

# Descripción de los sistemas de control digital de procesos

---

**Este artículo se ocupa de exponer a grandes rasgos las funciones que cumplen los computadores aplicados al control de procesos industriales, así como de presentar las principales configuraciones de los sistemas de control digital de procesos.**

---

**ADOLFO MORA VILLATE**  
Profesor del Departamento  
de Ingeniería Eléctrica  
Universidad Nacional

## INTRODUCCION

En los últimos años el control digital se ha venido aplicando cada vez más en el manejo y supervisión de los procesos industriales. Ello se explica porque al permitir una mayor automatización y coordinación en la operación de las plantas, que las logradas con los sistemas analógicos de control, proporciona ventajas en cuanto a:

1. Incremento de la productividad del trabajo humano.
2. Economías por ahorro de materias primas, energía, combustibles y demás insumos de una planta industrial.
3. Mejoramiento del control de calidad.
4. Mejoramiento del sistema de seguridad de la planta y reducción del número de accidentes.

Además de las anteriores ventajas, que se refieren a las beneficios que el sistema de control permite obtener en el funcionamiento de la planta, existen otras que resultan cuando se comparan los sistemas digitales con los sistemas analógicos de control, desde el punto de vista de su operación interna:

1. Cuando se desea modificar alguno de los parámetros del sistema de control no es necesario realizar cambios en el cableado, sino que para ello basta hacer algunos cambios en la programación.
2. Menor vulnerabilidad a los ruidos procedentes de la red de energía y ocasionados por sucesos externos al sistema de control, como conexión y desconexión de motores, o como descargas y cortos en las líneas de potencia.
3. Los diagramas mímicos colocados en las salas de control de los sistemas analógicos son "duros", o sea que no se pueden alterar. En cambio en los centros de control digital se utilizan para ello pantallas de computadores, en las que los diagramas mímicos se pueden actualizar y modificar, permitiendo además mostrar más información y un mayor número de detalles a través de una gran cantidad de despliegues.

4. En el control distribuido, que es uno de los tipos de control digital de mayor aceptación hoy en día, no se requiere llevar todas las señales a la sala de control.

Por vía de ilustración, las siguientes son algunas de las industrias en donde se aplica el control digital de procesos: industria química y petroquímica, industria metalúrgica e industria textil. También se aplica en la producción de papel, cemento, azúcar, vidrio, cerveza, en la generación de energía eléctrica y en las empresas de acueducto y alcantarillado.

El objetivo de este artículo es presentar una visión general de los sistemas de control digital utilizados en procesos industriales.

## FUNCIONES DE LOS SISTEMAS DE CONTROL DIGITAL

### Control secuencial

El control secuencial se encarga de ejecutar las labores de las que tradicionalmente se han ocupado los mandos o accionamientos eléctricos, como las que se efectúan durante el arranque de una caldera, que se caracterizan por cumplir una secuencia de pasos v. gr.: primero hay que arrancar las bombas que suministran el agua de alimentación a la caldera y los ventiladores que insuflan el aire al hogar, lo mismo que los que envían los gases de escape por la chimenea, antes de inyectar el combustible por los quemadores e iniciar la combustión.

Los *controladores programables*, que constituyen un tipo especial de microcomputadores destinados principalmente al control secuencial, encuentran actualmente una amplia acogida en la industria, en donde se encargan de ordenar la ejecución de toda una secuencia de operaciones de acuerdo a un programa previamente cargado en memoria, permitiendo cuando fuere necesario, modificar la secuencia de operación de la planta sin tener que recurrir al cambio del cableado, pues para ello basta modificar el programa cargado en memoria, de ahí su apelativo de programables.

Los voluminosos tableros, con los que antes se controlaba la secuencia mediante relés electro-mecánicos, fueron desplazados primero por los circuitos electrónicos digitales que realizaban esa misma función mediante "lógica cableada", y ahora por los controladores programables que la realizan mediante "lógica programada". Pero los elementos finales de control siguen siendo los mismos o sea contactores, válvulas, solenoides, etc.

### Características del control secuencial

1. Los sistemas de control secuencial se consideran, en forma general, como *sistemas de lazo abierto*, aunque en ellos se puede disponer de algunos sensores o elementos de realimenta-

ción como los microinterruptores y los detectores de proximidad.

2. En el control secuencial se manejan variables de tipo binario, que son variables que sólo tienen 2 valores posibles: ENCENDIDO o APAGADO, TODO o NADA. Tal es el tipo de información que se recibe del proceso mediante microinterruptores o detectores de proximidad y tal es la forma como trabajan los Elementos Finales de Control de los sistemas secuenciales.

### Control regulador

El control regulador, también conocido como control de procesos, es el que se ocupa de todos los *sistemas realimentados o de lazo cerrado*, en los cuales el sistema de control siempre mide la variable controlada y verifica si su valor corresponde o no al valor de referencia, para ordenar las correcciones necesarias al proceso en el caso de existir algún error.

En el control regulador, a diferencia del secuencial en donde sólo se maneja información de tipo binario, tanto las entradas como las salidas pueden variar en forma continua dentro de rangos determinados, siendo los valores de las entradas al sistema de control proporcionales a los de las variables de proceso, y estando determinada la posición de los Elementos Finales de Control o el grado de abertura de las válvulas por las salidas de dicho sistema de control.

Los sistemas neumáticos, que se vienen usando desde los años cuarenta, fueron los primeros en aplicarse al control de procesos industriales. Los sistemas electrónicos, primero analógicos y luego digitales, se empezaron a utilizar a partir de los años sesenta. Como los sistemas electrónicos son más ventajosos que los neumáticos, hoy día son raras las plantas nuevas en donde se justifica instalar estos últimos. Sin embargo dentro de los sistemas electrónicos de control subsisten algunos elementos neumáticos, como lo son los actuadores en la mayoría de los casos.

En procesos industriales cuando se utiliza la palabra control sola, sin ningún adjetivo, se hace referencia es al control realimentado, o de lo contrario se indica claramente que se trata es del control secuencial.

### Registro de datos y eventos

Esta función de los sistemas de control digital es la que tiene que ver con el manejo de la información, o sea que básicamente es una labor de procesamiento de datos.

El computador recibe los valores de las variables de proceso transmitidos desde la planta, almacena y utiliza esos datos en las funciones de registro de datos y eventos (data logger), que comprenden:

1. *Presentación de despliegues*: los desplie-

gues incluyen varios juegos de diagramas mímicos que al ir apareciendo en la pantalla indican el estado general de la planta o el de cualquiera de sus áreas en ese momento, permitiendo mostrar varios niveles de detalle. El operador selecciona el área o el nivel que se desea observar. Estos diagramas indican al lado del proceso los valores actualizados de las variables. Otros tipos de despliegues pueden indicar estos mismos valores mediante diagramas de barras, o pueden mostrar su evolución por medio de curvas de tendencia. También se pueden elaborar nuevos despliegues o modificar los ya existentes.

2. *Presentación de reportes:* esta función consiste en elaborar informes, que se pueden sacar por pantalla o por impresora, sobre el estado de la planta, las fallas presentadas en los últimos períodos de tiempo, la evolución de las variables y las demás estadísticas de operación de la planta.
3. *Activación de alarmas:* cuando el computador detecta que alguna de las variables se sale de sus límites especificados, puede indicar esa condición anormal en la pantalla, mostrando ese valor mediante un color encendido y un formato intermitente si la falla es menor, pero si es severa también puede activar una sirena y en últimas ordenar el disparo de las protecciones en la planta.  
Todo el conjunto de despliegues, reportes y alarmas hacen parte de lo que se conoce con el nombre de *Interface hombre-máquina*.
4. *Mantenimiento de la base de datos:* la base de datos consta de los archivos, grabados generalmente en dispositivos magnéticos, en donde se van almacenando los valores de las variables de proceso. Toda esta información es necesaria para poder cumplir con las funciones descritas en los 3 párrafos anteriores y para realizar los análisis sobre el funcionamiento de la planta y desarrollar programas de optimización.

## CLASIFICACION DE LOS SISTEMAS DE CONTROL DIGITAL

Los sistemas de control digital utilizados hoy día, que se van a describir en este artículo, se pueden clasificar en 4 tipos:

1. Control supervisor
2. Control digital directo (DDC)
3. Control distribuido
4. Sistemas de control supervisor y de adquisición de datos (SCADA).

### CONTROL SUPERVISOR

En el control supervisor, que fue la primera aplicación en la que los computadores intervinieron en el control de procesos, el computador no maneja directamente los elementos finales de control, sino que se encarga de *fixar los valores de referencia para los controladores* que gobiernan dichos elementos y que funcionan por fuera del computador (ver figura 1). En un principio los controladores eran solamente analógicos pero luego también se incluyeron controladores digitales.

El computador en un sistema de control supervisor, además de fijar los valores de referencia para los controladores, puede efectuar otras funciones como:

- Registro de datos y eventos
- Ejecución de programas que permitan optimizar la operación del proceso, v. gr.: los programas de flujo de carga y de despacho económico en un sistema de energía eléctrica.

### CONTROL DIGITAL DIRECTO (DDC)

Un sistema DDC es un sistema centralizado en el que todas las mediciones se llevan a la sala de control, lugar desde donde *uno o varios computadores ejercen directamente el control de todos los lazos existentes en la planta* y desde donde se envían las señales de mando para los actuadores (ver figura 2).

Las mediciones provenientes del campo son señales analógicas que se transforman en señales digitales en la sala de control para que puedan ser leídas por el computador, a su vez las señales

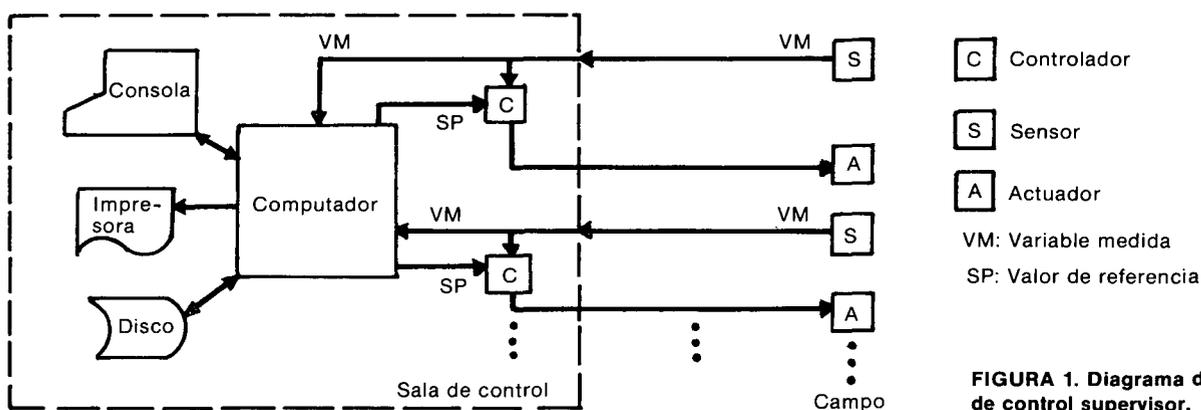


FIGURA 1. Diagrama de un sistema de control supervisor.

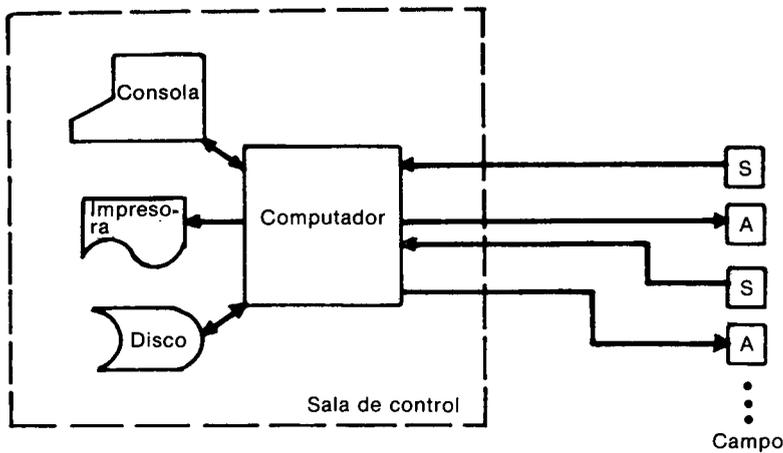


FIGURA 2. Diagrama de un sistema de control DDC.

de mando entregadas por el computador son convertidas de digitales en analógicas antes de ser enviadas a los actuadores. En la sala de control operan generalmente varios computadores, uno principal y los demás subalternos. El computador principal (Host computer) realiza las siguientes funciones:

1. Registro de datos y eventos.
2. Desarrollo de programas para la optimización de la operación de la planta y para la coordinación entre sus diferentes unidades.

Los computadores subalternos son más pequeños y entre ellos se reparten las siguientes funciones:

1. Control regulador
2. Control secuencial
3. Como a ellos llega la información procedente de la planta, deben servir de soporte a la labor de registro de datos y eventos del computador principal.

En Colombia se han instalado en años recientes algunos sistemas DDC como el del terminal de la Sabana del distrito de oleoductos de Ecopetrol, y los de las plantas eléctricas de Termo-Cerrejón y Termo-Tasajero.

**CONTROL DISTRIBUIDO**

El control distribuido es más reciente que el DDC y data de 1977 cuando Honeywell lanzó al

mercado el primer sistema de control distribuido, posteriormente los demás fabricantes de equipos de control también ofrecieron sistemas distribuidos.

En un sistema distribuido *los computadores se distribuyen físicamente a todo lo largo de la planta*, controlando cada uno de ellos una de sus secciones. Al estar los controladores más cerca del proceso se previenen los ruidos que se pueden originar en las transmisiones largas, y se evita la congestión de cables en la sala de control.

En la figura 3 se muestra un diagrama típico de un sistema de control distribuido, conformado por una red de computadores cuyos principales elementos se describen a continuación.

**Red de comunicaciones**

La red de comunicaciones, que interconecta los computadores en un sistema de control distribuido, recibe el nombre de *pista de datos* y utiliza una transmisión redundante por cable coaxial o por fibra óptica, compuesta por 2 canales que llevan simultáneamente la misma información. Hay redes que pueden transmitir hasta a velocidades de 10 megabaudios y que pueden tener hasta 6 kilómetros de longitud.

La comunicación entre los diferentes computadores se realiza mediante un protocolo llamado "ficha circulante" (token-passing), en el que de acuerdo a unos turnos preestablecidos, cada

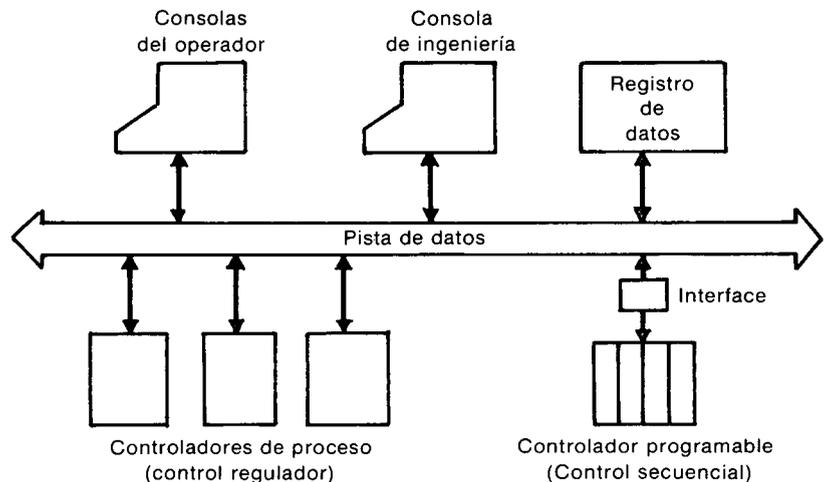


FIGURA 3. Diagrama de un sistema de control distribuido.

computador va transmitiendo a la red, llegando la información a los demás computadores pero siendo tomada sólo por su destinatario. Si un computador no tiene nada que transmitir cuando le toca el turno, lo cede al siguiente computador. Por cada computador existe un controlador que se encarga del acople con la red y del manejo de las comunicaciones.

#### Consolas del operador

Las pantallas de estas consolas presentan los despliegues que indican el estado de la planta en cada momento, mediante diagramas mímicos a distintos niveles y mediante varios tipos de gráficos para indicar los valores de las variables, que pueden ser seleccionados por el operador. En estas consolas también se activan las alarmas en caso de ocurrir alguna falla.

El operador puede por medio del teclado, iniciar acciones de control o modificar los parámetros del sistema de control.

#### Consola de ingeniería

La consola de ingeniería permite desarrollar programas de control para ser cargados a través de la pista de datos en cualquiera de los computadores de la red, contando para ello con la base de datos que almacena la información de la planta.

#### Controladores de proceso

Cada controlador de proceso se encarga de manejar los lazos de control pertenecientes a una de las áreas de la planta y de enviar por la pista de datos la información requerida por las consolas o por cualquier otra unidad. Las características o los parámetros de los controladores pueden modificarse desde las consolas, transmitiendo las órdenes pertinentes por la pista de datos.

#### Controladores programables

Los controladores programables, tal como se explicó en el párrafo correspondiente, se encargan básicamente del control secuencial aunque también pueden manejar lazos de control realimentado. Los controladores programables necesitan una interface para acoplarse a la pista de datos.

#### Registro de datos y eventos

El computador para el registro de datos y eventos cumple las funciones explicadas en el párrafo correspondiente, utilizando para ello las consolas y otros dispositivos como la unidad de disco y la impresora.

### SISTEMAS DE CONTROL SUPERVISOR Y DE ADQUISICIÓN DE DATOS (SCADA)

Los sistemas SCADA se utilizan en empresas que cuentan con varias plantas ubicadas en sitios muy distantes entre sí, cada una con sus propios sistemas de control, *pero que además requieren de un centro de control para todas ellas*, desde donde se pueda tener una visión general de todo

el proceso y a donde se llevan los datos de todas las plantas, con el fin de ejercer un control supervisor, modificando cuando sea necesario los valores de referencia, para coordinar la operación de todo el conjunto. Antes de existir los sistemas SCADA esta labor se ejercía manualmente mediante comunicación telefónica entre los operadores de las diferentes plantas.

Ejemplo de empresas en donde se aplican los sistemas SCADA lo constituyen:

- **Los grandes sistemas de energía eléctrica** que abarcan varias regiones interconectadas, entre las que se reparten la demanda total, presentándose intercambios de energía entre unas y otras; y en donde cada región cuenta con sus plantas y líneas propias.
- **Las empresas de acueducto de ciudades grandes**, que pueden disponer de plantas de tratamiento, embalses, estaciones de bombeo y tanques de almacenamiento diseminados a lo largo de toda la región.
- **Los sistemas de oleoductos** que transportan el crudo desde los campos de producción hasta las refinerías y los productos blancos desde las refinerías hasta las plantas de abasto, comprendiendo también las estaciones de bombeo y los tanques de almacenamiento.
- **Los sistemas de gasoductos**, que tienen una configuración similar a la de los oleoductos.

Los sistemas SCADA presentan las siguientes características:

1. Los controladores están ubicados a grandes distancias unos de otros.
2. Las comunicaciones se realizan por algún medio inalámbrico o por cualquier otro que permita transmisiones a grandes distancias.
3. Un computador supervisor central (Host computer) se encarga de manejar toda la información y de la coordinación del sistema.
4. Existencia de unos procesadores, llamados Unidades Terminales Remotas (UTRs), cuyo número puede ser de unos pocos hasta varios cientos, los cuales transmiten datos al computador central y pueden recibir o no datos de los niveles superiores.
5. Disponibilidad de un sistema de codificación para transmitir la información en forma segura y confiable.

Los sistemas SCADA, además del control supervisor y de la adquisición de datos, realizan funciones relacionadas con el registro de datos y eventos descritas en el párrafo correspondiente.

La figura 4 muestra un diagrama típico de un sistema SCADA tal como el que dispone la Empresa Interconexión Eléctrica S.A. (ISA), cuyos

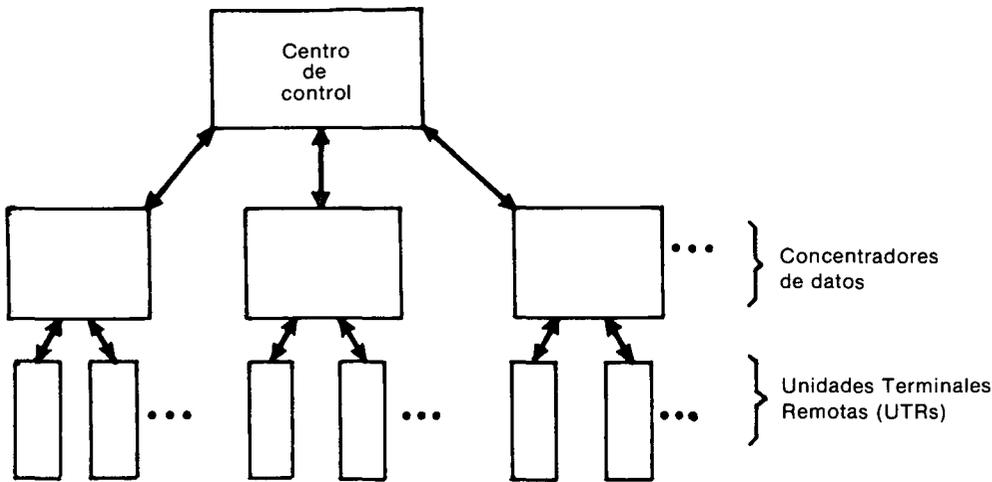


FIGURA 4. Diagrama típico de un sistema SCADA.

componentes se describen brevemente a continuación.

#### Unidades terminales remotas

Las UTRs se ubican en las plantas o en las subestaciones con el fin de recolectar y de enviar al centro de control, datos como: los voltajes en los barrajes, los flujos de potencias activas y reactivas, el estado de los interruptores, etc.

Cada planta cuenta con sus sistemas de control propios, como el control de velocidad de la turbina y el control de voltaje del generador, pero los valores de referencia para estos controladores pueden ser determinados por un nivel superior y transmitidos a la planta por la respectiva UTR.

Actualmente las UTRs son intermediarias que sólo se limitan a transmitir o a recibir datos, pero últimamente se tiende a asignarles funciones de mayor jerarquía, para que realicen algún tipo de control a nivel local sin tener que remitirlo a niveles superiores.

#### Concentradores de datos

Los concentradores de datos recolectan la información procedente de las UTRs ubicadas en su región o área de influencia y envían esa información al centro de control. Además de ello, los concentradores de datos pueden ejercer control supervisor y procesamiento de datos a nivel de área.

Los concentradores de datos son computadores de mayor tamaño que los UTRs, pues mientras

estos últimos generalmente son micros los primeros son minis. Para el caso del sistema de control de ISA los concentradores de datos se hallan ubicados en Torca, Manizales y en San Carlos.

#### Centro de control

El computador instalado en el centro de control cumple las siguientes funciones:

- **Registro de datos y eventos.**
- **Control supervisor:** básicamente se refiere a la asignación por parte del centro de control de las potencias que deben generar las distintas plantas o áreas del sistema de energía, con el fin de atender la demanda que se presente en cada momento en la forma más económica y de mantener la frecuencia en su valor nominal.

El centro de control generalmente dispone de 2 computadores, uno principal y otro de respaldo, tal es la configuración del Centro Nacional de Telecomunicaciones y Control de ISA ubicado en la ciudad de Medellín; así mismo los concentradores de datos más importantes también pueden disponer de configuración doble.

#### Comunicaciones

Las comunicaciones entre las UTRs, los concentradores de datos y el centro de control se pueden realizar por onda portadora, por microondas y por pares telefónicos, con velocidades de transmisión que pueden variar entre los 200 y los 9.600 baudios.

## REFERENCIAS

1. JOHNSON, C. *Process control instrumentation technology*, Second edition, John Wiley, 1982.
2. CONSIDINE, D. *Process instruments and control handbook*, Second edition, Mc Graw-Hill, 1974.
3. MORA, A. *Tecnología del control de procesos industriales - Instrumentación electrónica y neumática*, Bogotá, Universidad Nacional, 1985.
4. IEEE tutorial course, "Energy control center design", curso corto del IEEE, Piscataway, N.J.
5. Editorial board, "The configurations of process control: 1979", *Control Engineering*, marzo de 1979, págs. 43-57.
6. BLICKLEY, G. "SCADA systems affected by Distributed Control", *Control Engineering*, marzo de 1985, págs. 79-81.
7. PONIS and SALM. "PROCONTROL P - A modern control and monitoring system for power plants", *Brown Boveri Review*, agosto de 1984, págs. 327-335.
8. GOUDIE, DAVIS and SPATZ. "The BECONTROL family of supervisory network control systems", *Brown Boveri Review*, septiembre/octubre de 1984, págs. 406-415.
9. PINEDA, FERNANDEZ y CAMARGO. "El centro nacional de telecomunicaciones y control del sistema eléctrico colombiano - ISA", *Revista Eta*, abril de 1985, págs. 15 a 18.