las figuras IV.4a y IV.4b.

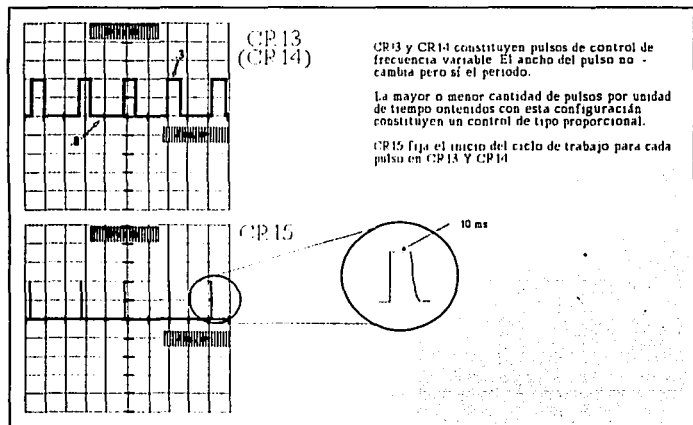


Figura VI.4 Señales de la etapa de control proporcional de frecuencia. (segmentos 5,6 y 7 de PB12).

Interpretación de resultados. El arreglo formado por CR13(CR14) y CR15 constituyen pulsos de control de frecuencia variable. El ancho del pulso (10 ms) permanece constante; sin embargo, el número de pulsos por unidad de tiempo cambia con las siguientes condiciones: Si la frecuencia a la salida del generador se aleja del valor nominal preestablecido, el número de pulsos aumenta tratando de corregir tal desviación; conforme el valor de la frecuencia se acerca al valor nominal, el número de pulsos disminuye presentándose en forma más espaciada. CR15 es la señal que determina el inicio de cada pulso. La conjunción CR13-CR15 genera pulsos proporcionales para subir frecuencia. La combinación CR14-CR15 complementan la acción de control generando pulsos para bajar frecuencia. La operación de una u otra opción es determinada por la variación de la frecuencia ya sea por encima o por debajo de su valor de referencia, respectivamente.

VI.4 VALIDACION DEL CONTROL DE VOLTAJE

Al igual que la frecuencia, el voltaje se regula en dos etapas de operación diferentes. La primera corresponde a la sincronización donde el voltaje terminal del generador es llevado en condiciones de vacío a su valor nominal a fin de poder llevar a cabo la sincronización a la línea. En esta operación participan el gobernador, el control automático de voltaje (A.V.R) y el sincronizador. Una vez puesto en línea el generador, las variaciones en la carga producen variaciones en el voltaje terminal de la máquina que son reguladas en una segunda etapa donde participa principalmente el gobernador.

En la figura VI.5 se presentan las señales de control de la segunda etapa; es decir, con el generador conectado a la línea.

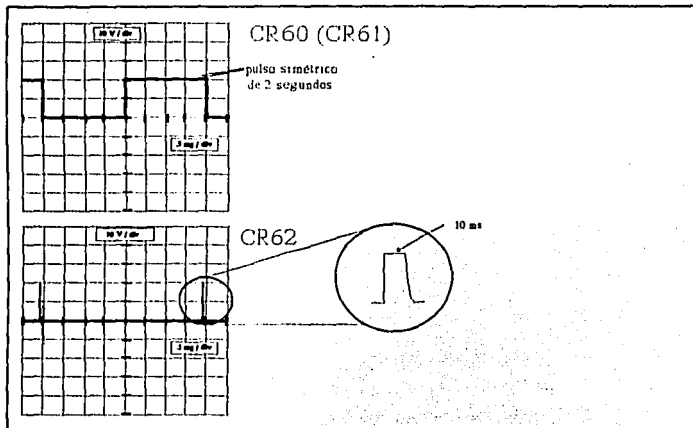


Figura VI.5 Señales para el control de voltaje después de la sincronización.

Interpretación de resultados. CR60 y CR61 poseen la misma finalidad: determinan el instante de arranque de cada pulso de control para subir o bajar voltaje, respectivamente. El flanco descendente en cada una de ellas genera un pulso con duración de 10 ms. representado por CR62 que constituye la señal para subir o bajar voltaje. A diferencia de la frecuencia, el control de voltaje no es de tipo proporcional.

REFERENCIAS.

1.- F. Suárez. "Desarrollo de la programación, optimización y verificación de las secuencias de arranque, paro y sincronización de la central hidroléctrica "El Encanto" e lenguaje de programación Step5". IIE/26/297/04/P, mayo de 1995.

CAPITULO SEPTIMO

CONCLUSIONES

Y

EXPECTATIVAS

CONCLUSIONES Y EXPECTATIVAS

7.1 CONCLUSIONES.

Se ha hecho evidente que aún cuando la mayoría de las centrales hidroeléctricas utilizan la tecnología más avanzada y eficiente al momento de ser construidas, constantemente se producen alternativas más eficientes, y a menudo más económicas, en la generación de energía hidroeléctrica. De esta manera, para sobrevivir, las centrales hidroeléctricas (CH's) diseñadas y construidas en una época, deben ser rehabilitadas dentro de los parámetros de una época posterior a su creación.

Es bajo esta premisa que la renovación de CH's antiguas con equipo moderno, como una forma de prolongar su vida útil, se convirtió en una tendencia ampliamente difundida que además, en la mayoría de los casos, resulta en un aumento de la eficiencia y capacidad de generación de la central cuyo funcionamiento es comparable al de una instalación nueva. La experiencia ha demostrado que los resultados de la rehabilitación proporcionan operación eficiente y confiable por algunas décadas asegurando una salida estable de electricidad.

Por otra parte, el valor creciente de la generación de carga pico y la necesidad de incrementar la producción de energía eléctrica, motivó en la última década un interés renovado en el desarrollo de la mini y micro potencia hidroeléctrica y la rehabilitación de las plantas existentes debido al incremento en los costos de generación y a la búsqueda de diversificar las fuentes de producción primaria de energía. Bajo este punto de vista, se considera que la hidroenergía de pequeña escala puede constituir la contribución más grande e inmediata en el mejoramiento de las condiciones de vida para la mayoría de la población en los países tanto desarrollados como en vías de desarrollo y, especialmente, en aquellas comunidades apartadas de los centros de distribución.

En lo que se refiere al control de las CH's, la necesidad de abatir costos de operación e instalación inició en los 80's una creciente aceptación del control computarizado en porciones de las CH's que previamente requerían una acción mecánica humana constante y costosa. Desde ese entonces se ha presentado una creciente integración de los recursos computacionales, de instrumentación y de manejo de información que ofrece la tecnología digital a las necesidades de las CH's.

En la actualidad, los controles computarizados han alcanzado el estado de sofisticación al grado donde es posible tener un control automático completo en las centrales de potencia para casi cualquier tipo de operación. En la búsqueda de la eficiencia y modernidad, la aplicación de los controladores programables a las estaciones de potencia hidráulica se ha generalizado y ha llegado a ser indispensable como unidad básica del equipo de control. El rango de aplicación de los controladores ha desbordado su función inicial de simple secuenciador o manejador de funciones lógicas y aritméticas simples, extendiéndose desde el control de paro/arranque de la turbina/generador, hasta sistemas con la función del gobernador de velocidad, sistemas con la función del regulador automático de voltaje, funciones avanzadas de comunicación, monitoreo, registro de eventos, sistemas de protección control de carga y elaboración de reportes, entre otros.

Una de las grandes ventajas de controlador programable es que las funciones son realizadas en la forma de software y pueden por lo tanto ser expandidas y hechas más poderosas. es así que, desde su aparición, el PLC resultó más económico que cualquier esquema de relevadores; además, la facilidad y flexibilidad del lenguaje permite operaciones complejas simplificando los sistemas de puesta a punto y depuración, así como la revisión y expansión de los programas en sitio y, aún más, en línea con el proceso. Adicionalmente, su construcción compacta y robusta que lo hacen ideal para su uso en ambientes tales como el de las CH's.

Junto con la integración del PLC a los procesos de las CH's, surgió el concepto de los sistemas de control basados en la distribución geográfica y funcional de los procesos industriales que emplean pantallas interactivas y esquemas de software para la lógica de control del proceso. Este tipo de sistemas compite con la utilización de PLC's y están siendo implementados crecientemente debido que resultan más fáciles de diseñar que los obsoletos esquemas de tipo alambrado.

Los sistemas de control con estas características se conocen como **sistemas de control distribuido** y permiten que todas las funciones de control sean implementadas por software de programación. Un sistema de control distribuido se basa en la utilización de controladores programables, computadoras personales, dispositivos digitales de propósito especial o bien una combinación de ellos que aproveche las ventajas de cada uno y provea una gama de posibilidades de control más amplia y eficiente. Una de las características del control distribuido es que cuentan con una interfase hombre-máquina que, dependiendo de su complejidad, reduce en buena

medida el problema de supervisión de la estación de potencia a la interacción entre un operador y una computadora.

Como se ha hecho evidente, los avances hasta ahora logrados en el área del control automático son ciertamente considerables en lo que a las CH's se refiere pero, no obstante, siempre existe la posibilidad de conseguir mejoras adicionales en alguna parte del sistema.

7.2 EXPECTATIVAS

a) Tendencias en la generación de hidroenergía.

La hidroenergía enfrenta enormes retos para el futuro. Los vastos recursos hidráulicos aún por ser explotados muestran que existe una gran alcance dejado en este sector.

Los grandes hidro esquemas están comúnmente asociados con grandes reservorios los cuales incrementan las objeciones ambientales. En cambio, las estaciones al filo del río de mediano tamaño con un pequeño almacenamiento aguas arriba, en el rango de 20 a 100 MW, pueden ser económica y ambientalmente más factibles y fáciles para desarrollar y financiar por lo que esta opción se espera sea impulsada considerablemente.

Los principales avances serán en el diseño, métodos y materiales de construcción y nuevos diseños de equipo y de plantas. La atención se enfocará en el mejoramiento de la eficiencia y disponibilidad, en la reducción de costos y estandarización de equipos. Otras características a ser impulsadas incluyen flexibilidad para aceptar cambios en las turbinas sin representar pérdidas de eficiencia y la simplificación del mantenimiento y la reparación.

En otro contexto, las estimaciones realizadas indican que la energía hidráulica registrará un incremento en su producción anual; sin embargo, esto no significa que cubrirá un porcentaje mayor de la demanda mundial, que también se incrementará, por lo que este tipo de fuente de energía permanecerá responsable de alrededor del 30 % de la producción mundial de energía eléctrica. Entre las circunstancias que mejorarán o impulsarán el aprovechamiento de los recursos hidráulicos se encuentran:

- 1) Esquemas de irrigación y alimentación de agua que incluyan un componente de potencia, lo que brinda un considerable aumento del rendimiento del esquemas como un todo.
- 2) La rehabilitación y remodelación de las plantas antiguas que ofrecen una muy ventajosa vía de asegurar la mejor utilización de los recursos existentes a un relativo bajo costo.
- 3) Manufactura local de los componentes de las plantas hidroeléctricas que ayude a reducir los préstamos externos y a estimular la actividad industrial.
- 4) Diseño de proyectos apropiados a las condiciones locales.

La rehabilitación y remodelamiento de las viejas estaciones de potencia se estima llegará a cobrar gran importancia y se concentrará en plantas con cierto grado de obsolescencia, mientras que en plantas con 20 ó 30 años se buscará un aumento de la eficiencia en al menos 3 ó 4 por ciento.

b) Tendencias en los sistemas de control

En el futuro, los sistemas de control serán más importantes en el manejo, control interactivo y optimización de la operación de las plantas hidroeléctricas. El software tiende a ser crecientemente elaborado y más orientado hacia el operador creando ambientes de trabajo "amigables". De esta forma, los sistemas de control proporcionarán una facilidad mejorada de operación, mantenimiento, comunicación, monitoreo, así como control y diagnóstico remoto.

Otra tendencia igualmente importante se presenta en el considerable incremento en el número e importancia de sistemas de monitoreo de información basados en unidades de despliegue de video (VDU's) instaladas en los centros de control. La división de las funciones es consolidada por la centralización de la información lo que impulsará la creación de plantas completamente automatizadas.

En una tercera tendencia, los conceptos de control avanzado se enfocan ahora por una subdivisión del equipo en niveles jerárquicos funcionales cada uno con una tarea definida. En este acercamiento los sistemas de control distribuido adquieren gran relevancia y se presentan como la alternativa más viable ya que, además de las ventajas que resultan de la división de

tareas, habilita la construcción de sistemas que permiten proyectar mantenimiento preventivo sin detener o afectar sensiblemente el funcionamiento del mismo; aunado a esto, facilita la conexión con centros de servicio mediante computadoras personales y redes de área local.

En el futuro, será necesario considerar una fusión balanceada de estas tendencias encaminadas a minimizar la participación humana y los costos que ella implica a fin de conseguir una operación inatendida con eficiencia y disponibilidad mejoradas, que saque el mayor provecho de los recursos hidráulicos disponibles, convirtiendo la transformación de energía no sólo en una actividad necesaria sino rentable.

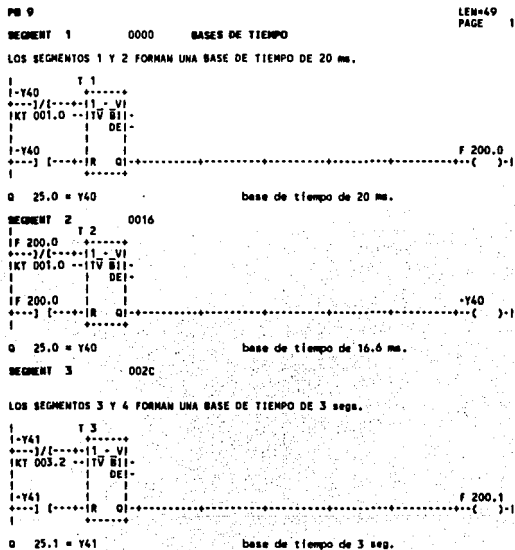
REFERENCIAS.

- 1.- Andre E. Bergaret / Michael R. Mazzoco. *Upgrading Hydroelectric Plants for More Efficient Operation*. Electricité de France, 1993.
- 2.- D. Lodang. *Data processing for hydro plant control*. Water Power and Dam Construction, september 1986.
- 3.- Shigeru Aiba/Takehiro Tonozuca. *Digital control system for hydraulic power stations*. FUJI ELECTRIC REVIEW, VOL. 37 No.1 1991.
- 4.- E.G. Davidson. *Control of hydro-electric plant*. IIE PROCEEDINGS, Vol. 133, Pt. C, No.3, APRIL 1986
- 5.- DeVault, John. *Integrated Automatic Hydroelectric Plant Control*. Waterpower '87. pags 2270-2279

APENDICE A.

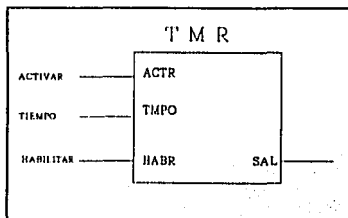
DIAGRAMAS DE ESCALERA DE LAS SECUENCIAS DE CONTROL

A continuación se presenta el listado de las secuencias de control correspondientes a los bloques de programa PB9, bases de tiempo; PB12, control de frecuencia y PB13, control de voltaje. No es el objetivo del documento presentar detalles de programación; sin embargo, con las descripciones dadas en los capítulos cuarto y sexto se puede obtener una idea clara del significado de los diagramas de escalera; así mismo, la descripción del funcionamiento de los temporizadores y contadores que se presenta en el apéndice B, es una ayuda adicional que facilita la comprensión de la lista de instrucciones.



BLOQUE TEMPORIZADOR (FB30).

El bloque de función FB30 constituye un temporizador con memoria que cuenta el tiempo que la entrada de habilitación (HBTR) permanece activa, suponiendo que la entrada de activación del temporizador (ACTR) posee un nivel lógico alto. Siempre que la cuenta iguala el valor especificado en la entrada de tiempo (TMPO), la salida (SAL) del temporizador se activa. El listado de este temporizador programado se presenta a continuación; la programación en este caso no es posible mediante diagramas de escalera convencionales, por lo que se recurrió a la lista de instrucciones.



Bloque de función FB30.

```

FB 30      D:MIHROBST.XSD      LEN=62
NAME :STUNDE
DECL :ACTR      I/O/D/B/I/C: 0  B1/BY/W/D: B1
DECL :HABR      I/O/D/B/I/C: 0  B1/BY/W/D: B1
DECL :TMO      I/O/D/B/I/C: 1  B1/BY/W/D: W
DECL :SAL      I/O/D/B/I/C: 0  B1/BY/W/D: B1
DECL :TMPO     I/O/D/B/I/C: 0  KM/KH/KT/KS/KF/KT/KC/KG: KF

0014      :L  KF +10
0016      :G  DB 30
0018      :C  DB 30
0019      :
001A      :AN =ACTR
001B      :AN =HABR
001C      :JC =M001
001D      :AN =ACTR
001E      :A  =HABR
001F      :JC =M002
0020      :A  =ACTR
0021      :A  =HABR
0022      :JC =M003
0023      :R  =ACTR
0024      :AN =HABR
0025      :JC =M001
0026      :JU =M002
0027      :
0028 M001 :L  KB 0
0029      :T  =TMO
002A      :RB =SAL
002B      :JU =M002
002C      :
002D M003 :L  =TMO
002E      :L  KB 1
002F      :+F
0030      :T  =TMO
0031      :LM =TMPO
0032      :+F
0033      :JC =M004
0034      :JU =M002
0035 M004 :S  =SAL
0036      :L  KB 0
0037      :T  =TMO
0038 M002 :BE

```

SALTAR A REESTABLECER (M001)

SALTAR A "OTRO CICLO"

SALTAR A CONTAR (M003)

SALTAR A REESTABLECER
SALTAR A "OTRO CICLO"

REESTABLECER
DW1 = 0
Q17_0 = 0
SALTAR A "OTRO CICLO" (M002)

CONTAR

PRUEBA DE FIN DE CICLO

FIN DE LA CUENTA

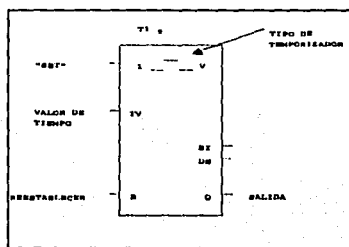
APENDICE B

TEMPORIZADORES

Las operaciones de tiempo son empleadas para implementar y monitorear secuencias de tiempo por programa. En la práctica, las operaciones de tiempo son usadas primordialmente para espera, monitoreo y generación de pulsos.

Las operaciones de tiempo implementadas en el CPU de los controladores S5-115U son áreas de operando en los datos generales del sistema. Un temporizador esta representado por una palabra de 16 bits en esta área de operando. La palabra es dividida en bit de estado, base de tiempo y tiempo o valor de tiempo. El procesador requiere el bit de estado para ejecutar la función de temporización la base de tiempo define el intervalo al cual la base de tiempo es decrementada por una unidad. El tiempo define el número de unidades.

Para iniciar un temporizador programado es necesario especificar las operaciones de duración de arranque y la duración. Las siguientes secciones describen diversas características programables de un temporizador.



Elementos de un temporizador

Arranque de un temporizador

Un temporizador es arrancado por un cambio en el RLO (Resultado Lógico de la Operación) ya sea en la entrada de iniciar, "start", (en el caso de programación en

escalera o diagrama de flujo) o delante de la operación arrancar, "Start", (en el caso de programación en lista de instrucciones). Tal cambio dinámico en el estado de la señal es necesario para arrancar un temporizador.

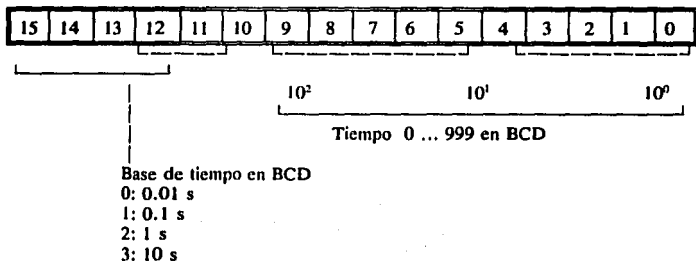
Cada temporizador puede ser arrancado en uno de los siguientes cinco modos :

- ▶ Pulso
- ▶ Pulso extendido
- ▶ Retraso al encendido (ON delay)
- ▶ Retraso al encendido retentivo (Retentive ON delay)
- ▶ Retraso al apagado (OFF delay)

Especificación del tiempo

Cuando un temporizador es arrancado el contenido del acumulador 1 es usado como el tiempo. Cuando y como recibe el acumulador su contenido es irrelevante. La configuración de bits del acumulador 1 debe ser como sigue:

Bit



El tiempo es especificado como un número decimal de punto fijo que se convierte a formato de binario puro y se transfiere a la correspondiente palabra de tiempo donde es

procesada. Los bits restantes son bits de estado que requiere el procesador para identificar y ejecutar la operación del temporizador.

Ejemplo : Especificar un tiempo de 127 segundos como una constante de tiempo (KT).

Sol. KT127.2

Reestablecimiento de un temporizador.

Un temporizador es reestablecido cuando el RLO es "1" en la entrada "Reset" (en el caso de programación en LAD y CSF) o antes de una operación de "Reset" (en el caso de programación STL). Tan pronto como el RLO es "1" en la entrada de restablecimiento, el rastreo de la salida del temporizador (Q) por "1" y "0" resulta en "0" y "1", respectivamente.

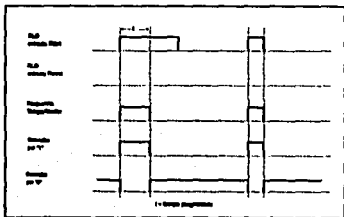
En el restablecimiento de un temporizador, la función actual de tiempo es detenida y el tiempo es puesto a "cero".

Rastreo de un temporizador (consulta).

Un temporizador puede ser consultado (como una entrada) y el resultado de la consulta utilizado en subsiguientes operaciones. Dependiendo de la función de tiempo programada, el rastreo de un "1" resulta en una variedad de señales de respuesta.

TEMPORIZADOR DE PULSO (SP).

Características del temporizador de pulso.



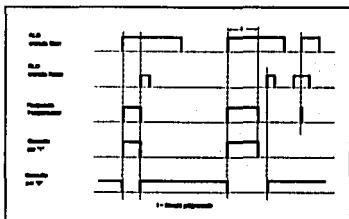
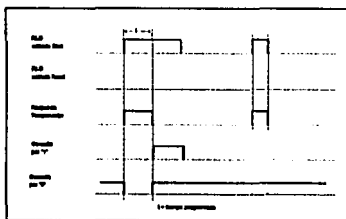
Un cambio en el RLO de "0" a "1" en la entrada "Start" arranca el temporizador. El tiempo programado transcurre entonces. Cuando un RLO de "0" aparece en la entrada "Start" el temporizador es reestablecido. La consulta o rastreo a la salida Q del temporizador para un "1" resulta en "1" durante toda la operación del temporizador.

Característica del temporizador en "Set".

Características del temporizador en "reset"

Si un "1" (RLO) es aplicado a la entrada "Reset", el temporizador es reestablecido. Un cambio en el RLO de "1" a "0" en la entrada "Reset" mientras permanece un "1" en la entrada "Start" no tienen efecto en el temporizador.

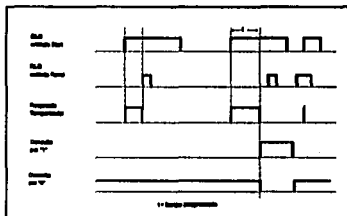
Un cambio en el RLO de "0" a "1" en la entrada "Start" con la señal de restablecer aplicada ocasiona que el temporizador arranque momentáneamente pero se reestablece inmediatamente debido a la preferencia de la operación "Reset" (esta situación se indica por un pulso en el diagrama superior).

*Característica en "reset"***TEMPORIZADOR DE RETRASO A LA CONEXION (SD)****Características en "Set".***Característica en "Set".*

Un cambio en el RLO de "0" a "1" en la entrada "Start" arranca el temporizador. El tiempo programado transcurre entonces. Si se aplica un RLO de "0" en la entrada "Start" el temporizador es reestablecido. La consulta o rastreo a la salida Q del temporizador para un "1" resulta en "1" cuando el tiempo ha transcurrido y el RLO en la entrada "Start" es "1"; el resultado de la consulta es "0" cuando el RLO en la entrada "Reset" es "1".

Características en Reset.

Si un "1" (RLO) es aplicado a la entrada "Reset", el temporizador es reestablecido. Un cambio en el RLO de "1" a "0" en la entrada "Reset" mientras permanece un "1" en la entrada "Start" no tienen efecto en el temporizador.



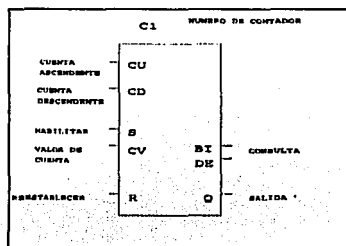
Un cambio en el RLO de "0" a "1" en la entrada "Start" con la señal de restablecer aplicada ocasiona que el temporizador arranque momentáneamente pero se reestablece inmediatamente debido a la preferencia de la operación "Reset" (esta situación se indica por un pulso en el diagrama superior).

Características en "Reset".

ESTA TESIS NO PUEDE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

OPERACIÓN DEL CONTADOR.

El procesador central utiliza operaciones de cuenta para implementar funciones de conteo. Los contadores pueden ser ascendentes o descendentes. El valor de la cuenta está restringido a tres décadas (000 hasta 999). Los contadores implementados en el controlador programable S5-115U tienen áreas de operando en el sistema general de datos. Un contador es una palabra de 16 bits dentro de esta área de operandos. La palabra está dividida en bits de estado y la cuenta. El procesador necesita los bits de estado para procesar el contador. La cuenta es el contenido actual del contador y corresponde a la lectura actual del contador.



Elementos de un contador

FALLA DE ORIGEN

Activación de un contador.

El contador es arrancado por un cambio en el RLO de "0" a "1" ya sea en la entrada "Set" (en el caso programación en diagramas de escalera o diagramas de control) o antes de una operación de "Set" (en una lista de oraciones). Este cambio dinámico en el estado de la señal es necesario para el arranque de un contador.

Cuenta ascendente

Un contador se incrementa cuando ocurre un cambio en el RLO de "0" a "1" en la entrada de cuenta ascendente (CU).

Cada vez que el estado de la señal en la entrada CU cambia, la cuenta se incrementa una unidad. Cuando la cuenta alcanza el límite superior (999), el incremento cesa y cualquier cambio en la entrada CU no tiene efecto.

Cuenta descendente

Un contador es decrementado cuando ocurre un cambio en el RLO de "0" a "1" en la entrada de cuenta descendente (CD).

Cada vez que el estado de la señal en la entrada CD cambia, la cuenta se decrementa una unidad. Cuando la cuenta alcanza el límite inferior (000), el decremento cesa y cualquier cambio adicional en la entrada CD no tiene efecto.

Consulta de un contador

Un contador puede ser consultado en su salida binaria Q (en el caso de CSF y LAD), o usando operaciones lógicas (en el caso de STL). La consulta por "1" resulta en "1" cuando la cuenta es mayor que cero y "0" cuando la cuenta es igual a cero.