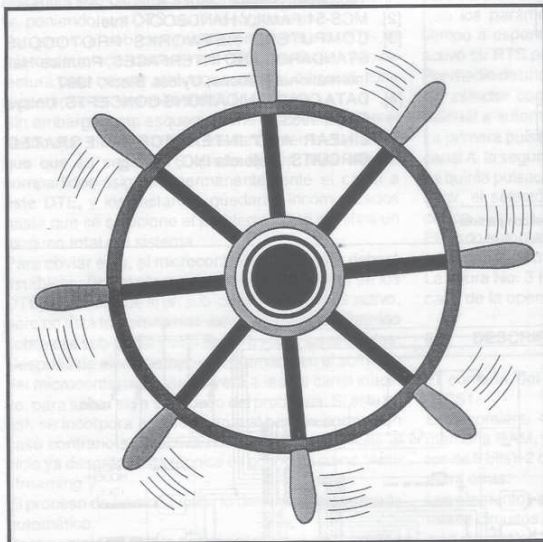


Propuesta de modernización
de los sistemas de mando
asociados al gobernador de las turbinas

Central Hidroeléctrica del Alto Anchicayá



42

□ Gladys Caicedo
Delgado, M.Sc.
Ingeniera Electricista
Departamento de
Electricidad
Universidad del Valle

□ Carlos Alberto González
Garcés, M.Sc.
Ingeniero Mecánico
C.V.C. - Alto Anchicayá

1. INTRODUCCION

En este artículo se presentan las propuestas básicas de modernización del sistema de mando asociado al regulador de velocidad de la Central Hidroeléctrica del Alto Anchicayá.

En las viejas centrales hidroeléctricas, las turbinas pueden permanecer operativas por muchos años, mientras que el tiempo de vida del

sistema de regulación es mucho más corto.

La regulación considerada vanguardista durante el proyecto de la central, hoy en día no puede ser aprovechada, o bien presenta graves desventajas para el usuario que deseara seguir utilizándola. Su estado de vetustez puede ser debido a su desgaste o a su técnica anticuada, incapacitándola para las nuevas funciones que se requieran.

Por lo tanto, considerando el costo de la inversión, resulta interesante tratar de modificar, completar, mejorar la regulación, o sea, modernizarla.

1. ANALISIS DE CADA UNA DE LAS PROPUESTAS DE MODERNIZACION

El regulador del Alto Anchicayá, es un gobernador mecánico-hidráulico⁽³⁾ que comprende: el cabezal del regulador; la válvula piloto; el sistema hidráulico de válvulas de distribución, transferencia y auxiliar; el mecanismo de reposición y el amortiguador de compensación (Ver figura 1).

Los mecanismos del actuador del regulador de velocidad están operando adecuadamente; los elementos que intervienen en la operación del gobernador como el cabezal del regulador, tacómetro, acoplador de la señal de rotación y los ele-

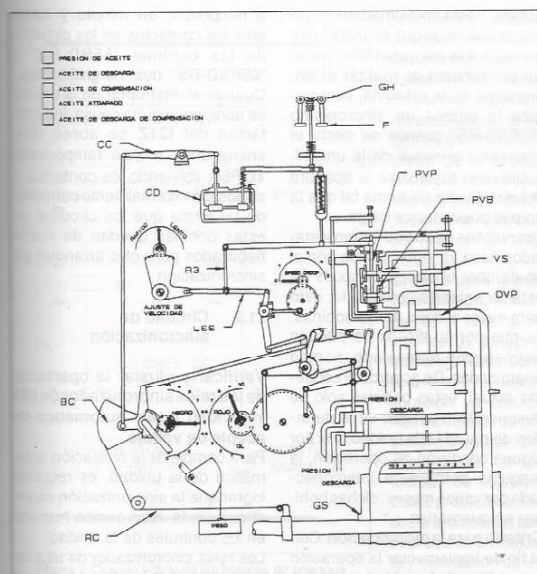


Figura 1. Diagrama funcional del gobernador mecánico-hidráulico WOODWARD del Alto Anchicayá

mentos del sistema hidráulico, no necesitan ser, por ahora, involucrados en un proceso de modernización puesto que están funcionando correctamente. La mayoría de los problemas que se presentan con el gobernador, están relacionados con los sistemas de mando y no con sus elementos de regulación.

A continuación se describe cada uno de ellos: Existen problemas con el Generador de Imán Permanente (PMG), en la parte de los suiches de velocidad. Se ha encontrado, en el sistema de protección del regulador de velocidad, problemas con la desconexión de las bobinas de arranque (65SD-RS) y sincronismo (65PSD-RS). En los circuitos de mando es necesario modernizar el sistema de supervisión para el arranque, verificar y ajustar la operación de los relés que intervienen en la sincronización

de la unidad con el propósito de cambiar el modo de operación manual y lograr el control automático de la unidad. Adicionalmente, se han encontrado fallas en la operación de los suiches mecánicos que sirven para realimentar la posición del distribuidor de la turbina, a los circuitos de control que la requieren.

Las razones que justifican la propuesta de modernización en el Alto Anchicayá comprenden inicialmente los problemas que se presentan por el deterioro progresivo del equipo, que causan contingencias en la generación y riesgos de seguridad para la planta. También sustenta la propuesta, la indisponibilidad de las piezas de repuesto sumada con los altos costos y los extensos trámites legales que implica la consecución de éstos. Además se adolece de personal capacitado para ensamblar y ajustar el regulador de

velocidad, facilitando así la inspección y el mantenimiento de este equipo.

Adicionalmente con la implementación de las propuestas de modernización se pretende aumentar la confiabilidad del equipo, disminuir las paradas por fallas en los dispositivos, aumentar la seguridad en el arranque y en la operación del equipo; además se incrementa la disponibilidad de la unidad al disminuir el tiempo requerido para el arranque.

Las siguientes son las propuestas de modernización, teniendo en cuenta el circuito de mando donde intervienen:

1.1 Circuito de protección

Las modificaciones se proponen sobre los circuitos: supervisor de baja presión de aceite y de desconexión automática de las bobinas de arranque y sincronismo.

Circuito del relé auxiliar "R13".

El relé R13 supervisa la presión de aceite en el cojinete de empuje durante el arranque de la unidad hasta que ésta alcanza las 315 rpm, momento en el cual la velocidad angular de la unidad es suficiente para que se mantenga una adecuada lubricación hidrodinámica en este cojinete.

Durante la parada de la máquina esa supervisión no existe, ya que contactos del relé 6, en la parada de la máquina, se encuentran abiertos.

Criterio para la modificación. Durante la parada de la unidad y en el evento de ocurrir alguna falla en la presión de aceite, el cojinete de empuje se ve sometido a una disminución en el espesor de la película lubricante, debido a que disminuye la velocidad angular de la unidad, llegándose a la denominada "Lubricación al límite". Esto hace que se incremente la temperatura del cojinete, lo cual puede ocasionar

nar una falla por fatiga.

Si la película de aceite es muy delgada, las partículas de suciedad no podrán pasar, o lo harán causando ralladuras, o pueden quedar encajadas en el cojinete.

En cualquier caso, habrá desgaste y fricción excesivos, resultando un calentamiento intenso y deterioro paulatino del metal blanco del cojinete o posiblemente se produzca trabadura o agarrotamiento metálico. Esto ocasionaría un daño grave para la Central, lo cual daría lugar a una indisponibilidad de la máquina de varios meses, dependiendo básicamente de la disponibilidad de los repuestos y de los trámites que implicarían la consecución de éstos.

Con la implementación de esta señalización en el proceso de parada de la unidad, se dispone del tiempo necesario, aproximadamente 6 minutos, para inspeccionar y al mismo tiempo tomar una decisión de la acción a seguir para solucionar el problema.

Propuesta de modificación. Para implementar esta señalización es necesario suprimir los contactos del relé 6. Esto hace que la alarma, por falla en la presión de aceite en el cojinete de empuje, dependa únicamente de lo que realmente interesa: la velocidad angular de la unidad y del suiche de presión de aceite.

Desconexión automática de las bobinas de arranque "65SD-RS" y sincronismo "65PSD-RS".

Actualmente, cuando se va a iniciar el procedimiento de arranque manual de una unidad, es necesario que el operador de turbinas habilite el circuito de las bobinas de arranque (65SD-RS) y de sincronismo (65PSD-RS), moviendo dos suiches de codillo ubicados en el gabinete del actuador del regulador de velocidad. Durante el proceso de arranque, el relé de arranque 6, energiza la bobina "65SD-RS" que permite abrir el distribuidor de la

turbina, hasta aproximadamente el 7%, con el fin de que la unidad gire en vacío a la velocidad sincrónica. En el momento de realizar el sincronismo de la máquina, se energiza la bobina de sincronismo "65PSD-RS" cuando se cierra el interruptor principal de la unidad, habilitando totalmente la apertura del distribuidor de forma tal que la unidad pueda tomar carga.

Los suiches de codillo fueron instalados hace ya algún tiempo con el fin de abrir el circuito después de estar la unidad sincronizada; esto para evitar el daño de las bobinas, ya que por su diseño no pueden permanecer demasiado tiempo energizadas. De acuerdo al esquema actual, estas bobinas solo se desenergizan cuando se le da orden de parada a la unidad, y si por alguna condición de operación, la máquina permanece interconectada por varios meses, dichas bobinas se quemarían.

Criterio para la modificación. Con el fin de implementar la operación automática de la unidad, en lo que concierne con el proceso de arranque, es necesario aislar la intervención humana, evitando que el operador turbinista mueva los suiches de codillo para habilitar el circuito y después de la sincronización, vuelva a operar éstos para desenergizar las dos bobinas.

Propuesta de modificación. Con el fin de suprimir los suiches de codillo, eliminando esta componente manual de la secuencia de arranque, se puede incluir un relé temporizado en el circuito, como se muestra en la figura 2.

El relé temporizado TDR65 es energizado empleando un par de contactos del relé auxiliar I21Z. Este relé TDR65 emplea sus dos juegos de contactos normalmente cerrados (NC) en los circuitos de las bobinas de arranque y sincronismo. Cuando se sincroniza la unidad y se cierra el interruptor, los contactos del relé I21Z se cierran energizando al TDR65, el cual empieza

a temporizar un minuto y luego abre los contactos en los circuitos de las bobinas "65SD-RS" y "65PSD-RS", desenergizándolas. Cuando el interruptor de la unidad se abre, por alguna causa, los contactos del I21Z se abren desenergizando el relé temporizado TDR65, volviendo los contactos a su posición normalmente cerrados, de tal forma que los circuitos de estas bobinas quedan de nuevo habilitados para otro arranque y/o sincronización.

1.2 Circuito de sincronización

Verificar y ajustar la operación de los relés sincronizador de alta velocidad y relé automático de acople de voltaje.

Para completar la operación automática de la unidad, es requisito lograr que la sincronización se verifique sin la intervención humana en los controles de la unidad.

Los relés sincronizador de alta velocidad y relé automático de acople de voltaje fueron concebidos para la operación automática pero, por razones no precisadas, dejaron de operarse hace mucho tiempo.

Actualmente la sincronización se realiza en forma manual por parte del operador principal.

Propuesta de verificación y ajuste de estos relés.

A pesar de la pericia de los operadores de las unidades, es sumamente difícil que el ajuste tanto de frecuencia como de voltaje, así como el instante de dar la orden de cierre del interruptor sean precisos, ya que se deben involucrar factores o limitaciones humanas que inducen errores, como pueden ser: descalibración de los instrumentos, error visual en la comparación de las medidas, etcétera.

Antes de implementar la automatización de este procedimiento, es necesario comprobar la operación del relé de acople de voltaje, estudiar su funcionamiento y realizar

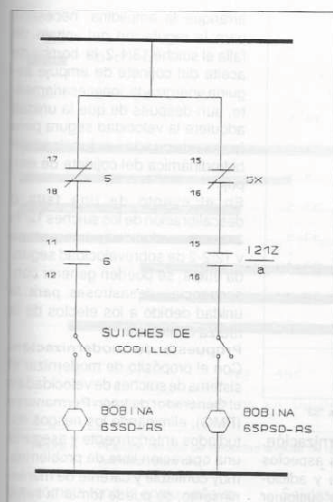


Figura 2. Circuito actual de las bobinas de arranque "65SD-RS" y de sincronismo "65PSD-RS"

las mediciones que se requieran. Adicionalmente, con respecto al relé de sincronismo es necesario verificar el tiempo en el que se da el mando de cierre al interruptor por adelantado a la coincidencia de fase y comparar con la medición hecha del tiempo de cierre del interruptor de la unidad o ángulo de adelanto, con el fin de hacer los ajustes que se requieran en el relé, ajustar los interruptores de cada una de las fases y hacer el respectivo protocolo para las pruebas.

1.3 Circuito de arranque y parada

Modernizar el sistema de suiches de posición del distribuidor.

Estos suiches son operados por levas montadas en un eje común, el cual gira debido a la señal mecánica proveniente de la posición del distribuidor de la turbina. Los suiches "33" se emplean como

en la operación de las unidades, así por ejemplo:

En el caso del suiche 33-1, una descalibración de este suiche hace que el sistema de frenos del generador quede inactivo.

Cuando se trata del suiche 33-2 y suponiendo, en el peor de los casos, que éste no cierre sus contactos, inhibe la operación del relé auxiliar SNL/X, lo cual ocasiona que no operen las protecciones relacionadas con los relés de disparo 86-5 y 86-6 como son: No se energiza el relé de parada 5, no se cierra la válvula esférica, no se abre el interruptor principal de la unidad, no se disparan los servicios auxiliares.

En el caso del suiche 33-3, una descalibración de éste puede enviar una señal falsa de cierre, en cuyo caso se habilita el relé IM de las condiciones preliminares para el arranque manual y cuando se energiza el relé A de las condicio-

condiciones en las secuencias que habilitan o inhabilitan circuitos en los cuales es de vital importancia el estado de apertura o cierre del distribuidor de la turbina. Estos suiches se operan en determinada posición de distribuidor (Véase figura 3).

Criterio para la modernización. Actualmente el sistema de suiches "33" está presentando fallas debido a desgaste, descalibración ya que se han movido de su posición original por aflojamiento de las tuercas de sujeción. Estos problemas unidos a la dificultad que se presenta en el ajuste y calibración de las levas ocasiona inconvenientes delicados

en las condiciones preliminares para el arranque automático, que abre la válvula esférica, la máquina adquiere alguna velocidad estando con los frenos puestos, lo que ocasiona un desgaste excesivo en las zapatas de los frenos y el calentamiento anormal en el anillo de freno del generador, etcétera.

En el evento contrario, o sea, que este suiche permanezca abierto, no se puede arrancar la máquina debido a que no deja cerrar el circuito que energiza al relé IM.

Cuando se presenta descalibración en los suiches 33-9 y 33-10, se producen severas oscilaciones en el distribuidor de la turbina cuando la unidad está girando en vacío (SNL) y va a ser sincronizada lo cual impide que se realice esta maniobra.

Una descalibración del suiche 33-11, afecta la operación del relé de arranque 6, evitando la reposición de este relé cuando se da la parada de la máquina. Por lo tanto ésta queda inhabilitada para un nuevo arranque.

Básicamente se pretende sustituir estos suiches mecánicos del regulador por un equipo moderno, que no requiera mantenimiento, en donde la descalibración por desgaste y desajuste de las levas no exista, que no requiera procedimientos dispendiosos de calibración y ajuste, que sea supremamente confiable y que se adapte a las demás propuestas de modernización y/o automatización planteadas en este trabajo de investigación.

Propuesta de modernización.

Con el propósito de modernizar el sistema de suiches "33", eliminando esa serie de inconvenientes descritos anteriormente, se puede montar en el servomotor de la turbina un transformador diferencial de variación lineal (LVDT)⁽²⁾, que transmita la posición del distribuidor, convirtiendo esta posición en una señal eléctrica con destino a un autómata que la procese y a su vez, envíe la señal a cada uno de

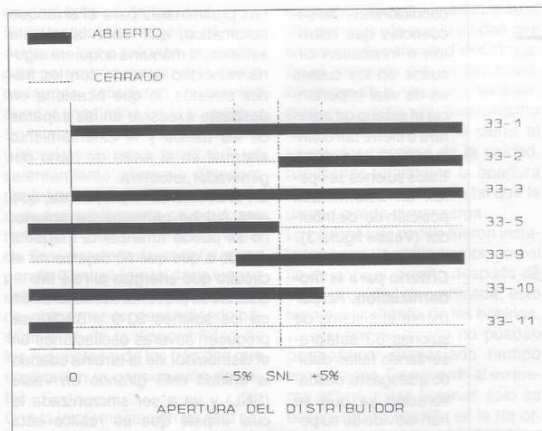


Figura 3. Posición del dial de apertura del distribuidor para los suiches "33"

los circuitos de control en los que intervienen los suiches "33".

1.4 Elementos que intervienen en la operación del Gobernador

Modernizar el sistema de suiches de velocidad en el generador de imán permanente.

Los suiches de velocidad con dos pares de contactos están integrados al generador de imán permanente (PMG), como un dispositivo auxiliar estándar. Todos los suiches abren o cierran (dependiendo de cada disposición individual de los suiches) cuando el mecanismo de sobrevelocidad es actuado por la fuerza centrífuga.

Actualmente estos suiches de velocidad están presentando problemas de índole mecánico, tales como desgaste, desajustes y, en varios casos, rotura de piezas.

Los suiches de velocidad tienen su aplicación en las secuencias que habilitan o inhabilitan circuitos en los cuales es de vital importancia la velocidad angular de la unidad. Estos suiches se accionan a unas revoluciones específicas de la turbina (Véase figura 4).

Criterio para la modernización.

Teniendo en cuenta los aspectos anotados anteriormente y adicionando el hecho de que cualquier descentramiento mecánico, debido al montaje o la falsa circunferencia del piñón, inducen fallas en las calibraciones de estos suiches de velocidad.

En el caso del suiche 14/1-1, una falla de este suiche bloquea la operación automática del sistema de frenos del generador, quedando únicamente el recurso manual para accionarlos. Si se presenta una descalibración en este suiche, se alteran los parámetros de operación.

En el caso de una falla del suiche 14/2-1, se bloquea el circuito que acciona al relé R13, que supervisa la presión de aceite en el cojinete de empuje durante el arranque de la unidad.

En lo que concierne con el suiche 14/2-2, una falla de éste deja abierto el circuito que permite activar la bomba de aceite a presión del cojinete de empuje, cuando la máquina se encuentra en el proceso de parada.

Una falla del suiche 13/1-1, una falla de este suiche impide que

arranque la amplidina, necesaria para la regulación del voltaje. Si falla el suiche 13/1-2, la bomba de aceite del cojinete de empuje seguiría energizada, innecesariamente, aun después de que la unidad adquiere la velocidad segura para la adecuada lubricación hidrodinámica del cojinete de empuje.

En el evento de una falla o descalibración de los suiches 12/1-2 de sobrevelocidad primera etapa y 12/2-2 de sobrevelocidad segunda etapa, se pueden generar consecuencias desastrosas para la unidad debido a los efectos de la fuerza centrífuga.

Propuesta de modernización.

Con el propósito de modernizar el sistema de suiches de velocidad en el Generador de Imán Permanente (PMG), eliminando los riesgos estudiados anteriormente y asegurar una operación libre de problemas, muy confiable y carente de mantenimiento, se puede tomar la señal de corriente alterna rectificada del acoplador de la señal de rotación con destino al tacómetro No. 2¹⁹ o la salida limitada de CC diseñada para energizar el equipo de telemetría, con el fin de llevarla a un dispositivo microprocesado que la procese y a su vez, envíe la señal a cada uno de los circuitos de control en los que intervienen los suiches de velocidad.

2. SELECCIONAR UN AUTOMATA PROGRAMABLE

Finalmente, las propuestas de modernización planteadas en este proyecto, salvo las que se refieren al circuito del relé auxiliar R13 y al circuito de sincronización, pueden ser incluidas en un autómata programable.

El sistema se basaría en la supervisión de diversos tipos de señales análogas y en la correspondiente indicación y procesamiento, según sea su estado, mediante señalización lumínica y señales digitales de salida (Ver figura 5).

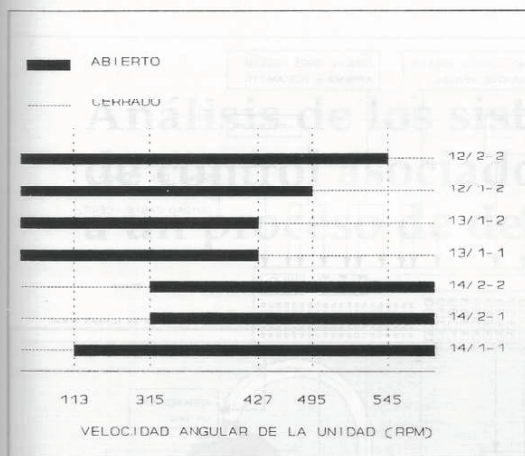


Figura 4. Posición del dial de velocidad angular de la unidad para los suiches de velocidad del PMG.

El autómata tendría como señales de entrada:

- La posición del distribuidor de la turbina, proveniente del captador de posición.
- La velocidad angular de la unidad originada en el PMG.
- Cada una de las condiciones preliminares para el arranque manual.
- Cada una de las condiciones preliminares para el arranque automático.
- La secuencia de condiciones para el arranque (relé 6).
- La señal del estado del interruptor principal de la unidad (abierto-cerrado).

Las señales de salida serían:

- Señalización de cada uno de los puntos en sala de control.
- Salida de relé para la desconexión automática de las bobinas de arranque "65SD-RS" y sincronismo "65PSD-RS".
- Salidas de relé para los circuitos de control en los que estaban involucrados los suiches de velocidad del PMG.

- Salidas de relé para los circuitos de control en los que estaban involucrados los suiches de posición del distribuidor (suiches "33").
- Salida de relé para arrancar la unidad.

Las características generales que debería tener el autómata son las siguientes:

- **Display** con la hora y fecha.
- Indicación secuencial y automática de todos los puntos programados.
- Supervisión permanente de las señales de entrada.
- Indicación visual de las señales.
- Indicación de alarma sonora.
- Teclado y pantalla alfanumérica para programación de la operación del microprocesador.
- Programación remota desde un microcomputador.
- Permanencia de los datos programados ante una ausencia de tensión.
- Programación protegida por baterías internas de respaldo.
- Inhibición automática de la uni-

dad central de procesamiento ante bajo voltaje para evitar destrucción de la información.

- Activación o verificación de las señales individuales externamente.
- Reporte impreso de los datos programados y registro impreso del estado a voluntad del usuario o programado.

Otras características técnicas deben incluir:

- Capacidad de por lo menos 100 señales de entrada analógica y 30 señales de salida por relé y 20 salidas digitales.
- Puerto paralelo para salida de impresora.
- Puerto serial para comunicaciones con un microcomputador.
- Protección de acceso no autorizado.
- Programas (sistema operativo, programa usuario).

3. CONCLUSIONES

En este artículo se presentaron las propuestas para una primera modernización parcial de la regulación de velocidad del Alto Anchicayá en lo referente a los circuitos de mando, protección y elementos que intervienen en la operación del gobernador.

BIBLIOGRAFIA

- [1] AVENIER, R.; MEGNINT, L. et THOMAS, P. L'automatisme dans les centrales hydro-électriques : Évolution des idées et du matériel dans la régulation des turbines hydrauliques. *En: RGE*. Tome 87, No. 3 (Mar. 1978); p. 239-244
- [2] CAICEDO DELGADO, Gladys y MURCIA POLO, Francisco. Análisis y simulación del sistema de control de velocidad de una turbina en una central hi-

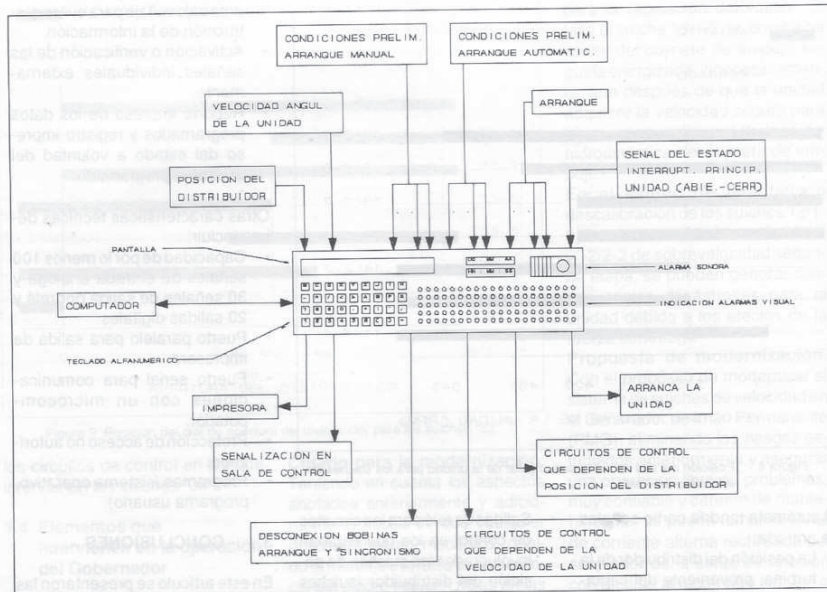


Figura 5. Autómata programable. Señales de entrada y salida.

- droeléctrica. Cali, 1991. 239 p. Tesis (Magister en Sistemas de Generación de Energía Eléctrica). Universidad del Valle. Facultad de Ingeniería.
- [3]. GONZALEZ GARCES, Carlos Alberto. Análisis y propuesta de modernización de sistemas de control de velocidad en turbinas hidráulicas; caso ejemplo: Central Hidroeléctrica del Alto Anchicayá. Cali, 1993. 261 p. Tesis (Magister en Sistemas de Generación de Ener-

- gía Eléctrica). Universidad del Valle. Facultad de Ingeniería.
- [4]. HEMMELER, Jean Jacques et MOURON, Jacques. Nouvelle génération de régleurs électroniques pour turbines hydrauliques. *En: VEVEY*, p. 40-43
- [5]. KAECH, Claude. Modernisation des régulateurs de vitesse pour turbines hydrauliques. *En: VEVEY*, p. 38-41
- [6]. LESPECT, Jacques. Speed governors - it pays to modernise. *En: Hydropower*. (feb.

- 1984); p. 41-47
- [7]. PEPIN, Philippe. La modernisation des régulations de vitesse pour turbines hydrauliques et l'augmentation de puissance d'une centrale hydraulique. Grenoble, France: NEYRPI, 34 p.
- [8]. WOODWARD GOVERNOR COMPANY. Cabinet actuator for governing hydraulic turbines. Rockford, Illinois: WOODWARD, 71 p. Bulletin 07004E.