

Arenal - Corobicí: controlador inteligente hecho en Costa Rica

Víctor Julio Bermúdez *

RESUMEN

Se describen los detalles de diseño y construcción de equipo electrónico de automatización y control de alta complejidad tecnológica, requerida por el proyecto hidroeléctrico Arenal-Corobicí.

INTRODUCCION

El Complejo Hidroeléctrico Arenal-Corobicí consta de dos plantas con tres unidades generadoras cada una, que aprovechan la energía hidráulica en dos caídas sucesivas: Arenal en el nivel superior y Corobicí aguas abajo. (Figura No. 1).

El ligamen hidráulico de las plantas en cascada ha hecho necesario utilizar un sistema de control "inteligente" que garantice la operación, optimizando la utilización de los recursos de generación y garantizando la estabilidad hidráulica y la continuidad del servicio.

Hace tres años, un grupo de profesionales y empresas nacionales pequeñas que han venido constituyéndose en pioneros en el diseño y construcción de equipo electrónico de automatización y control, decidieron unirse en un consorcio denominado CIBERTEC S.A., para afrontar el enorme reto que significaba, por un lado, competir con grandes empresas transnacionales como la SIEMENS de Alemania, BROWN BOVERY de Suiza y CGEE-ALSTHOM de Francia, en un proyecto de automatización de alta complejidad tecnológica, y por otro, conquistar la voluntad política y la confianza de las autoridades institucionales para asumir y cumplir la gran responsabilidad que significa el proyecto en mención.

* Ingeniero Electrónico. Responsable de montaje del controlador automático, CIBERTEC.

EL COMPLEJO HIDROELECTRICO

Está localizado a 150 Km. de la ciudad de San José, en la provincia de Guanacaste. Utiliza las aguas de la región hidrológica nor-atlántica lluviosa, recolectadas en la laguna de Arenal, que fue ampliada artificialmente con la represa de Sangre-gado. Las aguas son conducidas por túneles y tuberías a la vertiente del Pacífico Seco donde son utilizadas para la producción de energía y finalmente aprovechadas en irrigación de áreas de cultivo.

En Costa Rica existe un Centro de Despacho Automático de Carga (CCE), localizado en la ciudad de San José, donde se calculan y distribuyen las consignas de generación del sistema nacional interconectado.

La utilización del controlador inteligente permite al Centro de Despacho considerar al complejo como un solo centro de generación, sin tomar en cuenta factores hidráulicos.

SIMULACION

Con el fin de fijar los límites de estabilidad del sistema hidráulico, probar la eficacia de la estrategia de control y realizar el ajuste de los algoritmos de regulación hidráulica, se implementó una simulación digital del complejo hidroeléctrico Arenal-Corobicí.

Cada uno de los componentes del sistema hidráulico fue modelado considerando en detalle la geometría, la rigurosidad de las paredes, la variación de los coeficientes de pérdida con el número de Reynolds y respetando las relaciones no lineales.

En el modelaje de las tuberías de alta presión se incluyó la elasticidad de las paredes y la compresibilidad del agua para el estudio de la conducta transitoria.

Las turbinas fueron introducidas al modelo de acuerdo con sus curvas características y los gobernadores simulados a partir de la válvula piloto con base en las curvas medidas por el fabricante.

La potencia eléctrica de salida se obtuvo tomando en cuenta las curvas de eficiencia de la turbina y el generador.

De esta forma se estudió el comportamiento del sistema hidráulico tanto ante contingencias como ante cambios normales de consigna.

Los resultados de la simulación fueron comparados con mediciones en el campo y se verificó su exactitud.

A continuación se describen la filosofía de control y los criterios que imperaron en el diseño y la construcción del sistema de automatización.

ARQUITECTURA DEL EQUIPO ("HARDWARE")

El controlador está compuesto por dos computadores, un pupitre de mando e indicadores, un sistema de conmutación automática del mando, un reloj de tiempo real, interfases y aislamiento galvánico entre el proceso y el controlador, un sistema de adquisición de datos, una terminal de video y dos impresoras. (Ver figura No. 2).

El controlador recibe las señales eléctricas e hidráulicas de las unidades, la válvula de derivación, el nivel de los embalses y tanques de oscilación, el estado de válvulas y tomas de agua, que son adecuadamente convertidas para su procesamiento.

Los datos procedentes de Corobicí y del embalse de Arenal, se transmiten mediante el equipo de telemetría. Las señales de entrada llegan a los computadores simultáneamente.

Se utilizan un total de 46 entradas analógicas, 100 señales digitales y 48 salidas de mando.

Las funciones de intercambio de información con el operador se realizan mediante la terminal de video (CRT) y las dos impresoras (PTR1 y PTR2). La CRT se utiliza además para el despliegue de barras y datos del estado eléctrico e hidráulico del sistema, así como de informe de fallas eventuales del proceso. Una de las impresoras (PTR1) se utiliza para llevar un registro cronológico de los eventos que suceden durante la operación del controlador. La otra impresora se emplea para generar reportes estadísticos de las variables del proceso.

El pupitre de mando mantiene además de la CRT, una serie de interruptores, botones y luces indicadoras mediante las cuales se selecciona entre otros la toma general de mando (manual o automático), la fuente de consigna, el paso individual de unidades o la válvula de derivación a manual o automático, el computador al mando e indicación luminosa del estado de las unidades de regeneración y de alarmas propias del sistema.

Todas las salidas del controlador pasan a través de un sistema de conmutación de salidas, controladas desde el conmutador de mando ("watch dog"), que asegura que únicamente el computador al mando tenga control sobre el proceso.

PROGRAMACION

La programación del automatismo se basa en un sistema operativo a tiempo real del diseño modular.

La estructura modular permite la ejecución de funciones específicas en forma independiente lo que facilita la modificación y el mantenimiento de los programas, así como la incorporación de nuevas tareas, sin afectar las ya existentes.

La secuencia de ejecución de las rutinas está determinada por los requerimientos del proceso, respetándose un orden de prioridades preestablecido.

Cada rutina tiene la capacidad de establecer su propia frecuencia de ejecución en forma independiente de acuerdo con lo que el sistema le demande.

La configuración duplicada determina dos formas distintas de operación para los computadores, a saber: ACTIVO (al mando) y ALERTA ("hot stand by").

El computador ALERTA mantiene actualizada su memoria con los datos del proceso y a través del sistema de comunicación entre computadores.

Permanentemente revisa cada una de sus funciones (autodiagnóstico) y se reporta como bueno en caso de no encontrar falla. Su actuación sobre el proceso permanece inhibida tanto por programación (bloqueo de rutina) como por "hardware" (conmutación del mando).

El computador activo es el que tiene a su cargo las funciones de control del proceso. Su tarea primordial es la de mantener la estabilidad del flu-

jo hidráulico entre las plantas y el nivel del embalse Santa Rosa. Paralelamente y en coordinación con la regulación hidráulica se realizan las siguientes tareas complementarias:

- a. Distribución de consignas de generación que implica comunicaciones con el CCE y con los operadores.
- b. Ejecución de consignas de control conjunto ("JOINT") para cada planta.
- c. Control automático de generación con corrección de frecuencia en cada una de las unidades.
- ch. Operación bajo regulación local de frecuencia.
- d. Recolección de datos del proceso.
- e. Registro cronológico de eventos.
- f. Impresión de reportes estadísticos.

La coordinación en la ejecución de las funciones incorporadas en el controlador se muestra en el Diagrama General del Programa ("Software"). Ver figura No. 3.

REVISION DE CONFIGURACION

Este módulo se encarga de comprobar el buen funcionamiento de todos los sistemas del proceso; generar los reportes necesarios y provocar el rechazo del mando cuando surjan condiciones que lo requieran.

La revisión de configuración procede de la siguiente manera: inicialmente se revisan los medidores de nivel de la represa de Arenal, los tanques de oscilación y la represa Santa Rosa. Si los medidores están buenos, se revisan niveles contra valores extremos.

Luego se revisan los siguientes rubros:

- a. Caudalímetro de válvula de derivación.
- b. Comunicaciones entre Arenal y Corobicí (PLC, cable, UHF).
- c. Terminal remota (RTU).

- ch. Líneas de transmisión de Arenal y Corobicí.
- d. Tuberías, válvulas mariposa y tomas.
- e. Derrame en represa Santa Rosa.
- f. Alarmas hidráulicas y fuentes de poder.
- g. Estado y alarmas de las unidades.
- h. Estado y alarmas de la válvula de desvío.

Si el computador no está al mando, a la hora de ejecutarse esta rutina, se desactivan todas las órdenes al proceso y se inhiben las rutinas correspondientes a mando.

Si este módulo pasa por todas las revisiones sin encontrar ninguna condición que implique un rechazo de mando, procede a revisar si el computador está en mando automático o manual, para reportar y tomar las acciones pertinentes.

La salida por rechazo de mando desactiva el relé de Toma General de Mando y reporta que se trata de un defecto en el sistema.

Esquema de control

Los módulos que componen la programación de control (ver figura No. 4) están organizados en forma jerárquica en tres niveles, a saber: *consigna global, consigna distribuida a cada planta (consigna efectiva), control conjunto ("Joint")*.

CONSIGNA GLOBAL

Este módulo determina la procedencia de la consigna global de generación.

Hay tres posibles fuentes de consigna para el sistema de control.

Normalmente la consigna proviene del Centro de Control de Energía y su valor es leído periódicamente desde la terminal remota (RTU).

La consigna puede ser recibida en forma local cuando el operador lo pida, por medio del interruptor Local-Remoto o cuando se detecta una falla en las comunicaciones con el CCE. En estos casos, el equipo queda a la espera de una nueva consigna procedente de la terminal de video (CRT) para lo que envía las alarmas e instrucciones pertinentes.

En el caso de requerirse regulación de frecuencia por parte del complejo, deja de tener vigencia la consigna procedente del CCE o de la CRT y se utiliza la unidad reguladora como fuente de consigna para las demás unidades.

MODULO DE DISTRIBUCION DE CONSIGNAS

Se encarga de asignar la consigna a cada planta partiendo de la consigna global, de tal forma que el caudal en estado estable tienda a igualarse en ambas plantas.

Para el cálculo de consignas se considera la configuración de las unidades bajo control automático, las máquinas en manual, la potencia de cada unidad, el estado de regulación local, los estados de disponibilidad de unidades y el nivel del embalse de Arenal (caída bruta de Arenal).

En el caso de que ocurra el disparo de unidades, se actúa de acuerdo con la configuración resultante.

Al ser declarada una máquina del complejo como reguladora, la consigna global se toma de la unidad reguladora y se distribuye entre ambas plantas considerándose el balance hidráulico del sistema.

MODULO DE REGULACION HIDRAULICA

Este módulo se encarga de mantener el nivel de la represa Santa Rosa dentro de un ámbito de operación normal.

Para la regulación del nivel se utilizan los siguientes mecanismos:

1. Modificación de las consignas calculadas por el Módulo de distribución de consignas, aplicada en sentido opuesto para la planta de Arenal respecto a la de Corobicí y se calcula en forma proporcional e integral al error de nivel respecto a una cota de referencia.
2. Utilización de la válvula de derivación, previa autorización, si el nivel alcanza valores muy bajos. La consigna de apertura de la válvula de desvío se calcula en forma proporcional al error de nivel respecto a la cota fija.
3. Reducción de la consigna de Corobicí cuando el nivel ha disminuido hasta entrar a un ámbito de

emergencia. En dicho caso, se reduce la consigna de Corobicí en forma proporcional al error de nivel respecto a la cota preestablecida para este efecto.

Si el nivel llega a una cota límite inferior, se efectúa el cambio de mando hacia manual.

MODULO DE CONTROL CONJUNTO ("JOINT")

El control conjunto realiza las siguientes funciones para cada una de las unidades en la planta correspondiente:

- cálculo de consignas individuales,
- ajuste de la potencia refiriéndola a 60 Hz,
- actuación ante contingencias, y
- envío de órdenes de subir o bajar potencia.

La subrutina cuenta con un sistema de control proporcional independiente para cada unidad, que opera bajo el principio de modulación por posición de pulsos ("Pulse position modulation").

Al sincronizarse o salir una unidad, el módulo "JOINT" recalcula las consignas individuales y procede a llevar la nueva configuración a control conjunto.

Para ejecutar las funciones del Control Automático de Generación (AGC) se utiliza junto con la subrutina de Envío de Pulsos, un lazo secundario de realimentación de frecuencia, que permite compensar la curva de respuesta Carga—Frecuencia del gobernador.

MODULO DE ENTRADA Y SALIDA DE UNIDADES

Sus funciones son las de introducir y sacar unidades del sistema de acuerdo con límites de histéresis y respetando el caudal máximo de las tuberías de presión, llevando un control de rotación para uniformar desgaste.

Las órdenes al sistema son retroalimentadas al computador para revisar su correcto accionamiento. También se revisan tiempos excesivos de ejecución y si es del caso, se generan las alarmas y reportes correspondientes.

CONCLUSIONES

Con la instalación de plantas hidroeléctricas en cascada, se reduce sustancialmente el costo ini-

cial por KW instalado, debido al doble aprovechamiento del embalse y las obras civiles asociadas.

El equipo de automatización garantiza una adecuada operación conjunta de las plantas, optimizando el uso de los recursos hidráulicos.

La realización de este proyecto demuestra cómo los países subdesarrollados pueden aplicar la más alta tecnología electrónica en la solución de problemas tan fundamentales como el propio desarrollo energético.

Este proyecto se realizó gracias a la confianza depositada en la ingeniería nacional por el Instituto Costarricense de Electricidad.

El énfasis en la ejecución de este proyecto ha sido en el diseño y la programación. Aunque parezca paradójico, los países desarrollados fabricantes de componentes electrónicos, jugaron el papel de proveedores de materia prima barata, que históricamente ha sido desempeñado por el tercer mundo, dando origen a una industria de altísimo valor agregado, sin precedentes en las naciones en vías de desarrollo.

Para la realización de este proyecto se reunieron los profesionales y empresas más destacados en el diseño y construcción de equipo electrónico digital y se aprovecharon recursos de la actividad pro-

fesional que estaban siendo subutilizados, empleando principalmente horas hombre de alto nivel técnico.

Los impulsores de este esfuerzo que se ha concretado ya como un importante salto cualitativo en la Ingeniería Electrónica nacional, lo constituyen: el Sr. Antonio Artiñano Terán, Presidente de Control Electrónico S.A. (CESA), el Ing. Bernal Thalman Cordero, Presidente de Ingeniería de Control Electrónico S.A., y los profesores universitarios Ing. Hernán Jiménez Nichols e Ing. Marco A. Vásquez.

Así, nuestros profesionales y empresarios han tenido la oportunidad de enfrentar el desafío que implica la responsabilidad de ejecutar obras de gran magnitud, caracterizadas por normas de calidad y términos improrrogables. De este manera se ha consolidado un consorcio en el campo del control electrónico, que a través de este impulso inicial producirán un efecto multiplicativo para el desarrollo tecnológico de nuestro medio.

Para el país, entre otros aspectos relevantes, este proyecto significa dotarse de un requerimiento de alta tecnología electrónica, por solo un 25% del costo en divisa extranjera de la menor de las restantes ofertas.

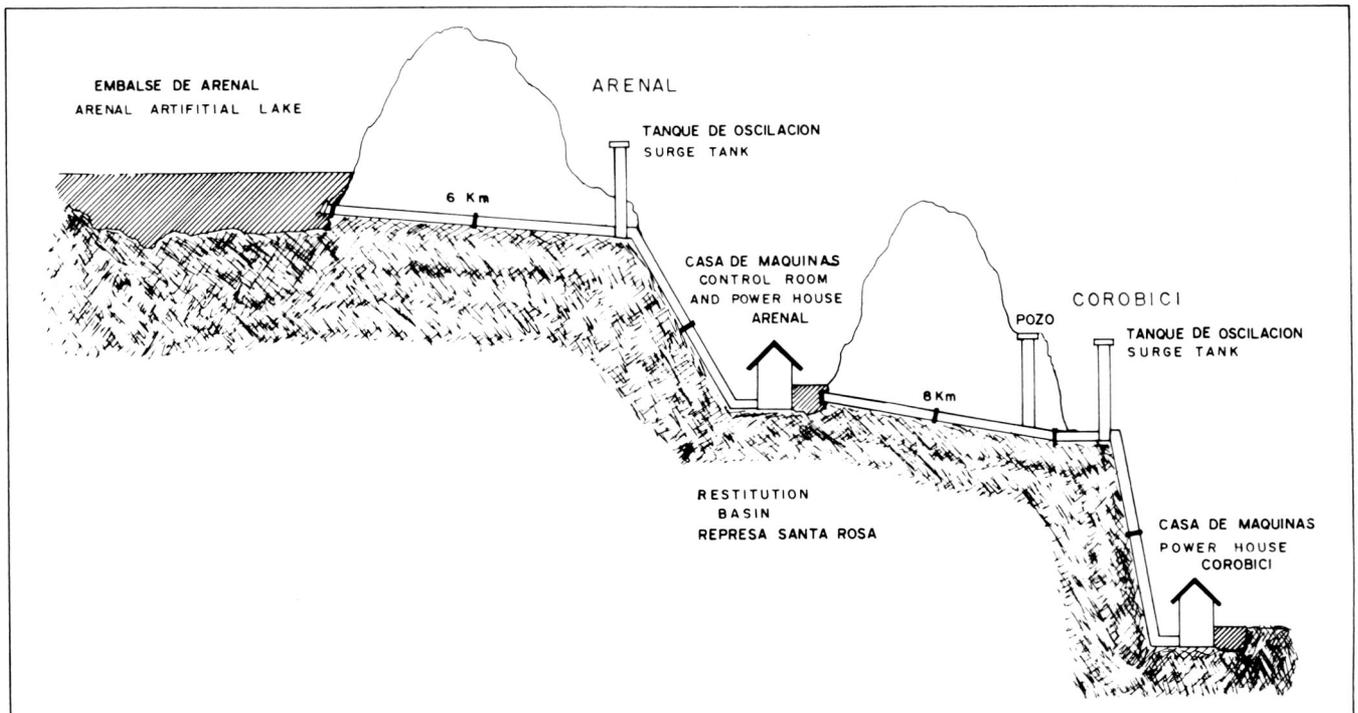


FIGURA No. 1. Complejo Hidroeléctrico Arenal-Corobicí.

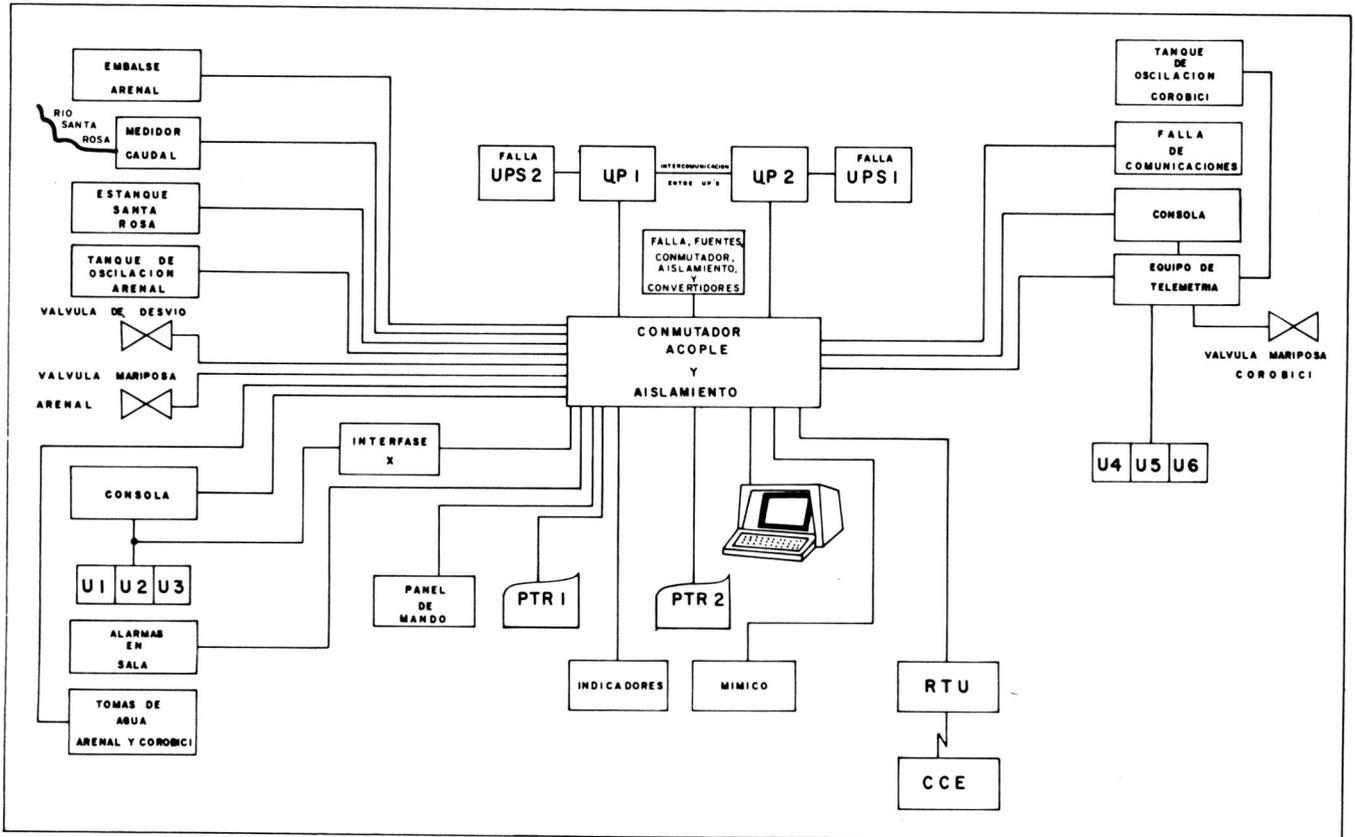


FIGURA No. 2. Arquitectura del equipo.

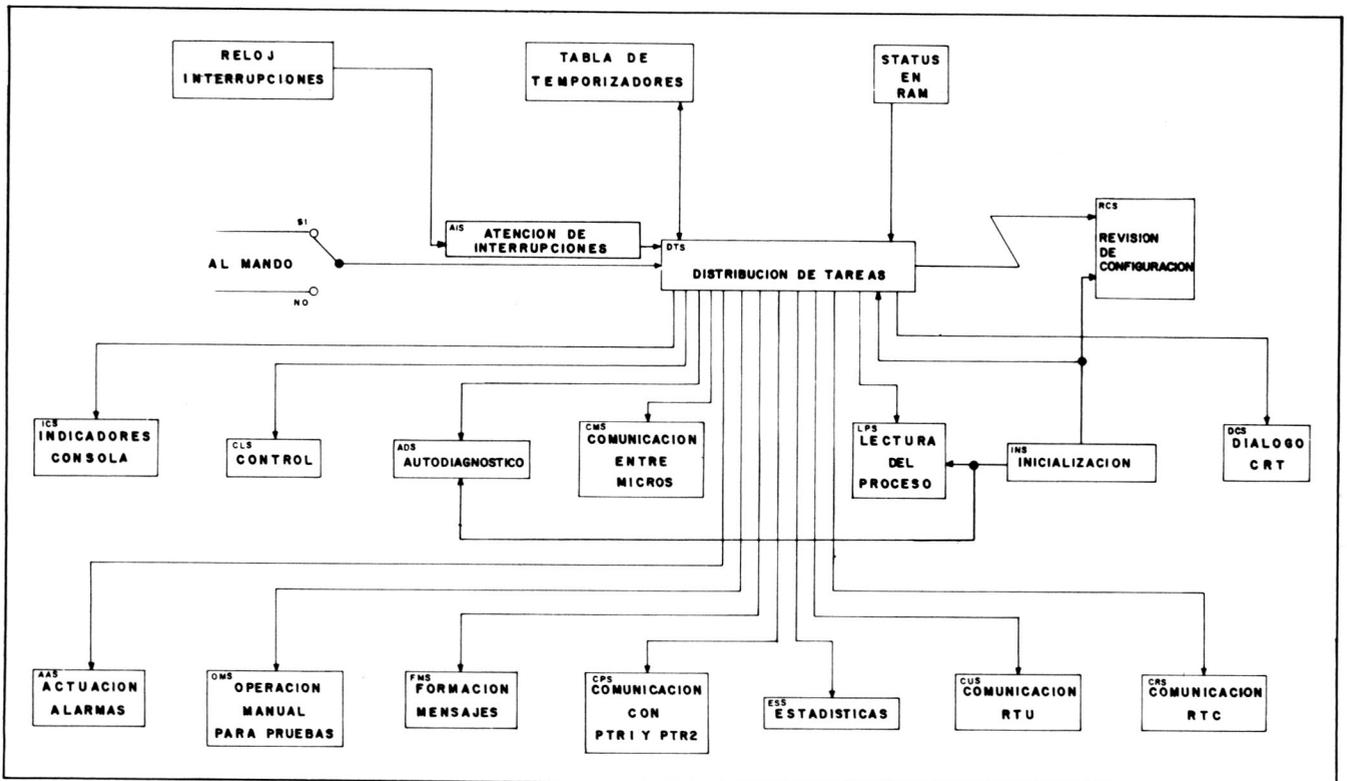


FIGURA No. 3. Diagrama general del "software".

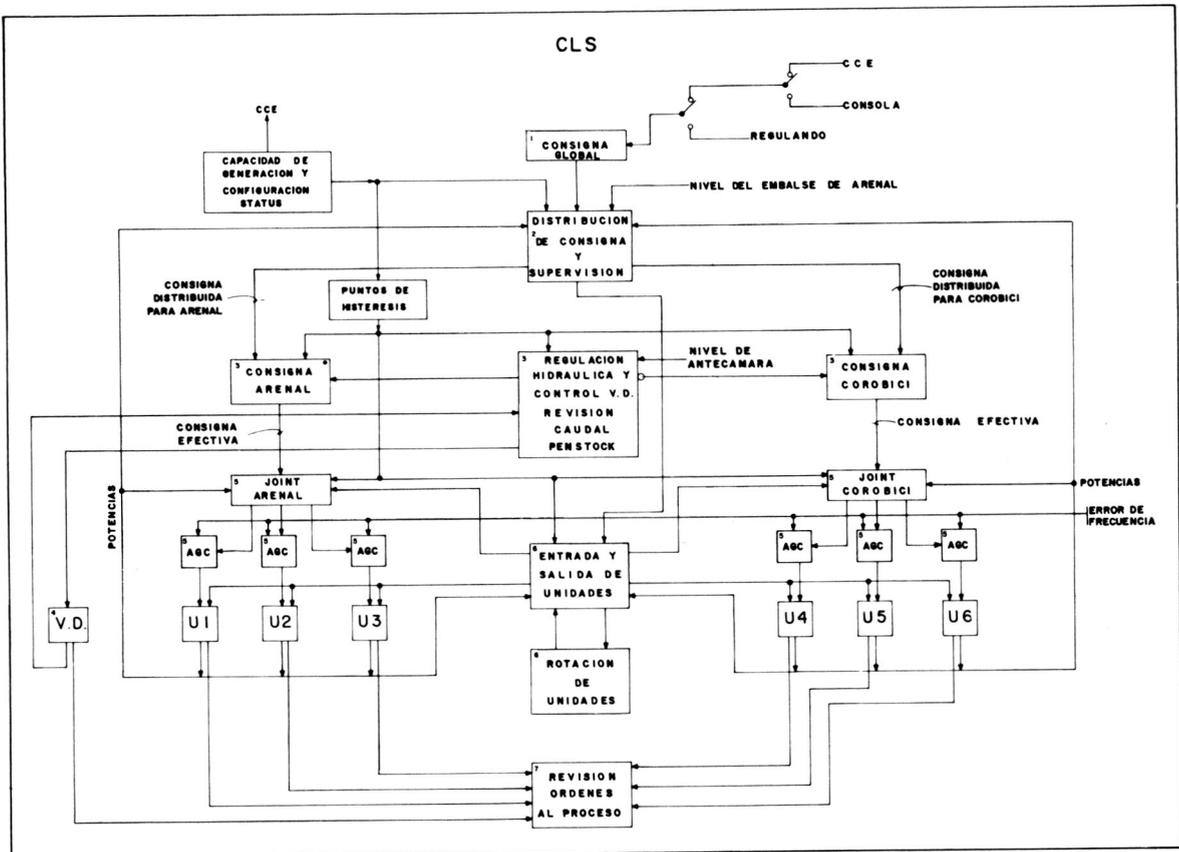


FIGURA No. 4. Esquema de control.

Ciencia y tecnología a su alcance

EDITORIAL TECNOLÓGICA DE COSTA RICA
impulsando el progreso tecnológico