

620

R

No. 69

AL DEL

# COLEGIO FEDERADO DE INGENIEROS Y DE ARQUITECTOS

## EN ESTE NUMERO:

### CONVERTIDORES A/D y D/A

*Ing. Randolf Steinvorth*

*Ing. Marco Antonio Vásquez E.*

### SIMULACION DIGITAL DEL SISTEMA HIDROELECTRICO ARENAL-COROBICI CON VISTAS A LA INVESTIGACION DE SU COMPORTAMIENTO TRANSITORIO.

*Ing. Ismael A. Retana M.S.*

*Ing. Ismael Mazón*

### APUNTES PARA UNA HISTORIA DE LA INGENIERIA EN COSTA RICA 1502- 1903.

*Ing. Hernán Gutiérrez Braun*

### CONSERVACION DE ENERGIA

*Ing. Víctor Ml. Alfaro*

### EL NACIMIENTO DE LA ARQUITECTU- RA MODERNA

*Peter Blake*



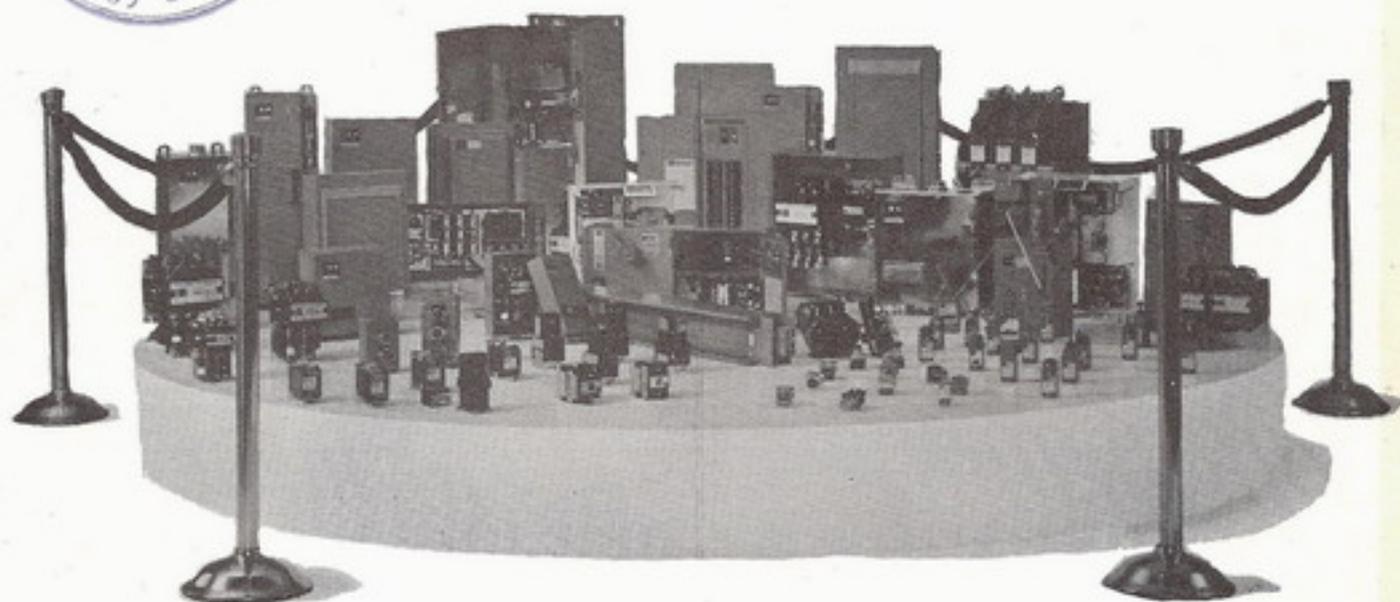
# 69

JULIO AGOSTO SETIEMBRE 1979



**CUTLER - HAMMER**

*¡ su mejor decisión !*



**CUTLER - HAMMER**

**CENTROAMERICANA S.A.**

Telex: 2170 CUTLER  
Apdo: 10156-5163 San José  
Tels: 35-60-44 - 35-60-22

**si es de construcción**



MEZCLADORAS  
150-L Capacidad: 1 saco

**Parker**



COMPACTADORES  
**BOMAG**



VOLQUETES  
Capacidad: 1150 Kg.  
**Thwaites**

**INTACO LO ALQUILA**



SISTEMAS  
DE FORMALETA

 **SYMONS**



EQUIPOS  
DE SEGURIDAD

**FIBRE-METAL**



ENDURECEDORES PARA PISOS  
CEMENTOS EXPANSIVOS  
MORTEROS PARA AZULEJO

**INTACO LO VENDE**

**PREGUNTELE A**

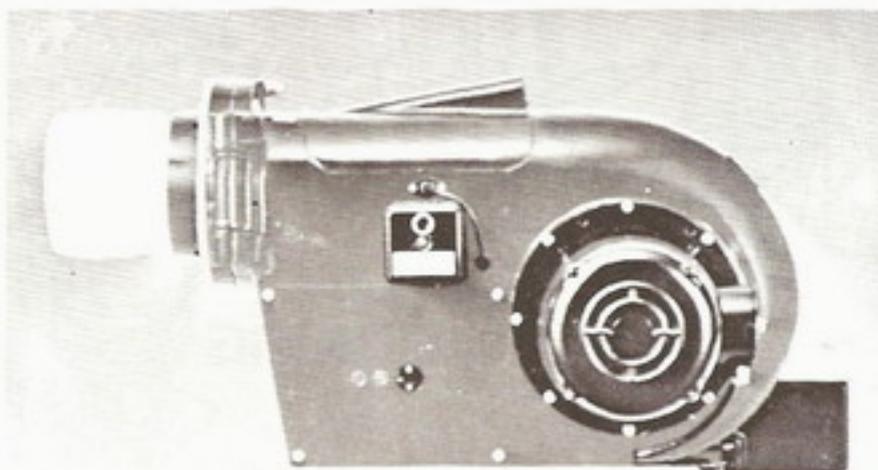


**TEL 22-22-27**  
AVE. 2 y C. 25  
(La California)

# OFRECEMOS EL MEJOR EQUIPO DE QUEMADORES DE PETROLEO "MONARCH y R" COMPLETAMENTE AUTOMATICOS

Quemadores de petróleo liviano, de una etapa

Carcasa del quemador, brida basculante, anillo de amianto, orificio de observación, motor de propulsión, turbina del ventilador, bomba de petróleo, válvula magnética, mangueras para petróleo, inyector, porta-inyector, boca de llama con disco difusor, carcasa con clapeta(s) de aire; instalación de encendido, de alta tensión, con transformador, electrodos de encendido y cables de encendido, aparato de comando con detector de llama (montado en el quemador), con o sin instalación completa incorporada de mando.



**GARANTIZADOS!**  
**VISITENOS!** **MILLER HNOS. LTDA.**

TELEFONOS: 22 - 43 - 83 - 22 - 44 - 83 - APARTADO: 2890

**Ela E. Luján Arquitectos S. A.**



**CONSULTORIA**  
**DISEÑOS**  
**CONSTRUCCION**

UNA EMPRESA SERIA Y RESPONSABLE  
AL SERVICIO DE LA CONSTRUCCION

Telefono 23-54-75

Apartado 1575, San José, Costa Rica  
Del Hospital Calderón Guardia 150 mts. Norte y 100 mts. Este  
Barrio Aranjuez av. 11 No. 1754

# NO EMPLEAMOS TODO NUESTRO TIEMPO EN FABRICAR TUBOS

Cuando se habla de "Sylvania", lo primero en que se piensa es en lámparas. Fluorescentes, incandescentes, y los famosos "Flash Cubes". Sin embargo, nosotros fabricamos también prácticamente todo lo demás relacionado con la iluminación. Desde los accesorios para conectar transformadores a la línea eléctrica, hasta los toma corrientes de pared. Ahora bien: ello incluye cosas pequeñas, como por ejemplo cajas de fusibles o disyuntores de circuitos, y grandes, como sistemas completos de distribución, subestaciones unitarias y tableros de control. Realmente si Ud. puede suministrar el alambrado, nosotros nos encargamos de todo lo demás.



Lámparas Fluorescentes,  
Incandescentes,  
Mercurio, Sodio y Cuarzo  
para uso  
Comercial o Industrial

# SYLVANIA

TELEFONO: 32-33-34

SAN JOSE-LAS PAVAS

APARTADO: 10130

 **INCESA  
STANDARD**

## **Belleza y Calidad**

Para mayor información  
dirigirse a.

DIVISION DE MERCADEO  
Apartado Postal 4120  
San José - Costa Rica  
Telex: 2496

TELEFONOS:  
32-52-66  
32-53-36



LAVATORIO ELLISSE, INODORO CADET ELONGADO.

# **ABONOS AGRO S.A.**

**MATERIALES  
DE CONSTRUCCION  
EN GENERAL**

**TELEFONO  
21- 67- 33  
CON 8 TRONCALES  
Ap. 2007 San José**

# Electro Mercantil, S.A.

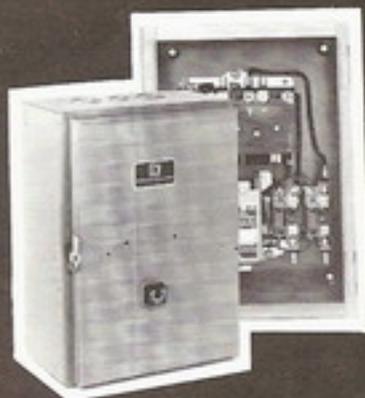


Edificio Telar Los Leones, Av. 5, Calles 6 y 8, Apartado 10.091, San José. Teléfonos: 21 67 88 - 21 67 94 -  
23 38 49. Telex C.R. 2222. DISTRIBUIDOR AUTORIZADO DE LA MUNDIALMENTE CONOCIDA LINEA DE  
EQUIPO ELECTRICO SQUARE D.

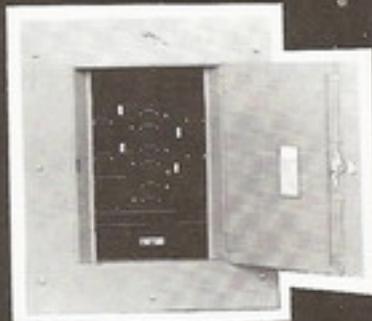
## SQUARE



# PRESENTA



Arrancadores magnéticos "clase 8536" a voltaje pleno en tamaños Nema de 0 a 5.



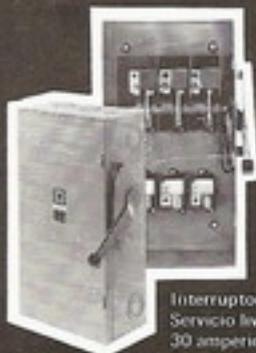
Tableros de distribución tipo ML de 225 hasta 2500 amperios y tensión máxima de 600 voltios. Capacidades interruptivas normal o alta.



Centros de control de motores con combinaciones de arrancador e interruptor termomagnético. Arrancadores a tensión plena o reducida. Barras principales de hasta 2000 amperios. Tensión máxima de 600 voltios.



Centros de Carga OO y NDD. Montaje Superficial o embutido de 2 a 42 polos, 240 voltios



Interruptores de Seguridad. Servicio liviano y servicio pesado desde 2 polos, 30 amperios hasta 3 polos, 600 amperios. Para 240 y 600 voltios.



## SQUARE D CENTROAMERICANA S.A.

*Donde quiera que se distribuye y controla electricidad.*

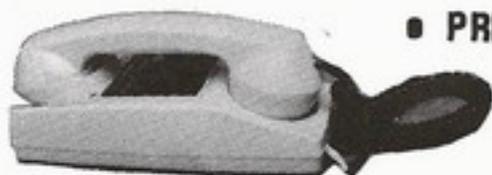
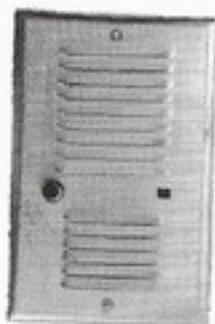
Teléfono: 32-60-55 Telex 2591 Square "D" Apartado 4123, San José, Costa Rica

# PORTEROS ELECTRICOS

## JUNG ANG

- VARIOS MODELOS
- ELECTRICOS Y DE BATERIAS
- PRECIOS DESDE

₡190,00 EL JUEGO  
+ 8% I. V.



CENTRO COMERCIAL GUADALUPE  
COSTADO ESTE Mc DONALD'S - TEL: 21-14-56

# SATEC

Los mejores tapices del mundo

cubriendo sus paredes



## TAPICES PARA PAREDES

Graciela de Sáenz

MUEBLES DE MIMBRE

ALFOMBRAS

CORTINAS

LAVATORIOS, TINAS DE MARMOL INDUSTRIAL

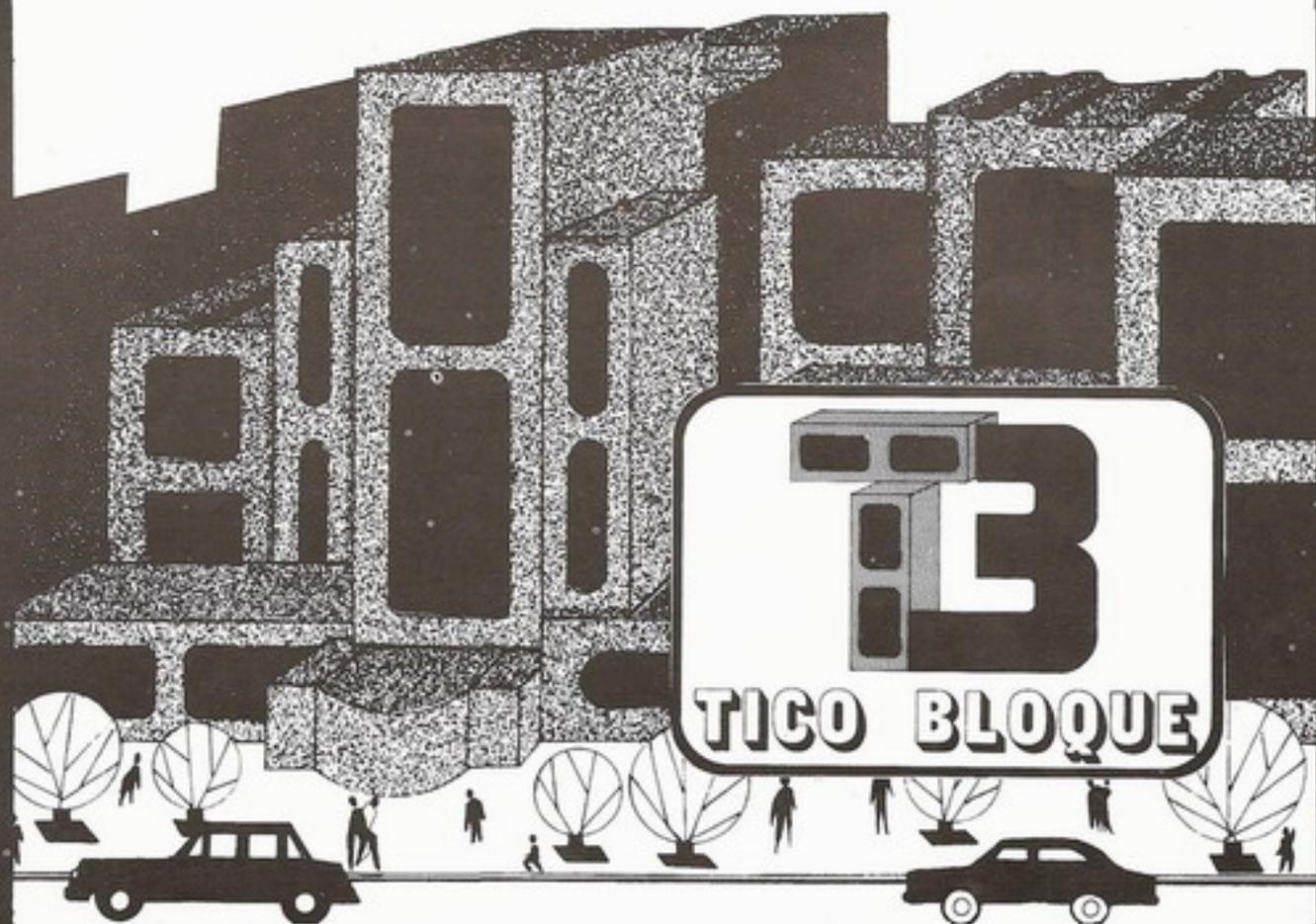
DISTRIBUIDORES EXCLUSIVOS

### Wall - Co Int

FRENTE MAS X MENOS - PASEO COLON  
TEL: 22-82-40



**construya con lo mejor...**



Con nuestros continuos exámenes de laboratorio, respaldamos la calidad en Bloques y Adoquines de Concreto. También ofrecemos economía y ayuda al constructor al brindarle un transporte más barato.

**TICO BLOQUE SUPERIOR S.A.**

Barrio del Carmen — Guadalupe

Tels: 25-96-56 y 25-85-25 Apartado: 313 Centro Colón — San José

**FOLLETOS, DOCUMENTOS,  
TEXTOS, SE ENCUADERNAN  
FACILMENTE CON EL SISTEMA**



**DE ANILLOS DE  
PLASTICO**



**OFERTAS. REPORTES, INFORMACION TECNICA  
MEMORIAS, ETC, perfectamente encuadernados  
y protegidos, siempre causan impresión  
favorable a Directores, Gerentes, Accionistas  
y Clientes importantes.**

**¡Su secretaria puede hacerlo fácil y  
rápidamente, en su misma oficina!**

**LLAME O VISITE SUS  
DISTRIBUIDORES EXCLUSIVOS.**

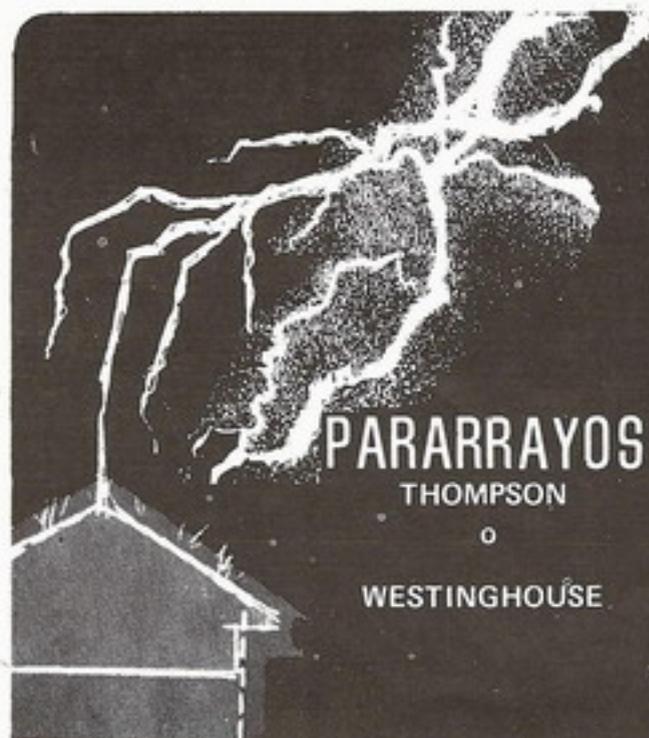


**22 93 84**

**SUPLIDORA DE EQUIPOS S.A.**

APARTADO 7.2520 - SAN JOSE COSTA RICA

Calle 9 Avenidas Central y 2 - Del Bar Chelles 75 Metros Sur



**PARARRAYOS**

THOMPSON

o

WESTINGHOUSE

**Representantes de:**

**WESTINGHOUSE ELECTRIC**

**THOMPSON LIGHTING**

**CONDUCEN**

**CUTLER-HAMMER**

**SYLVANIA**

**EDISON**

**LUZCO**

**TICINO**

**TUBERIA P.V.C.**

**SIEMENS**

**Elmec S.A.**

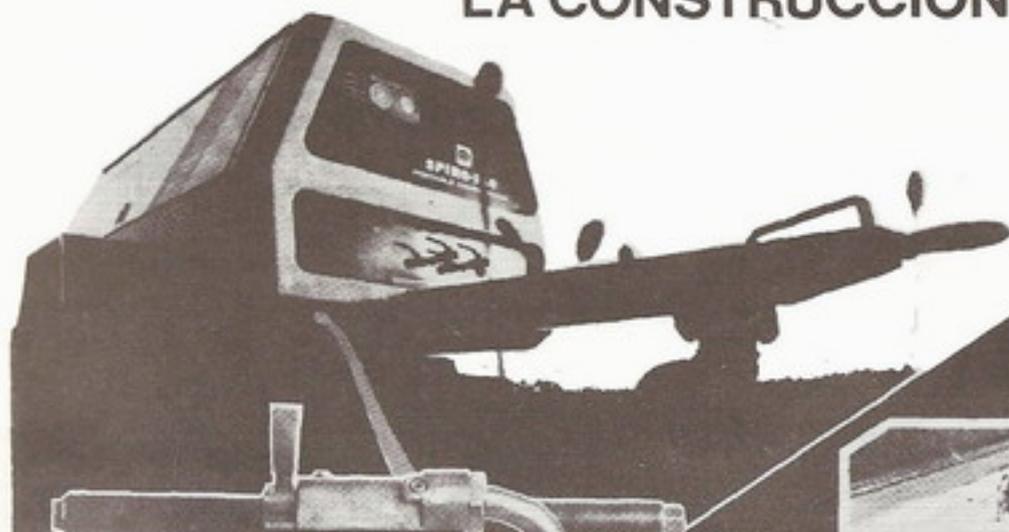
Avenida 1 Esquina Calle 11

San José Tel : 23-10-33

# 2.000.000 DE COMPRESORES VENDIDOS EN EL MUNDO, RESPALDAN SU INVERSION.

 **Ingersoll-Rand**

PRESENTA SU NUEVA LINEA PARA  
LA CONSTRUCCION



La nueva línea silenciosa  
y de tornillo  
contempla unidades  
desde 100 a 5000 CFM  
a 125 PSI.

En accesorios de calidad  
y el silencio es lo más  
importante, ofrecemos  
la línea completa.



 **HIRIDY INC.,  
S. A.**

Garantiza su inversión con el más amplio stock  
de repuestos genuinos, aplicados por manos  
especializadas.



 **HIRIDY INC.  
S. A.**

Santa Cruz  
Guaymas Teléfono  
68 00 65  
Depo. Repuestos 32 89 50  
Aparado 750 San José

San José  
Teléfono 23-55-66  
77-17-80



## AGROPOZO S. A.

Teléfono 24-74-52

Apdo. 1988

Barrio Escalante C. 33 No. 1326

San José, Costa Rica

Ing. Hugo A. Aguilar Ivankovich  
Ing. Vinicio Urbina Castro  
Francisco Madrigal Chaves

PERFORACION DE POZOS

ESTUDIOS HIDROGEOLOGICOS

REHABILITACION DE POZOS EXISTENTES

DESARROLLO DE POZOS EXISTENTES

MANTENIMIENTO DE POZOS

INSTALACION DE EQUIPOS DE BOMBEO

REPARACIONES EN EQUIPOS DE BOMBEO

MANTENIMIENTO DE EQUIPOS DE BOMBEO

DISEÑOS SANITARIOS

TRATAMIENTO DE AGUAS

TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS

ANALISIS FISICO QUIMICO Y

BACTERIOLOGICO DE AGUAS



# Cinta Eléctrica

# Scotch

# # 33

La cinta eléctrica No. 33 marca "SCOTCH", es un material aislante conformable de plástico de vinilo, de 7 milésimas de pulgada de espesor y para uso múltiple. Tiene excelente resistencia a: abrasión, humedad, álcalis, corrosión del cobre y las condiciones variables del medio ambiente (incluida la luz solar). La cinta No. 33 tiene alta rigidez dieléctrica en humedad y proporciona máxima protección mecánica con mínimo volumen. Tiene el visto bueno de los Laboratorios Underwriters.

— Aislamiento eléctrico principal (especialmente en áreas húmedas y con vapores de solventes) para todos los empalmes de cables y alambres hasta 600 voltios y 80° C (176° F).

— Forma una cubierta protectora (de excelente resistencia a la abrasión) para los empalmes y terminaciones en cables de alta tensión.

— Para empalmes de alambres de artefactos eléctricos hasta 1.000 voltios.

— Para hacer arneses (manojos) de cables y alambres.

Más informaciones

al teléfono: 37-50-33.

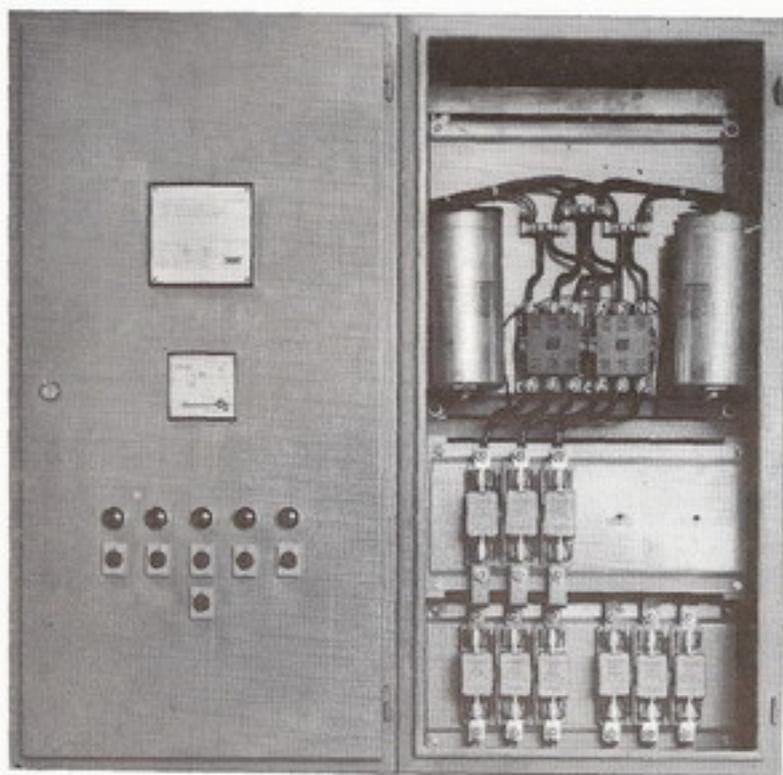


# 3M

# SIEMENS

---

## Equipos automáticos Siemens para corrección del factor de potencia.



Al cumplir 4 años de haberse instalado el primer "Equipo Corrector de Factor de Potencia" SIEMENS se siente satisfecha de haber ayudado a sus clientes a eliminar de la factura por servicios eléctricos el sobrepago correspondiente al mal factor de potencia de sus instalaciones.

En la actualidad disfrutan de este beneficio 67 clientes entre los que se cuentan: industria de fertilizantes, industria de acero, industria metal mecánica, industria textil, empacadoras de carne, beneficios de café, ingenios azucareros, aserraderos, etc.  
88 sistemas de compensación que totalizan 15.850 KVAR funcionan eficientemente en todo el país.

**Siemens está cada día  
más cerca de Ud.**

**SIEMENS S.A.** Teléfono: 21 50 50

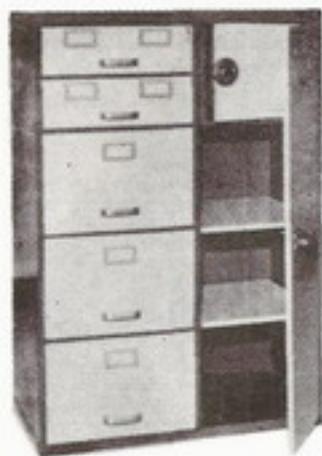
---

**CENTRO MUEBLES**

**DELTA**

Tel: 23 27 16 C 4-6 Av.10 Ap. 557

San José C.R.



**ARCHIVADOR CAJA FUERTE**

2 gavetas en la parte superior para tarjeteros. 3 gavetas "legal" estantería para libros y un adicional con cerradura especial de laminación.



**ESCRITORIO TIPO ESCUADRA**

Cuerpo de metal y sobre de formica. 2 gavetas al lado izquierdo (una de archivo); un armario y una gaveta pequeña al lado derecho.

**TODO TIPO DE MUEBLES PARA OFICINA**

- ESCRITORIOS
- ARCHIVOS
- SILLAS EJECUTIVAS
- TARJETEOS
- BIBLIOTECAS, etc.
- MUEBLES ESPECIALES EN MADERA Y METAL.

**SILLAS TIPO SECRETARIALES**

700 - 703. Dos tipos de escoger para su mayor comodidad en varios colores. Reclinables y fijas.



**ARCHIVADOR MODULAR**

4 gavetas 001 -C 001 -L  
2 gavetas 003 -C 003 -L  
Todo color  
Tamaño carta - oficio

**VIBRADORES DE CONCRETO**



**ELECTRICOS 3 HP  
Y DE GASOLINA**

**DISTRIBUIDOR EXCLUSIVO  
LAPEIRA S.A.**

TELEFONOS 22-43-65 y 22-28-52 — APARTADO 616 — SAN JOSE  
300 Mts SUR DE BARZUNA — Bo. CORAZON DE JESUS



## «El reto de los 100.000 kms.»

### ...es la garantía que Mercedes-Benz ofrece a los motores de sus camiones L1313

L1313 para carga general

- Características:
- Motor Diesel Mercedes-Benz de 145 h.p.
- 5 marchas sincronizadas
- 3 sistemas de frenos: 1) freno de servicio, doble circuito con auxilio de dos circuitos de aire comprimido. 2) freno de motor.
- 3) freno reserva automática que desacelera el vehículo progresivamente en caso de emergencia.

Además los modelos Mercedes-Benz L1313 vienen con las siguientes características: - Capacidad de carga útil de 8.000 Kgs  
- Distancia entre ejes: 4.83 mts. - Eje trasero duplicado.

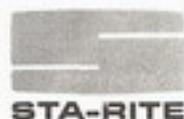
Todos los vehículos Mercedes-Benz tienen 100.000 kms. de garantía en el motor y transmisión y están respaldados por el servicio estrella de Mercedes-Benz.

Véalos en el Departamento de Ventas de Automercantil en Paseo Colón o en su taller de servicio 500 mts. al Este de Cinco Esquinas de Tibás.



Consulte nuestros cómodos planes de financiamiento para empresarios y transportistas.

# BOMBAS PARA AGUA USO DOMESTICO



TENEMOS LA BOMBA QUE UD. NECESITA

- ACOPLADA DE FABRICA A TANQUE HIDRONOMATICO DIAFRAGMA
- OFRECE MAYOR RENDIMIENTO
- MAS ESTETICA
- OCUPA MENOS ESPACIO
- UN AÑO DE GARANTIA POR ESCRITO  
Y SOBRE TODO MAS ECONOMICAS.



SOLICITE INFORMES A:

**Almacén RUDIN**  
300 metros al sur Catedral y 50 oeste.  
San José, Tel. 22-44-66.

## COPIAS HELIOGRAFICAS TECNICAS S.A.

### COHETEC S.A.

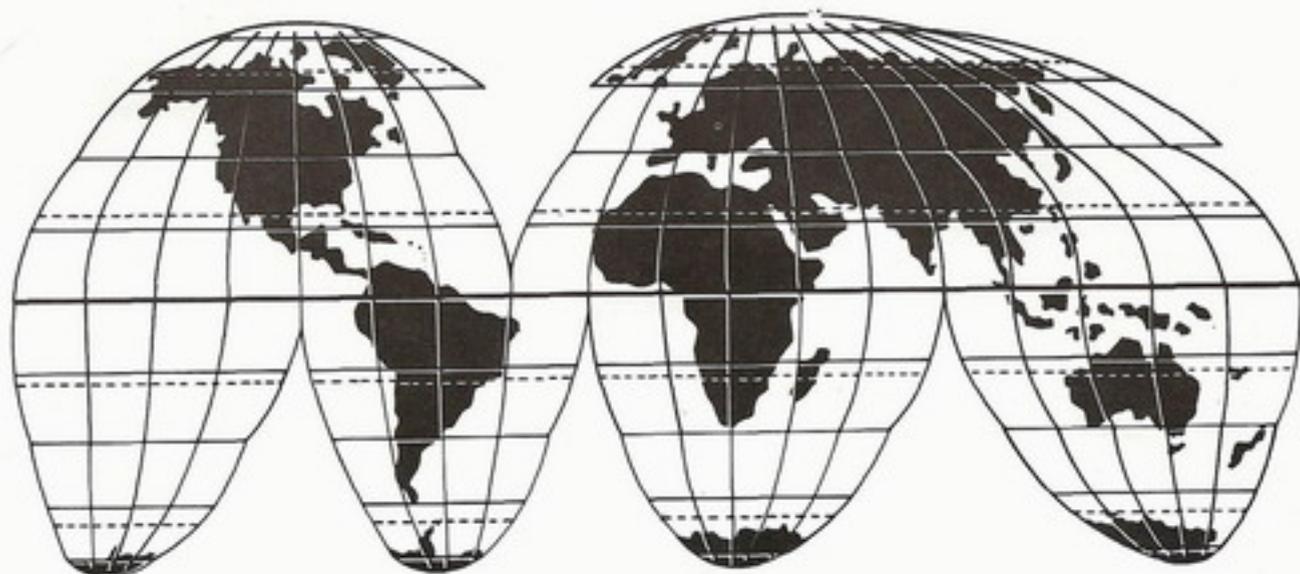
SE PONE A LAS ORDENES  
DE LOS INGENIEROS, ARQUITECTOS,  
TOPOGRAFOS, Y PUBLICO EN GENERAL,  
PARA CONFECCIONAR SUS COPIAS  
HELIOGRAFICAS, SEPIAS, FOTOCOPIAS  
Y VENTA DE MATERIALES DE INGENIERIA.

CONTAMOS CON SERVICIO A DOMICILIO

NUESTRO HORARIO ES DE  
7-1/2 a.m. a 6 p.m. (Jornada continua)

DIRECCION: CALLE 15 y 17 AV. 4 BIS  
TELEFONO 23-76-42





# COMUNIQUESE CON NOSOTROS NOSOTROS LE COMUNICAREMOS CON EL MUNDO

Por un medio de comunicación escrito, recíproco, sencillo, eficiente y rápido.

Con múltiples ventajas:

- ★ Deja constancia escrita de sus mensajes.
- ★ Facilita la comprensión entre abonados situados en países de idiomas diferentes.
- ★ Permite enviar una mayor cantidad de información en el tiempo utilizado.
- ★ Recibe información aún fuera de horas de oficina.
- ★ Recepción simultánea a la emisión.

El servicio de TELEX combina las características de seguridad, rapidez y confidencialidad.



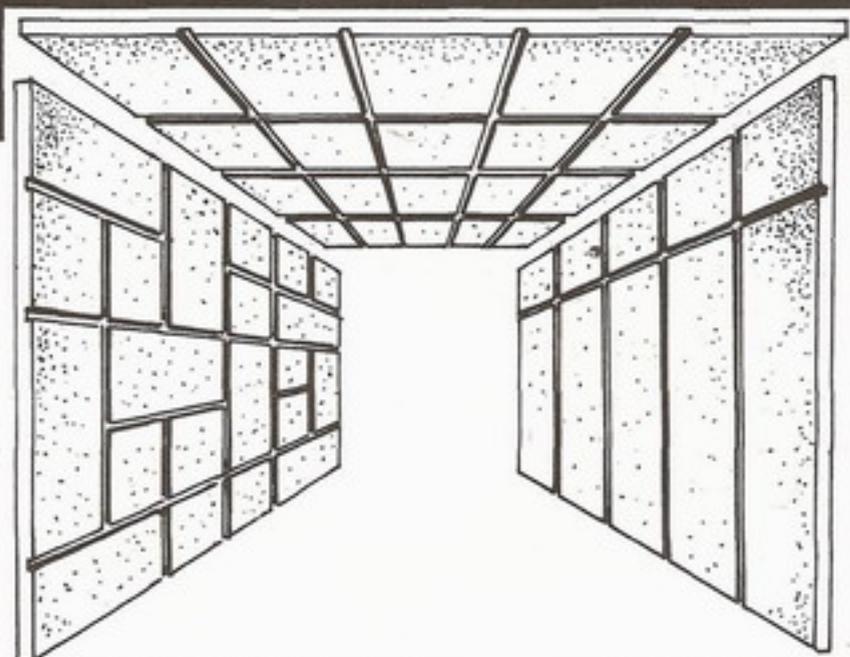
**Radiográfica Costarricense  
S.A.**

Oficina Comercial  
Calle 1 - Avenida 5 - Tel.: 23 58 80  
TELEX 1012 COMERCIAL

**NUEVO**

# CIELO RASOS Y DIVISIONES TABLACEL.

Ahora le ofrecemos variedad  
de tamaño cortados.  
Listos para múltiples usos.



Como un aporte más a la industria de la construcción, Tablancel le ofrece ahora gran variedad de tamaños para una más atractiva, fácil y rápida instalación, que evitan el desperdicio.

Escoja usted: 50 x 50, 50 x 100, 50 x 150, 50 x 200, 50 x 250, 50 x 300.

Todos están especialmente cortados para la colocación efectiva de cielo rasos.

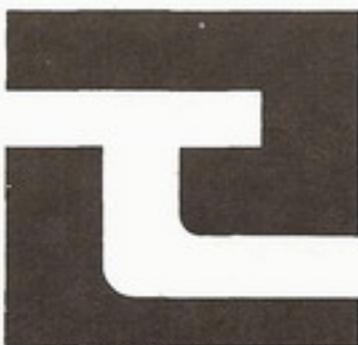
Divisiones. Artes manuales. Respaldo de cuadros. Fondos de muebles. Equipos de sonido. Particiones en menor grado y todos aquellos usos que demanden de tamaños pequeños de Tablancel.

Las sillas, gavetas, estanterías y gradas se hacen ahora más fácil con esta nueva oferta de Tablancel.

Converse con nosotros. Se fascinará con el amplio panorama decorativo que le ofrece nuestra gran variedad de tamaños Tablancel.

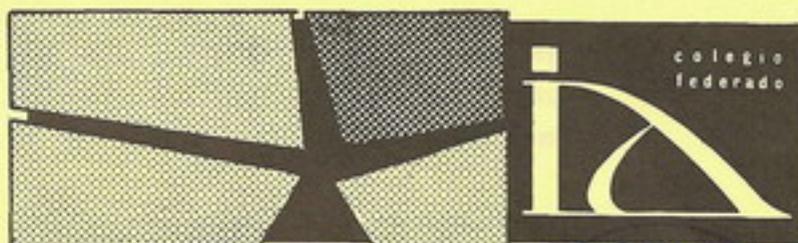
Trabaje mejor con nuestros nuevos tamaños o con los tradicionales.

Todos con la calidad Tablancel porque sólo Tablancel es Tablancel.

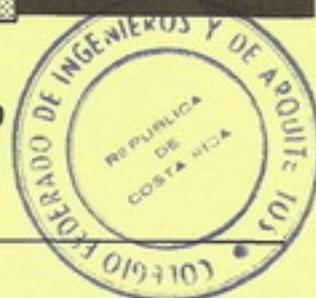


**TABLACEL**

MADERAS AGLOMERADAS S.A.  
OFICINAS CENTRALES Y PLANTAS  
San Joaquín de Flores  
Frente a Cervecería Tropical  
Teléfonos: 41-31-44 41-24-49 y  
41-54-51  
Apdo. 4036 San José, C.R.



No. 69 Julio - Agosto - Setiembre 1979



2	EDITORIAL
3	CONVERTIDORES A/D y D/A <i>Ing. Randolph Steinworth</i> <i>Ing. Marco Antonio Vázquez E</i>
10	SOBRE EL SISTEMA DE COMUNICACIONES MOPSK <i>Ing. Jorge Arce U.</i>
15	SIMULACION DIGITAL DEL SISTEMA HIDROELECTRICO ARENAL-COROBICI CON VISTAS A LA INVESTIGACION DE SU COMPORTAMIENTO TRANSITORIO. <i>Ing. Ismael A. Retana M.S.</i> <i>Ing. Ismael Mazón</i>
25	APUNTES PARA UNA HISTORIA DE LA INGENIERIA EN COSTA RICA 1502-1903. <i>Ing. Hernán Gutiérrez Braun</i>
32	DISEÑO DE TUBERIAS DE VAPOR <i>Ing. Eduardo Castresana Chaves</i>
35	CONSERVACION DE ENERGIA <i>Ing. Víctor Ml. Alfaro</i>
38	EL NACIMIENTO DE LA ARQUITECTURA MODERNA <i>Peter Blake</i>
46	TRABAJOS DE INVESTIGACION REALIZADOS EN LA MATERIA T-305 TOPOGRAFIA APLICADA II <i>Ing. Jorge León Rodríguez</i>

**DIRECCION:** Avenida 4a. Calle 42. teléfono 23-01-33. Apartado 2346 San José

Horas de oficina  
LUNES a VIERNES de 8 a.m a 12 m.  
de 2 p.m a 6 p.m.

Lic. Eduardo Mora Valverde  
Director Ejecutivo

**COMISION EDITORA:**  
ING. MARTIN CHAVERRI  
Coordinador  
ING. VICTOR ML. ALFARO    ING. BERNAL LARA

Editada por  
DISTRIBUIDORA PUBLICITARIA LTDA.  
Luis Burgos Murillo, EDITOR.

El Colegio no es responsable de los comentarios u opiniones expresadas por sus miembros en esta revista. Pueden hacerse reproducciones de los artículos de esta revista, a condición de dar crédito al autor y al CFIA, indicando la fecha de su publicación.

# *EDITORIAL*

*El Coordinador de la Revista del Colegio, considera necesario comunicar por medio de un editorial las inquietudes y labores de esta comisión.*

*Consideramos la Revista como un elemento de gran importancia en la vida profesional y del Colegio en general, por la comunicación que por medio de ella obtenemos a un ámbito mayor que las escasas Asambleas Generales. Con un número tan importante de miembros, como con el que cuenta nuestro Colegio Federado, es concebible que muchos de nosotros tengamos algo que aportar: Trabajos interesantes, descripciones de múltiples obras, algunas de mucha importancia, investigaciones y conclusiones de toda especie. Actividades y sucesos de interés general para la comunidad y la profesión, y sin embargo. . . para esta última reunión de la comisión no había ningún artículo y para la del mes anterior "solo uno"!*

*Creo que el Ingeniero o Arquitecto deben considerar como parte muy importante de su curriculum las publicaciones que hayan hecho.*

*Tenemos muchas ideas para el mejoramiento de la Revista y hacerla más interesante: Secciones permanentes, resúmenes de actividades profesionales y sociales del mes. Sucesos de interés en la Ingeniería nacional y mundial y muchas otras cosas.*

*Pero solos, no puede hacerlo una comisión que se reuna una vez al mes. Quizá convenga una reestructuración, de modo que la misma consista en un Director y un Consejo Editorial y además, escogerle un nombre específico a la revista.*

*¿Qué nos dicen los colegas y compañeros?*

*¡Esperamos sus opiniones y colaboración!*

*El Coordinador*

# CONVERTIDORES

## A/D Y D/A

(Primera parte)

Ing. Randolf Steinworth  
Ing. Marco Antonio Vásquez E.

### 1- Introducción

Los convertidores digital a analógico (D/A) y analógico a digital (A/D) juegan un papel muy importante en el procesamiento digital de señales. La conversión D/A es la traducción de un código binario a un valor de corriente o voltaje determinado por dicho código. Los convertidores, digital a analógico (CDA) se usan cuando se requiere controlar un dispositivo de operación analógica, como un motor, una pantalla de rayos catódicos, un graficador, etc. con un aparato digital, como un computador.

En una pantalla de rayos catódicos el CDA controla el desplazamiento horizontal y vertical, así como la intensidad del rayo. Al CDA se le puede llamar un decodificador puesto que toma una señal digital y la decodifica en una señal analógica.

La operación contraria es la conversión analógica a digital (A/D). Esta conversión se lleva a cabo con un convertidor analógico a digital (CAD). La señal analógica de un transductor, ya sea, de temperatura, presión, flujo o cualquier señal eléctrica continua en el tiempo, se codifica a binario por medio de un CAD. Un ejemplo puede ser el control de un proceso. Un CAD interpreta las señales analógicas de algún sensor y en su salida se presenta una secuencia de palabras binarias que se llevan a un computador central. El computador central, tiene en su memoria todos los criterios de control que se deben seguir de acuerdo a la señal sensada. Una vez determinada la estrategia de control, el computador pasa su salida a una serie de CDA para producir el control necesario sobre válvulas, compuertas, quemadores, etc.

El proceso de CDA es el más sencillo de los dos. Tanto así que generalmente cualquier CAD lleva incorporado una CDA dentro de sí.

### 9.2 Parámetros y características de los convertidores D/A.

La salida de una CDA se puede representar mediante la siguiente ecuación:

$$V_{SA} = (A_{n-1} 2^{-1} + A_{n-2} 2^{-2} + \dots + A_0 2^{-n}) V_R \quad (1)$$

donde  $V_{SA}$  es el voltaje de salida analógico, los  $A_i$  son los dígitos del código binario puro, siendo  $A_0$  el dígito menos significativo,  $V_R$  es un voltaje de referencia en el CDA, y  $n$  es el número de bits del código de entrada. Si tenemos un CDA de 3 bits la ecuación (1) queda de la siguiente forma:

$$V_{SA} = (A_2 2^{-1} + A_1 2^{-2} + A_0 2^{-3}) V_R \quad (2)$$

es decir:

$$V_{SA} = (4A_2 + 2A_1 + A_0) \frac{V_R}{8} \quad (3)$$

obsérvese que en (1) el bit más significativo  $A_{n-1}$  siempre llevará una ponderación de  $1/2$ . Si el CDA  $V_R = 8$ , entonces la salida de nuestro convertidor sería como se muestra en la tabla 1.

TABLA 1

COD. DE ENTRADA	VOLTAJE DE SALIDA
0 0 0	0 voltios
0 0 1	1 voltios
0 1 0	2 voltios
0 1 1	3 voltios
1 0 0	4 voltios
1 0 1	5 voltios
1 1 0	6 voltios
1 1 1	7 voltios

$A_2 A_1 A_0$	$V_{SA}$
---------------	----------

Puede verse de la salida que solo es posible obtener ciertos valores discretos de  $V_{SA}$ . No existen, para este ejemplo, 6.5 V o 2.43 V, porque el CDA no tiene

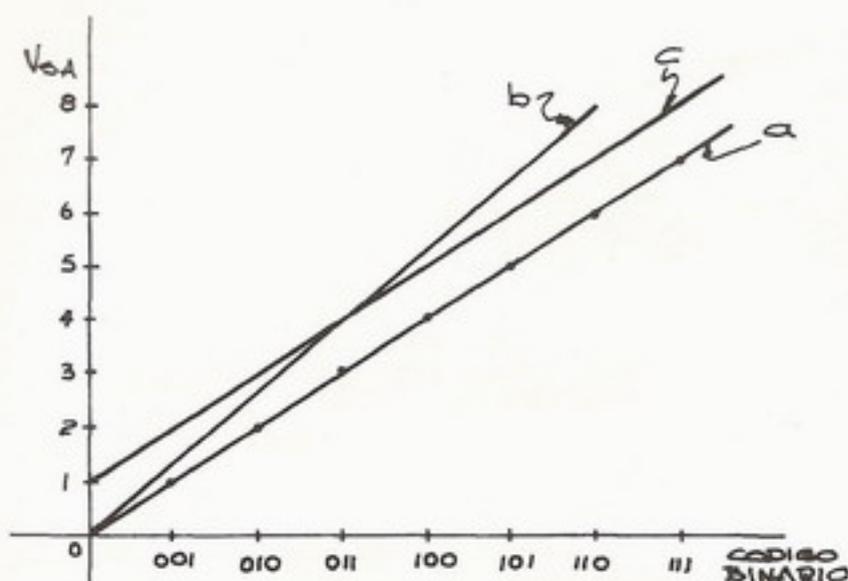


FIG. 1

suficiente resolución para determinar esas salidas. Se ve entonces que el voltaje más pequeño que puede definir un CDA es igual a:

$$\text{RESOLUCION} = \frac{V_R}{2^n} \quad (4)$$

para este caso la resolución es de  $8/2^3 = 1$  voltio. Este error que existe debido a los niveles discretos que produce un CDA se conoce como el error de cuantización. El error de cuantización es la diferencia que existe entre un verdadero nivel analógico y el nivel analógico más cercano producido por el CDA. Como en el caso de un CDA la información verdadera es el código binario de entrada del CDA, entonces no se puede comparar el  $V_{SA}$  con ningún otro voltaje analógico verdadero. Si se habla de "una resolución de tantos bits" o "una resolución de tantos voltios". La monotonicidad de un CDA requiere que para cada incremento igual del código binario exista un incremento igual de voltaje en la salida. En caso anterior si llevamos el código de entrada en incrementos de 1 desde 000 a 111, el voltaje de salida cambiará en incrementos de 1 voltio desde 0 voltios hasta 7 voltios como se muestra en la figura 1.

El error de ganancia es la diferencia de pendiente entre la función de transferencia con error de ganancia podría parecerse a la línea (b) de la figura 1. En algunos CDA existen maneras para compensar este error. El error de desplazamiento (offset) es la desviación de cero voltios de la salida cuando a la entrada el código es cero. Por ejemplo, la línea (c) en la figura 1 muestra un error de desplazamiento de 1 voltio. Un último parámetro de los CDA es el tiempo de asentamiento. Este se define como el tiempo transcurrido desde la aplicación a la entrada del CDA de un escalón cuya amplitud es la escala completa hasta que su salida haya alcanzado el valor final correspondiente y se mantenga dentro de cierto error.

La codificación de los convertidores D/A y A/D en binario es de varios tipos. La separación existe entre dos categorías de convertidores, los unipolares y los bipolares. Los convertidores unipolares solo trabajan con voltajes de un mismo signo, generalmente positivos. Los bipolares trabajan con voltajes de dos signos es decir positivos y negativos. Los códigos más usados para fuentes unipolares son el binario puro, el binario complementado y BCD. Para fuentes bipolares se usa el binario desplazado, complemento a dos y BCD con signo. Para un CAD de 3 bits estos códigos son los siguientes:

#### CAD UNIPOLAR

+ 0	000	111	0000
+ 1	001	110	0001
+ 2	010	101	0010
+ 3	011	100	0011
+ 4	100	011	0100
+ 5	101	010	0101
+ 6	110	001	0110
+ 7	111	000	0111

$V_{SA}$  Binario P. Binario Comp. BCD

#### CAD BIPOLAR

- 4	000	100	1 0 1 0 0
- 3	001	101	1 0 0 1 1
- 2	010	110	1 0 0 1 0
- 1	011	111	1 0 0 0 1
+ 0	100	000	0 0 0 0 0
+ 1	101	001	0 0 0 0 1
+ 2	110	010	0 0 0 1 0
+ 3	111	011	0 0 0 1 1

$V_{SA}$  Bin. Despl. Comp. 2 - - BCD + signo

Se usan otros códigos como Grey y binario con signo y magnitud pero no son tan populares como los anteriores.

### 9.3 Parámetros y características de los convertidores A/D.

En un convertidor analógico a digital (CAD) la función primaria es tomar un voltaje de tiempo continuo y codificar el valor de éste. Como el código no es de naturaleza continua solo se podrá asignar un código con un valor parecido al valor de entrada. Este proceso de tomar una señal continua y asignarle valores discretos similares, se conoce como cuantización. Si se tiene un CAD de 3 bits, en binario puro, para representar un voltaje que varía de 0 a 7 voltios, su función de transferencia será como se muestra en la figura 2.

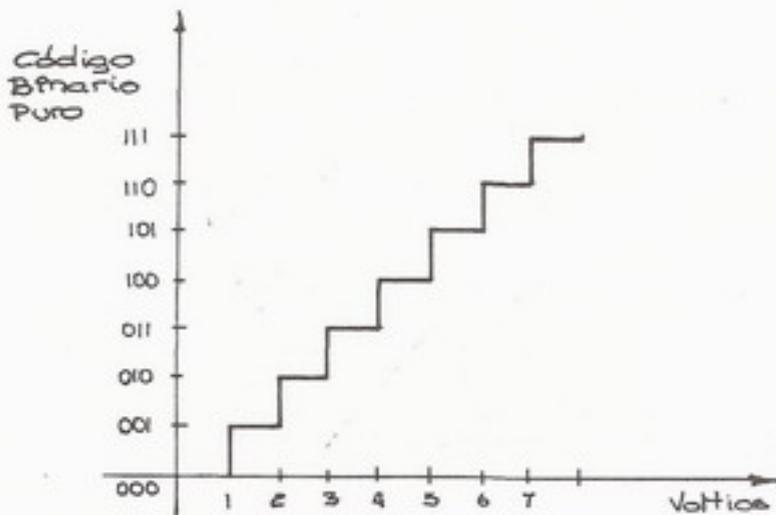


FIG: 2

Si se varía el voltaje analógico de entrada desde cero a 7 voltios, se observa un error en la salida que se produce debido a la cuantización del ámbito en solo 8 partes. Cuando  $V_A$  está en cero, el código de salida es 000 y el error es cero; pero conforme  $V_A$  va aumentando hacia 1 voltio, el error comienza a aumentar hacia un voltio también (Véase la figura 3). Cuando  $V_A = 1$ , la salida es 001 y el error es cero. Al aumentar de un voltio a dos ocurre lo mismo, el error es cero. Al aumentar de un voltio a dos ocurre lo mismo, el error va aumentando hasta alcanzar un voltio y luego cambia a cero cuando  $V_A = 2$  y la salida es 010. Esta diferencia de voltaje entre nivel y nivel de código, se le llama "cuanto" o  $Q$ . Entonces el cuanto en un CAD, es la separación entre dos niveles de decisión, como se muestra en la figura 2.

ERROR DE CUANTIZACIÓN

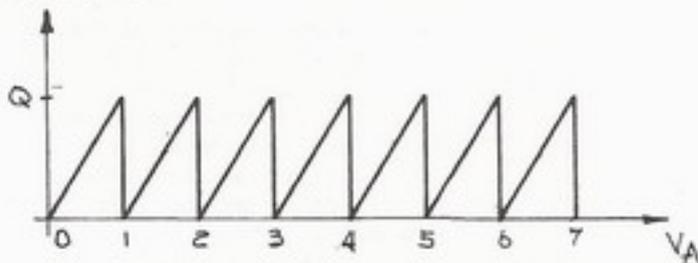


FIGURA 3

En el CAD de la figura 3,  $Q$  es igual a un voltio y según la explicación anterior se puede ver que el error máximo es de  $+1Q$  en todo el ámbito de voltaje. Si se cambian los niveles de decisión en el CAD como se muestra en la figura 4, el error de cuantización disminuye.

Inicialmente cuando  $V_A = 0$  el error es cero. Conforme  $V_A$  se aumenta hacia 1 voltio el error aumen-

ta como se indica en la figura 5, pero en 0.5 voltios, el código cambia a 001 quedando así el error en  $-0.5$  voltios.  $V_A$  sigue aumentando y al llegar a un voltio, el error es cero. El proceso se repite conforme  $V_A$  aumenta y se tiene que ahora el error de cuantización es  $\pm 1/2Q$  y no  $+1Q$ . Se desprende de lo dicho que el error mínimo que se puede obtener es de  $\pm 1/2Q$ . Esta función de transferencia para un CAD se considera ideal y es la que se usa en los CAD comerciales por dar el menor error de cuantización. El error de cuantización se le considera como un ruido en la señal digital deseada y su valor eficaz se obtiene del valor eficaz de una onda triangular que es  $Q/2 \sqrt{3}$ .

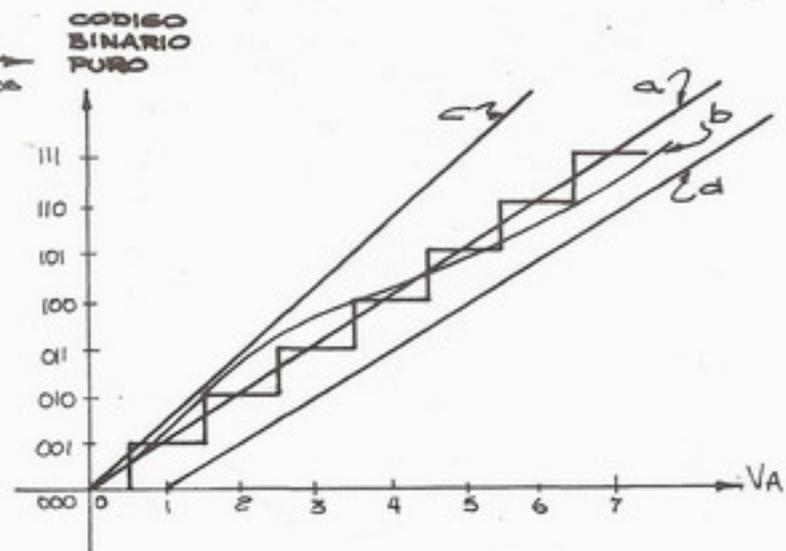


FIGURA 4

ERROR DE CUANTIZACIÓN

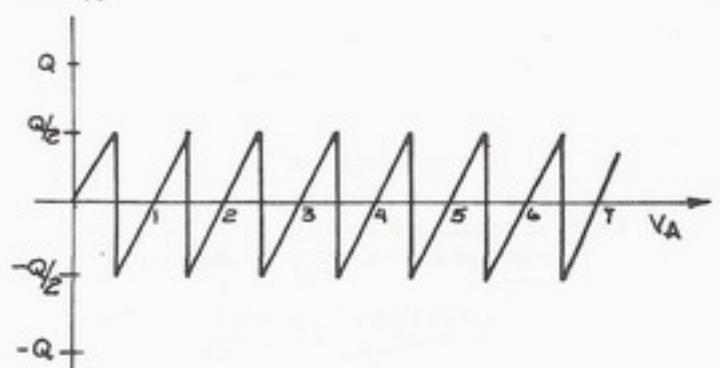


FIGURA 5

El error de linealidad en un CAD es la desviación de la función de transferencia ideal (Curva(a) en la figura 4) y la real que en este caso es la curva (b). Se considera que la linealidad de un buen convertidor

debe ser menor que  $\pm 1/2Q$ . También existen errores de ganancia (Curva c) y de desplazamiento que llevan la misma interpretación que en los CDA.

La linealidad diferencial es la diferencia en tamaño que tiene cada bit a través de la escala completa. En el caso de la figura 4, el tamaño del bit Q es 1 voltio. Un error de linealidad diferencial de +0.5 voltios indica que pueden existir bits de tamaño 1.5 en lugar de 1. Una linealidad diferencial de  $\pm 1/2Q$  significa que el tamaño del bit a través de toda la escala es  $1Q \pm 1/2Q$ .

Cuando se desea hacer una conversión A/D es necesario muestrear el voltaje y luego convertirlo. Este proceso se lleva a cabo en un determinado tiempo, llamado tiempo de apertura, y da lugar a una incertidumbre en la amplitud muestreada. En la figura 6 se observa el fenómeno. Para obtener un solo valor a la hora de muestrear es necesario que  $t_a = 0$ , pero esto resulta imposible ya que el CAD necesita de un tiempo finito para efectuar el muestreo. Como se puede ver, este tiempo de apertura da lugar a una incertidumbre en la amplitud que se va a medir. El tiempo de apertura  $t_a$  y la incertidumbre de voltaje V se relacionan en la siguiente ecuación:

$$V = t_a \cdot \frac{dV}{dt} \quad (5)$$

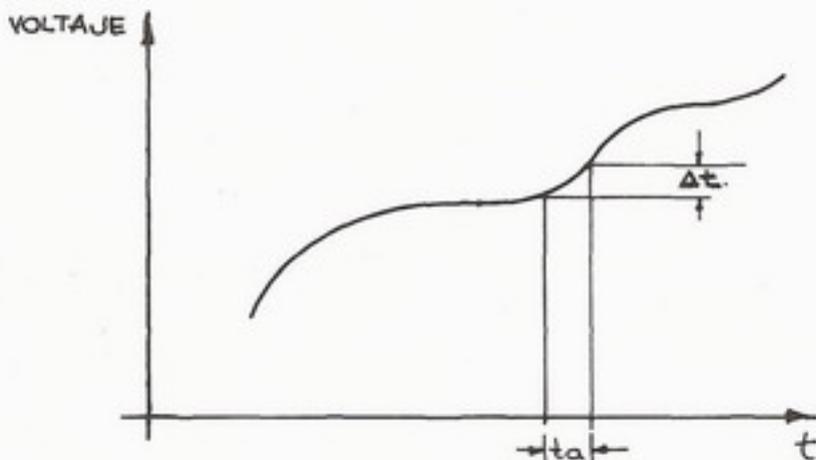


FIGURA 6

De (5) se deduce que las señales con cambios rápidos en su amplitud darán a lugar incertidumbres de amplitud mayores.

Véase que sucede si deseamos convertir A/D una onda senoidal de 10 KHz con una resolución de 10 bits. Si la señal de voltaje es:

$$V_A = V \sin w t \quad (6)$$

donde  $w = 2 \cdot (10^4)$ . Si usamos (5) obtenemos:

$$V = t_a V_w \cos w t \quad (7)$$

la variación más pequeña de voltaje para 10 bits debe ser:

$$\Delta V = \frac{1}{2^{10}} = \frac{1}{1024} = t_a w \cos w t \quad (8)$$

el cambio más rápido en voltaje ocurre cuando  $t = 0$  y entonces:

$$t_a = \frac{1}{(1024) 2 (10^4)} = 15.5 \text{ ns} \quad (9)$$

Es decir que el CAD de 10 bits debe hacer la conversión en 15.5 ns para poder obtener una resolución de 10 bits. Esto es imposible de conseguir en un CAD real. El problema se soluciona usando un circuito especial que toma la muestra y luego la mantiene para que el CAD pueda hacer la conversión. Este dispositivo es un retenedor de orden cero o ROC y su configuración se muestra en la figura 7.

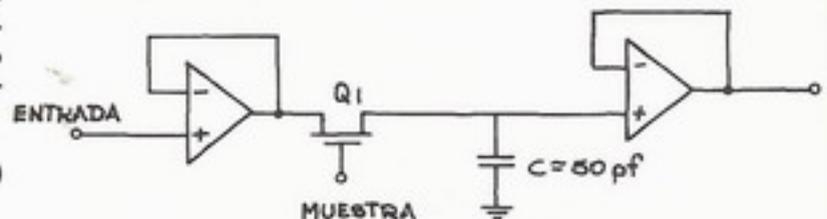


FIGURA 7

Los dos amplificadores operacionales están conectados como amplificaciones de ganancia 1, impedancia de entrada muy elevada e impedancia de salida casi cero. A la entrada se conecta  $V_A$ . Cuando se le desea tomar una muestra se hace conducir  $Q_1$  poniendo el terminal de muestra en 1 lógico. El condensador se carga y al poner MUESTRA en cero, retiene el voltaje para que el CAD pueda hacer la conversión. Existen en el mercado ROC de hasta 200 ns de tiempo de apertura.

Otro factor importante que se debe tomar en cuenta a la hora de hacer el muestreo es lo que estipula el teorema del muestreo. El teorema del muestreo dice: "si una señal continua de banda limitada no tiene componentes de frecuencia por encima de  $f_c$  entonces la señal original puede ser recuperada completamente sin distorsión si se muestra a una frecuencia de por lo menos  $2 f_c$ ". Esto quiere decir que la onda senoidal de 10 KHz se debe muestrear a por lo menos 20.000 muestras por segundo, o sea una muestra cada 50 n seg. Ahora la imagen está completa; el CAD hará una conversión cada 50 n seg del valor de voltaje que el ROC muestreó durante 15.5 ns.

Leyendo de nuevo el teorema de muestreo se pueden hacer dos preguntas:

- 1 ¿Qué sucede si la señal no es de banda limitada?
  - 2 ¿Qué sucede si se muestrea a menos de  $2 f_c$ ?
- Para la primera pregunta la respuesta es el error de doblamiento. El error de doblamiento, como se puede ver en la figura 8, es un traslape de dos bandas

adyacentes en el espectro de la señal muestreada. Esto hace que el contenido de armónicas en la señal original se altere y se produzca una distorsión. Si  $f_s$ , que es la frecuencia de muestreo, se aumenta, las bandas se separan y el traslape desaparece.

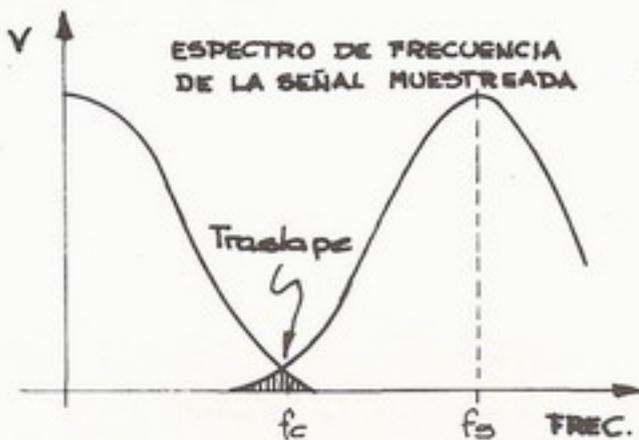
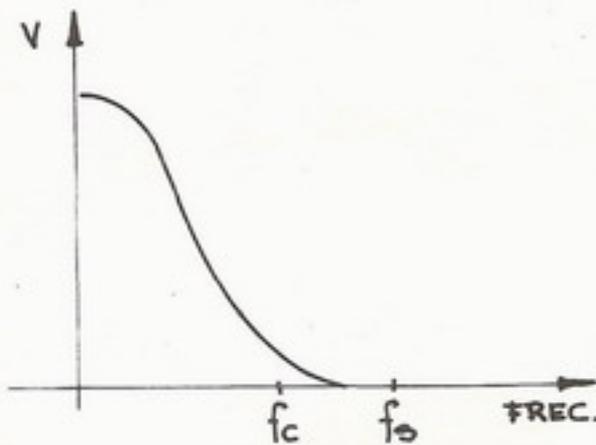


FIGURA 8

Si se muestrea a menos de  $2 f_c$  se genera una frecuencia no existente. En la figura 9 se tiene que la onda triangular se muestrea a una frecuencia menor que  $2 f_c$ , el resultado es que la señal reconstruida del CAD tiene una frecuencia diferente a la original.

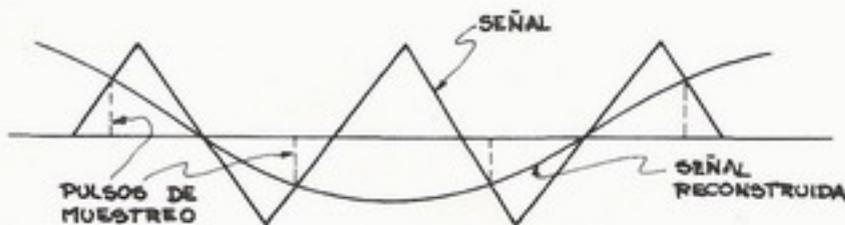


FIGURA 9

La señal reconstruida es de una frecuencia menor a la original. Esto no sucede si se muestrea a  $2 f_c$  o más.

#### 9.4 Tipos de convertidores DIA—

Existen dos tipos de CDA: De red resistiva y de escalera binaria. El diagrama de bloques simplificado de un CDA es el que se da en la figura 10.

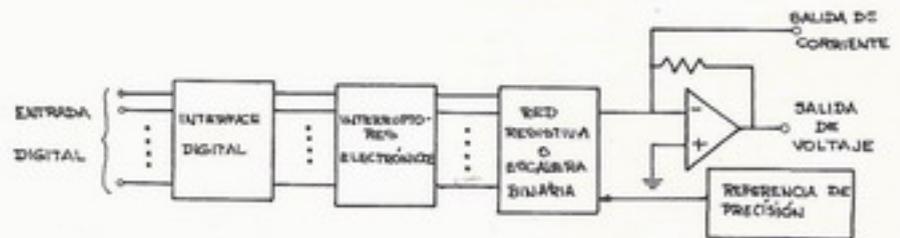


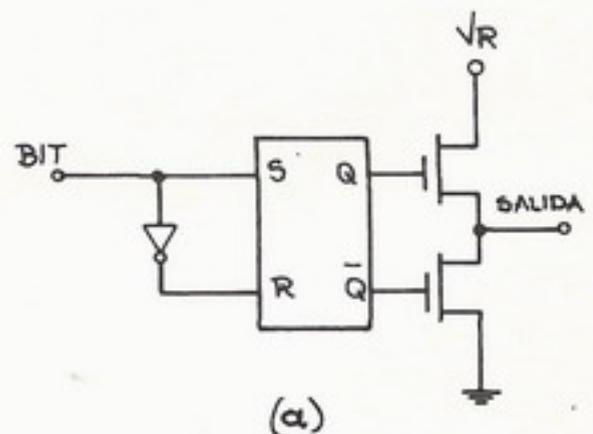
FIGURA 10

Antes de entrar al detalle de los CDA es necesario estudiar los circuitos principales que lo componen. La interfase digital es un arreglo de amplificadores utilizados para que la secuencia digital sea capaz de manejar los interruptores. A veces esta interfase digital llega a confundirse con el interruptor electrónico en sí.

Los interruptores electrónicos son de dos tipos:

1. En una posición conectan a tierra y en la otra conectan el voltaje de referencia.
2. En una posición es un circuito abierto y en la otra se conectan al voltaje de referencia.

Ambos tipos de interruptores se presentan en la figura 11. El interruptor en la figura 11a tiene adicionalmente una interface digital que la compone al fli-flop RS y un inversor. Su salida varía entre el voltaje de referencia y tierra. El interruptor de la figura 11b consta únicamente de un transistor MOS en serie con la fuente. Otro tipo de interruptor (figura 11c) conecta  $V_R$  a través de una resistencia, consiguiéndose que  $V_R$  actúe como una fuente de corriente con su valor ponderado por la resistencia  $R$ . Si la línea de bit es 1 la corriente fluye por el emisor hacia el colector; pero si la línea de bit es cero toda la corriente se irá por el diodo y ninguna llegará al colector.



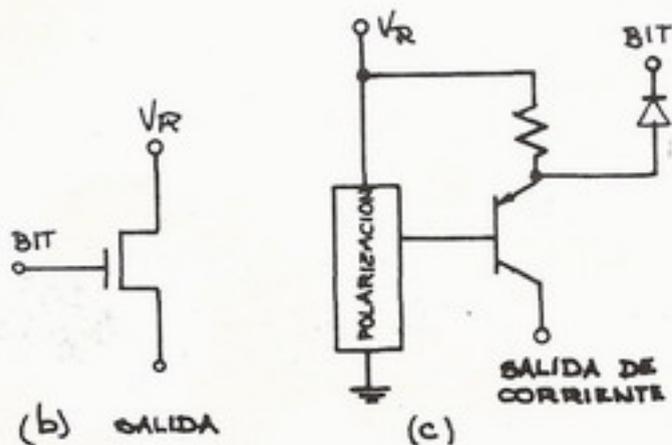


FIGURA 11

El circuito de polarización en este último garantiza el buen funcionamiento del transistor a toda temperatura. La configuración básica de la red resistiva aparece en la figura 12.

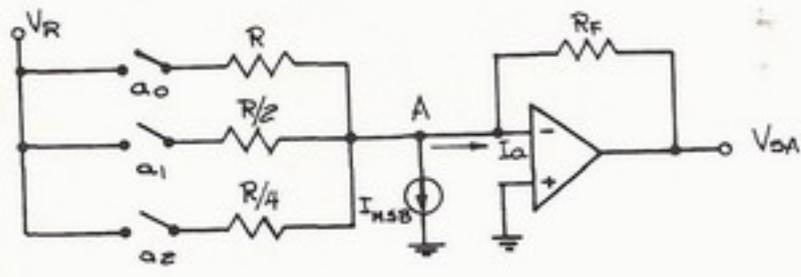


FIGURA 12

Las resistencias de la red resistiva vienen ponderadas en forma binaria  $R, R/2, R/4, R/8, \dots$  etc, lo cual da una serie de corrientes ponderadas en binario también. El amplificador tiene una transresistencia igual a  $-R_F^*$ , es decir:

$$V_{SA} = -I_A \cdot R_F \quad (10)$$

Si hacemos  $R_F = R$  y  $V_R = -1$  voltio el comportamiento de CDA será el siguiente. Si el interruptor  $A_0$  está cerrado, la corriente  $I_A$  será igual a  $V_R/R = -1/R$  de tal manera que la salida es:

$$V_{SA} = -\left(\frac{-1}{R}\right) R = 1 \text{ voltio}$$

Si ahora  $A_0 = 1, A_1 = 0$  y  $A_2 = 1$ , la corriente y el voltaje  $V_{SA}$  en el operacional, serán:

$$I_A = -\frac{1}{R} - \frac{1}{R/4} = -\frac{5}{R}$$

$$V_{SA} = -\left(\frac{-5}{R}\right) R = 5 \text{ voltios}$$

Si se desea una operación bipolar, se coloca una fuente de corriente entre el nodo A y tierra para que absorba parte de la corriente producida por el arreglo de interruptores. Específicamente, esta corriente absorbida debe ser igual a la corriente que produce el bit más significativo. En el caso anterior la corriente que produce el bit más significativo es  $V_R/R/4$  es decir:

$$I_{MSB} = \frac{V_R}{R/4} = \frac{-1}{R/4} = \frac{4}{R}$$

(\*) El amplificador operacional invierte en  $180^\circ$  la fase la señal de salida.

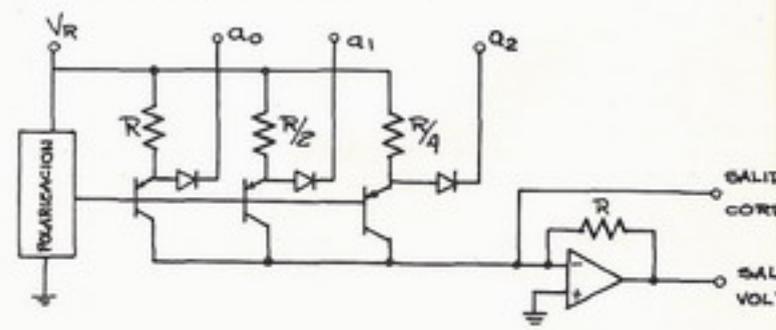
Al colocar una fuente que entregue  $4/R$  amperios en el nodo A, el CDA funcionará en el código binario desplazado. Por ejemplo, si  $A_0 = 1, A_1 = 1$  y  $A_2 = 0$ , la salida debe ser  $-1$  voltio en el código binario desplazado. La corriente  $I_A$  será la corriente de los interruptores más  $I_{MSB}$ :

$$I_A = \frac{-1}{R} - \frac{1}{R/2} + \frac{4}{R} = \frac{1}{R}$$

usando la función de transferencia (9)

$$V_{SA} = -\left(\frac{1}{R}\right) R = -1 \text{ voltio}$$

En los convertidores comerciales el nodo A está a disposición del usuario para el funcionamiento bipolar del CDA. Una configuración muy usada de este convertidor es la siguiente:



En ciertas aplicaciones se puede cambiar el amplificador operacional por una resistencia, pero los interruptores electrónicos deben ser como el de la figura 11a. Este caso es muy frecuente y sucede cuando se conecta la salida de un circuito TTL directamente a las resistencias ponderadas. El circuito TTL actúa como un interruptor del tipo mencionado dando tierra o  $V_{CC}$  a la red resistiva.

En este caso se puede usar una resistencia en vez de un operacional, resultando en el CDA más sencillo de realizar.

El CDA de red resistiva es sumamente sencillo, pero tiene dos grandes inconvenientes: se usan resistencias de muchos valores y cuando tienen que ser de alta precisión resulta muy difícil y cara su construcción. La otra desventaja es el amplio margen de corrientes

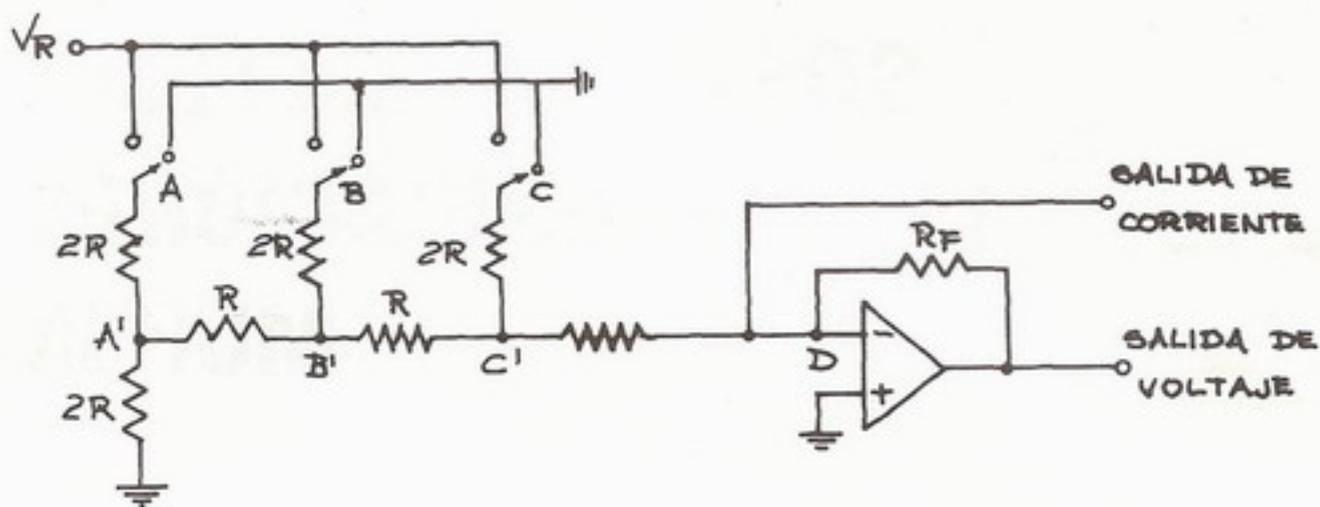


FIGURA 13

que cada resistencia debe manejar. En el caso de un CDA de 10 bits, el bit más significativo lleva una corriente 1024 veces mayor que el bit menos significativo. Para una corriente de  $100 \mu A$  en el bit menos significativo el más significativo lleva una corriente de 102.4 mA.

Para aliviar esta situación existe la escalera binaria. La escalera binaria solo usa dos valores de resistencia  $R$  y  $2R$  y todos los bits entregan la misma cantidad de corriente. El tipo de interruptores que utilizan es como el mostrado en la figura 11a. En la figura 13 se muestra un convertidor DA que utiliza este tipo de red resistiva.

En este tipo de red resistiva, la corriente que llega desde los interruptores a cada uno de los nodos  $A'$ ,  $B'$  y  $C'$  se divide entre dos. Esto ocasiona que las corrientes provenientes de los interruptores más alejados del amplificador operacional tengan divisiones sucesivas por dos. De esta forma, la corriente proveniente del interruptor  $C$  se divide entre dos, mientras que la suministrada por el interruptor  $B$ , llega al

terminal de entrada del amplificador dividida por 4 y la proveniente del interruptor  $A$  dividida por 8. Es así que la corriente en cada interruptor tiene un peso binario específico determinado por su posición en la red respecto al terminal de entrada del amplificador operacional.

El porqué del comportamiento de estos nodos se puede explicar haciendo referencia al nodo  $B'$ . Suponiendo que la fuente  $V_R$  es ideal, es decir su resistencia interna es cero, la resistencia equivalente a la izquierda de este nodo es  $2R$  en paralelo con  $2R$ , más la resistencia  $R$  que llega al nodo  $B'$ , o sea  $2R$ . La resistencia equivalente a la derecha del nodo  $B'$  será también  $2R$ :  $2R$  en paralelo con  $2R$  más la resistencia  $R$  que llega al nodo. Entonces el nodo  $B'$  ve, tanto a su izquierda como a su derecha, una resistencia equivalente de valor  $2R$  y la corriente proveniente del interruptor  $B$  se divide en dos partes iguales. Este procedimiento se puede repetir para los otros nodos y alcanzar el mismo resultado.

# SOBRE EL SISTEMA DE COMUNICACIONES MOPSK

Ing. Jorge Arce U.

## INTRODUCCION

Actualmente los sistemas de modulación PSK para la transmisión de datos está siendo muy usado, porque es uno de los sistemas más eficientes para manipular ancho de banda junto con la razón de señal a ruido [1], [7].

Este artículo trata de dar un análisis del comportamiento de la clase de sistemas PSK que utiliza la demodulación diferencialmente coherente de mensajes diferencialmente codificados. En la primera parte se define el sistema y la codificación diferencial introduciendo someramente el álgebra de Galois (GF(2)). En la segunda parte se dan las condiciones teóricas para el diseño del receptor óptimo en presencia de ruido aditivo. El análisis tiene como objetivo buscar el estadístico sobre el cual se basará el receptor. En otras palabras, se diseñará el receptor que, en presencia de ruido y bajo el criterio de mínima probabilidad de error sea el óptimo. En la última parte se calcula la probabilidad de error en la detección.

## 1. DEFINICION

En un sistema MDPSK, el  $i$ ésimo mensaje viene dado por la diferencia de fases entre dos señales enviadas en forma consecutiva. Estas señales serán modeladas de la forma siguiente:

$$r_N(t) = \sqrt{2S} \cos(\omega_c t + \alpha + \theta_N^i) + n(t); NT \leq t < (N+1)T \quad (1)$$

$$r_{N+1}(t) = \sqrt{2S} \cos(\omega_c t + \alpha + \theta_{N+1}^i) + n(t); (N+1)T \leq t < (N+2)T \quad (2)$$

donde:

$r_N(t)$  y  $r_{N+1}(t)$  son señales recibidas en los intervalos  $[NT, (N+1)T]$  y  $[(N+1)T, (N+2)T]$

$f_c$  es la frecuencia de la portadora

$\alpha$  es un desfase debido a las características del canal. (Se asume constante en el intervalo

$$[NT, (N+2)T])$$

$n(t)$  es el ruido blanco Gaussiano con media cero y varianza

$$\frac{N_0}{2} \delta(t-\tau)$$

$$\theta_N^i = 2\pi N^i/m, \quad i = 0, 1, 2, \dots, m-1$$

Si  $m=2$ , el sistema es binario y su codificación diferencial es sencilla. Supóngase por un momento que el mensaje que se desea enviar es (1 1 0 0 1 1). Para codificar diferencialmente esta secuencia de bits, se implementa la operación suma en módulo 2, de esta forma:

$$y_i = x_i + y_{i-1} \text{ mod. } 2 \quad (3)$$

donde  $y_0$  es 1 o 0, escogido arbitrariamente. Para este ejemplo, particular, el mensaje diferencialmente codificado sería:

$$y_0 = 1 \text{ (arbitrario de ref.)} \quad y_4 = 1 + 0 = 1$$

$$y_1 = 0 \quad y_5 = 1 + 1 = 0$$

$$y_2 = y_1 + x_2 = 0 + 1 = 1 \quad y_6 = 1 + 0 = 1$$

$$y_3 = 1 + 0 = 1$$

El modulador PSK hace corresponder a un "0" un ángulo de desfase de  $0^\circ$  y para un "1" el desfase es de  $180^\circ$ .

Esta aritmética de dos símbolos, con la suma definida en módulo dos y la multiplicación escalar ordinaria se denomina CAMPO BINARIO o CAMPO DE GALOIS y se nota como GF(2).

Para  $m=4$  el sistema es cuaternario (dibit) y la codificación diferencial se hace tomando dos símbolos a la vez. Para tratar estas operaciones utilizando el álgebra de Galois se define un espacio vectorial de dimensión  $\log_2 m$ , y los elementos de los vectores son unos y ceros. Tómese como ejemplo el siguiente mensaje: (1 1 1 0 1 1 1). Este mensaje se puede expresar como (1 1), (1 0), (1 1), (1 1) y la codi-

ficación diferencial se realiza mediante la operación:

$$\tilde{y}_i = \tilde{x}_i + \tilde{y}_{i-1} \quad (4)$$

donde  $y_0$  es un vector de referencia, ya sea (0 0) o (1 1) que son los más comunmente usados.

La secuencia diferencialmente codificada es:

$$y_0 = (1 \ 1) \text{ arbitrario}$$

$$y_1 = (1 \ 1) + (1 \ 1) = (0 \ 0)$$

$$y_2 = (1 \ 0) + (0 \ 0) = (1 \ 0)$$

$$y_3 = (1 \ 1) + (1 \ 0) = (0 \ 1)$$

$$y_4 = (1 \ 1) + (0 \ 1) = (1 \ 0)$$

y el modulador PSK debe hacer la siguiente correspondencia

$$(0 \ 0) \sim \theta_1 \quad (1 \ 1) \sim \theta_3$$

$$(1 \ 0) \sim \theta_2 \quad (0 \ 1) \sim \theta_4$$

Donde  $\theta$ , significa que no hubo cambio de fase. Los ángulos restantes implican cambios de fase diferentes, entre señales consecutivas.

Supongamos que el mensaje diferencialmente codificado es:  $\theta_3, \theta_1, \theta_2, \theta_4, \theta_2$ . El receptor calcula la diferencia módulo 2 de dos señales recibidas consecutivamente. En ausencia de ruido, el receptor observará:

$$\theta^{(1)} = \theta_1 - \theta_4 = \theta_3$$

$$\theta^{(2)} = \theta_2 - \theta_1 = \theta_2$$

$$\theta^{(3)} = \theta_4 - \theta_2 = \theta_3$$

$$\theta^{(4)} = \theta_2 - \theta_4 = \theta_3$$

(5)

El mensaje recibido (una vez decodificado) es: (1 1 1 0 1 1 1 1)

Se asignan valores a  $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$  como se muestra en la tabla No. 1.

CCITT		U.S.	
00	0°	00	45°
01	90°	01	135°
10	270°	10	215°
11	180°	11	225°

TABLA No. 1

Estandares de fase para DPSK Quaternario

Las ventajas que presenta la codificación y decodificación diferencial se ponen de manifiesto cuando, por las características del canal y limitaciones de potencia, no es posible tener conocimiento exacto de la fase de la señal enviada. Esta fase extra que se inserta en la portadora debido a esta desincronización, es suprimida implementando la codificación y decodificación diferencial, siempre que esta ambigüedad en la fase perdure invariable durante dos períodos de señalización. Se ha entendido por canal, el medio de transmisión y el receptor, con el propósito de hacer notar que desfases en la extracción de la señal de referencia pueden ser obviados si estos permanecen constantes durante el período señalado anteriormente.

## 11. PROBABILIDAD DE ERROR EN LA DETECCION

Las señales recibidas durante dos períodos de envío son:

$$r_N(t) = \sqrt{2S} \cos(\omega_c t + \alpha + \theta_N) + n(t) \quad NT \leq t < (N+1)T$$

$$r_{N+1}(t) = \sqrt{2S} \cos(\omega_c t + \alpha + \theta_{N+1}) + n(t) \quad (N+1)T \leq t < (N+2)T$$

El receptor observará la fase de las dos señales recibidas:

$$\varphi_N = \tan^{-1} \left( \frac{\hat{r}_N(t)}{r_N(t)} \right) - \omega_c t \quad (6)$$

$$\varphi_{N+1} = \tan^{-1} \left( \frac{\hat{r}_{N+1}(t)}{\hat{r}_N(t)} \right) - \omega_c t \quad (7)$$

(donde  $\hat{r}_n(t)$  es la transformada de Hilbert de  $r_N(t)$ )

Luego calcula la diferencia:

$$\varphi = \varphi_{N+1} - \varphi_N \quad (8)$$

y decidirá que el  $i$ -ésimo símbolo fue enviado si, para  $j = i$  se satisface:

$$|\varphi_j| < \frac{2\pi i}{m} \quad \forall j \in \{0, 1, 2, \dots, m-1\}; \quad i \in L \quad (9)$$

Puesto que el ancho de umbral es  $2\pi/m$ , esto da oportunidad de expresar (9) como:

$$|\varphi - 2\pi i/m| < \pi/m \Rightarrow i\text{-ésimo símbolo fue enviado} \quad (10)$$

Generalmente se da que los símbolos enviados son todos igualmente probables, y el cálculo de la probabilidad de error se puede hacer en base al símbolo que representa  $i = 0$ . Si la función de distribución probabilística (fdp) de  $\varphi$  es  $p(\varphi)$ , entonces la probabilidad de error en la detección (en base a  $i = 0$ ) es representada por:

$$P_e = 1 - \int_{-\pi/m}^{\pi/m} p(\varphi) d\varphi \quad (11)$$

$$P_e = 1 - \text{Prob.} [ |\varphi| < \pi/m ] \quad (12)$$

Con el objeto de determinar esta probabilidad de error, asumimos primero que el sistema de transmisión que se está modelando, es tal que la señal enviada es distorsionada en fase y amplitud, y además sufre de los efectos de ruido blanco aditivo gaussiano. Se asume que tanto la fase como la amplitud varían lentamente tal que sea posible considerarlas constantes durante el tiempo de envío de dos señales.

Condicionando la probabilidad de error a la amplitud se sabe de la literatura, [2], que la f.d.p. de la fase de un sistema de PSK múltiple con detección coherente (no diferencialmente coherente) es dada por:

$$P(\varphi_N) = \frac{1}{2\pi} \left\{ e^{-2\rho} + \sqrt{\pi/2} \rho \cos(\varphi_N - \theta^i) e^{-2\rho \sin^2(\varphi_N - \theta^i)} \times \right. \\ \left. [1 + \operatorname{erf}(\sqrt{2\rho} \cos(\varphi_N - \theta^i))] \right\} \quad (13)$$

donde:

$$\varphi_N = \operatorname{Tan}^{-1} \left( \frac{\hat{r}_N(t)}{r_N(t)} \right) - (\omega_c t) ; \rho = \sqrt{2S} / \sigma$$

Para el caso de detección diferencialmente coherente, el receptor observará la diferencia de fase:

$$\varphi = \varphi_{N+1} - \varphi_N \quad (14)$$

De la definición de  $\varphi_N$ , se puede observar que para el caso de codificación diferencial que:

$$\varphi_N = \beta_N + \alpha + \theta_N \quad (15)$$

por lo tanto (14) se transforma a:

$$\varphi = \beta_{N+1} - \beta_N + \theta \quad (16)$$

donde  $\theta_N$  y  $\theta_{N+1}$  son ángulos de fase debido al ruido aditivo, con lo que se puede decir que, dado que el ruido es independiente en dos periodos de señalización, las fases también lo serán. De esta forma:

$$P(\beta_N, \beta_{N+1}) = P(\beta_N) P(\beta_{N+1}) \quad (17)$$

De (15) se deduce que si definimos

$$\beta_N + \alpha = \beta'_N$$

$\beta'_N$  tendrá una f.d.p. semejante a la de  $\varphi_N$ . Lo mismo es válido para  $\beta'_{N+1}$ . La f.d.p. de  $\varphi$  definida en (16) puede obtenerse como:

$$P_\varphi(\varphi) = \int_0^{2\pi} P_{\beta'_N}(\beta'_N) P(\varphi + \beta'_N - \theta) d\beta'_N \quad (18)$$

donde  $P_{\beta'_N}(\beta'_N)$  es dada en (13). La relación anterior puede ser escrita como:

$$P_\varphi(\varphi) = P_\varphi(\varphi) * P(-\varphi + \theta) \quad (19)$$

Dado que  $\varphi_N$  es una variable aleatoria definida en el intervalo  $(0, 2\pi)$  la ecuación (13) puede expresarse como una función periódica y representarse en series de Fourier, teniendo en cuenta que esta expansión es válida únicamente en el intervalo en que se definió la variable aleatoria  $\varphi_N$ : A Prabhú (1), obtuvo una expresión para (13) en series de cosenos. El resultado final de su derivación se podría escribir como:

$$P(\varphi) = \frac{1}{2\pi} + \sum_{k=1}^{\infty} h_k \cos k(\varphi_N - \theta^i) \quad (13)$$

donde  $h_k$  queda definido por las expresiones siguientes:

$$h_{2l+1} = \frac{\sqrt{2\pi\rho}}{2\pi} e^{-\rho} [I_l(\rho) + I_{l+1}(\rho)] \quad (20)$$

para  $l = 0, 1, 2, \dots$

$$h_{2k} = \frac{1}{\pi} \sum_{n=-\infty}^{\infty} A_{2n+1} B_{2l-(2n+1)} ; l = 1, 2, \dots \quad (21)$$

$$A_{2n+1} = \frac{\sqrt{2\pi\rho}}{4\pi} e^{-\rho} [I_n(\rho) + I_{n+1}(\rho)] \quad (22)$$

$$B_{2n+1} = (-1)^n \frac{1}{\pi} \times \frac{\sqrt{2\pi\rho}}{2n+1} e^{-\rho} [I_n(\rho) + I_{n+1}(\rho)] \quad (23)$$

donde  $I_n$  es la función de Bessel modificada de la primera clase y de orden  $n$ .

De las ecuaciones anteriores y de (13) se concluye que:

$$P_\varphi(\varphi) = \frac{1}{2\pi} + \sum_{k=1}^{\infty} \tilde{h}_k^2 \cos k(\varphi - \theta) \quad (24)$$

y la probabilidad de error en la detección es dada por:

$$P_e^m = 1 - \int_{\tilde{y}_m}^{\tilde{y}/m} p(z) dz ; z = \varphi - \theta \quad (25)$$

$$P_e^m = (1 - \frac{+1}{m}) - \sum_{k=1}^{\infty} \frac{2\tilde{h}_k^2}{k} \sin \frac{k\tilde{y}}{m}$$

## 111. DISEÑO DEL RECEPTOR OPTIMO.

El criterio de optimización es el de mínima probabilidad de error. Se sabe que se incurre en un error, cuando la diferencia en valor absoluto de las fases de dos señales consecutivas, difiere por más de  $\pi/m$  con

respecto a  $\theta_i = \theta_{N+1}^i - \theta_N^i$ , cuando se ha supuesto que el mensaje correspondiente a  $\theta^i$  fue enviado. O sea que el receptor selecciona  $\theta^k$  como el símbolo enviado si satisface la relación:

$$\min_j \left\{ \left| \theta^j - (\eta^{i+1} - \eta^i) \right| \right. ; j = 0, 1, \dots, m-1 \quad (26)$$

Basado en la discusión anterior, la estructura del receptor estaría compuesta de los siguientes bloques:

1. Detección óptima de la fase de la señal recibida.
2. Línea de retardo para comparar la fase de las señales recibidas.
3. Decodificación que consiste en la substracción de las dos fases recibidas.
4. Bloque de decisión.

Si la señal recibida corresponde a  $\theta^i$ , el receptor observará en forma consecutiva las señales:

$$\begin{aligned} r_N(t) &= \sqrt{2E} \cos(\omega t + \alpha + \theta_N^i) + n(t) \quad NT \leq t < (N+1)T \\ r_{N+1}(t) &= \sqrt{2E} \cos(\omega t + \alpha + \theta_{N+1}^i) + n(t) \quad NT \leq t < (N+2)T \end{aligned} \quad (27)$$

Dado que  $r_N(t)$  es una variable aleatoria Gaussiana, su función de distribución probabilística viene dada por:

$$f(r_N/\theta^i) = K \exp \left\{ + \frac{1}{\sigma^2} \left( \cos \theta_N^i \int_0^T r_N(t) \cos(\omega_c t + \alpha) dt + \sin \theta_N^i \int_0^T r_N(t) \sin(\omega_c t + \alpha) dt \right) \right\} \quad (28)$$

Para minimizar la probabilidad de error se debe maximizar el argumento del exponencial.

Definiendo:

$$q_i = \cos \theta_N^i \int_0^T r_N(t) \cos(\omega_c t + \alpha) dt + \sin \theta_N^i \int_0^T r_N(t) \sin(\omega_c t + \alpha) dt \quad (29)$$

$$q_i = V \cos(\theta_N^i - \eta^i) \quad (30)$$

donde:

$$V = \left\{ \left[ \int_0^T r_N(t) \cos(\omega_c t + \alpha) dt \right]^2 + \left[ \int_0^T r_N(t) \sin(\omega_c t + \alpha) dt \right]^2 \right\}^{1/2} \quad (31)$$

y:

$$\eta^i = \tan^{-1} \left\{ \frac{\int_0^T r_N(t) \sin(\omega_c t + \alpha) dt}{\int_0^T r_N(t) \cos(\omega_c t + \alpha) dt} \right\} \quad (32)$$

donde  $\eta^i$  es la fase que deseamos detectar.

Consecuentemente el receptor debe implementar las operaciones que definen a  $\eta^i$  y  $\eta^{i+1}$ , para dos intervalos consecutivos de señalización.

El receptor que implementa las ecuaciones (26) y (32) será el receptor óptimo en el criterio de mínima probabilidad de error. La ecuación (32) se implementa como dos correlacionadores en cuadratura, donde la correlación se ejecuta con la señal recibida y una señal generada, a partir de ella misma. Esta señal generada no precisa que esté en fase con la señal recibida, pero si se requiere que esta fase se mantenga inalterada cuando llegue al receptor el siguiente símbolo. Una vez que las señales consecutivas han pasado por los correlacionadores, se tendrán voltajes que dependen de la diferencia entre la fase de la señal y la fase de la señal de referencia. Esto implica que la diferencia entre dos diferencias de fase consecutivas, será independiente de la fase de la señal de referencia usada en los correlacionadores, siempre que se mantenga la condición señalada. Dado que la información viene codificada en la diferencia de fases de dos señales recibidas en forma consecutiva, se agrega al receptor un sistema de decisión que comparará esta diferencia de fases con un diccionario y escogerá como el mensaje enviado, aquel cuya fase correspondiente sea "más parecida" a algún elemento del diccionario. En la figura No. 1, se muestra la estructura matemática del receptor óptimo.

Resumiendo: se ha presentado un estudio en el que se ha dado especial atención al comportamiento del sis-

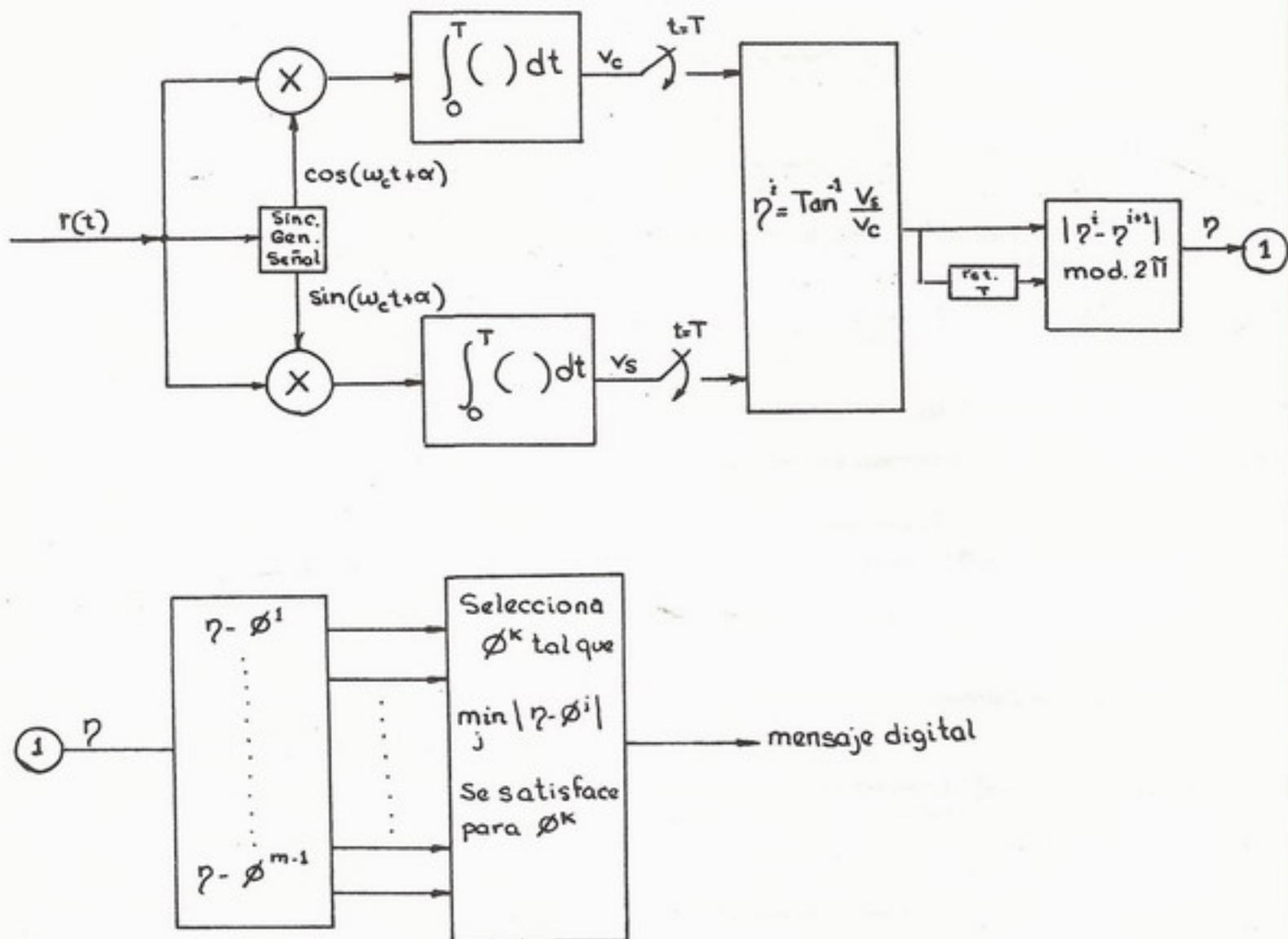


FIGURA No. 1

DIAGRAMA DE BLOQUES DEL DEMODULADOR  
DIFERENCIAL PARA MDPSK

tema de comunicaciones MDPSK, en presencia de ruido blanco aditivo. Se hizo una derivación de la probabilidad de error en la detección, a partir de la probabilidad de error en sistema PSK con detección coherente y se demostró que la primera se obtiene mediante la convolución de la f.d.p. de la fase para dar señales consecutivas:

Además se derivó la estructura matemática del receptor óptimo en el sentido de mínima probabilidad de error.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- PRABHU, V.K., "Error Rate Considerations for Coherent Phase-Shift Keyed Systems with Co-Channel Interference", The Bell System Technical Journal, Marzo, 1969, pp. 743-767.
- 2.- ARTHURS, E., DYM, H., "On the Optimun

Detection of Digital Signals in the Presence of White Gaussian Noise", IRE Transaction on Comm. Systems, Diciembre, 1962, pp. 336, 372.

- 3.- BREIPOHL, A., "Probabilistic Systems Analysis", John Wiley & Sons, Inc., 1970.
- 4.- PRABHU, V.K., "Error Rate Considerations for Digital Phase Modulation Systems", IEEE Transactions on Comm. Theory, Vol. Com-17, No. 1, Feb. 1969, pp. 33-41.
- 5.- LINDSEY, W., SIMON, M., "Telecommunication System Engineering", Prentice-Hall, Inc. 1973.
- 6.- SHU, L., "An introduction to Error Correcting Codes" Prentice-Hall, Inc, 1970.
- 7.- PRABHU, V.K., "Bandwith Ocupancy in PSK Systems", IEEE, Trans on Comm, Abril 1976, pp. 456 - 462.

# **SIMULACION DIGITAL DEL SISTEMA HIDROELECTRICO ARENAL-COROBICI CON VISTAS A LA INVESTIGACION DE SU COMPORTAMIENTO TRANSITORIO \***

Ing. Ismael A. Retana M.S. Ing. Ismael Mazón

Universidad de Costa Rica  
Escuela de Ingeniería Eléctrica  
Instituto Costarricense de Electricidad  
Oficina de Diseños Electromecánicos

## **RESUMEN**

El programa que aquí se presenta fue elaborado para la Oficina de Diseños Electromecánicos del Instituto Costarricense de Electricidad (I.C.E.).

Los autores lo llevaron a cabo dentro del marco del convenio de intercambio I.C.E. - U.C.R. y les tomó 3 meses-hombre realizarlo.

El programa permite estudiar el régimen transitorio hidráulico del sistema en cascada Arenal-Corobicí, cuando se realizan diferentes operaciones de entrada o salida de las distintas unidades de las centrales. El objetivo más importante del trabajo es el de determinar el tiempo de apertura de la válvula de la tubería de desvío de la central hidroeléctrica de Arenal, para que la Central de Corobicí pueda seguir funcionando normalmente.

El trabajo que aquí se presenta corresponde a la primera etapa, la cual consistió en escribir el programa simulando digitalmente el complejo hidroeléctrico. La segunda etapa consistirá en la utilización del programa para estudiar los tiempos de apertura y cierre de la válvula de desvío.

Con vistas a la interpretación de los resultados, el programa da la respuesta en el tiempo de la variación de alturas, caudales y presiones en forma de gráficos. El trabajo a presentar comprende los aspectos teóricos del problema concernientes al modelo en variables de estado, la simulación digital, algunas consideraciones generales del algoritmo empleado, y los resultados obtenidos para un caso en particular.

## **1. INTRODUCCION**

El hecho de haberse establecido el funcionamiento en cascada de las plantas en cascada de Arenal y Corobicí; planteó la necesidad de establecer una antecámara que recibiera el agua de la casa de máquinas de Arenal y la vertiera en el túnel de conducción de Corobicí. Dicha antecámara, llamada de restitución, debía cumplir con la condición de que el nivel del agua a la salida de las turbinas de Arenal no bajara de un determinado valor el cual corresponde a la cota de 324 m. s. n. m. cuando hay una o dos unidades en operación; o la cota de 326 m.s.n.m. cuando hay tres unidades en operación.

Como no existía la certeza de que la restricción antes citada se cumpliera bajo las condiciones de operación que eventualmente pudieran presentarse, se le encargó a los autores de este trabajo el análisis de este problema, considerando determinadas condiciones de operación fijadas por el Departamento de Diseños Electromecánicos.

Como podría presentarse el caso de que estuviera operando la central hidroeléctrica de Corobicí, y saliera de operación alguna unidad o unidades de la planta de Arenal, se diseñó una tubería de desvío que supliría el caudal equivalente en la antecámara de restitución. En una futura segunda parte de este trabajo se establecerá, el tiempo mínimo de apertura o cierre de la válvula de dicha tubería de desvío, para cumplir con restricciones impuestas, en lo que respecta a alturas, a la antecámara de restitución.

Como instrumento matemático se decidió usar la simulación en variables de estado del sistema hidroeléctrico compuesto. Se tomaron en cuenta también las no-linealidades típicas de problemas como éste. Para la solución de las ecuaciones de estado se deci-

(\*) Trabajo presentado en la X Convención Centroamericana de la IEEE, 26-29 de julio de 1979. Guatemala, Centroamérica.

## ESQUEMA DEL SISTEMA HIDROELECTRICO ARENAL- COROBICI

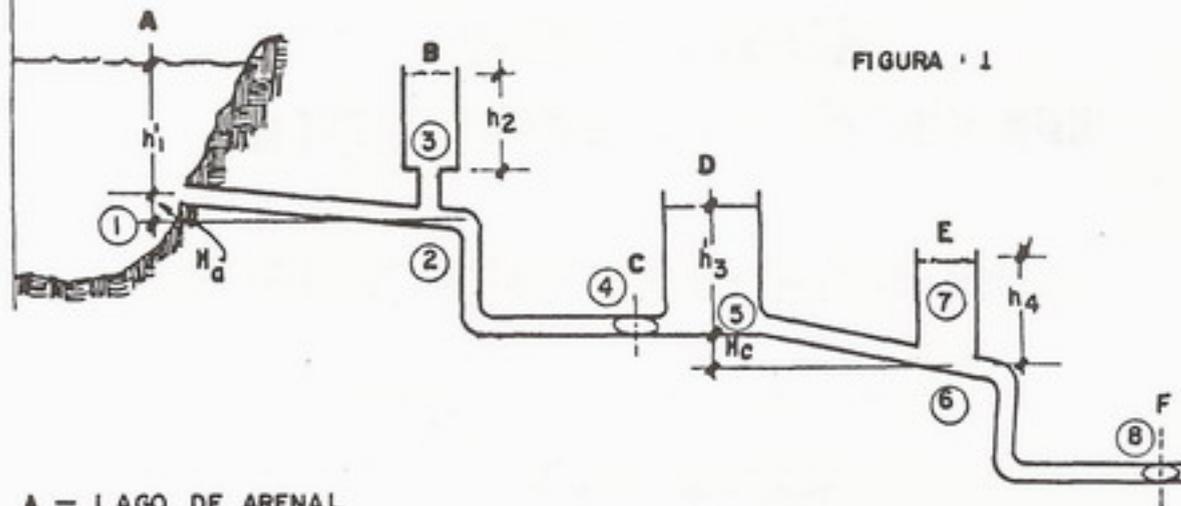


FIGURA 1

- A - LAGO DE ARENAL
- B - TANQUE DE OSCILACION DE ARENAL
- C - CASA DE MAQUINAS DE ARENAL  
(NO SE MUESTRA LA TUBERIA DE EMERGENCIA)
- D - ANTECAMARAS DE RESTITUCION  
(NO SE MUESTRA EL RIO SANTA ROSA)
- E - TANQUE DE OSCILACION DE COROBICI
- F - CASA DE MAQUINAS DE COROBICI

DIBUJO SIN ESCALA

dió hacer uso del superlenguaje de programación C. S.M.P. ("Continuous System Modeling Program") el cual se encuentra incorporado al Sistema de Cómputo 360/40 IBM de la Universidad de Costa Rica.

La decisión se basó en que el lenguaje permite gran flexibilidad de programación en problemas dinámicos, además era conocido por los autores, y por último estaba al alcance de estos.

### 2. ECUACIONES DE ESTADO DEL SISTEMA

En la figura 1, se muestra el sistema hidráulico formado por las plantas de Arenal y Corobici en forma esquemática. Como se puede observar en esta figura, se han representado únicamente los elementos que determinan el comportamiento hidráulico del sistema. Estos elementos son los siguientes:

1. Embalse de Arenal
2. Túneles de conducción y tuberías forzadas.
3. Tanques de oscilación
4. Antecámara de restitución
5. Tubería de desvío y río Santa Rosa (Los cuales no aparecen en la figura).

Las variables involucradas son aquellas correspondientes a flujos de agua, presiones en los túneles y tuberías forzadas o de desvío, niveles en los tanques de oscilación y muy en especial el nivel del agua en la antecámara de restitución.

Puesto que la modelación matemática de un sistema en forma de variables de estado, además de dar información de la salida con respecto a variaciones en la entrada, da también información acerca de las variables internas del sistema, se recurrió a utilizar esta técnica en el análisis del conjunto. De la figura 1, se puede definir que existen cinco elementos almacenadores de energía, a saber: las tuberías forzadas en las que el agua adquiere energía cinética, y los tanques de oscilación y antecámara de restitución en los que la energía cinética se convierte en energía potencial. Con base en esto se definen las siguientes variables de estado.

- $x_1 = Q_{12}$  Caudal en la tubería de conducción de Arenal ( $m^3/seg$ ).
- $x_2 = h_2$  Altura en el tanque de oscilación de Arenal (m)
- $x_3 = h_3$  Altura del agua en la antecámara de res-

$x_4 = Q_{56}$  Caudal en la tubería de conducción de Corobicí ( $m^3/seg$ ).

$x_5 = h_4$  Altura en el tanque de oscilación de Corobicí. (m)

Por otra parte se deben definir las entradas del sistema como las siguientes:

$u_1 = h_1$  Nivel del lago o embalse de Arenal (m)

$u_2 = Q_{río}$  Caudal del río Santa Rosa ( $m^3/seg$ ).

$Y_A, Y_B, Y_C, Y_D, Y_E, Y_f, Y_G$ . Estas entradas serán las encargadas de introducir perturbaciones en el sistema pues simulan las aperturas y los cierres de cada una de las turbinas de Arenal (A, B, C) y Corobicí (E, F, G), así como la apertura o cierre de la válvula de la tubería de desvío en Arenal (D).

Con el fin de tomar en cuenta la diferencia de alturas existente entre la entrada al túnel de conducción, y la base del tanque de oscilación, se han definido las variables  $h_1$  y  $h_3$ , de la siguiente forma:

$$h_1 = h_1' + H_A$$

$$h_3 = h_3' + H_C$$

Donde  $h_1', h_3', H_A$  y  $H_C$  aparecen definidas en la figura 1.

Las relaciones físicas fundamentales que rigen el comportamiento de cada una de las partes de las que está constituido el sistema son las siguientes: Para el embalse de Arenal se tiene:

$$P_1 = \rho g h_1' \quad (1)$$

donde  $\rho$  = densidad del agua ( $Kgr/m^3$ ).

$g$  = gravedad ( $m/s^2$ )

$h_1'$  = altura medida con respecto a la entrada al túnel de conducción (m)

Para la tubería de conducción de Arenal se tiene que:

$$Q_{12} = \frac{A_{12}}{\rho L_{12}} (P_1 - P_2 + \rho g H_A - \frac{K_{12}}{A_{12}} v_{12}^2) \quad (2)$$

$P_1, P_2$  = Presiones en cada uno de los extremos de la tubería ( $kg/s-s^2$ )

$A_{12}$  = Área de sección de la tubería de Arenal ( $m^2$ ).

$\rho$  = Densidad de agua ( $Kg/m^3$ ).

$L_{12}$  = Longitud de la tubería de Arenal (m).

$Q_{12}$  = Variación del flujo con respecto al tiempo en la tubería ( $m^3/s^2$ )

$K_{12}$  = Coeficiente de fricción ( $Kgr/m$ )

$v_{12}$  = Velocidad del agua (m/s).

Para la tubería de conducción de Corobicí se tiene que:

$$Q_{56} = \frac{A_{56}}{\rho L_{56}} (P_5 - P_6 + \rho g H_C - \frac{K_{56}}{A_{56}} v_{56}^2) \quad (3)$$

donde cada uno de los términos se define igual que para la tubería de Arenal.

Los flujos en las tuberías de conducción están determinados por la apertura de los álabes de las turbinas y la apertura de la válvula de la tubería de desvío.

Para estos se tienen las siguientes expresiones:

Para la tubería de conducción de Arenal

$$Q_{24} = Q_A + Q_B + Q_C + Q_D \quad (4)$$

pero:

$$Q_A = K_A Y_A, Q_B = K_B Y_B, Q_C = K_C Y_C, Q_D = K_D Y_D \quad (5)$$

por tanto:

$$Q_{24} = K_A Y_A + K_B Y_B + K_C Y_C + K_D Y_D \quad (6)$$

Donde,  $Q_A, Q_B, Q_C$ , son los flujos en cada parte de la trifurcación. ( $m^3/s$ ).

$Q_D$  es el flujo en la tubería de desvío ( $m^3/s$ ).

$Q_{24}$  es el flujo en la tubería forzada ( $m^3/s$ ).

$Y_A, Y_B, Y_C$ , son la aperturas de los álabes de las turbinas de Arenal y se consideran que  $Y = 0$  si están cerrados y  $Y = 1$  si están abiertos al 100%. Cualquier estado intermedio de apertura o cierre parcial, se encuentra entre 0 y 1.

$Y_D$  Apertura de la válvula de la tubería de desvío. Su ámbito de variación es igual al de las turbinas de Arenal.

$K_A, K_B, K_C, K_D$  flujos para máxima apertura de los álabes y de la válvula de desvío. ( $m^3/s$ ).

Para la tubería forzada de Corobicí se tiene:

$$Q_{68} = Q_E + Q_F + Q_G \quad (7)$$

pero:

$$Q_E = K_E Y_E, Q_F = K_F Y_F, Q_G = K_G Y_G \quad (8)$$

por tanto:

$$Q_{68} = K_E Y_E + K_F Y_F + K_G Y_G \quad (m^3/seg) \quad (9)$$

Donde cada uno de los términos tienen el mismo significado que en el caso de Arenal, excepto que se refieren a Corobicí.

Utilizando la ley de continuidad, las ecuaciones en las entradas de los tanques de oscilación deben ser:

Para el tanque de Arenal:

$$Q_{23} = Q_{12} - Q_{24} \quad (10)$$

donde:

$Q_{23}$  Flujo entrante al tanque de oscilación ( $m^3/seg$ ).

$Q_{12}$  Flujo que viene por la tubería de conducción de Arenal ( $m^3/seg$ ).

$Q_{24}$  Flujo que va por la tubería forzada de Arenal ( $m^3/seg$ ).

Para el tanque de oscilación de Corobicí se tiene:

$$Q_{67} = Q_{56} - Q_{68} \quad (11)$$

$Q_{56}$  Flujo que entra al tanque de oscilación de Corobicí ( $m^3/seg$ ).

$Q_{68}$  Flujo que pasa por la tubería forzada de Corobicí ( $m^3/seg$ ).

En los tanques de oscilación se tienen las siguientes expresiones:

Para el tanque de oscilación de Arenal:

$$\dot{h}_2 = \frac{Q_{12} - Q_{24}}{A_1} \quad (m/s) \quad (12)$$

donde  $\dot{h}_2$  = variación de la altura neta respecto al tiempo para el tanque de oscilación de Arenal.

$Q_{12}$  = es el flujo por la tubería de conducción de Arenal ( $m^3/seg$ ).

$Q_{24}$  = es el flujo por la tubería forzada de Arenal ( $m^3/seg$ ).

$A_1$  = es el área del tanque de oscilación de Arenal ( $m^2$ ).

Para el tanque de oscilación de Corobicí:

$$\dot{h}_4 = \frac{Q_{56} - Q_{68}}{A_2} \quad (m/s) \quad (13)$$

Donde cada uno de los términos tiene al mismo significado que para el caso de Arenal excepto que se refieren a Corobicí.

Para la antecámara de restitución se tiene que la variación de su altura neta con respecto al tiempo está dada por:

$$\dot{h}_3 = \frac{Q_{24} - Q_{56} - Q_{DES} + Q_{RIO}}{A} \quad (m/s) \quad (14)$$

donde:  $A$ : Área de la antecámara de restitución ( $m^2$ ).

$\dot{h}_3$  es la variación de la altura neta en la antecámara respecto al tiempo ( $m/s$ ).

$Q_{24}$  es el flujo que entra a la antecámara de Arenal proveniente de la tubería forzada ( $m^3/seg$ ).

$Q_{56}$  es el flujo que entra a la antecámara de restitución proveniente del río Santa Rosa. ( $m^3/seg$ ).

$Q_{RIO}$  es el flujo que entra a la antecámara de restitución por el túnel de conducción de Corobicí ( $m^3/seg$ ).

$Q_{DES}$  es el término correspondiente al caudal que se puede desbordar por el vertedero de la antecámara de restitución ( $m^3/seg$ ). Se define en la siguiente manera:

$$Q_{DES} = 0 \quad \text{si } h_3 \leq h_3 \text{ máx}$$

$$Q_{DES} = Q_{24} - Q_{56} + Q_{RIO} \quad \text{si } h_3 > h_3 \text{ máx} \quad (15)$$

donde:

$h_3 \text{ máx}$  es la altura máxima en la antecámara (m).

Por último, las presiones en las bases de cada uno de los tanques de oscilación están dadas por:

Para Arenal:

$$P_3 = \rho g h_2 \quad (Kg/m-s^2) \quad (16)$$

donde:

$h_2$  es el nivel del agua en el tanque de oscilación (m).

$\rho$  densidad del agua ( $m^3/seg$ ).

$g$  = Constante de la gravedad ( $m/seg^2$ ).

$P_3$  Presión en la base del tanque ( $\text{Kg/m}^2$ ).

Para Corobicí:

$$P_7 = \rho g h_4 \quad (\text{Kg/m-s}^2) \quad (17)$$

Donde cada uno de los términos tiene el mismo significado que en el caso de Arenal, pero se refieren a Corobicí.

Para la antecámara de restitución se tiene:

$$P_5 = \rho g h_3' \quad (\text{Kg/m-s}^2) \quad (18)$$

Donde:

$P_5$  es la presión en la base de la antecámara ( $\text{kg/m-s}^2$ ).

$h_3'$  es la altura en la antecámara (m).

Para el flujo que circula por el orificio del tanque de oscilación de Arenal se tiene la siguiente expresión que relaciona el flujo que pasa por el orificio, con las presiones en cada uno de sus extremos:

$$Q_{23} = C_A \cdot A_{\text{orif}} \cdot \text{sign}(P_2 - P_3) \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho} (P_2 - P_3)} \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (19)$$

En vista de que para Corobicí el tanque es simple se tiene que:

$$P_6 = P_7 \quad (20)$$

Donde:

$Q_{23}$  = Flujo a través del orificio de entrada del tanque de oscilación de Arenal ( $\text{m}^3/\text{s}$ ).

$C_A$  = Coeficiente de descarga del orificio de Arenal, tiene un valor de 0.94 (sin unidades).

$A_{\text{orif}}$  = Área del orificio de entrada del tanque de oscilación de Arenal ( $\text{m}^2$ ).

$\text{sign}(\ )$  Función signo de ( ), lo que esta función hace es tomar el signo de la diferencia de lo que se encuentre en el argumento.

$P_2, P_3, P_6, P_7$  Presiones en cada uno de los extremos de los orificios de entrada de los tanques de oscilación de Arenal y Corobicí respectivamente ( $\text{kg/m-s}^2$ ).

// = Valor absoluto del argumento.

En las tuberías forzadas y de conducción de Arenal y

Corobicí, debido a las características de rugosidad y velocidad propias de la tubería y el fluido respectivamente, las pérdidas adquieren un valor significativo y no pueden ser despreciadas.

Estas pérdidas van a producir una disminución en el nivel del agua en cada uno de los tanques de oscilación, disminuciones que son función de las características de las tuberías y de la velocidad del fluido, y que están dadas por las siguientes expresiones, para la tubería de Arenal:

$$\Delta h_2 = T_{12} \cdot \text{Sign} (Q_{12}) \left( \frac{Q_{12}}{A_{12}} \right)^2 \quad (\text{m}) \quad (21)$$

Para la tubería de Corobicí:

$$\Delta h_4 = T_{56} \cdot \text{Sign} (Q_{56}) \left( \frac{Q_{56}}{A_{56}} \right)^2 \quad (\text{m}) \quad (22)$$

donde:

$\Delta h_2, \Delta h_4$  Son las disminuciones en las alturas brutas debido a las pérdidas (m)

$T_{12}, T_{56}$  Constantes de pérdidas, en este caso se usó 1.0 para Arenal y 1.20 para Corobicí ( $\text{s}^2/\text{m}$ ).

$\text{Sign}(\ )$  Función signo de lo que se encuentra en el argumento.

$Q_{12}, Q_{56}$  Flujos en los túneles de conducción de Arenal y Corobicí ( $\text{m}^3/\text{seg}$ ).

Las pérdidas en las tuberías forzadas se tomaron como aquellas correspondientes al régimen permanente que se implanta luego del régimen transitorio. Esto debido a ciertos problemas de programación únicamente. Por otra parte son pérdidas pequeñas comparadas con las de las tuberías de conducción. Las constantes de pérdidas para estas tuberías son 0.115 para Arenal y 0.11 para Corobicí ( $\text{s}^2/\text{m}$ ).

En vista de que la teoría de variables de estado indica que se deben llegar a expresiones de la forma:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{12} &= f_1(Q_{12}, h_2, h_3, Q_{56}, h_4, h_1, \\ &\quad Q_{R10}, Y_A \dots \dots \dots Y_G) \\ \dot{h}_2 &= f_2(\dots \dots \dots) \\ \dot{h}_3 &= f_3(\dots \dots \dots) \\ \dot{Q}_{56} &= f_4(\dots \dots \dots) \\ \dot{h}_4 &= f_5(\dots \dots \dots) \end{aligned} \quad (23)$$

donde:  $f_1( )$ ,  $f_2( )$ ,  $f_3( )$ ,  $f_4( )$ ,  $f_5( )$

deben ser funciones de los estados y de las entradas únicamente, las ecuaciones (1) a (22) deben ser manipuladas de tal forma que se llegue a la ecuación (23). Ya que la ecuación (19), que corresponden al orificio en el tanque de oscilación, introduce marcada complejidad en el proceso de sustitución, la curva correspondientes a esta relación fue aproximada a trazos por una línea recta de la forma:

$$Q_{23} = R_{23} (P_2 - P_3) + B_{23} \quad (24)$$

donde:

$R_{23}$  = Corresponde a la pendiente de la recta en cada uno de los trazos para Arenal.

$$\left( \frac{m^4 - s}{Kgr} \right)$$

$B_{23}$  = Es la intersección de las rectas en cada trazo ( $m^3/s$ ).

A partir de la ecuación (24), y las ecuaciones (1) a (22) se llega al siguiente modelo en variables de estado:

$$\dot{Q}_{12} = \frac{g A_{12}}{L_{12}} (h_1 - (h_2 + \Delta h_2)) - \frac{A_{12}}{\rho R_{23} L_{12}} (Q_{12} - (K_A Y_A + K_B Y_B + K_C Y_C + K_D Y_D)) - B_{23}$$

$$\dot{h}_2 = \frac{Q_{12} - (K_A Y_A + K_B Y_B + K_C Y_C + K_D Y_D)}{A_1}$$

$$\dot{h}_3 = \frac{(K_A Y_A + K_B Y_B + K_C Y_C + K_D Y_D) - Q_{56} - Q_{DES} + Q_{RIO}}{A}$$

$$\dot{Q}_{56} = \frac{g A_{56}}{L_{56}} (h_3 - (h_4 + \Delta h_4)) \quad (25)$$

$$\dot{h}_4 = \frac{Q_{56} - (K_E Y_E + K_F Y_F + K_G Y_G)}{A_2}$$

En régimen permanente todas las derivadas son iguales a cero, por lo tanto:

$$Q_{12} = Q_{24} \quad (26)$$

$$Q_{56} = Q_{68} \quad (27)$$

$$Q_{24} + Q_{RIO} = Q_{56} + Q_{DES} \quad (28)$$

$$h_1 = h_2 + \Delta h_2 \quad (29)$$

$$h_3 = h_4 + \Delta h_4 \quad (30)$$

O sea, la altura en el embalse (y en la antecámara) es igual a la altura del nivel del agua en el tanque de oscilación de Arenal (y Corobicí) más las pérdidas. Con base a las ecuaciones de estado anteriores se procedió a realizar la simulación de todo el sistema. Este puede desarrollarse en un lenguaje para computadora (Fortran, Basic, etc), o un lenguaje desarrollado específicamente para la simulación. Los tres lenguajes ampliamente empleados para la simulación de sistemas que trabajan en tiempo continuo son el CSMP, el DYNAMO y el MIMIC. El CSMP (Continuous System Modeling Program) fue desarrollado por la I.B.M. y se encuentra disponible en la mayoría de sus computadoras. Este lenguaje proporciona más de 42 funciones, tales como integración, derivación, generación de números al azar, incluyendo muchas funciones no lineales. En este caso específico, se utilizó el C.S.M.P., que se encuentra incorporado a la computadora IBM 360/40 de la Universidad de Costa Rica.

### 3. PROGRAMA DIGITAL

El programa principal consta de dos segmentos:

1. Un segmento inicial y
2. Un segmento dinámico

En el segmento inicial se hace la asignación de los valores iniciales y de los parámetros del problema.

En el segmento dinámico se escriben las ecuaciones de estado, así como otras relaciones empleadas en la simulación, como por ejemplo, las ecuaciones que corresponden a la continuidad de los caudales y también los llamados a las diferentes subrutinas que se utilizan.

En la figura No. 2 aparece un diagrama en el cual se muestra el conjunto de subrutinas usadas, así como una breve indicación de la función que cumplen. Esta función de las subrutinas se amplía posteriormente cuando se comentan los diferentes bloques mostrados en la figura.

Función de las Subrutinas:

#### PIK:

Hace el cálculo de la potencia inicial entregada por las turbinas para mantener el producto  $Q \cdot h =$  constante durante el proceso.

#### DESCAR:

Esta subrutina hace el cálculo del agua que se desborda en la antecámara ( $Q_{DES}$ ), si en algún mo-

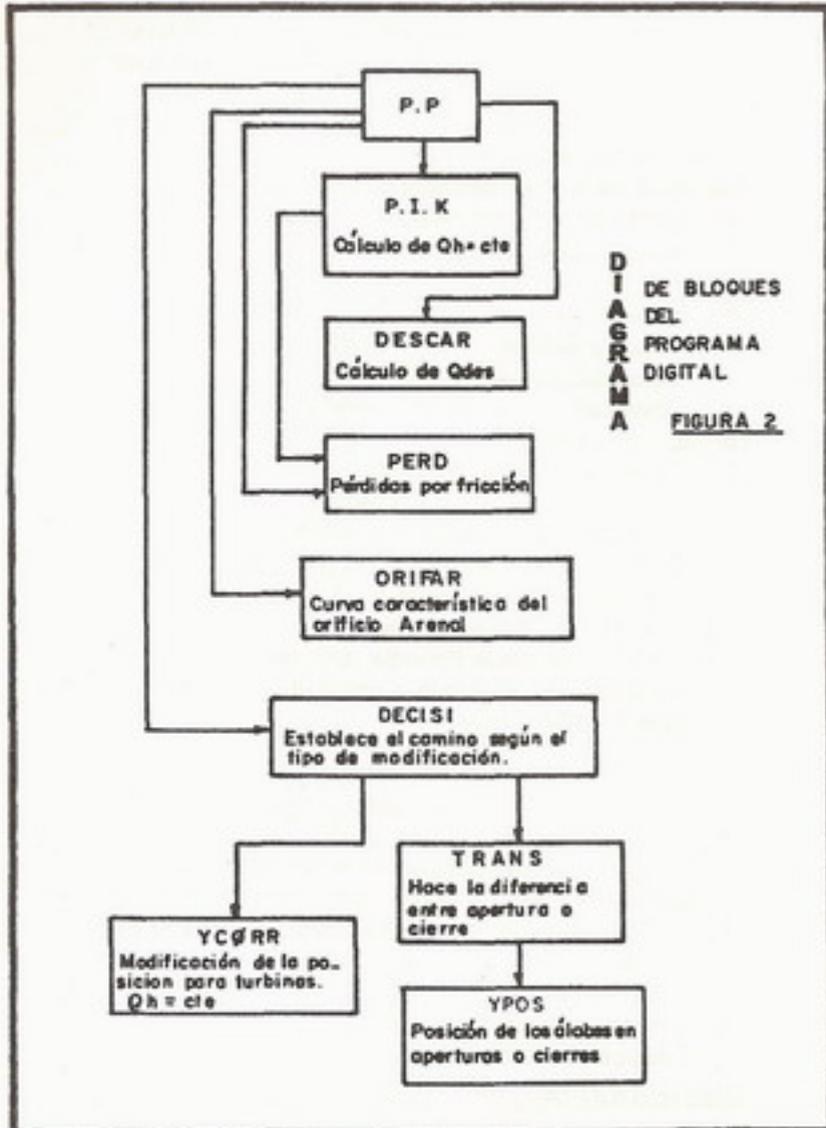


DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROGRAMA DIGITAL FIGURA 2.

mento se produce.

PERD:

Esta realiza el cálculo de las pérdidas ( $\Delta h$ ) en las tuberías de conducción de Arenal y Corobicí.

ORIFAR:

Determina los parámetros de la recta que mejor aproxima la característica del orificio, dependiendo del flujo. Esto para Arenal.

DECISI:

Esta subrutina decide el camino a seguir por el control, según la condición que se presente.

Estas condiciones pueden ser:

- a. Una turbina que funciona con una potencia constante.
- b. Una turbina que se abre
- c. Una turbina que se cierra
- d. Apertura de la válvula de emergencia.
- e. Cierre de la válvula de emergencia.

f. Ninguna modificación en la válvula de emergencia.

YCØRR:

Modifica la posición de los álabes de una turbina que funciona bajo el criterio  $Q.h = cte$  según sean las variaciones de  $h$ .

TRANS:

Esta subrutina determina el camino a seguir por el control, según se abra o se cierre una determinada turbina o la válvula de emergencia. Además es la encargada de determinar si ha terminado la operación de apertura o cierre.

YPOS:

Esta subrutina calcula la posición de los álabes de las turbinas o de la válvula de emergencia según sea el tiempo transcurrido en el proceso.

4. ALGUNAS CONSIDERACIONES SOBRE EL PROGRAMA

El programa presenta una gran versatilidad ya que permite analizar una serie de casos que resultan de la combinación de aperturas o cierres parciales, o totales, de las turbinas, así como de la válvula de emergencia.

Otra característica sobresaliente es que debido a la herramienta matemática que se ha utilizado, se puede tener información, durante el proceso transitorio, no solo de las variables de estado elegidos, sino también de otras variables intermedias definidas durante el desarrollo del modelo matemático.

Debido al lenguaje especial utilizado (CSMP), se puede hacer el análisis de un caso particular para varios valores de algún parámetro determinado, como puede ser una área, una constante de fricción, o alguna otra, y obtener una información muy valiosa sobre su influencia en el comportamiento transitorio del sistema.

Con base en lo anterior es posible seleccionar, por ejemplo, el valor más adecuado del tiempo de apertura o cierre de la válvula de desvío, para cumplir con las restricciones impuestas a la antecámara de restitución en lo que respecta al nivel del agua. Una limitación del modelo, como se deduce del desarrollo matemático de éste, es que se trata de un sistema en lazo abierto. Lo anterior se refiere a que no han sido tomados en consideración los sistemas de regulación; básicamente el de frecuencia, justificándose dicha suposición en que todas las unidades trabajarán sufriendo al sistema de energía una potencia activa constante.

5. CONCLUSIONES:

- a. El modelo predice en forma satisfactoria el comportamiento transitorio del sistema.

- b. El modelo es válido únicamente para tiempos suficientemente altos, tal que los efectos transitorios por golpe de ariete sean despreciables.
- c. Con este modelo pueden analizarse todas las alternativas de cierres o aperturas, (totales o parciales) de los álabes de las turbinas o de la válvula de desvío.
- d. Puede analizarse también el efecto producido en el transitorio al variar algún parámetro interno del sistema.
- e. Por un procedimiento de prueba y error, puede determinarse el tiempo óptimo de apertura de la válvula de desvío, de la central hidroeléctrica de Arenal, tal que la central de Corobicí pueda seguir funcionando normalmente, y se obtengan características transitorias adecuadas, satisfaciéndose por ende las restricciones impuestas a la antecámara de restitución.
- f. Este trabajo representa el primero en su género que se realiza en el ICE, utilizando la técnica de modelación en variables de estado; para estudiar el comportamiento transitorio hidráulico de centrales eléctricas.

## 6. APENDICE

Este apéndice tiene como fin presentar los resultados obtenidos para un caso en particular. El caso que se presenta corresponde a las siguientes condiciones de operación: se encuentran funcionando tres unidades en la Central de Arenal, y tres unidades en la Central de Corobicí, con un caudal de aproximadamente  $100\text{m}^3/\text{s}$  cada central. En un determinado momento se cierran los álabes de una de las turbinas de Arenal. Se considera que dura 9 segundos en cerrarse, y que tiene un tiempo muerto de 2 segundos. Al mismo tiempo se abre la válvula de la tubería de desvío, dicha válvula dura 70 segundos en abrirse y tiene un tiempo muerto de 9 segundos.

De lo anterior resulta un proceso transitorio cuyas características se obtienen del programa digital. Como se mencionó anteriormente el programa permite conocer el valor de las alturas del agua, de los caudales, y de las presiones, en función del tiempo. Dada la flexibilidad del lenguaje utilizado se pueden obtener gráficos de cualquier variable en función del tiempo.

Para el caso que se presente aparecen a continuación, tres gráficos de alturas medidas con respecto al nivel del mar versus el tiempo. Estas alturas son: H3AUX que corresponde a la variación del nivel del agua en la antecámara de restitución (la base está en la cota 315.6m.s.n.m.); H2AUZ que corresponde a la variación del nivel del agua en el tanque de oscilación de Arenal (la base está en la cota 481.5 m.s.n.m.); y H4AUX que corresponde a la variación del nivel del agua en el tanque de oscilación de Corobicí (la base está en la cota 287 m.s.n.m.).

Además de los valores tabulados para estas tres alturas, aparecen tabulados también los valores del tiempo, de los flujos  $Q_{12}$ ,  $Q_{24}$ ,  $Q_{24}$ ,  $Q_{56}$ ,  $Q_{68}$ ,  $Q_{67}$ ,  $Q_D$ ,  $Q_{DES}$ , y de la presión  $P_2$ .

Los gráficos presentan los resultados para un tiempo de aproximadamente 700 segundos. En realidad el proceso se estudió para 2000 segundos (aproximadamente cuatro constantes de tiempo), pero no se muestran los resultados para tiempos mayores a 700 segundos ya que es evidente que el proceso tiende a un régimen permanente final.

## 7. NOMENCLATURA

P	Presión	( $\text{kgf}/\text{m}^2$ )
A	Area transversal	( $\text{m}^2$ )
v	Velocidad del agua	( $\text{m}/\text{s}$ )
g	Gravedad	( $\text{m}/\text{s}^2$ )
p	Densidad del agua	( $\text{kgf}/\text{m}^3$ )
L	Longitud del túnel	(m)
Q	Flujo de agua	( $\text{m}^3/\text{s}$ )
K	Coefficiente de fricción	( $\text{kgf}/\text{m}$ )
H	Diferencia de altura entre la entrada tunel, y la base del tanque de oscilación (m).	
$C_A$	Coefficiente de descarga (adim.)	
sign ( $\Delta X$ )	Función signo de $\Delta X$ (adim).	
R	Pendiente de la recta que aproxima $Q = f(\Delta P)$ ( $\text{m}^3/\text{s}$ ).	

$K_A \dots K_G$	Flujos para máxima apertura ( $\text{m}^3/\text{s}$ ).
$Y_A \dots Y_G$	Apertura de los álabes de las turbinas, o de la válvula de emergencia (adim).
T	Constante de pérdidas por fricción. ( $\text{s}^2/\text{m}$ )
$\Delta h$	Disminución de la altura bruta debido a la fricción (m)
h	Altura (m)
$x_i$	Variables estado
$u_j$	Entradas del sistema.

## BIBLIOGRAFIA

1. *Process Instruments and Controls, Hand Book*, Douglas M. Cosidine y otros, Mc, Graw-Hill, 2 Edición, 1974.
2. *Leuri & Stern, Design of Hydraulic Control Systems*, McGraw-Hill, 1 Edición, 1962.
3. *D.M. Auslader, Y. Fakahashi, M.J. Robins. Introducción a sistemas y control*, Mc Graw-Hill, 1 Edición, 1974.
4. *Manual para el uso del programa orientado a problemas CSMP, Continuous Systems Modeling Programs. S/360"*, I.B.M.
5. *O.I. Elgerd, Control Systems Theory* Mc Graw-Hill, 1 Edición, 1967.
6. *Informe de viabilidad, Proyecto Hidroeléctrico de Corobicí, Instituto Costarricense de Electricidad*, 1977.
7. *Dancea Ioan. "Programarea Calculatoarelor Numerice"* Editora Dacia, 1973.
8. *Joji Ando. Simulation Study of Surge Tank System for Hydro Power Plant by using Hybrid Electronic Computer. The Second International JSME - Symposium Fluid Machinery and Fluidies, Tokyo, Sept. 1972, pág. 259.*
9. *Ureña Mora, Luis Gmo., "Estudio sobre un tanque de oscilación de orificio reatringido"* Informe proyecto Final para graduación. Facultad de Ingeniería, Universidad de Costa Rica, 1975.





# Apuntes para una HISTORIA DE LA INGENIERIA EN COSTA RICA

## 1502 - 1903

ING. HERNAN GUTIERREZ BRAUN

TERCERA PARTE

FERROCARRIL A LIMON

Lentamente se alejaba la idea del camino a Limón y ganaba terreno la del ferrocarril. En 1867 contrató el Dr. Castro Madriz con un grupo financiero norteamericano encabezado por el General John C. Fremont la construcción de un ferrocarril interoceánico; pero los contratistas resultaron más especuladores que empresarios y el proyecto fracasó. En 1869, durante la segunda administración de don Jesús Jiménez, suscribió el Dr. Figueroa, entonces Ministro de Fomento, un contrato para la construcción de un ferrocarril "de mar a mar," con un consorcio norteamericano representado por don Eduardo Reilly. Nuevo fracaso: los contratistas no cumplieron esta vez con la obligación de organizar una compañía que se encargará de la ejecución del proyecto y tampoco rindieron la garantía exigida por el Gobierno. Luego se firmó un nuevo contrato con el Señor H.J. Overmann; pero no fué aprobado por el Congreso.

Fué necesario esperar hasta que apareció en el horizonte la eminente figura del Ing. don Henry Meiggs Keith, de reconocida fama internacional bien ganada en la construcción de los ferrocarriles de Oroya y Arequipa en el Perú, y de otros en Chile, donde se le llamaba "Padre de los ferrocarriles chilenos." En 1868 estuvo en Costa Rica y recorrió todo el tra-

yecto de Limón a Puntarenas, lo que le permitió hacer una oferta al Gobierno para la construcción del ferrocarril; pero se interpusieron razones que no he podido determinar, aunque las supongo de origen político, y tampoco se realizó.

La situación varió cuando el General Guardia obtuvo el primer empréstito inglés, de tan ingrata recordación, en 1871. Es muy interesante conocer los diferentes aspectos de tal empréstito; pero su análisis no entra en los límites de este bosquejo. A quien desee conocerlo más a fondo lo remito a los estudios que al respecto hicieron el Lic. don Cleto González Víquez y don Tomás Soley Güell.

El contrato con Keith fué firmado en Lima el 20 de julio de 1871, representando al Gobierno de Costa Rica el entonces Ministro de Fomento don Manuel Alvarado. Una cláusula del mismo especificaba que Meiggs Keith no podría traspasar el contrato a otra persona sin el consentimiento previo del Gobierno de Costa Rica; pero Meiggs no tenía la intención de abandonar sus grandes contratos en Perú y Chile para venir a ejecutar uno relativamente pequeño en este país, y a continuación de la firma del contrato se firmó un convenio adicional que ambas partes se comprometieron a mantener en secreto por todo el tiempo de la construcción del ferrocarril, según

el cual el Gobierno se declaraba de acuerdo con el traspaso del contrato, con todos sus derechos y obligaciones, a su sobrino don Henry Keith residente en New York y con alguna experiencia en esta clase de trabajos adquirida con su tío. Henry invitó a su hermano menor, Minor, de veintitrés años, pero de gran actividad y destreza en los negocios. Ambos hermanos llegaron a Costa Rica en setiembre de 1871.

El 18 de agosto de 1871 fué la inauguración oficial de los trabajos en Alajuela con gran acompañamiento de celebraciones, festejos y discursos; pero hubo más alegría sincera cuando llegó la primera locomotora, jalada por bueyes cuesta arriba y cuesta abajo por la vieja carretera a Puntarenas, pasando por los montes del Aguacate. La titánica tarea la llevó a cabo el capaz y enérgico Juan Solano, apodado "Gigante de las carreteras de Costa Rica." En su viaje tardó algo más de cuatro meses; llegó a Alajuela el 9 de febrero de 1872 y se la bautizó con el nombre de "Limón No. 1".

Hay quienes afirman que fué don Juan de la Rosa Sánchez quien llevó a cabo aquel titánico transporte. Es verdad que el Señor Sánchez, nacido en San Francisco de Heredia el 3 de agosto de 1824, fué gran emprendedor, enérgico y audaz. Tuvo la feliz idea de establecer un tren de carretas en las cuales transportaba casi todo el café que se exportaba por Puntarenas y de regreso acarrea toda clase de mercadería que llegaba al puerto. Contaba, pues, con los medios para llevar a cabo el transporte de la locomotora tan pesada, junto con otros equipos ferrocarrileros, como rieles y herramientas; pero cabe la duda de si podría distraer de su transporte diario, posiblemente aumentado en aquellos meses del año por la exportación del café, las yuntas de buques requeridas. También cabe hacer notar que fué don Juan Solano quien recibió el pago por aquel transporte.

A su llegada se dividieron el trabajo los hermanos Keith: Henry se quedó en Alajuela y Minor se trasladó a Limón. No hay duda de que la política y la técnica a menudo han andado juntas, como buenas compañeras, pero la segunda ha sido muy explotada por la primera en su beneficio propio. En nuestro caso no será de manera diferente. En el contrato se especificó que el ferrocarril debería ser construido entre Alajuela y Limón y que los trabajos debían iniciarse al mismo tiempo por ambos extremos. Habráse visto desatino mayor; pero así fué.

La construcción propiamente dicha se inició en Alajuela el 8 de octubre de 1871 y en Limón el 15 de noviembre. Los trabajos se realizaron bien por Alajuela. "Limón No. 1" hizo su primer recorrido de apenas media milla el 31 de marzo; su primer recorrido a San José lo hizo el 30 de diciembre de 1872 y el 30 de noviembre de 1873 llegó por primera vez hasta Cartago.

Por el extremo oriental los trabajos se iniciaron bien. Henry había encargado a su hermano montar un comisariato para atender las necesidades de la empresa y fué rápidamente puesto en servicio; pero Minor lo abandonó pronto para dedicarse a tareas puramente financieras y administrativas.

Es verdaderamente increíble que tantos contra-

tos se firmaran para la construcción del Ferrocarril a Limón sin conocerse siquiera la longitud exacta ni la localización de la vía, sin un perfil, sin conocerse el número, tamaño y localización de puentes, alcantarillas, cortes, rellenos, estaciones, posibles túneles, y de todo un sin fin de detalles inherentes a tales obras, sin olvidar las facilidades necesarias para empleados y trabajadores.

El Ing. don Franz Kurtze, de origen alemán, por mucho tiempo estuvo al servicio del Gobierno de Costa Rica y por varios años fué Director de Obras Públicas. En cierta ocasión presentó un valioso estudio para la ruta Limón — Caldera que hubiera sido de gran beneficio para el país si se hubiera desarrollado y aprovechado: mas no lo fué. Cuando más tarde el Ing. Verebely, rumano que residió en Costa Rica durante pocos años, pero no llegó a servir al Gobierno durante la mayoría de ellos, acompañó a Lima a don Manuel Alvarado para la firma del contrato con Keith, llevó a éste explicaciones verbales y algunos dibujos que no podían considerarse planos terminados buenos para la construcción de un ferrocarril. El trayecto Alajuela — Cartago no presentó las grandes dificultades del trayecto Limón — Cartago, y pudo ser construido en forma relativamente fácil.

En el número de los "Anales" de la Academia de Geografía é Historia de Costa Rica correspondiente a los años 1974 — 1976, nos cuenta doña Carolyn Hall de Saborío, en un artículo muy interesante y bien escrito titulado "Los Archivos de Keith, algunos aspectos de la geografía histórica de Costa Rica, 1871 — 1973," de la construcción del Ferrocarril a Limón, pero lo que más nos interesa en este momento es el comentario sobre las fallas graves, no imputables ciertamente al cuerpo de ingenieros que intervino, sino más bien a las exigencias administrativas para tratar de cumplir con un contrato firmado sin las debidas bases técnicas y por razones más bien de carácter político.

Pues bien. Doña Carolyn nos habla de una correspondencia, abundante en detalles, que don Guillermo Nanne envió a Mr. Henry Keith informándole de la marcha de los trabajos del ferrocarril. Este Señor Nanne fué uno de los alemanes que se vieron obligados a abandonar su país a consecuencia de los movimientos revolucionarios que agitaron a Europa durante los años de 1848 y siguientes. Muchos de estos inmigrantes llegaron a Costa Rica y se establecieron con gran beneficio para el país, pues entre ellos vinieron ingenieros, botánicos, escritores y profesores, y fueron troncos de familias cuyos descendientes numerosos han sido y son elementos de progreso y de cultura. Keith asoció a Nanne a sus empresas y le nombró Superintendente General. Es natural, pues, que conociera muy bien todos los problemas de la construcción del ferrocarril uno de los más graves, no hay duda, siendo el presentado por la deficiencia de los planos necesarios, y a este respecto nada mejor que copiar lo que dice la Señora Hall en su mencionada publicación.

"Igualmente sería que esas dificultades financie-

ras era la falta de mano de obra especializada en Costa Rica. Según el censo de población de 1864, la población total del país alcanzaba poco más de 120,000 habitantes. La mayoría de ellos eran agricultores; unos pocos eran artesanos y comerciantes. Pocos, si acaso alguno, tenían experiencia en la construcción de obras públicas en gran escala. Casi todos los ingenieros requeridos para la construcción del ferrocarril al Atlántico tuvieron que reclutarse en el extranjero, y eso resultó una tarea muy difícil. Era necesario obtener profesionales a través de agentes, tales como W.R. Grace en New York; los arreglos, sin embargo, parecen haber sido sumamente descuidados, de tal manera que surgieron problemas tan pronto que estos inmigrantes pisaron suelo costarricense. "Vienen muchos carpinteros en los barcos a Puerto Limón. Grace no menciona ni una palabra al respecto, ni cual es su asignación, su sueldo, etc. Como consecuencia, tan pronto que llegan esos hombres, comienzan las molestias. Dicen haber hecho tal y tal arreglo, de lo cual nadie sabe nada. Los mismos procedimientos informales con los ingenieros. Eso no sirve, mi querido Keith; toda la molestia, todos los disturbios que ocupan tiempo valioso pueden evitarse si las cosas se arreglan correcta y cuidadosamente desde el principio." (Carta de Guillermo Nanne en San José a Henry Keith en Londres. 15 de diciembre de 1871).

Aún cuando los ingenieros inmigrantes comenzaron sus trabajos, resultaron en general poco apropiados a sus tareas.

"Mi querido amigo," escribió Nanne a Keith en 1872, "todavía hay en alguna parte un tropiezo en nuestro departamento de ingeniería, Dios los bendiga. Siempre golpea allí. Hace falta un verdadero equipo, continuamente hay pequeños pleitos y muchas fallas que aún yo puedo discernir perfectamente bien. La única persona realmente enérgica y en todo respecto Al, es Mr. Scherzer, y él se encuentra en la sección más incómoda de toda la línea. A veces quiero mandarlos todos al inf."

La falta de ingenieros capaces era especialmente aguda debido al corto período durante el cual toda la línea debiera construirse. Desde el principio, los contratistas improvisaron y comenzaron a construir la línea sin que los estudios preliminares necesarios habían sido llevados a cabo por ingenieros calificados.

"Comenzamos con prácticamente nada, ningún plan, ningún perfil, en realidad ningún estudio de la línea, y mucho menos del terreno. Las cosas se hicieron con tanta prisa al principio, que solo poco a poco se da cuenta de cuántas partidas importantes han sido olvidadas. Andamos bien en todos los departamentos menos lo de los ingenieros, el cual en mi opinión es demasiado débil en todo aspecto. Considero que es muy mal negocio tener tan pocos ingenieros para trabajos que deben ir a toda prisa. Nuestros contratistas están continuamente persiguiendo a los ingenieros, y no les dan siquiera el tiempo para estudiar el terreno debidamente. Si se enferman dos ó tres del equipo, tendremos que

suspender el trabajo totalmente. Más reconocimientos que se puedan hacer de la línea, más barato será el resultado final. Tenemos en Alajuela al puro principio un trecho que yo condeno enteramente, sin ser ingeniero, un trecho que podría haberse evitado, y que costará mucho dinero. En Puerto Limón, el ingeniero de división parece ser inadecuado para su posición debido a su falta de energía, y borracho todo el tiempo." (Carta de Nanne a Keith, en Londres, del 25 noviembre 1871).

Como Mr. Nanne predijo, la ineficiencia del departamento de ingeniería de la compañía causó grandes pérdidas de tiempo y esfuerzo, y considerables gastos innecesarios. Todavía durante ese primer período de construcción, por ejemplo, los ingenieros estaban estudiando partes de la propuesta línea entre Cartago y Angostura, la cual era luego abandonada a favor de una ruta hacia el Norte de la Cordillera Central, y después completamente reestudiada para la eventual construcción del ferrocarril a fines de la década de 1880."

Hasta aquí las palabras de la Señora Hall de Saborío, bastante elocuentes por sí mismas para ser comentadas con mayor amplitud.

Veamos ahora un caso representativo las Lomas de Fajardo. Deseaba Mr. Keith, por razones que él tendría, que partiendo de Cartago hacia el este la vía bajase lo más rápidamente posible hasta el nivel superior de la margen derecha del Río Reventazón, por la cual debería continuar hacia la costa. Se trazó la línea se abrió la trocha, se tendieron rieles por alguna longitud y al llegar a las Lomas de Fajardo, no lejos de la actual represa de Cachí, toparon con lomas de roca imposibles de pasar económicamente, ni por encima haciendo un desvío, ni a través abriendo un túnel. Fué necesario abandonar lo hecho con una pérdida grande en tiempo y dinero y trazar una nueva ruta más al norte y por terreno elevado, que es la actual entre Paraíso y Turrialba.

El 21 de abril de 1884 celebró el Gobierno un nuevo contrato, el conocido con el nombre de Soto-Keith, por los nombres de los firmantes don Bernardo Soto y Mr. Minor C. Keith, para la construcción de un ferrocarril entre Las Juntas, cerca de Siquirres, y la población de Carrillo, en la margen izquierda del Río Sucio, adicionada por la construcción de un camino de este lugar a San José pasando por el Bajo de la Hondura y el Alto de la Palma. Ambos contratos fueron cumplidos. El primero está en uso todavía: Ferrocarril a Guápiles. El segundo, conocido con el nombre de Camino a Carrillo, entró en desuso cuando los trenes corrían directos de Limón a San José.

Mr. Keith contrató igualmente la construcción del muelle de Limón, la del tamar aún existente y el relleno de la ciudad; pero no es objeto de nuestro estudio seguirlo en la realización de todos sus proyectos, que fueron muchos y grandes, como por ejemplo fue quien sembró primero bananos en Costa Rica é hizo la primera exportación a New Orleans en su propio barco, dando nacimiento a la United Fruit Company. Socialmente se encariñó con el país, fundó aquí su hogar con la dignísima matrona doña Cristina Cas-

tro Fernández, hija del Dr. Castro Madriz, del cual viene una numerosa descendencia que mucho bien ha hecho al país.

No he podido obtener los nombres de los ingenieros que intervinieron en todas las obras citadas, pues no figuran en las nóminas de empleados que se conservan y las que pudiéramos llamar específicas fueron destruidas por un incendio en las oficinas de la United Fruit Company en Limón. Sí puede decirse que todos ellos, ó la mayoría, fueron norteamericanos, excepto un costarricense que realizó muy buena labor, don Alberto González Ramírez, quien fuera más tarde recomendado por el mismo Mr. Keith para trabajar en el Ferrocarril al Pacífico. Uno de sus mejores trabajos fué la construcción del puente de Birris, con el Ing. George Lathan como jefe inmediato y el Ingeniero Civil don Cyril Smith como jefe de los albañiles.

Como una curiosidad histórica, más que técnica, debo mencionar el hecho de que durante la construcción de este ferrocarril se presentó la primera huelga de trabajadores de que hay mención en los anales de nuestra historia patria. Una de las mayores dificultades con que tropezó Mr. Keith fué la escasez de braceros: la población muy escasa, el temor a las enfermedades por lo insalubre de la región al este de Turrialba y peor aún en la parte baja de la costa, y por último les atraía más trabajar en las fincas del interior aunque los salarios fueran menores. Quedaba el único recurso de importarlos. Los mejores para resistir los rigores del clima eran los provenientes de las islas del Caribe, de raza negra. Vinieron unos cuantos, mas pronto se fueron a Panamá atraídos por los mejores sueldos ofrecidos por Lesseps en la construcción del canal. Envió Keith agentes por varios países de Europa y Estados Unidos en procura de trabajadores, inclusive a las Canarias u Cabo Verde. Todo inútil. El Gobierno terminó por autorizarlo para la importación de dos mil chinos que trabajarían durante dos años y luego Keith los devolvería a su país por su cuenta y riesgo. Fué muy grande la grito que se armó en el público contra tal disposición que nadie aceptaba y solamente unos pocos llegaron.

En 1887 el propio Mr. Keith se fué a Europa a tratar de conseguir los trabajadores tan necesarios y al fin contrató en Italia cerca de mil hombres que decían tener experiencia en construcción de ferrocarriles y de ellos solamente setecientos sesenta y dos llegaron a Limón a mediados de diciembre de ese año. Originarios del Piamonte, eran fuertes y vigorosos. Trescientos se enviaron a la sección de Cartago o Santiago y los demás a la del Reventazón. Más tarde llegaron otros grupos hasta completar un total de mil quinientos y fueron también enviados al sector del Reventazón.

Fué aquí justamente donde se iniciaron los disturbios encabezados por los recién llegados, si bien algún malestar se había manifestado desde mucho antes. El descontento afloró a principios de junio de 1888. Fracasados los esfuerzos de conciliación se arrestó y encarceló a sesenta de ellos. Unos cuantos días en la prisión y una multa fueron suficientes para

ablandarlos y regresaron al campamento. El descontento siguió y Keith introdujo entre ellos grupos de costarricenses y estacionó patrullas de soldados en las cercanías.

La huelga comenzó a fines de octubre. Un vocero de los huelguistas explicó así los hechos: "Nuestro contrato nos obliga al trabajo, a la obediencia, pero manda que nos proporcione el alimento sano y suficiente que usa el soldado italiano, exceptuando el vino y la cerveza que nos proporcione alojamiento, que nos proporcione médico, medicinas y hospital; que nos proporcione trabajo en lugares que no sean dañosos a la salud. No debió habernos hecho ir al Reventazón, puesto que ya bien sabía muchos habían huido de allí debido a lo malsano del lugar. Nos tocó, pues, la triste suerte de vernos casi todos atacados de la peste y de tener que huir para salvar nuestras vidas, vagando tres ó cuatro días por las montañas y los bosques impracticables, privados de la gracia de Dios, para poder llegar a nuevos lugares, unos y otros, a los puntos donde estaban nuestros compatriotas de la primera expedición." Agregó que todos los campamentos estaban convertidos en hospitales; que el número de sus compañeros muertos sobrepasaba el centenar; que más de doscientos estaban en los hospitales, no cuarenta como decía Keith; afirmó que en la mayoría de los campamentos se producían frecuentes huelgas, porque no se les suministraba pan todos los días y, cuando se les daba, estaba añejo ó mal hecho, de modo que no podían comerlo; que en múltiples ocasiones el arroz ó espagueti que se les servía estaba podrido ó era insuficiente.

Según parece, además de lo dicho, se habían llenado de pánico con la enfermedad y la muerte de sus compatriotas y seis de ellos habían muerto en los bosques durante su fuga a Cartago. Los que lograron llegar estaban en estado lamentable por la falta de alimento y techo durante su largo viaje. El Gobierno proveyó a sus necesidades dándoles comida y hospedaje en el mercado y otros edificios de Cartago.

A todo esto siguió una lucha prolongada de parte de Keith para obligar a los trabajadores a regresar a sus campamentos. Los huelguistas se convirtieron en un serio problema social y policiaco, especialmente en Cartago y San José y el público en general los miraba con simpatía. El Gobierno les ordenó volver a su trabajo y los trabajadores se negaron. Keith amenazó con cobrarles daños y perjuicios y no le hicieron caso alguno. El Doctor Don José Corvetti, entonces Consul de Italia, quiso darles un buen consejo y no lo escucharon. Los Cónsules de Estados Unidos y Francia se acercaron a ellos para hacerles ver el daño tan grande que le estaban haciendo al país y algunos italianos se calmaron un poco; pero en general se mantuvieron firmes en su decisión de no volver al trabajo con Keith y parecían sufrir de un sentimiento patriótico, pues no deseaban más que Keith les pagara lo adeudado y los retornara a su patria: toda otra reflexión fué inútil. El Gobierno, con muy buen tino, en ningún momento quiso usar de la fuerza y en el mes de marzo siguiente estaban en Limón ochocientos huelguistas esperando el vapor que los habría de

conducir de regreso a su patria. Parece que el Gobierno y los costarricenses simpatizaban con los huelguistas por su buen comportamiento. El resto de los inmigrantes aceptaron empleo en los plantíos y trajeron a sus familias a vivir con ellos. Para los solteros no existió problema y muchas de las familias que viven actualmente en Costa Rica llevando apellidos italianos posiblemente son descendientes de aquellas. Sea esta crónica un apunte histórico y variación de nuestra tema general.

Ahora un último episodio representativo de las mil y tantas dificultades con que tropezó Mr. Keith para conseguir los trabajadores necesarios para su empresa y de los medios a que recurrió para vencerlas, sin obtener en ocasiones el éxito anhelada.

Con el deseo de ampliar sus negocios, Keith abrió un almacén en Bluefields, el primero en su género, y estableció un comercio de hule, zarzaparrilla y carey, hacia 1873, y estableció tiendas en Belice y Honduras Británica. Henry M. Keith adquirió un barco que fué rebautizado con el nombre de "Juan G. Meiggs" en honor de su tío John G. Tal fué el primer barco de cabotaje que recorrió la costa atlántica de Centro América.

El primer viaje del "Juan G." vino a ser un acontecimiento singular y una revelación más del carácter emprendedor de Minor, quien se fué a New Orleans en busca de trabajadores para la construcción del ferrocarril. Allí logró enganchar a setecientos hombres de los cuales se dice que por lo menos cuarenta habían formado en las filas de William Warker; pero que estaban dispuestos a probar de nuevo a pesar de las mil dificultades que habían pasado. De todos los embarcados en el "Don G." unos veinte eran ferrocarrileros y fueron nombrados capataces, pero de los restantes dijo el Jefe de la Policía de New Orleans que "formaban la caterva más rufianesca que él había visto congregada en un solo lugar." Como medida de precaución, Keith compró unas docenas de revólveres y los guardó secretamente en su camarote.

Keith dirigió el barco primero a La Habana para cargar azúcar y otras mercaderías y allí desertaron veinticinco de aquellos hombres. Prosiguió el barco hacia Belice y una noche, durante un fuerte huracán, se vió metido en un arrecife de coral llamado el Banco de Cincorra, más ó menos a noventa millas al norte de Belice. El capitán se emborrachó y Keith asumió el mando siendo su mayor problema mantener a la tripulación lejos de los barriles de whisky. Cuando amaneció trataron los hombres de bajar los botes, a lo cual se opusieron Keith y los capataces a punta de revólver y los obligó a trasladar parte del cargamento de proa a popa y a tirar parte de él por la borda. Así logró sacar el barco al salir el sol gracias a un estanco impermeable que tenía. Y de los que llegaron a Limón no más de unos veinticinco abandonaron el puerto.

El "Juan G." condujo a New Orleans el primer embarque de bananos que se hacía a aquel puerto, 250 racimos, y desde Colón y aquel puerto trajo las primeras cepas de banano que se sembraron en Costa Rica.

En un capítulo anterior quedó establecida la importancia que para la Provincia de Costa Rica tenía el llamado "Camino de Nicaragua" y el de su complemento natural el "Camino de Panamá," únicas vías de comunicación por tierra permitidas por el gobierno español para el intercambio comercial con los otros territorios dependientes de la Audiencia de los Confines, con sede en Guatemala, y con Panamá. Además era la vía de acceso permitida para el puerto de Omoa en Honduras, obligatorio para nuestras relaciones comerciales con España. Por otra parte, el mejor clima de nuestra costa del Pacífico, su topografía más favorable, su menor distancia al Valle Central, su agricultura más desarrollada y su mayor población eran motivos suficientes para hacer más fácil esta ruta y su buen mantenimiento y más deseable la existencia para hacer más fácil esta ruta y su buen mantenimiento y más deseable la existencia de un buen puerto en esa costa.

En 1561 fundó el Lic. Don Juan de Cavallón el Puerto de Landecho en la ensenada de Tivives. Seis años después el Gobernador Don Diego de Artieda habilitó el Puerto de "La Caldera." Por Real Cédula del 21 de setiembre de 1814 fué habilitado el Puerto de Puntarenas para el comercio de la provincia, aunque hacía cerca de diez años que prestaba servicio como tal, ó sea desde que fué abandonado el de Caldera. En 1834 el Presidente Gallegos decretó el abandono de Puntarenas con el propósito de habilitar nuevamente el de Caldera, "por cuanto la población de Puntarenas se halla amenazada por su localidad del inminente peligro de una inundación, como otras veces ha sucedido." Poco tiempo después don Braulio Carrillo habilitó de nuevo Puntarenas y en 1847 fué declarado puerto franco.

El 24 de julio de 1854 el Congreso aprobó un contrato con Don Ricardo Farrer para construir "un camino de fierro" de San José a Puntarenas y tres años más tarde, el 12 de noviembre de 1857, quedó listo el trayecto de Puntarenas a Barranca y fué ampliada la concesión Farrer a efecto de proseguir los trabajos hacia el interior. El primer trayecto de ferrocarril de Puntarenas a Barranca, de nueve millas de largo posee algún valor histórico tanto por ser el comienzo de la obra trascendente que habría de construirse casi cincuenta años más tarde, como por constituir el primer ferrocarril tendido en Centro América, con la salvedad de que los trenes no eran halados por locomotoras a vapor sino por mulas ó burros, razón por la cual nuestras gentes lo bautizaron jocosamente con el nombre de "Burrocarril."

A fines de marzo de 1858 llegó a Costa Rica el notable escritor francés Don Felix Belly que muy bellas páginas escribió acerca de esta tierra y a mediados del mes siguiente fué invitado por Don Juan Rafael Mora a formar parte de su comitiva oficial para una celebración en Puntarenas. Al hacer des-

pués el relato del viaje escribió la siguiente página acerca de aquel remedo de ferrocarril que no acier-to a dejarla en el olvido.

"Esparza se había embanderado, preparando sus cañones para recibir al presidente. Allí como en Alajuela no faltaban banderas francesas, por un detalle del camino me pareció encantadora esta última etapa. Apenas habíamos caminado una legua más allá de Esparza, pasando por bosques de mimosas, palmeras y ébanos, cuando llegamos frente a unos grandes edificios bonitos, en la ribera del más ameno de los ríos. Allí había todo un pequeño mundo industrial: un aserradero mecánico, una vasta explotación de maderas y un pequeño ferrocarril, todo dirigido por algunos ingleses. El ferrocarril iba hasta Punta Arenas en línea recta como una flecha por entre los árboles tupidos de una selva virgen, asombrada de ver a este nuevo huésped. Nada más modesto ni más primitivo que la instalación de esta vía. Ni estación terminal, ni estaciones intermedias, ni empleados especiales. Una trocha de dos metros de ancho y tres leguas de largo abierta en la selva, dos rieles puestos sobre troncos de árboles sin desbastar, unos cuantos puentecillos de madera cuyas tablas no ajustaban, y media docena de coches ómnibus provistos tan sólo de bancos y cubiertos de un techo de madera barnizada. Las necesidades del servicio no exigían la locomotora, porque este pedazo de vía sin salida no podía contar con una gran circulación de viajeros. Aparte de la explotación de la madera que se sacaba por ella, tan solo se empleaba para trenes de excursiones ó de cazadores. Sin bajar del ómnibus se podían matar venados."

Semejante "burrocarril" pudo tener mucho de romántico; pero nada de práctico y desde su inauguración estuvo condenado al fracaso y pronto desapareció de la escena. Tuvo sin embargo el privilegio de ser el primer paso hacia la construcción del ferrocarril a Esparza contratado por el Ministro Don Manuel Argüello Mora con los Señores Mayers y Clark el 20 de abril de 1882 é inaugurado el 1 de diciembre del año siguiente. La obra más útil é importante de este trayecto lo es sin duda el puente de hierro sobre el Río Barranca.

En relación con estas obras mencionadas no he podido hallar los nombres de los ingenieros que en ellas intervinieron, si es que alguno lo hubo. Una vez más se cumple el dicho de que los ingenieros estamos para las duras, pero no para las maduras!

La idea del ferrocarril siguió latente; pero las dificultades económicas impedían su realización. Mientras tanto se estudiaban las posibles rutas como la de Esparza, — San Ramón — San José y la de Esparza — Orotina — San José y se discutía si la estación terminal debía estar en Puntarenas, Caldera ó Tivives. De manera especial fué estudiada la sección Orotina — Jesús María — Caldera — Boca Barranca — Roble — Puntarenas, que fué la adoptada en definitiva, la cual incluía además el paso desastroso por la orilla del mar en la roca de Carballo, el túnel de este nombre y el cruce del Río Barranca contiguo a su desembocadura.

Así llegamos al año 1895.

Fueron necesarias la mente clara y la mano enérgica del Presidente Don Rafael Yglesias Castro para que se salvaran todos los obstáculos y se firmara la Ley No. 83 del 29 de julio de 1895 que impuso orden en el caos existente y ordenó la inmediata construcción de una línea de Ferrocarril al Pacífico "... que llevara riqueza y prosperidad a muchos de los más feraces, sanos y poblados distritos de la República; que trajese consigo el abaratamiento seguro de los artículos de primera necesidad, que ensanchara los horizontes de nuestro comercio y que viniese a establecer una competencia hoy por todos considerada indispensable, con la empresa del Ferrocarril del Norte."

Desde ese momento no se dió punto de reposo el dinamismo de Don Rafael y para comenzar puso a trabajar una comisión integrada por el Dr. Calnek, el Dr. Echeverría, el Ingeniero Don Luis Matamoros, los Capitanes Náuticos Pearce y Fradin, los agricultores Don Mariano Carazo y don José Quirós, y el dibujante Don Francisco de la Paz, a fin "de que estudiaran la ruta y determinaran el lugar más aparente para el servicio del puerto."

El Ing. Kurtze había ya señalado a Caldera como punto terminal en 1866. Ahora el Ing. Don Alberto González Ramírez, asistido por los ingenieros Don Daniel González Viquez y Don Manuel E. Vázquez, indicaba que el punto terminal debía ser Tivives. El Congreso se decidió por este último proyecto al aprobar el contrato suscrito entre el Secretario de Fomento, Doctor Don Juan José Ulloa Giral, y Mr. William Lynn, como personero de la firma J.M. Casement. El 22 de setiembre de 1897 se iniciaron los trabajos con la primera palada que los contratistas dieron en un lugar al sur de San José.

En su mensaje final al Congreso pudo escribir Don Rafael que ya los trabajos llegaban hasta Río Grande, lo cual quiere decir que había sido montado el puente sobre el río de ese nombre, obra de ingeniería la más importante de todo este ferrocarril. La estructura por el Ingeniero Wilcox, de la misma fábrica. Don Rafael agregó también que en la sección de Río Grande a Santo Domingo de San Mateo, se estaba trabajando en la trocha y que de allí a Tivives nada se había avanzado.

En su mensaje del 1 de mayo de 1903 el Presidente Don Ascensión Esquivel anunció la rescisión del contrato con Casement al llegar el ferrocarril a Orotina, antes llamada Santo Domingo de San Mateo, y en las postrimerías de su gobierno se autorizó la construcción del ramal Alajuela — Ciruelas. Su trazado estuvo bajo la dirección del Ingeniero Don Luis Matamoros asistido por los Ingenieros Don Luis N. Fournier, Don Miguel Molina, Don Arturo Quirós y Don Guillermo Villegas.

Por ley del 31 de mayo de 1904 decidió el Congreso que el puerto terminal para el ferrocarril fuera Puntarenas y no Tivives, con lo cual se continuaron los trabajos de Orotina hacia el oeste, abandonado la sección de trocha ya adelantada entre Cascajal y

Las Huacas, rumbo a Tivives. El 4 de setiembre de 1908 el Presidente González Víquez celebró un contrato con Mr. Warren H. Knowlton, de New York, para la construcción del sector entre Cascajal y El Roble.

Esta contratación tuvo por base un informe presentado por Mr. Knowlton a la Secretaría de Fomento el 22 de abril de 1908 que pocos años después trajo al ferrocarril grandes angustias y pérdidas económicas millonarias. El informe de Knowlton da algunas razones muy discutibles para rechazar el proyectado desvío de Cascajal a Esparza y aboga decididamente por la ruta Jesús María—Cambalache—Caldera, y bordeando la roca de Carballo, y un puente sobre el Río Barranca en su desembocadura al mar, llegar a El Roble. Garrafal error fué el trayecto Caldera—Boca de Barranca como bien lo probaron las marejadas y temporales de 1921 que obligaron a afectar constantes y costosos trabajos para mantener abierto el tráfico de trenes y que destruyeron el magnífico puente de Boca de Barranca, por la mala construcción

de sus bastiones, como bien claro lo dijo el General Don Juan Bautista Quirós en una memoria presentada: “. . .Preveíase ya el desastre desde que se desquició la estructura de hierro con motivo del falseamiento que sufrieron los cilindros de cemento que soportaban el peso, debido a que no descansaban en suelo firme, sino sobre la capa de arena movediza del lecho del río. Cabe, pues, la responsabilidad de este desastre en primer término al contratista de la construcción Mr. Knowlton.” Más claro no canta un gallo! Todos esos males tuvieron un feliz término con el desvío de la roca de Carballo por el Km. 98 y el puente sobre el Río Barranca en la vieja ruta Esparza-Puntarenas. Este desvío fué proyectado y llevado a cabo por los Ingenieros Don Federico y Don Jaime Gutiérrez Braun y Don Vicente Gregg.

El Ferrocarril al Pacífico fué inaugurado el 23 de julio de 1910 durante la primera administración del Lic. Don Ricardo Jiménez Oreamuno.

# DISEÑO DE TUBERIAS DE VAPOR

Ing. Eduardo Castresana Chaves

## Cálculos de Tuberías de Vapor

Uno de los aspectos más importantes para el diseño de tuberías de vapor lo constituye las velocidades recomendadas en las diferentes aplicaciones. Ver Tabla No. 1

## Pérdidas de Presión

Ejemplo: si se tiene que diseñar un sistema de tuberías cuya presión en la caldera es de 135.3 psig y el consumo de vapor es de 10.350 lbs/hr. y se debe determinar cuál es el diámetro de tubería más apropiado, se procede de la siguiente manera:

- De la Tabla No. 1 se escoge la velocidad recomendada según el equipo a suplir que en este caso supondremos es 10.000 F.P.M.
- Al no conocer por el momento el largo de la tubería procederemos a hacer un estimado del diámetro de la misma utilizando la siguiente fórmula.

$$d = \sqrt{\frac{3.056 \times w \times v}{V}} = \quad (1)$$

donde d = diámetro aproximado de la tubería pulg.  
w = libras de vapor por hora en la tubería lb/hr.  
v = volumen específico del vapor a la presión y

temperatura especificadas pie<sup>3</sup>/lb.  
V = velocidad recomendada del vapor en la tubería pies/min.

De nuestro ejemplo:

$$(1) \quad d = \sqrt{\frac{3.056 \times 10.350 \times 3.015}{10.000}} = 3.09''$$

suponemos 4"  $\varnothing$   
para mayor seguridad

Hemos asumido en nuestro caso vapor saturado por ser lo más común. Por tanto, si la presión en la caldera es 135.3 psig, la presión absoluta será 135.3 + 14.7 = 150 psig y de las tablas de vapor saturado a 150 psig v = 3.015 pie<sup>3</sup>/lb aproximadamente. Si el vapor fuese sobrecalentado, se buscará el volumen específico en la correspondiente tabla termodinámica y se aplica a la ecuación (1).

- Costo aproximado de instalación. El cálculo anterior es de vital importancia por cuanto nos permite conocer muy aproximadamente el diámetro de la tubería en la etapa inicial — que es precisamente — lo que nos permite calcular los costos de instalación sin necesidad de efectuar todos los cálculos en detalle y haciendo caso tan solo de los esquemas iniciales de diseño.

- d) Efectuado el diseño en detalle se procede a calcular la longitud equivalente de la Tabla No. 2.

Si por ejemplo tenemos los siguientes accesorios en el sistema y utilizando la Tabla No. 2.

	Longitud Equivalente	Total
1 válvula de compuerta	3 pies	3
4 codos tubería	12 pies	48
1 contracción	73 pies	73
1 reducción	5 pies	5
	12 pies	12
<b>Total</b>		<b>141 pies</b>

- e) De la Tabla No. 3 se calcula la pérdida de presión. Se entra a la izquierda en el gráfico A con 135.3 psig de vapor saturado y con el flujo de vapor en el gráfico B, se determina el punto de intersección en el gráfico C y con el diámetro estimado y el número de cédula de tubería en gráfico D, se lee la pérdida de presión en gráfico E en psi/100 pies de tubería. Las pérdidas aceptables de presión en tuberías de vapor son:

Tabla No. 4

	psi/100 pies
Vapor saturado o con calidad	1.00 - 6.00
Vapor sobrecalentado	1.00 - 9.00

En nuestro ejemplo de la Tabla No. 3 se tiene que la pérdida es 1.7 psi/100 pies de tubería. Por ser una pérdida pequeña y si los costos del material requieren reducirse se puede escoger un diámetro menor por ejemplo 3-1/2" para una pérdida de aproximadamente 3.5 psi/100 pies, pero si escogemos 3" las pérdidas aumentan a más de 7 psi/100 pies y ya estaríamos fuera de los límites aceptados.

Por consiguiente la pérdida total hasta la primera reducción es de 2.40 psig y la presión disponible a partir de este punto sería 132.90 psig.

Para vapor sobrecalentado guíese por la línea de trazos de la Tabla No. 3. Para facilitar el cálculo en instalaciones debe tenerse presente que 1 HP de vapor equivale a 34.5 lbs/hr. de vapor.

En un próximo artículo trataremos sobre diseño de tuberías de condensado.

TABLA No. 1

VELOCIDADES DE FLUIDOS RECOMENDADAS PARA TUBERIAS

Servicio	Velocidad de fluido, fpm
Tuberías principales de calderas y turbinas	6.000 - 12.000
Línea de distribución de principales de vapor	6.000 - 8.000
Ramificaciones de líneas de vapor	6.000 - 15.000
Agua de alimentación	250 - 850
Líneas de vapor de descarga y baja presión	6.000 - 15.000
Tubería de succión en bombas	100 - 15.000
Escape de Vapor	4.000 - 6.000
Servicio de suministro de aguas	120 - 300
Líneas de vapor para vacío	20.000 - 40.000
Tuberías de supercalentadores de vapor	2.000 - 5.000
Líneas de aire comprimido	1.500 - 2.000
Líneas de gas natural (a través de largas distancias)	100 - 150
Tubería de economizadores (agua)	150 - 300
Líneas de petróleo crudo (6 a 30")	50 - 350

VELOCIDADES DE VAPOR USADAS EN DISEÑO DE TUBERIAS\*

Condición del vapor	Presión del vapor psi	Uso del vapor	Velocidad del vapor fpm
Saturado	0 - 15	Calentamiento	4.000 - 6.000
Saturado	50 - 150	Proceso	6.000 - 10.000
Sogrecalentado	200 - y más	Tubería principal de calderas	10.000 - 15.000

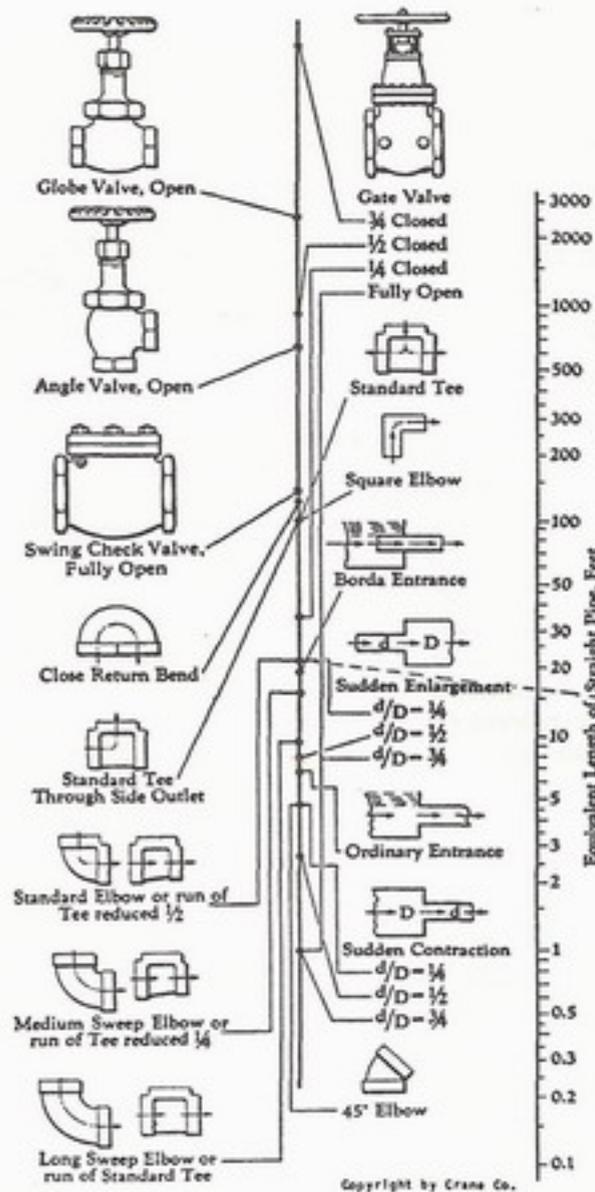
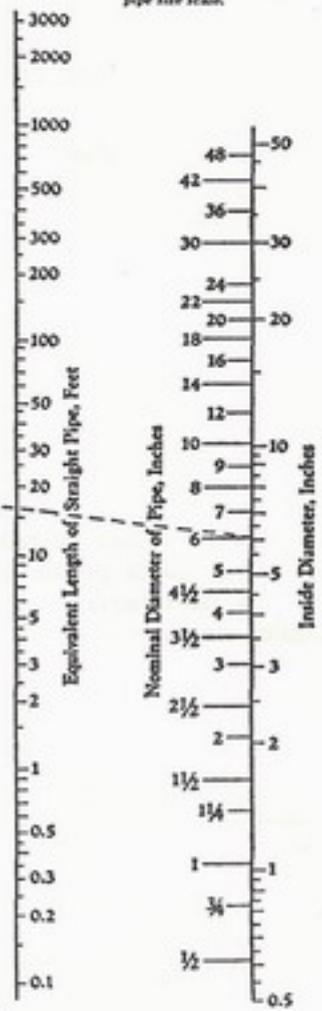


TABLE No. 2

Note: For sudden enlargements or sudden contractions, use the smaller diameter on the nominal pipe size scale.



Copyright by Crane Co.

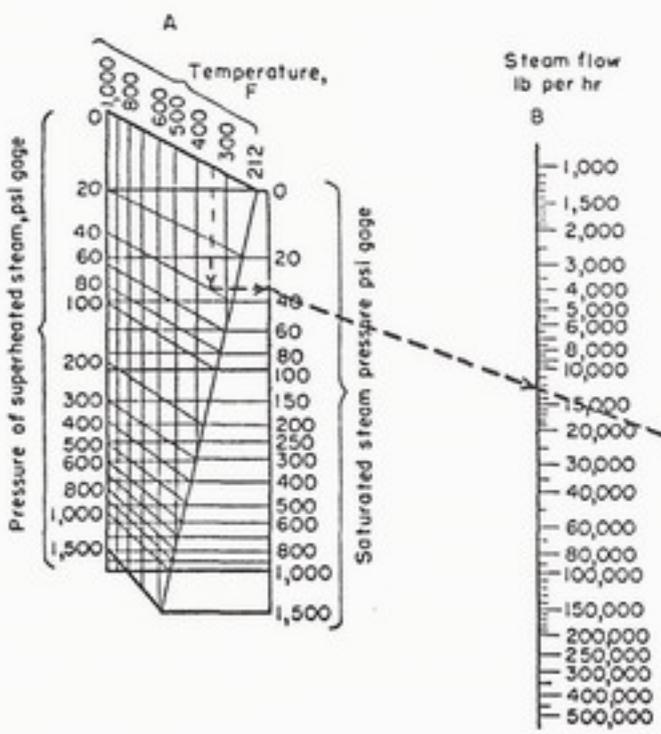
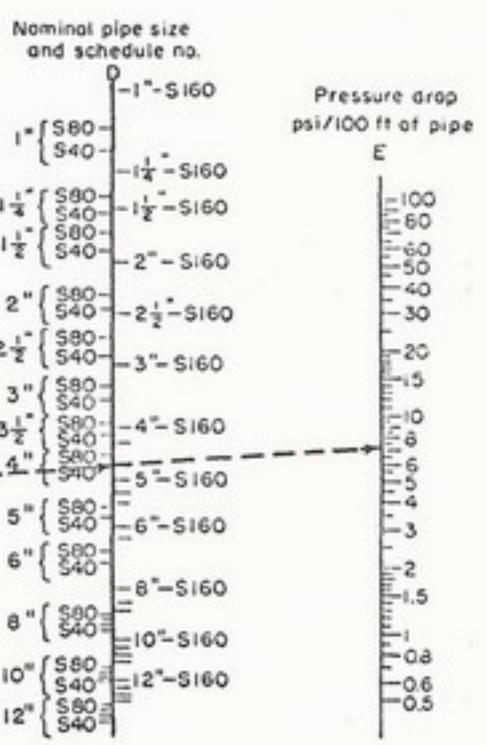


TABLE No. 3



# CONSERVACION DE ENERGIA

ING. VICTOR ML. ALFARO  
RECOPE S.A.

Los incrementos actuales y futuros en el precio de los combustibles fósiles, hacen evidente que debe tomarse una acción inmediata para reducir el consumo de éstos, sin que esto entorpezca o disminuya el ritmo de producción y expansión de las industrias así como de las demás actividades socioeconómicas del país, al mismo tiempo que se buscan nuevas fuentes de energía.

Al ritmo de explotación actual, el petróleo se agotará a corto plazo por lo que su costo y el de sus derivados continuará subiendo en forma acelerada. Es esencial que dentro de los próximos veinte años se asegure una transición suave del sistema de energía basado en combustibles fósiles a otras alternativas energéticas mejores.

Mientras se buscan nuevas fuentes de energía seguras y duraderas como una solución temporal: licuefacción y/o gasificación del carbón, o como una solución permanente: energía solar, eólica, geotérmica, gradiente térmico de los océanos, etc., es necesario reducir al máximo posible el uso de los derivados del petróleo, para permitir el desarrollo de estas nuevas tecnologías de transformación de energía. En un país como el nuestro en que abundan los recursos hidráulicos, es necesario acelerar el desarrollo de grandes y pequeñas centrales hidroeléctricas de manera de convertir sistemas consumidores de combustibles a consumidores de electricidad.

La Conservación de Energía es una respuesta inmediata y a mediano plazo para mitigar el impacto de los incrementos en el precio del petróleo.

La conservación de Energía comprende todas aquellas prácticas que directa o indirectamente tiendan a reducir el consumo de combustibles fósiles, materias primas y electricidad en la industria, el transporte, el comercio y el hogar.

Las mejores oportunidades de conservación de energía en la industria las presenta el mejoramiento

de los sistemas de control, principalmente en aquellas industrias en donde el costo de la energía es un alto porcentaje del costo del producto, como por ejemplo la industria del cemento, metalúrgica, química, papel y petroquímica.

La Conservación de Energía en una industria, por ejemplo, no debe verse solamente como un principio de una buena administración y ahorro particular, sino que debe verse además como un aspecto de interés nacional, tarea en la cual cada uno de nosotros sin excepción puede contribuir en mayor o menor grado.

La industria de procesamiento y manufactura ofrece un rico potencial para implementar prácticas de conservación de energía. Estas prácticas deben efectuarse ordenadamente bajo un programa y objetivos establecidos y coordinados por un Grupo de Conservación de Energía.

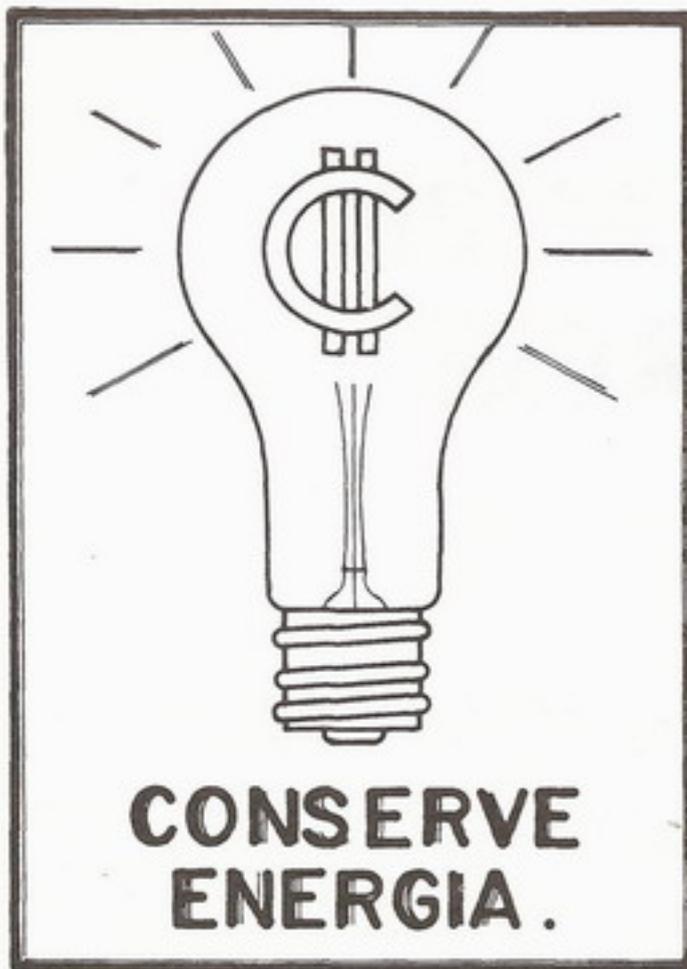
El Grupo de Conservación de Energía debe estar constituido por personal de todas aquellas áreas que se ven involucradas en el problema energético y dentro de sus atribuciones y obligaciones están el realizar un estudio para establecer las áreas donde se pueden reducir o eliminar las pérdidas de energía, el establecer un flujo de información desde el Grupo hacia los empleados por medio de publicaciones periódicas fomentando el ahorro de energía, el implementar prácticas de operación y mantenimiento para un mejor uso de la energía y sugerir cambios o modificaciones al equipo y sus controles que conlleven una optimización del consumo de energía.

El primer paso en la implementación de un Programa de Conservación de Energía en las Plantas existentes, debe ser la identificación de los lugares donde es derrochada esta energía, para lo cual será necesario obtener más y mejores medidas de las condiciones del proceso, deberán establecerse balances de energía y determinarse la eficiencia de los equipos.

Existen varias acciones inmediatas para eliminar el desperdicio de energía las cuales comprenden programas educacionales, controles administrativos tendientes a reducir los niveles de iluminación, descon-

---

NOTA: Este artículo fue escrito cuando el autor trabajaba en FERTICA, S.A.



ción de equipo que no está en uso, etc., y mejoramiento del mantenimiento, lo cual se puede realizar paralelamente a la obtención de información para las acciones posteriores.

Deben considerarse después, las soluciones de ingeniería tendientes a reducir y/o a optimizar el uso de la energía, las cuales pueden incluir cambios de materiales o proceso, instalación de sistemas de recuperación de calor y rediseño o modificación de los equipos y controles existentes.

Aparte de las prácticas de acción inmediata tendientes a frenar el desperdicio, las cuales requieren poca inversión y más que todo promueven un cambio de actitud del personal concientizándolo sobre el problema y estimulándolo a poner en práctica en todas sus actividades acciones tendientes a disminuir el consumo de energía, el área que presenta mayores oportunidades de ahorro de energía es el control de procesos.

El mejoramiento de los sistemas de medición y control en las plantas de proceso permite optimizar el funcionamiento de los diferentes equipos justificando su inversión por el ahorro obtenido.

Es importante hacer notar que el común denominador en cualquier esfuerzo de conservación de energía es la gente. Debe ponerse énfasis en el desarrollo de actitudes positivas, en proveer un entrenamiento adecuado para lograr buenas prácticas de operación y dar una atención apropiada al mantenimiento e inspección de los equipos.

A continuación se presentan una serie de medidas y acciones de entre las muchas que se pueden tomar en la industria y el comercio, las cuales variarán de a-

uerdo a las actividades y procesos de cada compañía.

1. Reparar las trampas de vapor defectuosas.
2. Eliminar las pérdidas de vapor.
3. Reparar el aislamiento dañado.
4. Eliminar el exceso de aire en calderas y quemadores.
5. Minimizar el uso de agua de enfriamiento.
6. Mantener limpias las paredes de los intercambiadores de calor.
7. Recuperar y usar el vapor venteado.
8. Sustituir el uso de vapor vivo por calentamiento indirecto.
9. Instalar economizadores en calderas y quemadores.
10. Reparar el refractorio de calderas y quemadores.
11. Incrementar el aislamiento.
12. Eliminar el sobre enfriamiento.
13. Eliminar el sobre calentamiento.
14. Mejorar la recolección de condensado.
15. Eliminar pérdidas de aire y agua.
16. Optimizar el tamaño de las líneas de distribución de vapor.
17. Maximizar el uso de intercambiadores de calor.
18. Maximizar el equipo de recuperación de calor desechado.
19. Localizar y reparar los derrames en todos los sistemas de tubería.
20. Reducir la presión del aire comprimido al mínimo requerido.
21. Mejorar la eficiencia de las calderas usando un mejor tratamiento del agua.
22. Aislar las líneas de retorno de condensado.



23. Precalentar el aire de combustión con los gases de chimenea en las calderas.
24. Dar prioridad a equipos de gran eficiencia energética.
25. Revisar las normas de aislamiento.
26. Eliminar el uso de equipo no esencial.
27. Realizar revisiones del uso de la electricidad - carga de motores, factor de potencia, iluminación, etc.
28. Mejorar el factor de potencia con capacitores.
29. No sobredimensionar los motores eléctricos.

30. Cortar cargas no críticas cuando el equipo de producción requiere potencia máxima.
31. Verificar cualquier caída excesiva de voltaje en el sistema de distribución eléctrica.
32. Operar las bandas transportadoras solamente cuando se necesite, no continuamente.
33. Colocar rótulos de "Desconecte cuando no se necesite", en los interruptores de iluminación y equipos.
34. Apagar todos los anuncios luminosos.
35. Reducir la iluminación en los corredores.
36. Utilizar un control automático de demanda eléctrica.
37. Reemplazar luces incandescentes por fluorescentes.
38. Eliminar la luz exterior decorativa que no se requiere para propósitos de seguridad.
39. Reducir los picos de demanda de potencia eléctrica.
40. Incorporar la economía de combustible como un criterio importante en la selección de automóviles.
41. Reducir el uso de vehículos y equipos.
42. Reducir la velocidad de los vehículos.
43. Fomentar el uso de sistemas colectivos de transporte.
44. Limitar la velocidad máxima de los vehículos a 80 km/h.
45. Reducir la iluminación a normas de seguridad aceptables.
46. Apagar luces, máquinas de escribir, calculadoras, etc, cuando no están en uso.
47. Reducir el uso del aire acondicionado.
48. Controlar la iluminación externa con fotoceldas.
49. Estimular a los empleados para participar y entender la necesidad de la conservación de energía.

50. Estimular las actividades fuera del trabajo para reducir el consumo de energía, particularmente en la casa.
51. Distribuir guías a los empleados para conservar energía.
52. Medir la iluminación existente y comparar con la iluminación requerida para la función del área.
53. Reducir la temperatura del agua caliente.
54. Limitar el uso de elevadores.
55. Aprovechar al máximo la luz solar para iluminación.
56. Incrementar el mantenimiento de carros y camiones.
57. Utilizar en los quemadores el aceite de lubricación desechado.
58. Mantener limpios los filtros de aire.
59. Publicar los problemas energéticos, sugerencias de conservación y logros de los programas en comunicaciones internas.
60. Revisar los métodos de producción, horas de trabajo, prácticas de mantenimiento, etc.
61. Establecer inspección de los sistemas de vapor, aire, agua y combustible para detectar, marcar y corregir los derrames.
62. Mantener registros del consumo de energía.
63. Analizar la eficiencia de las calderas.
64. Revisar los procedimientos de verificación de los consumos de energía.
65. Colocar avisos recordando a los empleados la conservación.
66. Utilizar la cogeneración.
67. Optimizar la distribución de carga en las calderas.
68. Revisar y calibrar todos los sistemas de control.
69. Reemplazar equipo viejo ineficiente.
70. Usar bombillos de iluminación de menor potencia.



#### REFERENCIAS

- 1.- Balzhizer, R.E. - "Energy options to the year 2.000" *Chemical Engineering*, Vol 84, No1, Enero 3, 1977.
- 2.- Fleming, J.B., Lambix, J.R. y Smith, M.R. - "Energy Conservation In New - Plant Design" *Chemical Engineering*, Vol 81, No.2, Enero 21, 1974.
- 3.- Kanewshe, F.J. y Davidson, B.G. - "People power saves plant energy" *Hydrocarbon Processing*, Agosto 1978.
- 4.- Magnuson, W.G. - "Industry efforts in Energy Conservation" *Committee on Commerce, United States Senate*, Oct. 1974.
- 5.- Mergens, E.H. - "How Sheel Oil conserves energy" *Hydrocarbon Processing*, Julio 1977.
- 6.- Read, R. - "An Energy program that works" *Instruments and Control Systems*, Vol 51, No.6, Jun, 1978.
- 7.- Robertson, J.C. - "Energy Conservation In Existing Plants" *Chemical Engineering*, Vol 81, No.2, Enero 21, 1974.

# EL NACIMIENTO DE LA ARQUITECTURA MODERNA

Por Peter Blake

Los principios fundamentales de la arquitectura del siglo XX, escribe un connotado crítico y arquitecto, fueron sentados por tres maestros: Le Corbusier, Mies Van der Rohe y Frank Lloyd Wright. Pero, añade, ya pasó el tiempo de las figuras heroicas. El desafío a que se enfrenta la presente generación de arquitectos radican en usar las nuevas tecnologías y los nuevos conceptos del diseño para crear paisajes urbanos coherentes y que respeten la escala humana.

Peter Blake fue durante 10 años director del Architectural Forum, la publicación más importante de los Estados Unidos en materia de arquitectura. Fue curador de arquitectura y diseño industrial en el Museo de Arte Moderno de Nueva York. Su libro *The Master Builders* (Maestros Constructores) ha sido ampliamente aclamado como una de las obras más importantes dentro del movimiento de la arquitectura moderna.

La manera en que los hombres construyen no había sufrido nunca, en la historia conocida de la arquitectura, cambios tan radicales como los ocurridos durante el siglo pasado. Bajo la presión del tremendo crecimiento demográfico, se han producido nuevos acontecimientos en casi todos los campos del conoci-

miento humano, pero en ninguno de ellos han sido tan espectaculares como en la arquitectura.

Debido a que cada día había más y más gente necesitada de habitación y empleo en los grandes centros urbanos, los constructores tuvieron que aprender a construir verticalmente. La tecnología proporcionó don armas esenciales: los edificios con estructura de acero, que podían elevarse a gran altura sin requerir muros enormemente gruesos al nivel del suelo, y el elevador mecánico. Debido a que cada día era mayor el número de artículos que entraban a la producción en serie, los constructores tuvieron que aprender a techar grandes espacios con tramos ininterrumpidos, y de nuevo la tecnología proporcionó la respuesta en términos de grandes naves de acero y cristal y, más tarde, en términos de enormes bóvedas de concreto armado. Y ya que transportes y vías de comunicación se convirtieron en herramientas esenciales sin las cuales una sociedad de masas no podía esperar funcionar apropiadamente, los constructores tuvieron que aprender a construir grandes puentes y viaductos, canales, muelles y grandes cobertizos para ferrocarriles.



De hecho, la mayoría de los tipos de construcción que ahora son parte de nuestra vida ni siquiera existían antes de 1850. La fábrica moderna, el moderno rascacielos, los centros comerciales, las escuelas modernas y los modernos hospitales. . . todos ellos son inventos completamente nuevos sin casi ningún precedente que pueda datarse antes de la mitad del siglo XIX.

#### UN NUEVO VOCABULARIO

Pero ¿en qué parte de la Edad Media o del Renacimiento existía el precedente de un rascacielos? ¿Dónde se encontraba el antecedente de un taller siderúrgico o de un cobertizo para ferrocarriles? Algunos arquitectos evadieron el asunto diciendo, así como así, que esos nuevos tipos de edificios pertenecían al campo de la ingeniería más que al de la refinada arquitectura. Otros trataron de adaptar los modelos eclécticos para que estuvieran acordes con las nuevas fachadas. . . y fallaron. Y hubo unos pocos —muy pocos— que se enfrentaron abiertamente a los nuevos problemas y vieron en ellos un gran reto a su talento creador. Esos cuantos ingenieros y arquitectos desplegaron una inventiva sin paralelo en ningún otro periodo de la construcción. En el curso de una sola generación, ese puñado de precursores creó, de hecho, un vocabulario totalmente nuevo para los nuevos tipos de construcción y dio a cada uno de esos tipos de edificios su propio rostro, distintivo y expresivo.

Esos hombres son ya parte de la historia de la arquitectura: Louis Sullivan, el arquitecto de Chicago que, casi sólo, hizo el rascacielos arquitectura; Joseph Paxton, el diseñador de jardines, que construyó el London Crystal Palace en 1851 —una sala de exhibi-

ciones que ocupa un terreno de alrededor de siete hectáreas— y otros antes y después de él en Inglaterra, Francia, Alemania y los Estados Unidos, que crearon las primeras grandes estructuras de acero y vidrio. Y, finalmente, los teóricos y los prácticos que valiéndose del metal, el vidrio, y la piedra reafirmaron ciertas cualidades de la estructura simple y la forma sin adornos. Todos ellos sentaron las bases de lo que ahora se conoce como arquitectura moderna.

Sin embargo, a pesar del espíritu de los tiempos, a pesar del atrevimiento de los ingenieros y la visión de aquellos arquitectos que rompieron con el pasado, la arquitectura moderna no habría llegado más allá de las soluciones puramente utilitarias si no hubiese aparecido, a fines de siglo y en la década siguiente, una media docena de artistas que supieron instintivamente lo que tenían que hacer con las nuevas herramientas que poseían.

En mi libro *Maestros Constructores* estudio a tres de los integrantes de ese pequeño grupo: Charles Edouard Janneret, más conocido como Le Corbusier, nacido en Suiza y, más tarde, ciudadano francés por naturalización; Ludwig Mies van der Rohe, nacido en tierras del Rin, en Alemania, quien adoptó la ciudadanía estadounidense, y Frank Lloyd Wright, un norteamericano de ascendencia galesa. Esos tres artistas no lo hicieron todo solos; en realidad hubo otros que pueden haber contribuido mucho más en ciertos aspectos de la arquitectura moderna. Walter Gropius, que fuera director de la escuela Bauhaus de Alemania durante la década de 1920, para convertirse después en director de la Escuela de Arquitectura de la Universidad Harvard, ciertamente hizo más por el establecimiento de una moderna *rationale* —en la enseñanza de la arquitectura, en la industrialización de la construcción y en el análisis de los problemas sociales— que

ninguno de los tres maestros. Eric Mendelsohn, Alvar Aalto, Richard Neutra y otros, inventaron soluciones de naturaleza mucho más práctica que las de los tres hombres que hemos mencionado, y hubo ingenieros como Robert Maillart, Eugene Freyssinet y Pier Luigi Nervi, que comprendieron mucho mejor las potencialidades de todas las nuevas técnicas estructurales que los maestros examinaron tan a la ligera y con las cuales experimentaron de manera tan primitiva, sin llegar a ahondar en ellas.

## VISION POETICA

Sin embargo, Le Corbusier, Mies y Wright resultarán, en última instancia, más importantes que sus contemporáneos porque eran superiores como artistas. *Los tres tenían una cierta visión poética del mundo* en que vivían y, tratando de dar forma a esa visión, frecuentemente avanzaron más y con mayor audacia que sus colegas más razonables, que se veían impedidos por las limitaciones más prosaicas del momento. Muchos de los primeros techos planos de Wright, se goteaban; lo mismo, supuestamente, pasó con Chartres. Mucho del concreto de Le Corbusier se ha agrietado, lo mismo que el Partenón. Los edificios de Mies van der Rohe, se dice, no siempre son cómodos, tampoco lo era la Villa de Adriano. Los grandes edificios suelen tener varias vidas; la primera vida comienza al terminarse de construir el edificio, su éxito o fracaso se juzga entonces en relación con su funcionamiento. La segunda vida empieza una o dos generaciones más tarde, cuando ya nadie recuerda si el edificio servía especialmente bien en términos de presupuesto, comodidad o planeación. A partir de entonces se le ve sólo como obra de arte. . . buena, mala o regular.

La mayoría de los edificios proyectados y construidos por Le Corbusier, Mies y Wright todavía tienen que completar su primera vida. La gente todavía los ve en términos de lo que cuestan, si funcionan bien o mal, si son demasiado fríos o calientes. . . en pocas palabras, si los techos se gotean o no. Seleccionar a esos tres hombres y llamarles los arquitectos más notables de su época sería muy arriesgado. Sin embargo, existe una medida que puede aplicarse para aquilatar la grandeza de un artista, aun mientras vive, y consiste en preguntar qué tanto ha influido sobre sus contemporáneos, qué tan visible es la huella que ha dejado en su época.

El hecho es que virtualmente ninguno de los edificios construidos hoy en día tendría el aspecto que tiene, de no ser por el trabajo de alguno de estos tres hombres. ¿El edificio Lever House de Manhattan? Los peraltes son de Le Corbusier y los muros de cristal de Mies. ¿El edificio de la sede de las Naciones Unidas? Inconcebible sin Le Corbusier, aunque

él no haya tenido participación directa en el diseño original. ¿El edificio del Centro Técnico de la General Motors, en Detroit? Claramente una elaboración sobre los trabajos de Mies van der Rohe. ¿Las estructuras curvilíneas con forma de concha que aparecen por todas partes? Obviamente una nueva interpretación de los conceptos de Frank Lloyd Wright acerca de la "plasticidad" y la "continuidad" o sea, el desarrollo de la fluidez en espacios y estructuras. ¿Las espaciosas casas de un piso con profundos aleros en los techos y grandes áreas encristaladas? Estas también son producto del trabajo de Wright.

Le Corbusier, Mies y Wright, con sus muy diferentes personalidades y orígenes culturales, representan las principales tradiciones del mundo occidental: Le Corbusier es el heredero de la tradición clásica del Mediterráneo; a Mies le gusta hacer referencia a la poesía estructural de la tradición gótica, y Wright fue el eterno anarquista, el defensor de la libertad absoluta, el heredero del ideal de los Estados Unidos de la Revolución.

Las experiencias personales que dieron forma a esos hombres y lo que sus tradiciones e ideales hicieron para dar forma a su trabajo van más allá de la arquitectura pues, para ellos, la arquitectura fue sólo el lenguaje que usaron para expresar sus anhelos de un mundo mejor. Los tres, en un momento u otro, fueron alcanzados por la política del siglo XX pero, de algún modo, ese es un asunto que parece insignificante, visto bajo las luces de la más amplia visión que animaba el trabajo de estos arquitectos. La historia del arte la escriben los artistas, no las "fuerzas". No existe ninguna "fuerza", ya sea económica, sociológica, tecnológica, capaz de crear la capilla de Ronchamp, de Le Corbusier, el Pabellón de Barcelona, de Mies, o el Taliesin West, de Wright. Y no existiría la arquitectura moderna, tal como la conocemos, sin los actos individuales de creación representados por esos grandes edificios.

## LA FUTURA FORMA DE LA ARQUITECTURA

El futuro de la arquitectura, sin embargo, no solamente recibirá su forma de hazañas personales de ese tipo, sino también de ciertos requisitos que hasta el más creador de los artistas debe satisfacer. Son hechos relacionados con la tecnología, las condiciones políticas, los censos de población y las realidades del desarrollo urbano y suburbano. El primero —relacionado con la tecnología— es que las estructuras de acero o de miembros de concreto van a continuar en uso, porque el procedimiento es eficaz, económico y fácil de armar. En pocas palabras, es seguro que la jaula rectangular refinada por Mies, sin importar qué tan limitativa pueda parecer a quienes están interesados en expresiones más esculturales, gobernará las formas de la mayoría de los edificios por muchos años.

Es muy posible que esa jaula de metal sea revestida con nuevos materiales que a su vez originen nuevos diseños. Por ejemplo, nuestra preocupación con la cubierta completa de cristal raya a veces en lo ridículo. Algunos arquitectos han llegado a levantar edificios enfundados en tres o cuatro capas de cortinas, siendo de cristal la cortina interior y las adicionales de varias complicadas martingalas destinadas a servir como aislantes en contra del calor, el brillo o los mirones. De hecho, para cuando el muro de cristal llegue a ser funcional, quizá se le hayan añadido tantas cubiertas adicionales, que su grosor total sea mayor que el de las murallas de Jericó. Afortunadamente, el edificio puro, envuelto en prístinos cristales, probablemente permanecerá con nosotros por mucho tiempo. Pero más vale que la tecnología encuentre maneras bastante más satisfactorias de hacerlo funcionar.

## LA GENTE Y LAS CIUDADES

El siguiente hecho que, en el futuro, ha de gobernar la formas de la arquitectura por muchos años, está relacionado con la estadísticas de población. El desparramamiento suburbano que rodea a la mayoría de las ciudades de los E.U.A., y a muchas ciudades europeas, está demostrando rápidamente la locura de la construcción y la planificación horizontal. En los Estados Unidos, un suburbio típico tiene una densidad de 4 ó 5 familias por acre (poco más de 40 hectáreas), el plan de Wright para la ciudad ideal, que él llamaba "Broadacre City", aboga por algo así como una familia por acre, lo cual está más cercano a la densidad de una aldea que a la de una ciudad. Por otra parte, la densidad de los nuevos edificios verticales de departamentos de Nueva York y de otras ciudades llega a 400 ó 500 familias por acre, y está aumentando.

Frank Lloyd Wright: Museo Guggenheim, Nueva York.



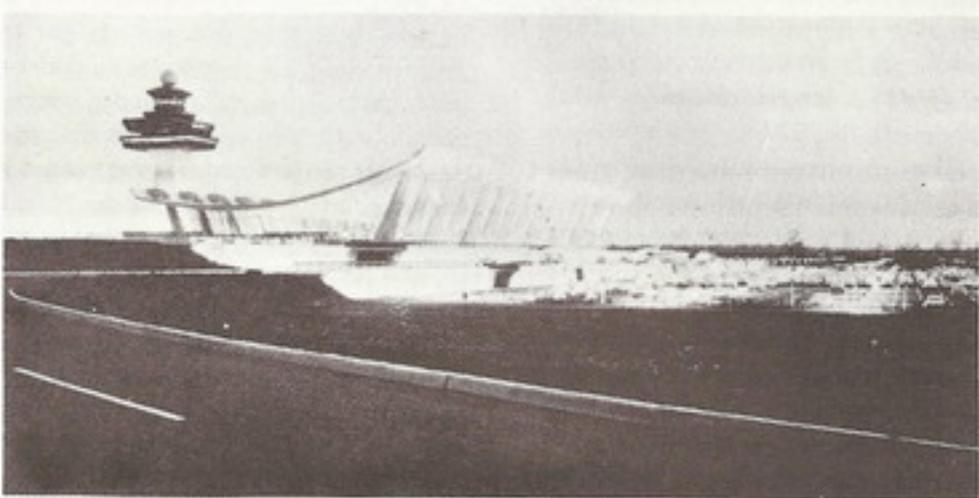
Ninguno de esos dos extremos tiene sentido. El desparramamiento suburbano ha envuelto de tal manera a todas las ciudades de los Estados Unidos, que muy pocos de entre los ciudadanos pueden salir a campo abierto y sin adulteraciones, y el hacinamiento dentro de nuestras ciudades es tan intenso que, muchas veces, parece que la vida dentro de la metrópoli está a punto de extinguirse por completo.

En vista de esos hechos y experiencias, la única solución racional parece ser la avocada en los últimos 40 años por Le Corbusier y sus seguidores. Las densidades humanas de 400 familias por acre no son, en sí, inhumanas, siempre y cuando la distribución de altas torres en relación con los parques se maneje con una cierta imaginación.

Por supuesto, es remotamente posible que el tipo de ciudad descentralizada propugnada por Frank Lloyd Wright diera buenos resultados en aquellas partes de los Estados Unidos donde aún existe suficiente espacio, aunque de ningún modo serviría en Europa. Pero presupone dos condiciones que son dudosas, por no decir más, primero, da por sentado que a la gente no le gusta vivir en las ciudades y, segundo, que los negocios e industrias pueden operar eficientemente cuando se dividen en unidades más pequeñas. Ninguna de esas suposiciones parece tener bases sólidas en experiencias pasadas o presentes. Y cuando los que abogan por la descentralización dicen, como si tal cosa, que los transportes de alta velocidad solucionarán todos los problemas uniendo las ciudades satélites, pasan por alto el hecho de que a muchas personas les gusta vivir en las ciudades, no sólo porque todo y todos están cerca, sino porque hay en las grandes ciudades una efervescencia que es muy estimulante.

## EDIFICIOS DE "TRASFONDO" Y DE "PRIMER PLANO"

Tres notables edificios, obra de arquitectos que han aprendido de los "Maestros constructores". Abajo, Torre Klein de Biología, de Philip Johnson, en New Haven, Connecticut, y el Aeropuerto Dulles, cerca de Washington, D.C., de Eero Saarinen.



¿Significa todo esto que el futuro pertenece a Mies y a Le Corbusier? ¿Significa que las ciudades ideales del mañana serán conjuntos rectangulares de cristal, acero y losas de concreto que se alzarán dentro de un paisaje de parques? ¿Significa que el intenso esfuerzo de Wright ha vuelto a la nada?

De ningún modo. Lo que muy posiblemente suceda será lo sugerido por Paul Rudolph (que es director del Departamento de Arquitectura de la Universidad Yale, en Connecticut) cuando habla de la creación de edificios de "trasfondo" y de "primer plano". Es muy posible que la mayoría de nuestras estructuras multicelulares —edificios para oficina, fábricas, departamentos, hospitales— permanezcan como estructuras de "fondo", relativamente anónimas, simples, sin afectaciones. Esas estructuras darán forma los espacios que, a su vez, darán forma a la ciudad. Pero, dentro de los espacios creados por esos edificios de "fondo", habrá muchas estructuras de un estilo totalmente diferente; edificios que simbolizen fun-

ciones gubernamentales o alguna aspiración comunal o religiosa; edificios que requieran de grandes espacios ininterrumpidos, como son los supermercados o naves para ensamblado; edificios para esparcimiento y la educación. Muchos de esos edificios de "primer plano" requieren de un sistema estructural muy diferente de la jaula de Mies y, en muchos casos, de una expresión mucho más escultórica. Le Corbusier entendió eso muy bien cuando demostró en sus planos para una ciudad imaginativa para St. Die, en Francia, y para Chandigarh, en la India, que ciertos edificios simbólicos deben tratarse como gigantescas esculturas, formas gigantescas cuidadosamente colocadas en contraste con su neutro telón de fondo.

Y la "búsqueda de la forma", como la llamó Eero Saarinen, ya está en marcha. En esa búsqueda, la obra curvilínea de Wright deberá sugerir fascinantes posibilidades, lo mismo que las excursiones de Le Corbusier en el terreno de la plasticidad. Sin embargo, ambos insistieron siempre en decir que las nue-

vas formas eran *significativas* sólo cuando se sujetaban a ciertas disciplinas, principalmente las de la ingeniería avanzada. Pero, especialmente en los Estados Unidos, últimamente se desdeña a esas disciplinas de un modo alarmante. En nombre del simbolismo, los arquitectos han creado colosales esculturas arquitectónicas que violan no sólo todos los principios conocidos de la ingeniería, sino también todos los requisitos conocidos de la funcionalidad. Pier Luigi Nervi, el gran ingeniero italiano, hace notar que parece haber "interés anormal en la novedad y la temeridad técnica", que muchas de las formas esculturales de los techos, apoyadas sólo en dos puntos, son "absurdos estructurales que requieren de artes de prestidigitación en la construcción" y que ese tipo de cosas equivale al "desarrollo de ideas de afuera para dentro", es decir: una violación de los principios de la arquitectura orgánica, tal como ha evolucionado de los inicios del siglo hasta nuestros días.

## LA EXIGENCIA DE NOVEDAD

Uno de los verdaderos problemas es la constante exigencia de algo nuevo, en especial en los Estados Unidos. A los arquitectos que no inventan una cosa nueva cada seis meses se les considera como "acabados". De hecho, todos los artistas, en mayor o menor grado, sufren el mismo tipo de presión, una presión muy familiar en el campo de los artículos de consumo en donde el estilo debe satisfacer la demanda de nuevos modelos a intervalos regulares para mantener a los compradores comprando y a las fábricas zumbando, pero que, casi nunca antes, se había aplicado a las artes. Uno no puede por menos de recordar las grandes obras del pasado —las puertas de Ghiberti en Florencia, por ejemplo— que fueron el trabajo de toda una vida y cambiaron de un modo decisivo el curso del arte porque nacieron de una convicción *interna*, una comunicación "orgánica" entre el genio creador y el espíritu de su tiempo. En comparación, las formas oropelescas y llamativas que ahora se presentan en nombre del simbolismo y de una mayor plasticidad, parecen pertenecer más al mundo de las ventas y de la publicidad que al de la arquitectura. Cuando la novedad empiece a gastarse, y se entiendan mejor los principios de ingeniería usados por Wright y Le Corbusier, los edificios de "primer plano" producidos por las nuevas generaciones de arquitectos retornarán, sin duda alguna a las disciplinas básicas de la arquitectura "orgánica". Mientras tanto, todavía existe un problema: cómo encontrar arquitectos lo suficientemente modestos como para que quieran proyectar los edificios de "trasfondo", los edificios cuya demanda quizá sea más inmediata. Las primeras décadas del movimiento moderno tuvieron sus héroes, y el hábito de la adoración del héroe está muy arraigado. Sin embargo, los tiempos de los héroes llegan a su fin. El ver-

dadero héroe del futuro será la ciudad misma y, en última instancia, toda la arquitectura deberá subordinarse a sus exigencias.

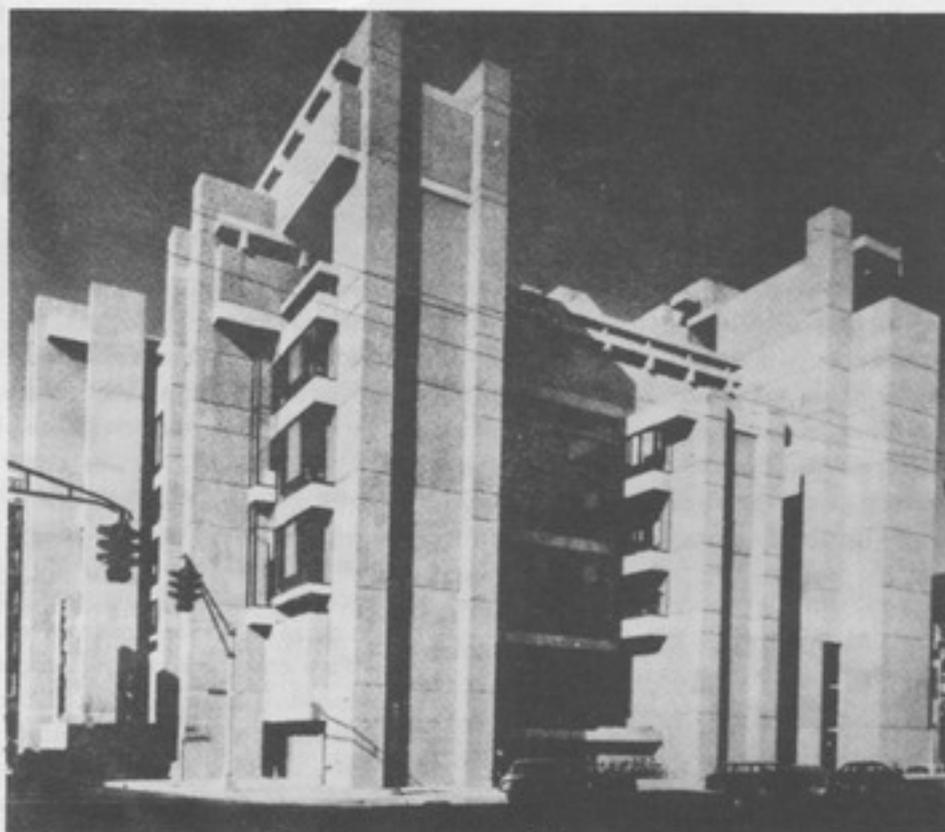
Lo que es más, ya era tiempo de que la ciudad se convirtiera de nuevo en el héroe de la arquitectura, como lo fuera en todos los grandes períodos del pasado. Ya hace varias décadas que la ciudad ha sido la víctima de exhibicionistas irresponsables —"individualistas"— que tratan de pisarse la sombra unos a otros. Es una falacia afirmar que semejante desbarajuste es una expresión de libertad; es tan sólo la expresión de la licencia de que gozan unos cuantos para imponer su vulgaridad (o, por lo menos, su enorme vanidad) a las indefensas mayorías. Una pintura puede existir en el vacío, creación de un artista solitario, que será vista y sentida sólo por él. La mayoría de los edificios no pueden hacer eso. Invariablemente repercuten en un sector de la sociedad, aunque sea pequeño. La arquitectura es un medio tan poderoso, un "persuasor" tan potente, que siempre será una fuerza en favor de algo: una fuerza en favor del orden, del caos o quizá de la más espantosa indiferencia.

Para crear una civilización coherente— y ese es su propósito— la arquitectura deberá volverse de nuevo una fuerza en favor del orden. Algunos críticos han preguntado si puede haber libertad en el orden arquitectónico. Desde luego que sí; en realidad, no puede haber libertad *sin* un orden, *sin* una ley. Los tres grandes arquitectos, que escribieran tanto de la historia de la arquitectura moderna, son sus legisladores. Crearon una serie de leyes, físicas y morales que la arquitectura no puede darse el lujo de desdeñar. Hasta Wright, el espíritu más libre de los tres, siguió un código de principios arquitectónicos tan claro y rígido como el del más riguroso arquitecto del Renacimiento.

## UNA NUEVA SINTESIS

La siguiente fase en el desarrollo de la arquitectura moderna debería ser una síntesis de todos los conceptos desarrollados por Wright, Mies y Le Corbusier, que no son tan distintos como parecían ser. El concepto que Le Corbusier tiene acerca de una arquitectura orgánica puede ser mucho más intelectual, mientras que lo que Wright pueda pensar de la misma palabra será más romántico, pero, considerando ciertas diferencias de cultura y temperamento, los ideales de ambos tienen ahora un notable parecido. Y nunca hubo, por supuesto, ningún conflicto entre Mies y Le Corbusier.

La nueva generación de arquitectos que llevará a cabo esa síntesis ya trabaja con ahínco. La mayoría de sus miembros parecen estar dominados por Mies y Le Corbusier, pero sólo superficialmente. En realidad, los principios de Wright dentro de la arquitectura moderna están siendo redescubiertos, reinter-



Paul Rudolph: *Edificio de Arte y Arquitectura, Universidad Yale.*

pretados... y modernizados. El sentido que Wright tenía de la proporción, su amor por los más pequeños detalles, su dominio de la luz y del espacio (y la armonía entre ellos), todo ello empieza a intrigar a los nuevos sintetizadores. Pero, sobre todo, se muestran fascinados por el concepto de las estructuras plásticas continuas.

Aunque Wright nunca construyó una estructura que fuese tan plástica y continua como él sabía que podía ser, reconoció la realización de ese sueño en el trabajo de uno o dos ingenieros más jóvenes. De hecho, las únicas estructuras contemporáneas que, en sus últimos años, Wright estaba dispuesto a alabar fueron las sombrillas de concreto de gran plasticidad del ingeniero español Eduardo Torroja y las estructuras hiperbolicoparaboloideas del arquitecto argentino Eduardo Catalano. Estos dos hombres, junto con el mexicano Félix Candela, el italiano Pier Nervi, el alemán Frei Otto y otros más, ejercen una creciente influencia sobre la joven generación de arquitectos. Pero, realmente, lo que están enseñando es la lección que diera Wright... modernizada, racionalizada y más práctica.

En Estados Unidos, arquitectos como el difunto Eero Saarinen, Philip Johnson y Paul Rudolph,

todavía en el ejercicio de su profesión, han sintetizado los trabajos de Wright con los de Mies y Le Corbusier. Saarinen construyó "espacios universales" al estilo de Mies, pero los cubrió con estructuras plásticas del tipo imaginado por Wright; Johnson todavía se interesa en "expresiones poéticas en la estructura" (de nuevo estilo Mies), pero la estructura se está volviendo cada día más fluida y escultórica, muy distinta de las pilastras de acero de Mies; y Rudolph está más preocupado por los modos de lograr las debidas proporciones de un edificio por medio de detalles intrincados y de la organización del espacio y de la luz.

Esos hombres—y debiéramos añadir a Minoru Yamasaki, que admira a Mies pero aspira a una "riqueza que le haría fruncir el ceño"—están entre los arquitectos más importantes de la nueva generación. No son innovadores—sería difícil lograr algo nuevo después de tal avalancha de ideas novedosas—: son sintetizadores, los hombres que están tratando de encontrar puntos de contacto entre los tres idiomas, tan distintos, que heredaron de Mies Le Corbusier y Wright. El trabajo más significativo lo están llevando a cabo en el campo de los edificios de "primer plano"; es muy probable que se consideren demasiado impor-

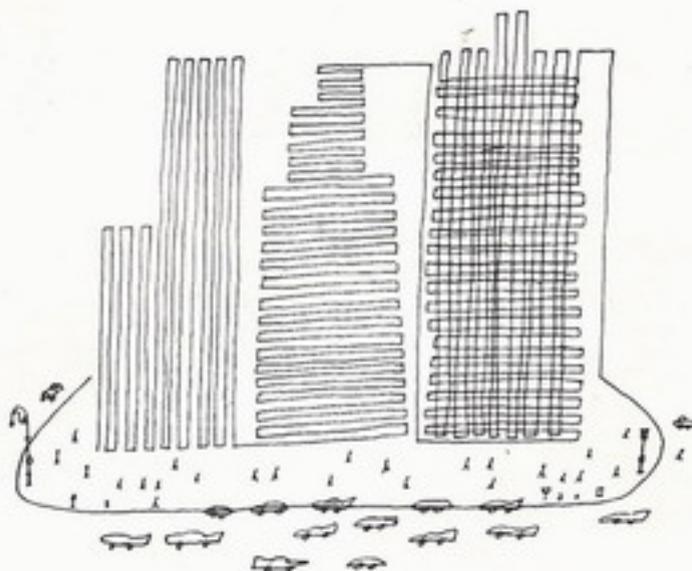
tantes (como suele suceder con todos los artistas) para limitarse a la creación de estructuras de "trasfondo".

El peligro radica en que aquellos que han decidido concentrarse en la arquitectura de "primer plano" estén demasiado preocupados con la novedad, por la novedad misma. Algunas de las estructuras de ese género que han recibido más publicidad en los últimos años hacen pensar que puede ser así, pero también es posible que ese nuevo eclecticismo sea pasajero. La nueva generación de arquitectos está volviendo a las disciplinas básicas de estructura y funcionalidad, todos orgánicamente relacionados, como Le Corbusier y Wright trataron de relacionarlos. Esto no es ninguna abdicación por parte de los arquitectos jóvenes: después de todo Miguel Angel estaba perfectamente dispuesto a seguir el ejemplo de la cúpula de Brunelleschi, en Florencia, cuando proyectó la cúpula de San Pedro.

Si han de existir en nuestros tiempos nuevos Miguelángeles, creo que deberán aceptar las tres pro-

posiciones antes sugeridas: primero, que los principios básicos de la nueva arquitectura fueron establecidos por sus tres legisladores; segundo, que ya ha pasado el tiempo de las figuras heroicas y tercero, que el héroe del futuro deberá ser la ciudad misma. De esa aceptación puede surgir una nueva generación de grandes artistas, trabajando todos dentro de una disciplina universalmente aceptada, dando nuevas interpretaciones a esa disciplina. Pero si los jóvenes arquitectos rechazan esa perspectiva e insisten en su personal consagración dentro de una sociedad de masas, el futuro de la arquitectura —el futuro de las ciudades— no será sino la caricatura de todas las cosas que los verdaderos héroes nos han legado. Hay que escoger entre Disneylandia y arquitectura, entre la civilización y el caos. "Lo que hace que nuestros sueños sean tan osados", comentó en cierta ocasión Le Corbusier, "es que pueden volverse realidad".

(Tomado de FACETAS Vol 7, No. 3)



# TRABAJOS DE INVESTIGACION REALIZADOS EN LA MATERIA T - 305 TOPOGRAFIA APLICADA II

PROF. ING. JORGE LEON RODRIGUEZ  
FACULTAD DE INGENIERIA  
DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFIA  
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

I CICLO LECTIVO 1978

NOMBRE DEL ESTUDIANTE

NOMBRE DEL TRABAJO

- |  |                            |                             |
|--|----------------------------|-----------------------------|
| 1) AEROTRIANGULACION. ....   | José Fco. Arias Vargas     | Carlos Carmona Ramírez      |
| 2) APLICACIONES DEL RAYO LASER A LA TOPOGRAFIA   | Jorge Acuña Vargas         | Róger R. González A.        |
| 3) DETERMINACION DE LA PLAMAR MEDIA . . . . .  | José E. Vásquez Segura     | José González Estrada       |
| 4) DISEÑO DE INTERSECCIONES . . . . .  |                            | Guillermo Ramírez de Lemos  |
| 5) FACTORES DE SEGURIDAD. . . . .  | Rafael Vargas Calderón     | Alex Barrantes Cartín       |
| 6) FOTOGRAMETRIA APLICADA A CARRETERAS . . . . .                                       | José Francisco Reyes Rojas |                             |
| 7) GENERALIDADES DEL CATASTRO . . . . .  | Mario Araya Céspedes       | Roberto Carmiol Arguedas    |
| 8) LA TOPOGRAFIA APLICADA A LA RESTITUCION DE PAVIMENTOS<br>CALLES EXIST. ....         |                            | Carlos Serrano Ramos        |
| 9) LIMITES ENTRE COSTA RICA Y PANAMA. ....   |                            | Mario Córdoba Foglia        |
| 10) PROBLEMAS TOPOGRAFICOS Y ECONOMICOS DE LA<br>CARRETERA DE CIRCUNVALACION . . . . . |                            | Mario Alb. Zúñiga Gutiérrez |
| 11) RIEGO Y CANALES . . . . .  | José E. Núñez Cruz         | Carlos Villalobos Jiménez   |
| 12) SATELITES ARTIFICIALES . . . . .   |                            | Rafael García Benedictis    |
| 13) SENSORES REMOTOS . . . . .   |                            | Argenide García Vargas      |

## II CICLO LECTIVO 1978

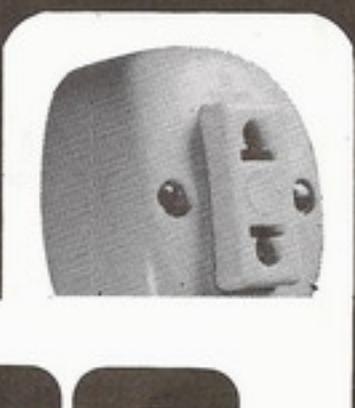
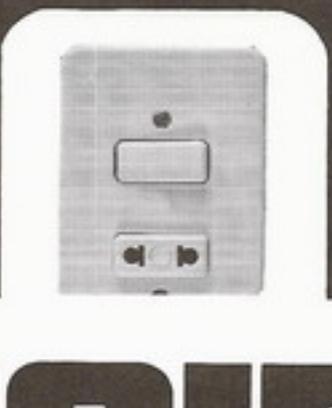
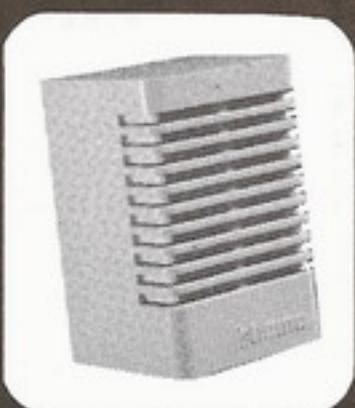
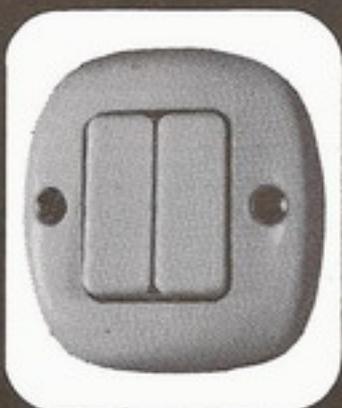
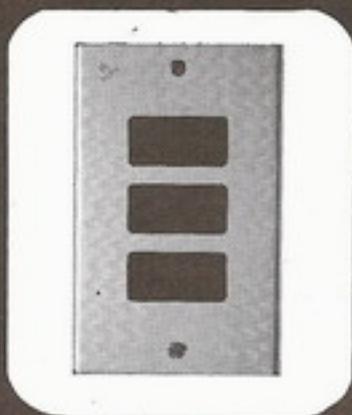
- 1) ALGUNOS METODOS APLICADOS A LOS DESLIZAMIENTOS . . . . . Carlos Villalobos Jiménez
- 2) AVALUOS. . . . . Oscar Chacón Alpízar
- 3) COSTOS UNITARIOS DE LA MAQUINA PARA MOVIMIENTOS DE TIERRA. Luis Gerardo Artavia Z.
- 4) DRENAJE DE TIERRAS AGRICOLAS. . . . . Rafael Vargas Calderón
- 5) ESTABILIDAD DE TALUDES Y GRANULOMETRIA . . . . . José Enrique Vásquez Segura
- 6) EXTENSION DE UN CONTROL VERTICAL BASICO . . . . . Carlos Alberto Alpízar Quesada
- 7) GENERALIDADES EN LA LOCALIZACION DE VIAS PARA FERROCARRIL . . Jorge Castro Umaña
- 8) GENERALIDADES DE REPLANTIO DE OBRAS . . . . . Alfredo Campos Villalobos
- 9) GUIA PARA LA DETERMINACION DE CAUDALES DE CRECIMIENTO A PARTIR DE  
MARCAS ALTAS. . . . . Víctor Manuel Chinchilla Solano
- 10) LEVANTAMIENTOS SUBTERRANEOS. . . . . Jorge E. Agüero Sibaja
- 11) MEDICIONES GRAVIMETRICAS. . . . . Luis Guillermo Campos Guzmán
- 12) METODOLOGIA PARA LA ORGANIZACION DE LAS ACTIVIDADES  
EN URBANISMO . . . . . Manuel Guerrero Barrantes
- 13) NORMAS DE DISEÑO PARA CAMINOS VECINALES . . . . . Víctor Hugo Campos Durán
- 14) PRINCIPIOS DE TRIANGULACION . . . . . Roberto Chacón Arce
- 15) RESPUESTA A LA RELACION QUE EXISTE ENTRE VELOCIDAD-RADIO  
DE CURVATURA PENDIENTE-PERALTE Y SOBREAÑO DE  
CARRETERAS. . . . . Mario Córdoba Foglia

## I CICLO LECTIVO 1979

- 1) AEROPUERTOS DE COSTA RICA . . . . . Pedro A. Peña López
- 2) COMPARACION DE COSTO DE OPERACION DE UN TENDIDO DE TUBERIA CON  
RAYO LASER Y POR METODO CONVENCIONAL. . . . . Allan A. Salazar Perera
- 3) DEMARCACION DE LIMITE COSTA RICA – NICARAGUA  
(METODOS UTILIZADOS) . . . . . Rigoberto Ramírez Salas
- 4) DRENAJE EN CARRETERA . . . . . Ricardo Gómez Odio
- 5) INSTRUMENTOS ELECTRONICOS DE MEDICION – COMPARACION . . . . Martín Chaverri Guevara
- 6) LEVANTAMIENTOS TOPOGRAFICOS DE OBRAS PORTUARIAS . . . . . Carlos Villalobos Jiménez
- 7) MEDICIONES MAR ADENTRO . . . . . Alfredo R. Murillo Muñoz
- 8) SEDIMENTACION EN LOS RIOS . . . . . Ricardo A. Barrantes Vega
- 9) VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA FOTOGRAFIA AEREA . . . . . Alfredo Campos Villalobos
- 10) EL TOPOGRAFO COMO ADMINISTRADOR DE UN PROYECTO . . . . . William Gamboa Vásquez

# INSTRUCCIONES PARA LOS AUTORES

- 1.—Se aceptan únicamente artículos que no hayan sido publicados previamente. (Pueden haber sido presentados en una conferencia nacional o internacional). El autor debe comprometerse a no publicar en otra parte un artículo aceptado por la Comisión de la revista.
- 2.—Debe enviarse un original y una fotocopia del artículo escrito a máquina y a doble espacio, con margen de 2 cm a cada lado.
- 3.—En la primera página debe incluirse: Título del artículo, nombre del autor, lugar de trabajo, un pequeño resumen del contenido del artículo.
- 4.—Para la reproducción de dibujos, deben suministrarse dibujos originales. Los dibujos no deben incluirse en el texto.
- 5.—Las referencias deben numerarse y colocarse al final del artículo. Todas las referencias deben incluir: apellidos e iniciales de los nombres de los autores, nombre de la revista o título del libro, volumen, número de la revista, mes y año de publicación.
- 6.—Cualquier referencia a la bibliografía se hará de acuerdo al número asignado a ella.
- 7.—La Comisión de la revista hará la corrección de los errores tipográficos de las pruebas. Para modificaciones o correcciones sustanciales del texto, este se devolverá al autor.
- 8.—En hoja aparte deberá indicarse: Nombre (s) del autor, posición que ocupa, lugar de trabajo, dirección postal de éste.
- 9.—No se harán modificaciones de texto en los artes finales.



# bticino

TICINO INDUSTRIAL DE CENTROAMERICA, S.A. TINCASA

**LOS MEJORES ARTICULOS ELECTRICOS !**





# Quiro's e Hijo Ltda.



TODD EN  
FERRETERIA



## EL MAURO LTDA.

MADERAS Y TODO PARA LA CONSTRUCCION  
A LOS MEJORES PRECIOS DE PLAZA

**21 55 49** TELS. **21 95 70**

**23 22 83**

APARTADO: 5713  
210 METROS AL SUR ANTIGUO I.N.S.  
AVENIDAS 6 y 8 - CALLE 10 SAN JOSE - COSTA RICA

A LOS SEÑORES

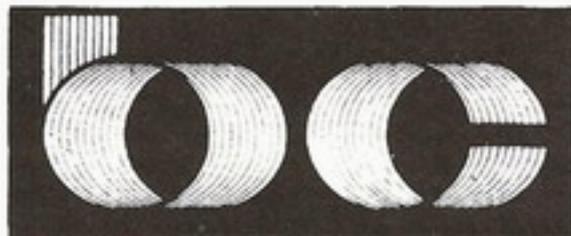
## CONSTRUCTORES e INDUSTRIALES

LES OFRECEMOS NUESTROS SERVICIOS EN:

**GARANTIAS DE PARTICIPACION Y CUMPLIMIENTO**

ASI COMO:

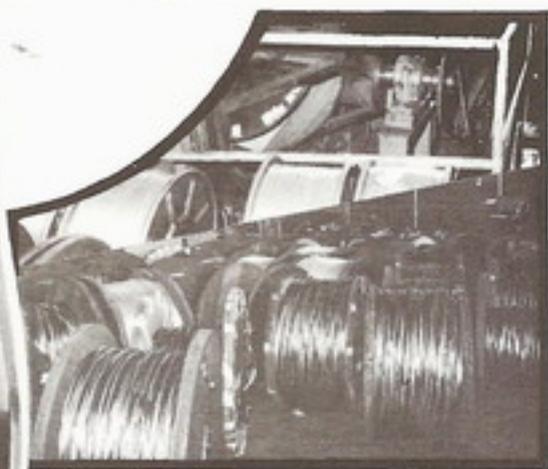
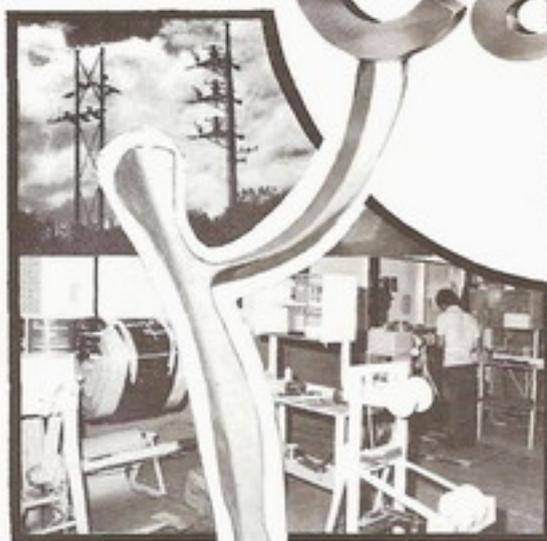
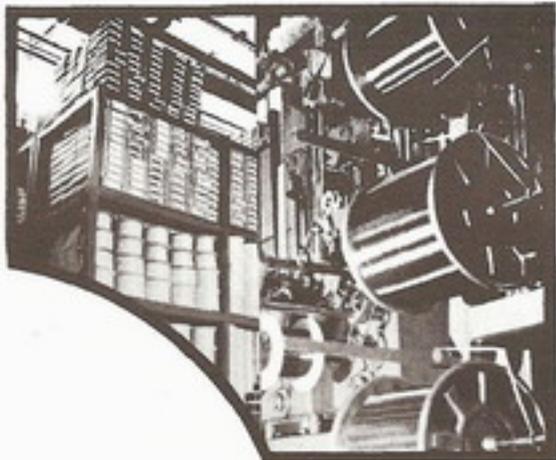
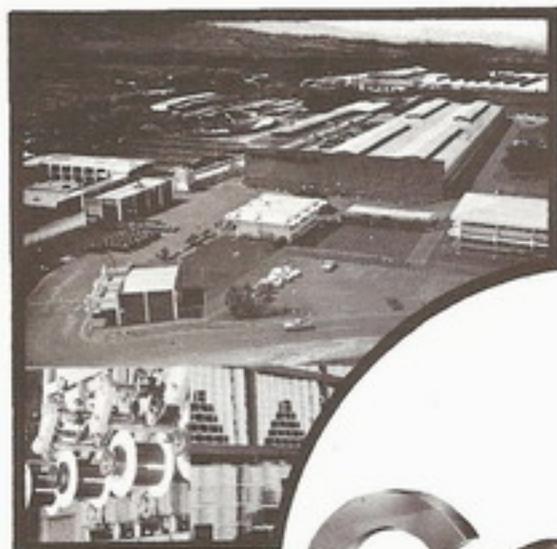
- \* AVALES Y GARANTIAS DE PAGO
- \* FIDEICOMISOS PARA COBRO FACTURAS
- \* COBRANZAS
- \* COTIZACIONES PARA COMPRA DE MATERIA PRIMA PRINCIPALMENTE ACERO, MAQUINARIA Y EQUIPO PARA CONSTRUCCION.
- \* CREDITO DE TIPO COMERCIAL. TEL: 23-56-13



Somos una Entidad Bancaria Comercial netamente Costarricense, creada para impulsar el desarrollo nacional.

### Banco de la Construcción S.A.

Teléfonos 22-05-35 - 22-11-53 - 21-82-10  
Centro Colón, 2o. nivel, Paseo Colón  
San José.- Apartado 5099, TELEX 2473



# Calidad

TROFEO  
INTERNACIONAL  
A LA CALIDAD  
1978

De Editorial Office,  
España, premio a la  
excelencia en la fa-  
bricación de conduc-  
tores eléctricos



... se escribe con  
la "C" de



## CONDUCEN

Desde hace 10 años escribimos CONDUCCEN con una gran "C" mayúscula de "CALIDAD" ... la insuperable calidad que, con orgullo, ponemos en cada uno de nuestros productos. Calidad que resulta de excelentes normas de producción e inflexible control. La mejor prueba es:  
EL TROFEO INTERNACIONAL A LA CALIDAD 1978.

 **CONDUCEN**  
CONDUCTORES ELECTRICOS



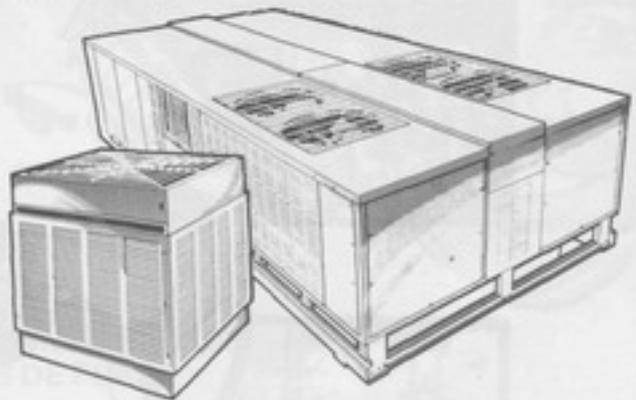
# calidad controlada, digna de confianza.

# AIRE ACONDICIONADO-REFRIGERACION

OFRECEMOS LA LINEA COMPLETA PARA APLICACION INDUSTRIAL, COMERCIAL Y RESIDENCIAL DE

PROCESOS INDUSTRIALES    TRANSPORTE REFRIGERADO  
SUPERMERCADOS            HOTELES  
TIENDAS                      HOSPITALES  
SALAS DE COMPUTO        CUARTOS FRIOS Y  
   DE CONGELACION, etc.

DISEÑO    MONTAJE    MANTENIMIENTO  
   REPUESTOS



  
**XONEX**  
Costarricense S.A.

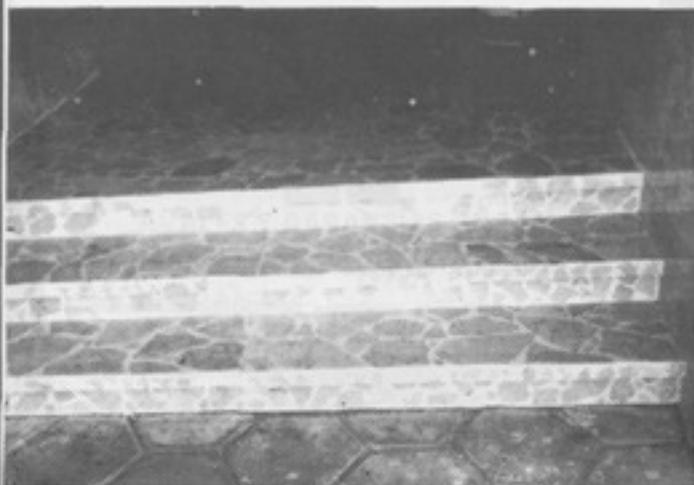
TEL: 23-02-85  
Avenida 10 Calles 38-40  
TELEX 2786 - San José

GENERAL  ELECTRIC

 EMERSON QUIET KOOL®

## C.A.S.A. COLOCACIONES Y ACABADOS S. A.

Apartado 058 - San Francisco de Dos Ríos  
Bomba Gasotica 100 mts. Sur y 50 mts. Oeste - Tels: 27-12-22 27-17-66

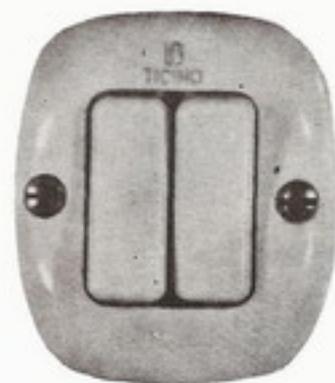
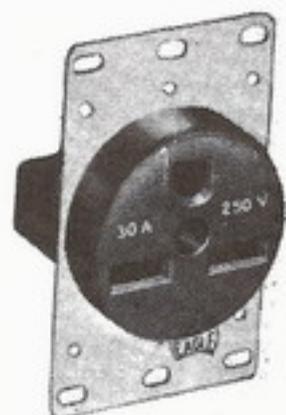
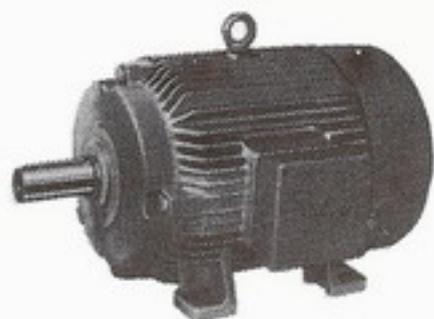


LA EMPRESA DE MAYOR RESPONSABILIDAD  
EN COLOCACION Y ACABADOS DE  
TERRAZOS, PALADIANAS Y PEDRINES.

# ALMACENES ELECTRICOS OSMIN VARGAS S. A.

TIENE PARA USTEDES SEÑORES  
**INGENIEROS, CONTRATISTAS, CONSTRUCTORES**

**TODO LO QUE NECESITEN EN  
MATERIALES ELECTRICOS,  
LAMPARAS Y PROYECTOS EN INGENIERIA.**



(INSTALACIONES INDUSTRIALES,  
RESIDENCIALES Y DISEÑOS)

**DISTRIBUIDORES DE TODAS LAS MARCAS EN LINEAS ELECTRICAS.**

SUCURSALES. LIBERIA 66-05-65  
SAN ISIDRO DEL GENERAL

**TELEFONOS : 35-37-71 35-37-64 35-19-21 25-12-36**

200 MTS. OESTE JEFATURA POLITICA DE TIBAS.

APARTADO 267 - TIBAS

## CORTINAS DE ACERO



325 mts. al Este del SNAA

**TELEFONO:**  
**21 - 09 - 95**

BOUTIQUE LA PUERTA  
75 mts. Sur del Hotel Balmoral



TIENDA PARIS LONDRES  
Frente a Tienda El Globo

**OFRECEMOS EQUIPO ELECTRICO  
Y SUS ACCESORIOS PARA  
CUALQUIERA DE NUESTRAS  
CORTINAS.**

**CORTINAS TUBULARES**  
Garantía de protección y exhibición

PRODUCIMOS CORTINAS METALICAS  
EN LOS SIGUIENTES MATERIALES:

- ACERO GALVANIZADO
- ALUMINIO (MILL FINISH)
- ALUMINIO PINTADO AL HORNO
- TUBULARES CON ESLABONES DE ALUMINIO.



TIENDA REGIS  
Avenida Central

# Desde el inicio hasta el fin de su proyecto de construcción cuenta con Ricalit



Despreocúpese a la hora de techar.  
En Ricalit usted tiene un amigo, que le ofrece un estudio de presupuesto y la asesoría técnica desde el inicio del proyecto hasta la instalación del techo. Además, le ponemos a su disposición un grupo de expertos que harán todo el trabajo de techado por usted, ahorrándole así tiempo y dinero. Todo esto con una garantía por 5 años sobre el producto y su instalación.

Techando con Ricalit, usted puede estar seguro, que le brinda a su cliente la más alta calidad. Calidad que no cuesta más. Consúltenos... Y se dará cuenta de nuestro servicio especializado. Utilice los productos y servicios Ricalit, inversión que da eternos años de duración.



**La inversión que da  
eternos años de duración.**

**OFICINA DE VENTAS**  
De la Canada Dry, 200 metros Norte.  
La Uruca  
Teléfono: 32-64-64

**PLANTA**  
Paraíso de Cartago  
Teléfono: 51-08-66



**LE OFRECEMOS  
UNA NUEVA DIMENSION EN  
MUEBLES DE METAL  
PARA SU OFICINA...**

*que le ayudarán en una mayor eficiencia de su trabajo y el de su personal.*

*Colores y estilos modernos para combinar con la decoración de su oficina.*



**ESCRITORIO SECRETARIA DORICA**  
Cuerpo de metal, patas de tubo cuadrado, 2 gavetas al lado derecho, una tipo archivo carta, y una gaveta central con llavín automático para todas.



**ARCHIVADORES TIPO CARTA Y LEGAL.**

*De 4 gavetas. Rieles telescópicos montados en cojinetas de bolas. Cerradura para las cuatro gavetas. Prensas fuertes.*



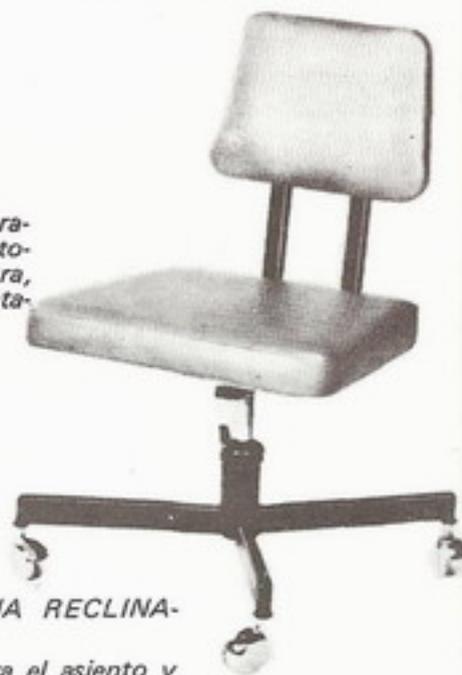
**PORTA PLANOS:**

*Con rodines o con niveladores, capacidad para 50 planos de diferentes medidas.*



**SILLON EJECUTIVO**

*Construído de tubo cuadrado. Brazos tapizados o en formica. Giratoria y reclinable, graduador de altura, rodines de lujo. Espuma de uretano. Varios colores.*



**SILLA SECRETARIA RECLINABLE.**

*Ajuste de altura para el asiento y para el respaldo. Asiento reclinable, giratoria, espuma de uretano, tapices de primera, rodines de lujo.*

**FABRICA DE MUEBLES DE METAL**



**TELEFONOS: 35-44-71 y 35-45-06  
APDO. 175 - SAN JOSE, COSTA RICA**

**TIBÁS-200 M. ESTE y 100 M. NORTE DE  
ESQUINA NORTE DE LA IGLESIA**

# ¡DOBLE TRACCIÓN!



## Chevrolet Luv 4x4

Este es el vehículo que ud. estaba esperando para todo trabajo, el nuevo Chevrolet Luv 4 x 4, con tracción y duplicación en las 4 ruedas.

El LUV combina las ventajas de un vehículo liviano y versátil, con la robustez de un vehículo con una tonelada de capacidad.

Escoja entre las diferentes presentaciones de su carrocería: Adrales, batea, furgón y ganadero.

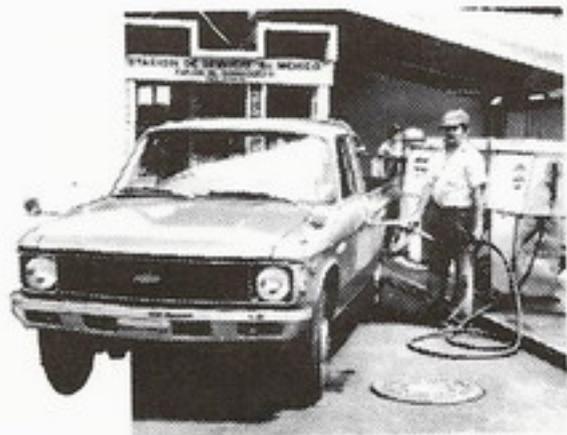
**CHEVROLET LUV**  
rinde más y jamás se rinde!

**CHEVROLET**  
**LUV**  
**4x4**

Véalo donde su  
distribuidor Chevrolet

División de vehículos  
comerciales nuevos  
**FRENTE A LA PLAZA DE LA URUCA**

**Chevrolet**

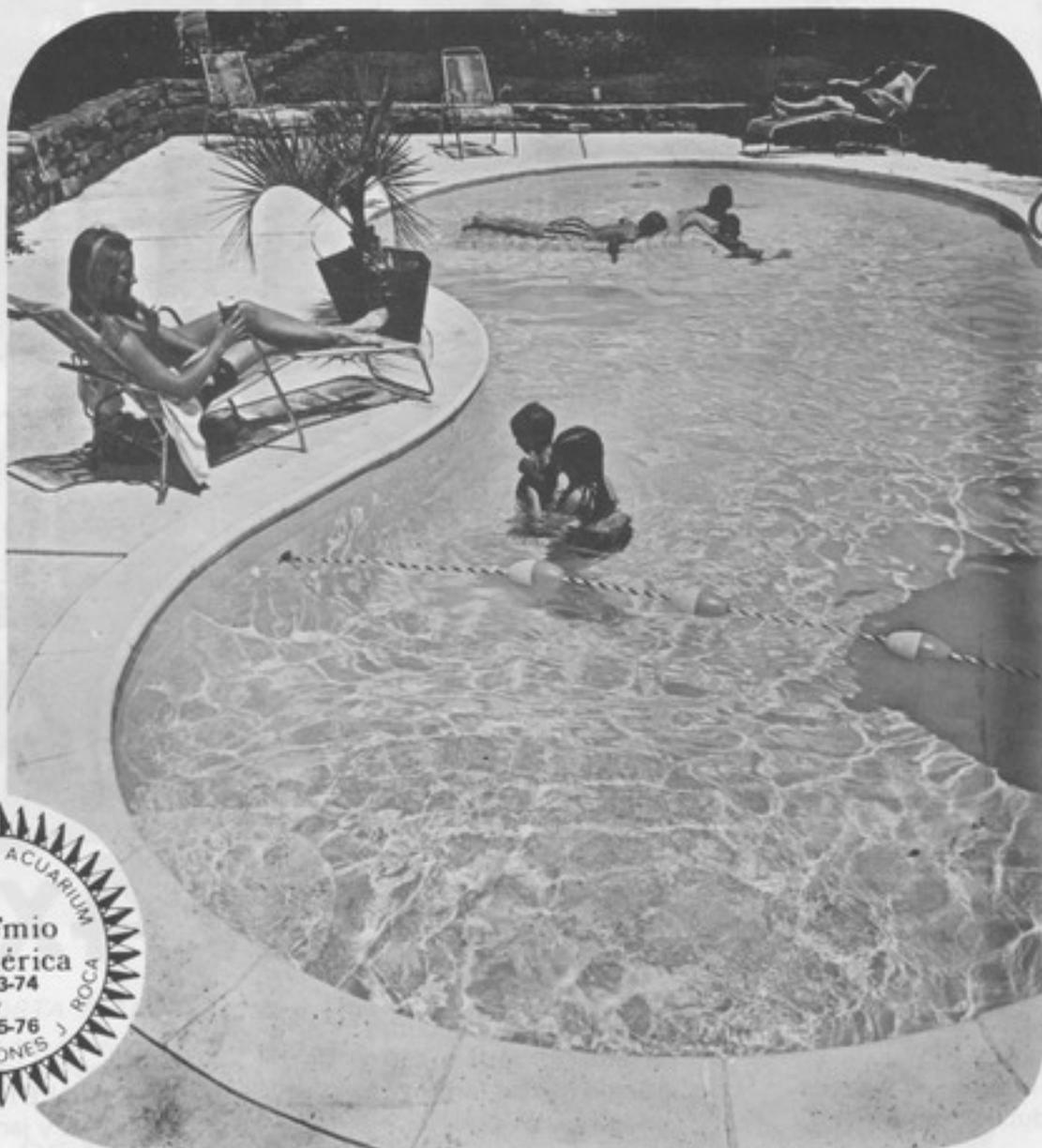


**L&S**

Lachner & Sáenz, S.A.  
teléfono 21-21-21 Apartado 10014

**LA URUCA**

# HABLAR DE PISCINAS ES HABLAR DE **ACUARIUM**



TAMBIEN OFRECEMOS E INSTALAMOS:

**EQUIPO DE FILTROS • FUENTES ORNAMENTALES  
CANCHAS DE TENNIS (Sistema Poroso) • SAUNAS  
PISCINAS ACUARIUM S.A.**

Amplia financiación

300 METROS SUR - CLINICA CATOLICA Teléfono : 25 95 79

Si su propiedad es así...



y si usted la valoriza y asegura  
como si fuera así...



a la hora de  
un siniestro

usted  
habrá perdido una propiedad así...



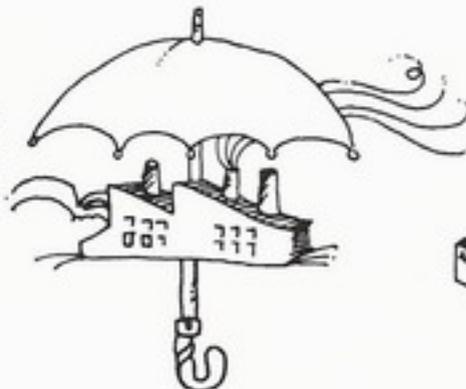
y el Seguro le pagará  
una así.



Para que esto no le suceda,

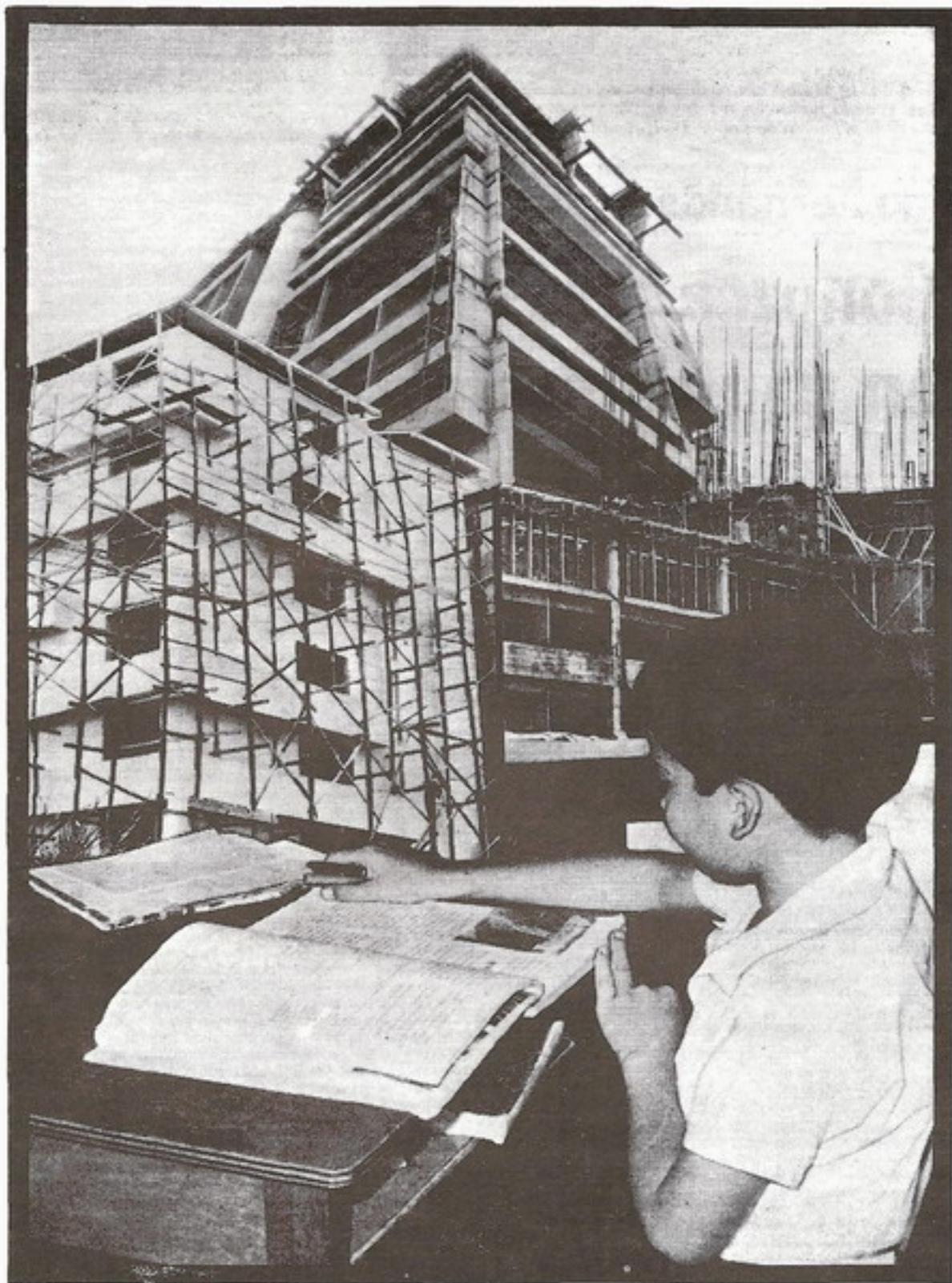


asegúrese por el valor  
real, sólo así estará  
realmente protegido.



Consulte a su  
asesor de protección,  
el Agente del INS.





## "El es el futuro."

Así como hemos creado progreso, hemos venido creando las personas que lo conducirán e impulsarán. Los niños que hoy estudian gratuitamente en nuestra escuela, los jóvenes que estamos patrocinando en universidades e institutos tecnológicos . . .

Son niños que ven con orgullo y esperanza su futuro gracias al esfuerzo y a la extraordinaria labor de sus padres . . . los Trabajadores de la Industria Nacional de Cemento.



**INDUSTRIA NACIONAL DE CEMENTO S. A.**

# Gánese \$6.500,00 cada año...

Un Bono I.C.E. de ₡ 50.000,00  
le produce ₡ 1.625,00 cada tres meses.

Los Bonos I.C.E. pagan ahora un 13% de interés, que usted cobra puntualmente cada tres meses. Para su mayor comodidad, se pagan en las Oficinas Centrales, Agencias y Sucursales del Banco de Costa Rica en todo el país. Ese dinero está exento de impuestos.

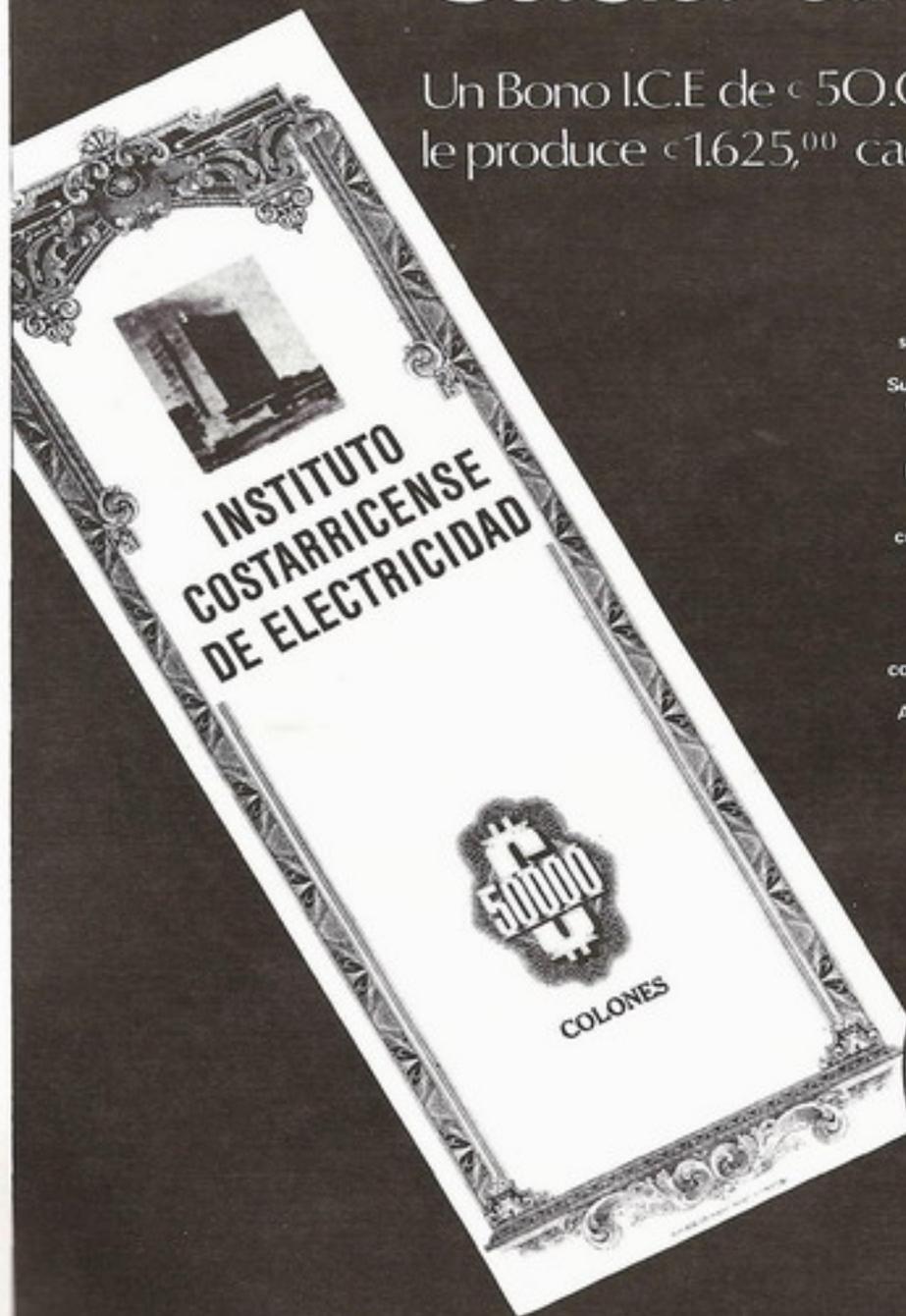
Los Bonos I.C.E. se ofrecen también en denominaciones de ₡ 5.000,00, ₡ 25.000,00 y ₡ 100.000,00 y cuentan con el respaldo de los activos del I.C.E., que suman más de 6.000 millones de colones.

Al adquirir Bonos I.C.E., no solo aumenta su capital, sino que contribuye positivamente al desarrollo del país.

Adquiera los Bonos I.C.E., en nuestra Tesorería, en Sabana Norte y en la Agencia del I.C.E. de su localidad. Para mayor información llame a los teléfonos: 32-31-32/32-74-85 y 32-76-55.

**Los Bonos ICE  
pagan el 13 %  
de interés anual  
en inversiones  
a 6 ó más meses.**

(Rige a partir del 1 de julio 1979)



Bonos I.C.E. 13%... su mejor inversión!



**INSTITUTO COSTARRICENSE DE ELECTRICIDAD**

FUENTE DE PROSPERIDAD NACIONAL

# CONSTRUCTORA CARLOS MUÑOZ S. A. CAMUSA

TELS: 21-31-87 y 21-47-17

- URBANIZACIONES
- MOVIMIENTOS DE TIERRA
- ALQUILER DE EQUIPO PESADO
- CONSTRUCCION DE CARRETERAS



Maquinaria trabajando en Ingenio Taboga  
(Cañas, Guanacaste).

AVENIDAS 1 y 3 BIS, CALLE 18 SAN JOSE, C.R.  
APARTADO: 263

## GRUAS Y MAQUINARIA S. A.



ALQUILAMOS

MOTOGRUAS

DRAGAS

COMPRESORES

ANDAMIOS



EQUIPOS  
PARA LA  
CONSTRUCCION

**24·52·29**

APARTADO 5830 SAN JOSE  
Curridabat, 150 mts. Norte de La Galera

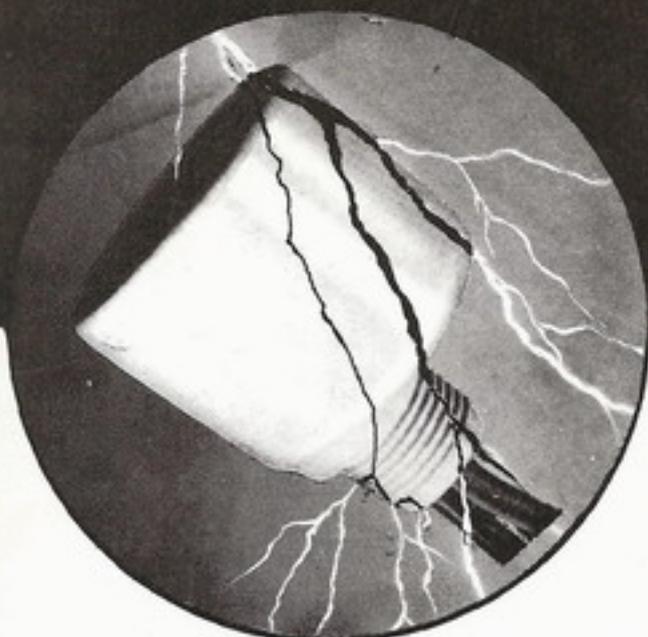
# Bavaria

Calidad  
internacional...



Esta es la mejor cerveza que usted puede tomar!

**Sr. INGENIERO  
Sr. CONSTRUCTOR  
ESPECIFIQUE e INSTALE  
MINI PARARRAYOS  
General Electric  
EN SU CONSTRUCCION**



Sus artefactos eléctricos estarán eficazmente protegidos del daño que puede causar una tormenta eléctrica, fenómeno tan común en nuestro clima tropical.

El Mini Pararrayos G.E. también protege contra oleadas de voltaje producidas por cortos circuitos, sin causar ningún daño a sus propiedades.

Algo muy importante de este novedoso artefacto G.E. es que es a prueba de tiempo ambiental.

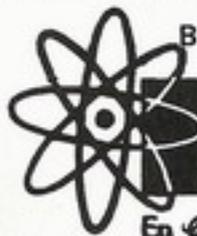
Recientes estudios indican

que sólo en los E.E.U.U. se reportan cada año más de 20.000 incendios al año, que son causados por rayería. Los rayos no necesariamente deben ser directos, sino que pueden viajar por las líneas eléctricas hasta su casa. el Mini - Pararrayo G.E. es un silencioso guardián de su familia.

Se instala en minutos en casas, edificios, fincas y en cualquier otro lugar expuesto al peligro de incendio por rayería, o donde hayan artefactos eléctricos que proteger.

**ADQUIERALO HOY MISMO A  
BAJO PRECIO DE INTRODUCCION.**

Distribuidores exclusivos:

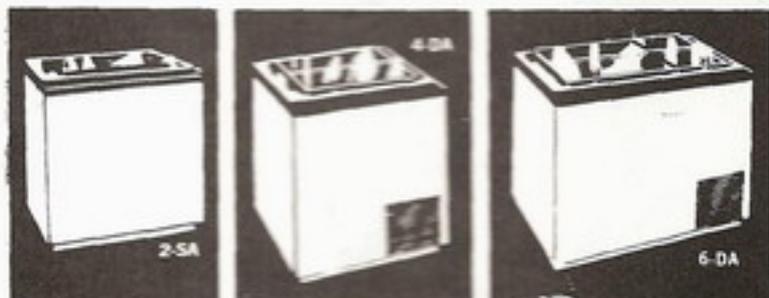
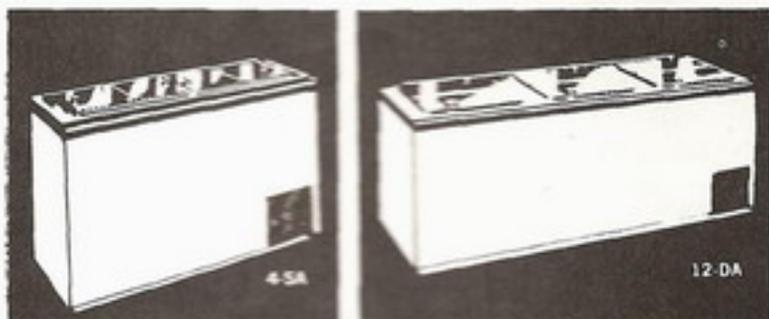


**ALFREDO EIQUIVEL  
& Cia. S.A.**

TEL 22 92 22  
APT 855 SAN JOSÉ

En General, Eléctrico lo tenemos todo.

**Tel. 22-92-22**



**SERIE  
DE LOS  
PEQUEÑOS  
Y GIGANTES**

**• DE LOS LIDERES EN  
REFRIGERACION INDUSTRIAL**

**Polaris**

PARA MUCHOS  
PROPOSITOS  
Y MEJORES NEGOCIOS  
CALIDAD INSUPERABLE

**CONGELADORES  
TRADICIONALES**

**INGENIERIA  
INDUSTRIAL**

**S.A.**

Tel: 25-52-58 - 25-53-58

GUADALUPE-COSTA RICA

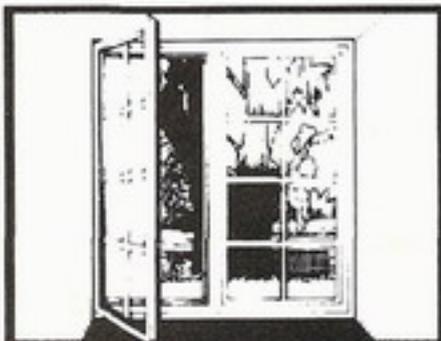
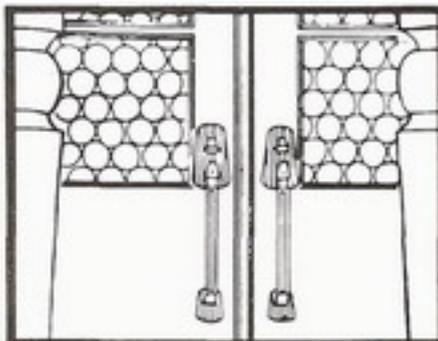
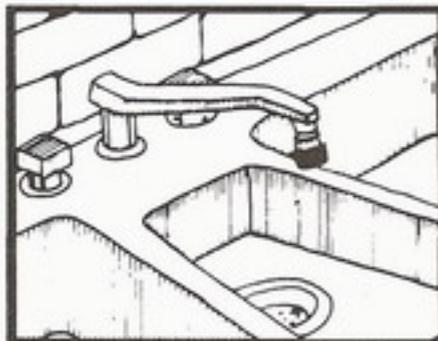
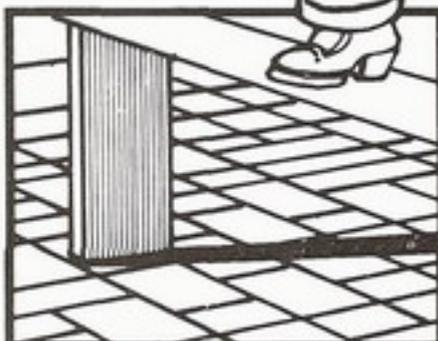
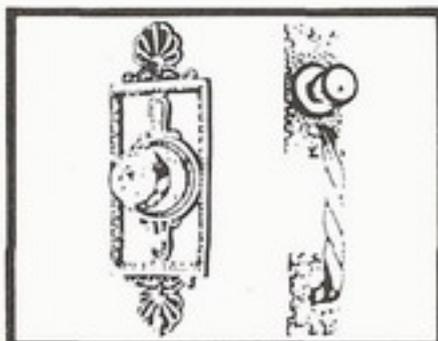
Detalle  
à detalle

# EL TOQUE DE CEBI DISTINGUE SU CONSTRUCCION



El toque de CEBI, embellece y distingue cada detalle de su construcción...

En las ventanas con sus vidrios y cristales, en sus puertas con cerraduras Weiser, en los pisos con el funcional piso Flintkote, en el baño con los azulejos y la loza sanitaria Kohler, en la sala con sus elegantes y bellos espejos... Y en toda la casa con sus variados accesorios para la construcción.

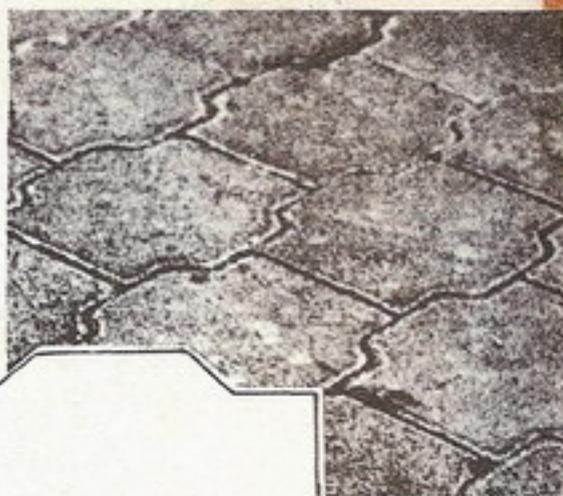
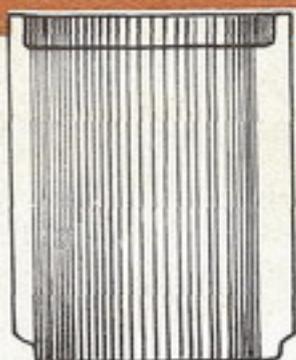


**Cuando le toque construir  
recuerde el toque  
de Cebi.**

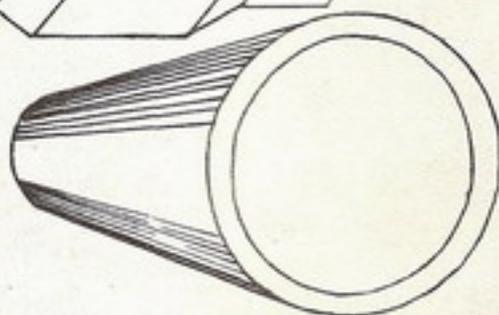
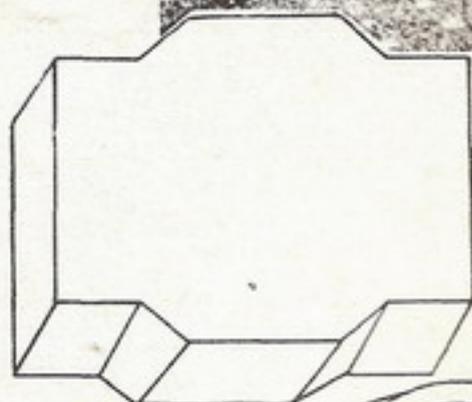
LA CALIDAD



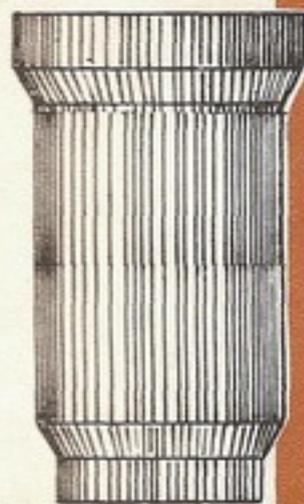
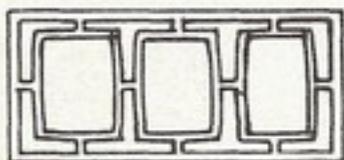
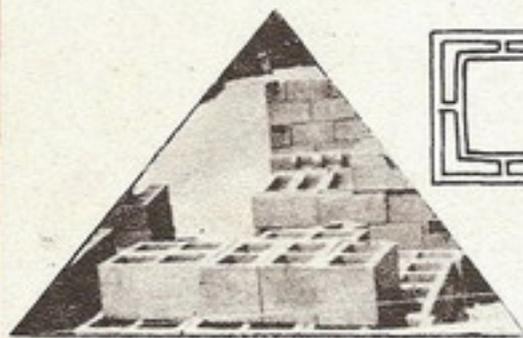
AL SERVICIO  
DE LA CONSTRUCCION



**BLOQUES Y  
TUBOS DE  
CONCRETO  
A.S.T.M. C 14  
JUNTA FLEXIBLE**



**BLOQUES DE CONCRETO DE ALTA  
RESISTENCIA**



**CONCRETO INDUSTRIAL S.A.**

OFICINAS CENTRALES  
EL ALTO DE GUADALUPE  
TELEFONOS : 25 32 50  
25 39 49

PLANTA CORONADO  
29 05 69