

DIRECTORIO DE PROFESORES DEL CURSO
INSTRUMENTACION ELECTRONICA DE PRO-
CESOS INDUSTRIALES.

ING. ALEJANDRO GALVAN ESPINOSA
SIMEX INTEGRACION DE SISTEMAS
JEFE DEL AREA DE CONTROL LOGICO
AV. CUAUHTEMOC # 1230
2o. PISO
COL. SANTA CRUZ ATOYAC
C.P. 03310
MEXICO, D. F.
TEL. 604-47-43 y 605-45-00

ING. RICARDO GARIBAY JIMENEZ
DIV. DE ING. ELECTRICA, ELEC-
TRONICA Y COMPUTACION FAC.
DE ING. UNAM.
JEFE DEL DEPTO. DE ING. DE
CONTROL.
CD. UNIVERSITARIA
TEL. 622-31-01 al 16

ING. RAFAEL RAMOS VILLEGAS

ING. ANTONIO SALVA CALLEJA
PROFESOR DE CARRERA
FACULTAD DE INGENIERIA
CD. UNIVERSITARIA
MEXICO, D. F.

ING. LUIS ROBERTO VEGA GONZALEZ
LEED & NORTHROP MEXICANA, S. A.
ING. Y SERVICIOS, S. A.
PASEO ANTIOQUIA # 55 P.A.,
COL. LOMAS ESTRELLAS
TEL. 576-80-33

ING. JOSE ZARAGOZA AVILA

[illegible][illegible][illegible]

SHAW 1478
SHAW 1478

151 100
CITY OF
HONOLULU
ALGO
CONF. 3-2001
1998 95 100000
VICTIM
CONF. 1001
HONOLULU 3-2001

1. The first step is to identify the problem or goal. This involves understanding the current situation and what needs to be achieved.

1. The first step is to identify the problem. This involves understanding the situation and the goals that need to be achieved.

10-10-68

100-443887-100

DIRECTORIO DE ALUMNOS DEL CURSO
INSTRUMENTACION ELECTRONICA DE PROCESOS
INDUSTRIALES

GARCIA MARTINEZ JOSE ENRIQUE
DESARROLLO Y ASESORIA EN CONTROL
INDUSTRIAL, S. A.
COMERCIALIZACION
Heriberto Frias No. 521
Col. Narvarte
C.P. 03020
Tel. 669-41-45
México, D. F.

ANDRACA ROMAN JOSE RAUL
TERSASA, S. A. DE C. V.
Ing. Aplicacion
Blvd. M. Avila Camacho No. 182
Residencial Militar

LOPEZ JUAREZ ISMAEL
FAC. DE ING. UNAM
Prof. de Lab. de Ampliación
de Señales
Cd. Universitaria
Tel. 622-35-72
México, D. F.

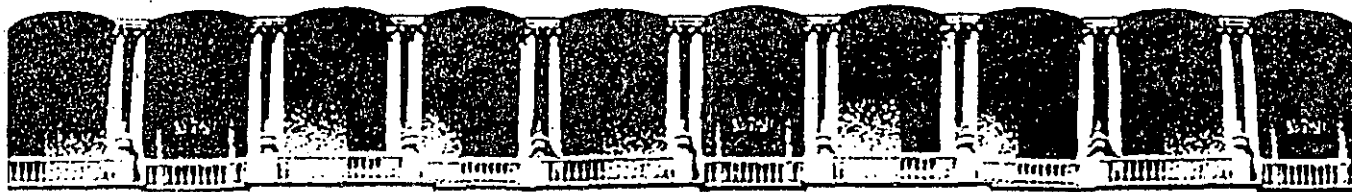
MENDOZA SALDIVAR SALVADOR
CONTROL Y APLICACIONES ME-
XICANA, S.A. DE C. V.
Jefe de Area de P.V
Calle 2 No. 5
Frac. Ind. Alce Bco.
Naucalpan
C.P. 53370
Tel. 3580554

RAMIREZ PARRALES ARTURO
RHACOR, S. A. DE C. V.

RUIZ LARA FELIX
Pedro Lascurain # 17
Presidentes de México
Iztapalapa
C.P. 09740

SANABRIA CANO MARCOS
Adrian Castrejon No. 199
San Pedro Xalpa
Atzacapotzalco
C.P. 02710
Tel. 359-58-47

VAN DAM AGUILAR ERIC JOSE
Universidad Iberoamericana
Estudiante
Av. Prolongación de la Reforma
880 Lomas de Sta. Fe
Alvaro Obregón
Tel. 570-70-70



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

A LOS ASISTENTES A LOS CURSOS DE LA DIVISION DE EDUCACION CONTINUA

Las autoridades de la Facultad de Ingeniería, por conducto del Jefe de la División de Educación Continua, otorgan una constancia de asistencia a quienes cumplan con los requisitos establecidos para cada curso.

El control de asistencia se llevará a cabo a través de la persona que le entregó las notas. Las inasistencias serán computadas por las autoridades de la División, con el fin de entregarle constancia solamente a los alumnos que tengan un mínimo del 80% de asistencias.

Pedimos a los asistentes recoger su constancia el día de la clausura. Estas se retendrán por el período de un año, pasado este tiempo la DECFI no se hará responsable de este documento.

Se recomienda a los asistentes participar activamente con sus ideas y experiencias, pues los cursos que ofrece la División están planeados para que los profesores - expongan una tesis, pero sobre todo, para que coordinen las opiniones de todos los interesados, constituyendo verdaderos seminarios.

Es muy importante que todos los asistentes llenen y entreguen su hoja de inscripción al inicio del curso, información que servirá para integrar un directorio de asistentes, que se entregará oportunamente.

Con el objeto de mejorar los servicios que la División de Educación Continua ofrece, al final del curso deberán entregar la evaluación a través de un cuestionario diseñado para emitir juicios anónimos.

Se recomienda llenar dicha evaluación conforme los profesores impartan sus clases, a efecto de no llenar en la última sesión las evaluaciones y con esto sean más fehacientes sus apreciaciones.

¡ GRACIAS !

UNO DE LOS PROYECTOS QUE ACTUALMENTE ESTA LLEVANDO A CABO LA DECFI, ES LA ORGANIZACIÓN DE CURSOS DE ACTUALIZACIÓN EN TEMAS DE INGENIERÍA, DENTRO DE LOS CUALES SE INCLUYEN PROGRAMAS DE COMPUTADORA RELACIONADOS CON EL TEMA DEL CURSO, LOS CUALES SE DISTRIBUIRÁN EN SUS VERSIONES FUENTE.

CON EL OBJETO DE CONOCER LOS TEMAS DE MAYOR INTERÉS PARA ESTE TIPO DE CURSOS, ASÍ COMO PARA DEFINIR LOS REQUISITOS TÉCNICOS QUE DEBEN REUNIR LOS PROGRAMAS A DISTRIBUIR, MUCHO AGRADECEREMOS A USTED SE SIRVA LLENAR EL SIGUIENTE CUESTIONARIO, EL CUAL SERÁ DE UNA GRAN AYUDA PARA LA DECFI.

1.- CALIFIQUE CON ESCALA DE CERO A DIEZ LOS SIGUIENTES CURSOS UTILIZANDO LAS LÍNEAS EN BLANCO PARA AQUELLOS QUE USTED PROPONGA (0=NO INTERESA, 10=INTERESA MUCHO)

ANÁLISIS ESTRUCTURAL ()	ESTADÍSTICA ()	CONTROL DE PERSONAL ()
CONTROL DE OBRAS ()	DISEÑO MECÁNICO ()	ALMACENES ()
RUTA CRÍTICA ()	PROGRAMACIÓN ESTRU. ()	INV. DE OPERACIONES ()
PROGRAMACIÓN LINEAL ()	ESTRUCTURA DE DATOS ()	CONTROL DE CALIDAD ()
MATEMÁTICAS ()	CONTABILIDAD ()	ADMON. PROGRAMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN ()
_____ ()	_____ ()	_____ ()
_____ ()	_____ ()	_____ ()
_____ ()	_____ ()	_____ ()

DEBIDO A QUE LA PRINCIPAL CARACTERÍSTICA DE LOS CURSOS SERÍA LA DE DISTRIBUIR PROGRAMAS DE COMPUTADORA QUE PUEDAN SER USADAS POR LOS ASISTENTES EN SUS DIFERENTES EMPRESAS CON EL MENOR ESFUERZO DE ADAPTACIÓN.

2.- ¿PARA QUE TIPO DE COMPUTADORA DESEARÍA QUE SE ESCRIBIERAN LOS PROGRAMAS?

PRIMERA OPCIÓN MARCA _____	MODELO _____	LENGUAJE _____
SEGUNDA OPCIÓN MARCA _____	MODELO _____	LENGUAJE _____
TERCERA OPCIÓN MARCA _____	MODELO _____	LENGUAJE _____

SI USTED CONOCE ALGUNAS OTRAS PERSONAS INTERESADAS EN ESTE TIPO DE CURSOS, MUCHO LE AGRADECEREMOS HACERLE LLEGAR UNA COPIA DE ESTA HOJA Y ENVIARLA POSTERIORMENTE A:

DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA
PALACIO DE MINERÍA
CALLE DE TACUBA No. 5
DELEGACIÓN CUAUHTÉMOC
06000 MÉXICO, D.F.



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

CUESTIONARIO PARA EL DIRECTORIO GENERAL

PARA USO EXCLUSIVO DE LA DEC.

ALTA ☐ MODIFICACION ☐

1.- INSTRUCCIONES GENERALES.

A.- Escriba con letra de molde.

B.- Escriba un solo caracter por cuadro ó semicuatro.

C.- Para contestar las preguntas en las líneas ó en los semicuatros escriba, letras y en los cuadros pondrá números según sea la respuesta que se pide.

NOTA : No se haga ninguna anotación en los cuadros sombreados.

NOMBRE DEL CURSO : _____ FOLIO :

--	--	--	--	--	--

 DIG. VER. 1 5 6

1.- NOMBRE :

8	TITULO	13	*	14	NOMBRE (S)	APELLIDO PATERNO	APELLIDO MATERNO.	41
---	--------	----	---	----	------------	------------------	-------------------	----

(PROFESIONAL)

NOTA : Separe mediante una coma (,) el (los) nombre (s) de los apellidos.

2.- REGISTRO FEDERAL DE CAUS.:

--	--	--	--	--	--	--	--

42 AÑO MES DIA 51

3.- CEDULA PROFESIONAL:

--	--	--	--	--	--	--	--

52 NUMERO 58

4.- TELEFONO PARTICULAR:

--	--	--	--	--	--	--	--

59 NUMERO 65

5.- TELEFONO OFICINA:

--	--	--	--	--	--	--	--

66 NUMERO 72

--	--	--

73 EXT. 76

6.- ASISTENTE AL CURSO O PROFESOR:

--	--	--	--	--	--

77

A

1

 80

B

5

 80

7.- DIRECCION PARTICULAR :

8	CALLE, NUMERO EXTERIOR E INTERIOR	41
42	COLONIA	71
8	DELEGACION O CIUDAD	27
CODIGO POSTAL		
30		34
ESTADO		
TITULO PROFESIONAL Y AREA (EJEMPLO: INGENIERO CIVIL)		

ESPECIALIDAD

--	--	--	--

37 38

6

80

28	29
----	----

35	36
----	----

10.- DIRECCION DE OFICINA:

CALLE, NUMERO EXTERIOR E INTERIOR																								A	3	M	7					
39																							72	80	80							
COLONIA																																
8																							37									
DELEGACION												0	CIUDAD										ESTADO									
38												57											58	59								
CODIGO POSTAL																																
		60								64																						

11.- ASOCIACIONES A LAS QUE PERTENECE :

PRINCIPAL :

65	66

OTRAS :

67	68

69	70

71	72

73	74

A	4
	80

M	8
	80

FECHA DE ELABORACION

_____ A _____ DE _____ DE 19 _____

FIRMA

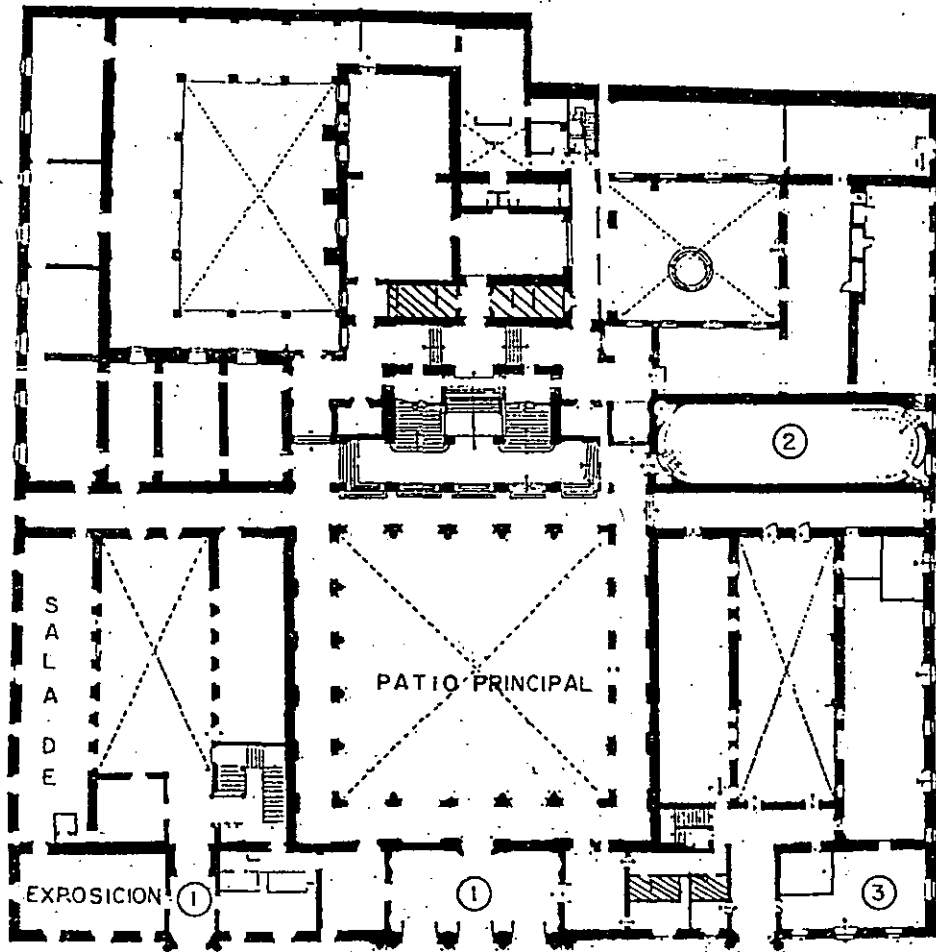
PARA USO EXCLUSIVO DE LA DIVISION DE EDUCACION CONTINUA

CODIFICO:

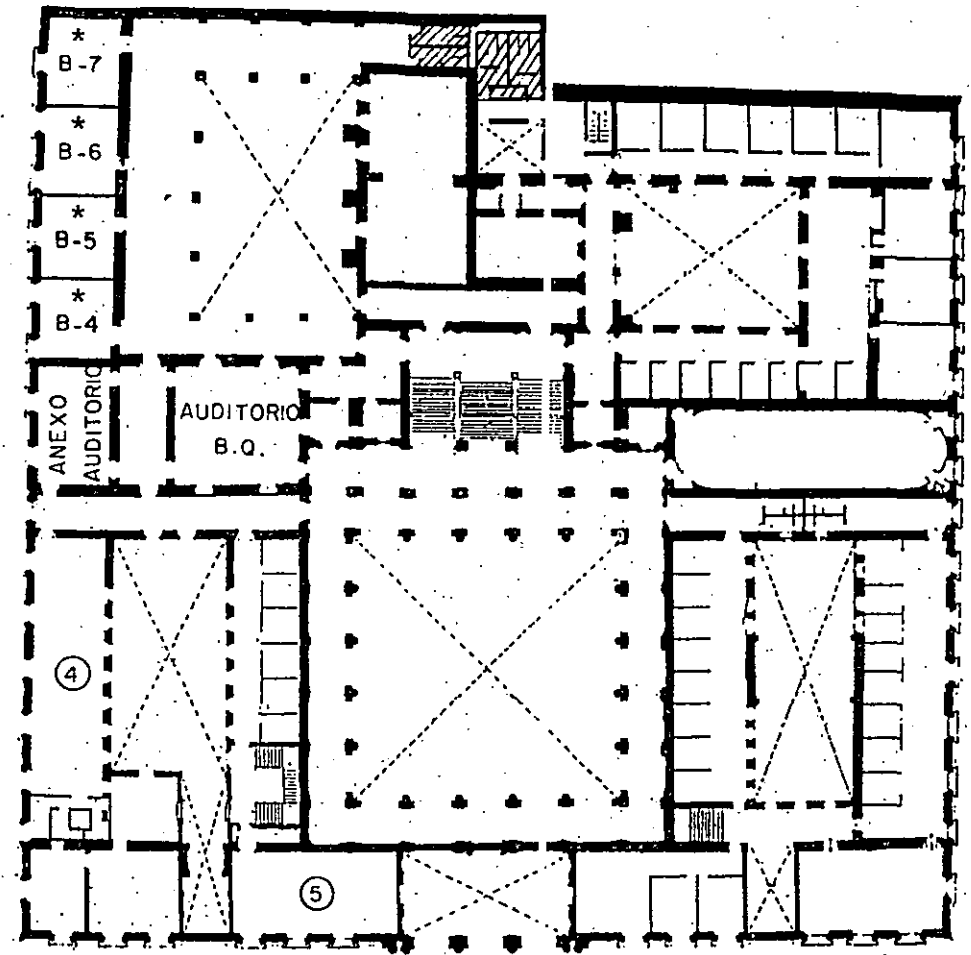
REVISO:

OBSERVACIONES:

PALACIO DE MINERIA



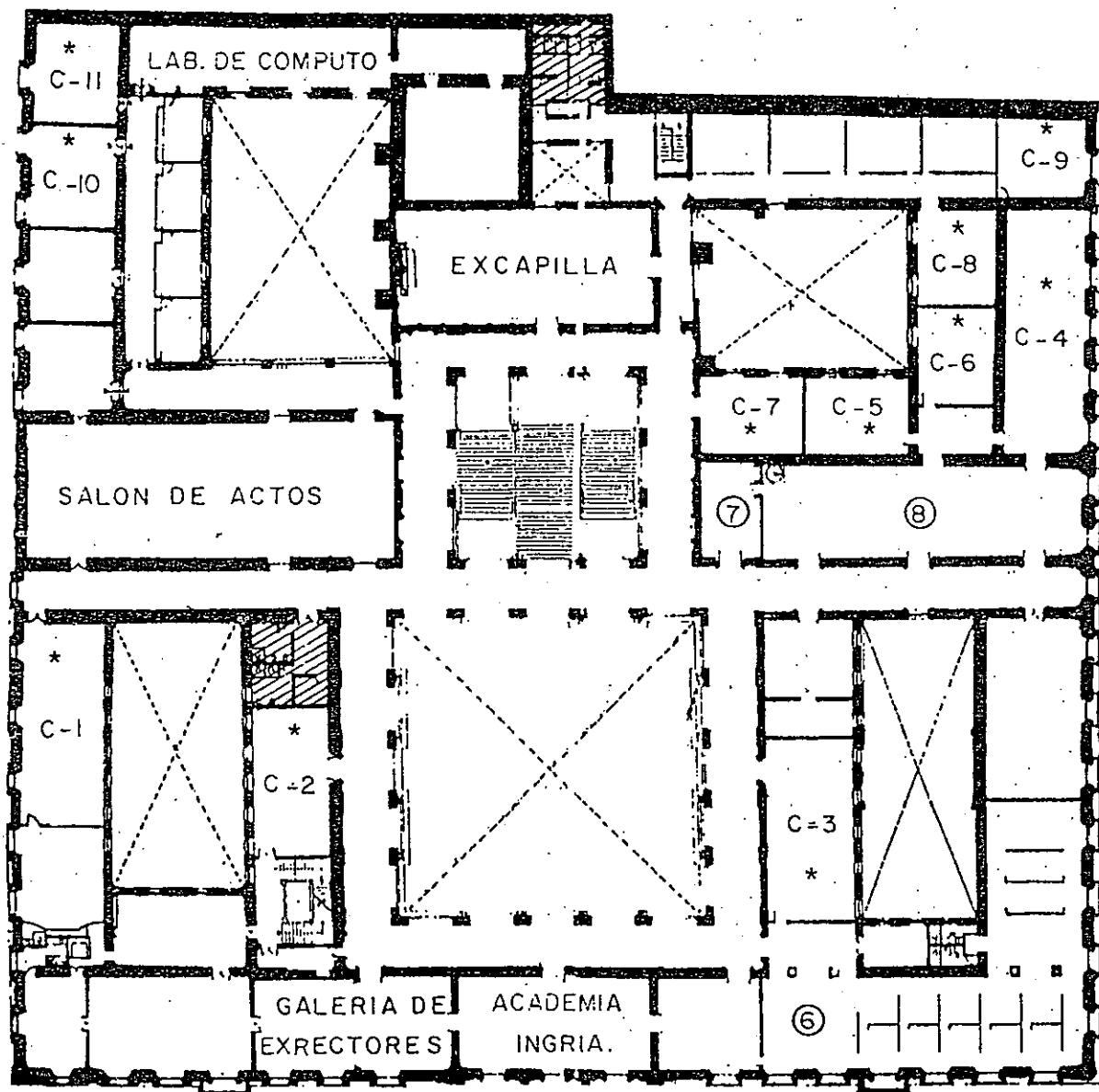
PLANTA BAJA



MEZZANINNE



DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
CURSOS ABIERTOS



GUIA DE LOCALIZACION

1 - ACCESO

2 - BIBLIOTECA HISTORICA

3 - LIBRERIA U N A M

4 - CENTRO DE INFORMACION Y DOCUMENTACION "ING. BRUNO MASCANZONI"

5 - PROGRAMA DE APOYO A LA TITULACION

* AULAS

6 - OFICINAS GENERALES

7 - ENTREGA DE MATERIAL Y CONTROL DE ASISTENCIA.

8 - SALA DE DESCANSO

▨ SANITARIOS

1er. PISO

DIRECTORIO DE PROFESORES DEL CURSO
INSTRUMENTACION ELECTRONICA DE PRO-
CESOS INDUSTRIALES.

ING. ALEJANDRO GALVAN ESPINOSA
SIMEX INTEGRACION DE SISTEMAS
JEFE DEL AREA DE CONTROL LOGICO
AV. CUAUHTEMOC # 1230
2o. PISO
COL. SANTA CRUZ ATOYAC
C.P. 03310
MEXICO, D. F.
TEL. 604-47-43 y 605-45-00

ING. RICARDO GARIBAY JIMENEZ
DIV. DE ING. ELECTRICA, ELEC-
TRONICA Y COMPUTACION FAC.
DE ING. UNAM.
JEFE DEL DEPTO. DE ING. DE
CONTROL.
CD. UNIVERSITARIA
TEL. 622-31-01 al 16

ING. RAFAEL RAMOS VILLEGAS

ING. ANTONIO SALVA CALLEJA
PROFESOR DE CARRERA
FACULTAD DE INGENIERIA
CD. UNIVERSITARIA
MEXICO, D. F.

ING. LUIS ROBERTO VEGA GONZALEZ
LEED & NORTHRUP MEXICANA, S. A.
ING. Y SERVICIOS, S. A.
PASEO ANTIOQUIA # 55 P.A.,
COL. LOMAS ESTRELLAS
TEL. 576-80-33

ING. JOSE ZARAGOZA AVILA

1000 1000 1000
1000 1000 1000
1000 1000 1000

1000 1000 1000
1000 1000 1000
1000 1000 1000
1000 1000 1000

1000 1000 1000
1000 1000 1000
1000 1000 1000

DIRECTORIO DE ALUMNOS DEL CURSO
INSTRUMENTACION ELECTRONICA DE PROCESOS
INDUSTRIALES

GARCIA MARTINEZ JOSE ENRIQUE
DESARROLLO Y ASESORIA EN CONTROL
INDUSTRIAL, S. A.
COMERCIALIZACION
Heriberto Frias No. 521
Col. Narvarte
C.P. 03020
Tel. 669-41-45
México, D. F.

ANDRACA ROMAN JOSE RAUL
TERSASA, S. A. DE C. V.
Ing. Aplicacion
Blvd. M. Avila Camacho No. 18
Residencial Militar

LOPEZ JUAREZ ISMAEL
FAC. DE ING. UNAM
Prof. de Lab. de Ampliación
de Señales
Cd. Universitaria
Tel. 622-35-72
México, D. F.

MENDOZA SALDIVAR SALVADOR
CONTROL Y APLICACIONES ME-
XICANA, S.A. DE C. V.
Jefe de Area de P.V
Calle 2 No. 5
Frac. Ind. Alce Bco.
Naucalpan
C.P. 53370
Tel. 3580554

RAMIREZ PARRALES ARTURO
RHACOR, S. A. DE C. V.

RUIZ LARA FELIX
Pedro Lascurain # 17
Presidentes de México
Iztapalapa
C.P. 09740

SANABRIA CANO MARCOS
Adrian Castrejon No. 199
San Pedro Xalpa
Atzacapotzalco
C.P. 02710
Tel. 359-58-47

VAN DAM AGUILAR ERIC JOSE
Universidad Iberoamericana
Estudiante
Av. Prolongación de la Reforma
880 Lomas de Sta. Fe
Alvaro Obregón
Tel. 570-70-70

UNIVERSIDAD NACIONAL / NOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA

CURSOS ABIERTOS

" INSTRUMENTACION ELECTRONICA DE PROCESOS INDUSTRIALES "

16 AL 25 DE NOVIEMBRE DE 1992

FECHA	HORARIO	TEMA	P R O F E S O R
Lunes 16 de Noviembre	17 a 19 h.	INTRODUCCION Panorama actual de la instrumentación aplicada al control y automatización de procesos industriales. Principales esquemas.	ING. RICARDO GARIBAY JIMENEZ
	19 a 21 h.	MICROPROCESADORES Aplicación de los microprocesadores al control e instrumentación. Esquema mínimo de un sistema basado en microprocesador.	ING. ANTONIO SALVA CALLEJA
Martes 17 de Noviembre	17 a 21 h.	SISTEMA MINIMO DE MICROPROCESADOR Y APLICACIONES	ING. ANTONIO SALVA CALLEJA
Miérc. 18 de Noviembre	17 a 21 h.	CONTROL DIGITAL: CONCEPTO Y APLICACION Concepto de Control Digital. Algoritmos digitales de las acciones de control. Realización de un controlador digital.	ING. RICARDO GARIBAY JIMENEZ
Jueves 19 de Noviembre y Lunes 23 de Noviembre	17 a 21 h.	CONTROLADORES LOGICOS PROGRAMABLES Definición y configuración básica. Áreas de aplicación.	ING. RICARDO GARIBAY JIMENEZ
Lunes 23 de Noviembre	18 a 21 h.	INSTRUMENTACION AMBIENTAL EN AIRE Problemática de la contaminación. Principios de medición de contaminantes atmosféricos. Aplicaciones.	

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA

CURSOS ABIERTOS

" INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA DE PROCESOS INDUSTRIALES "

16 AL 25 DE NOVIEMBRE DE 1992

FECHA	HORARIO	TEMA	PROFESOR
Martes 24 de Noviembre	17 a 21 h.	CONTROL DISTRIBUIDO Concepto y características principales. Arquitectura general.	ING. ROBERTO VEGA GONZALEZ
Miérc. 25 de Noviembre	17 a 19 h.	CONTROL DISTRIBUIDO: APLICACIONES	ING. ALEJANDRO GALVAN ESPINOSA
Miérc. 25 de Noviembre	19 a 21 h.	SISTEMAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS Y UNIDADES REMOTAS. Concepto, características y aplicaciones -- principales.	ING. ADRIANA ESCOBAR R.

EVALUACION DEL PERSONAL DOCENTE

CURSO: INSTRUMENTACION ELECTRONICA
DE PROCESOS INDUSTRIALES

FECHA: 16 AL 25 DE NOVIEMBRE 1992

		DOMINIO DEL TEMA	EFICIENCIA EN EL USO DE AYUDAS AUDIOVISUALES	MANTENIMIENTO DEL INTERES. (COMUNICACION CON LOS ASISTENTES, AMENIDAD, FACILIDAD DE EXPRESION).	PUNTUALIDAD	
CONFERENCISTA						
ING:	RICARDO GARIBAY JIMENEZ					
ING:	ANTONIO SALVA CALLEJA					
ING:	ANTONIO SALVA CALLEJA					
ING:	RICARDO GARIBAY JIMENEZ					
ING:	RICARDO GARIBAY JIMENEZ					
ING:	ROBERTO VEGA GONZALEZ					
ING:	ALEJANDRO GALVAN ESPINOSA					
ING:	ADRIANA ESCOBAR R.					
ESCALA DE EVALUACION: 1 a 10						

EVALUACION DE LA ENSEÑANZA

2

SU EVALUACION SINCERA NOS AYUDARA A MEJORAR LOS PROGRAMAS POSTERIORES QUE DISEÑAREMOS PARA USTED.

T E M A		ORGANIZACION Y DESARROLLO DEL TEMA	GRADO DE PROFUNDIDAD LOGRADO EN EL TEMA	GRADO DE ACTUALIZACION LOGRADO EN EL TEMA	UTILIDAD PRACTICA DEL TEMA	
	INTRODUCCION					
	MICROPROCESADORES					
	SISTEMA MINIMO DE MICROPROCESADOR Y APLICACIONES					
	CONTROL DIGITAL CONCEPTO Y APLICACION					
	CONTROLADORES LOGICOS PROGRAMABLES					
	INSTRUMENTACION AMBIENTAL EN AIRE					
	CONTROL DISTRIBUIDO: APLICACIONES					
	SISTEMAS DE ADQUISICION DE DATOS Y UNIDADES REMOTAS					
ESCALA DE EVALUACION: 1 a 10						

EVALUACION DEL CURSO

C O N C E P T O		
1.	APLICACION INMEDIATA DE LOS CONCEPTOS EXPUESTOS	
2.	CLARIDAD CON QUE SE EXPUSIERON LOS TEMAS	
3.	GRADO DE ACTUALIZACION LOGRADO EN EL CURSO	
4.	CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS DEL CURSO	
5.	CONTINUIDAD EN LOS TEMAS DEL CURSO	
6.	CALIDAD DE LAS NOTAS DEL CURSO	
7.	GRADO DE MOTIVACION LOGRADO EN EL CURSO	
EVALUACION TOTAL		

ESCALA DE EVALUACION: 1 A 10

1.- ¿Qué le pareció el ambiente en la División de Educación Continua?

MUY AGRADABLE

AGRADABLE

DESAGRADABLE

2.- Medio de comunicación por el que se enteró del curso:

PERIODICO EXCELSIOR
ANUNCIO TITULADO DE
VISION DE EDUCACION
CONTINUA

CARTEL MENSUAL

REVISTAS TECNICAS

PERIODICO NOVEDADES
ANUNCIO TITULADO DE
VISION DE EDUCACION
CONTINUA

RADIO UNIVERSIDAD

FOLLETO ANUAL

FOLLETO DEL CURSO

COMUNICACION CARTA,
TELEFONO, VERBAL,
ETC.

CARTELERA UNAM "LOS
UNIVERSITARIOS HOY"

GACETA
UNAM

3.- Medio de transporte utilizado para venir al Palacio de Minería:

AUTOMOVIL
PARTICULAR

METRO

OTRO MEDIO

4.- ¿Qué cambios haría en el programa para tratar de perfeccionar el curso?

5.- ¿Recomendaría el curso a otras personas?

SI

NO

5.a. ¿Qué periódico lee con mayor frecuencia?

6.- ¿Qué cursos le gustaría que ofreciera la División de Educación Continua?

7.- La coordinación académica fué:

EXCELENTE

BUENA

REGULAR

MALA

8.- Si está interesado en tomar algún curso INTENSIVO ¿Cuál es el horario más conveniente para usted?

LUNES A VIERNES
DE 9 a 13 H. Y
DE 14 A 18 H.
(CON COMIDAD)

LUNES A
VIERNES DE
17 a 21 H.

LUNES A MIERCOLES
Y VIERNES DE
18 A 21 H.

MARTES Y JUEVES
DE 18 A 21 H.

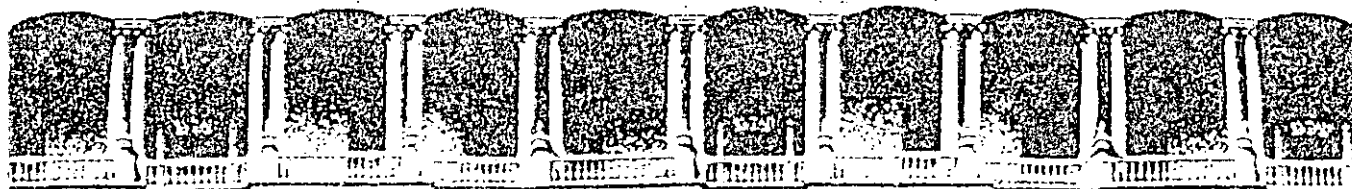
VIERNES DE 17 A 21 H.
SABADOS DE 9 A 14 H.

VIERNES DE 17 A 21 H.
SABADOS DE 9 A 13 H.
DE 14 A 18 H.

OTRO

9.- ¿Qué servicios adicionales desearía que tuviese la División de Educación Continua, para los asistentes?

10.- Otras sugerencias:



FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA

CURSOS ABIERTOS

INSTRUMENTACION ELECTRONICA DE PROCESOS INDUSTRIALES

INTRODUCCION

ING RICARDO GARIBAY JIMENEZ

LA INSTRUMENTACIÓN ELECTRONICA Y SU
PERSPECTIVA EN SISTEMAS AUTOMATICOS

Carpolicán Muñoz Gamboa

Javier Valencia Figueroa

División de Estudios de Posgrado
Facultad de Ingeniería, UNAM

RESUMEN

Desde los aspectos básicos de medición, detección y adquisición de datos, la instrumentación electrónica juega un importante papel en el desarrollo de los modernos sistemas automáticos, por lo que comprender sus posibilidades y alcances es vital para imaginar la forma en que determinará el avance de ellos en el futuro.

En este trabajo se plantean las cuestiones básicas de la instrumentación electrónica y se analizan las conexiones que tienen con los sistemas automáticos, haciendo especial hincapié en la influencia que ejercen en el actual desarrollo de la robótica.

Se dedica atención, además, a los aspectos de software que se relacionan con esta problemática y que gravitan cada vez con mayor fuerza tanto en instrumentación, como en robótica.

INTRODUCCION

El desarrollo de los sistemas automáticos modernos tiene, entre sus principales características, la capacidad de reunir con una meta común a una serie de disciplinas que prestan importantes contribuciones al logro de sus objetivos. Entre estas disciplinas se encuentra la instrumentación electrónica, que tiene la responsabilidad de encargarse de los aspectos básicos de medición, adquisición de datos y procesamiento de datos, con lo que permite que los sistemas efectúen una cuantificación de las variables físicas que deben manejar, lo que le confiere precisión a sus operaciones.

En este sentido cabe destacar que es la instrumentación, entendida como una actividad de medición o cuantificación del mundo físico, la que confiere a la ciencia su carácter de tal [1]. Por ello, la instrumentación requiere avanzar a la vanguardia del desarrollo tecnológico y científico, ya que paralelamente al descubrimiento debe desarrollarse el mecanismo de evaluación o medición.

Entre las demás disciplinas que se reúnen en los sistemas automáticos, se tiene a la mecánica, el control automático, las comunicaciones, la programación y diversos aspectos de la física o de la ingeniería, dependiendo del objetivo del sistema automático. Aunque estas cuestiones también se mencionarán en el presente trabajo, se hará mayor hincapié en la influencia que tiene principalmente la instrumentación electrónica, en los sistemas automáticos, sin desconocer la importancia de las demás disciplinas.

Una de las cuestiones más significativas de la instrumentación electrónica es que por su carácter debe adaptarse a muy diversos objetivos, por ello es que la confluencia de la instrumentación electrónica y la medicina, por ejemplo, da origen a la instrumentación médica; la unión con las ciencias de la tierra, da lugar a la instrumentación geológica, geofísica, etc. En el caso de los sistemas automáticos, la instrumentación electrónica tiene la responsabilidad de conectar el mundo físico de un proceso con los dispositivos o aparatos responsables de controlar, tomar decisiones o efectuar acciones para modificar, corregir o conducir el proceso bajo control. Por ello es que el objetivo del presente trabajo es plantear las cuestiones básicas de la instrumentación electrónica y de los sistemas automáticos para

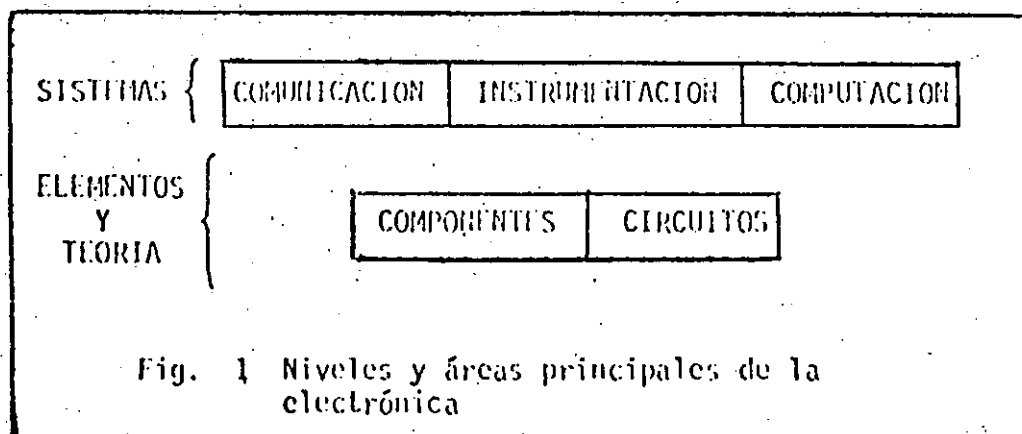
sentar las bases del análisis de las conexiones que tienen entre sí y de cómo se ejercen sus influencias.

LA INSTRUMENTACION ELECTRONICA

Al iniciar el análisis, es conveniente precisar lo que se entiende por instrumentación electrónica, en qué contexto se encuentra y cuales son las formas que adopta.

Es un lugar común muy difundido que debe entenderse por instrumentación prácticamente toda actividad en la que se precisa de instrumentos; sin embargo, aunque esto puede ser verdad en el lenguaje común, no puede aplicarse completamente a la ingeniería. Por ello se le considera como el área que se relaciona con la medición, evaluación o análisis de variables físicas, así como con los mecanismos, métodos e instrumentos encargados de realizar efectivamente estas operaciones.

En el caso específico de la instrumentación electrónica esta concepción se restringe a los mecanismos, métodos e instrumentos electrónicos, aunque las variables no tienen porqué ser únicamente eléctricas. En este contexto, la instrumentación electrónica pasa a ser una parte muy importante de la electrónica, como se observa en la figura 1, donde se consideran como las bases de ellos a los elementos o componentes y a la teoría. Las



comunicaciones, la instrumentación y la computación constituyen entonces productos elaborados a partir de estas bases y que tienen múltiples interacciones entre sí, las que se destacan en la figura 2.

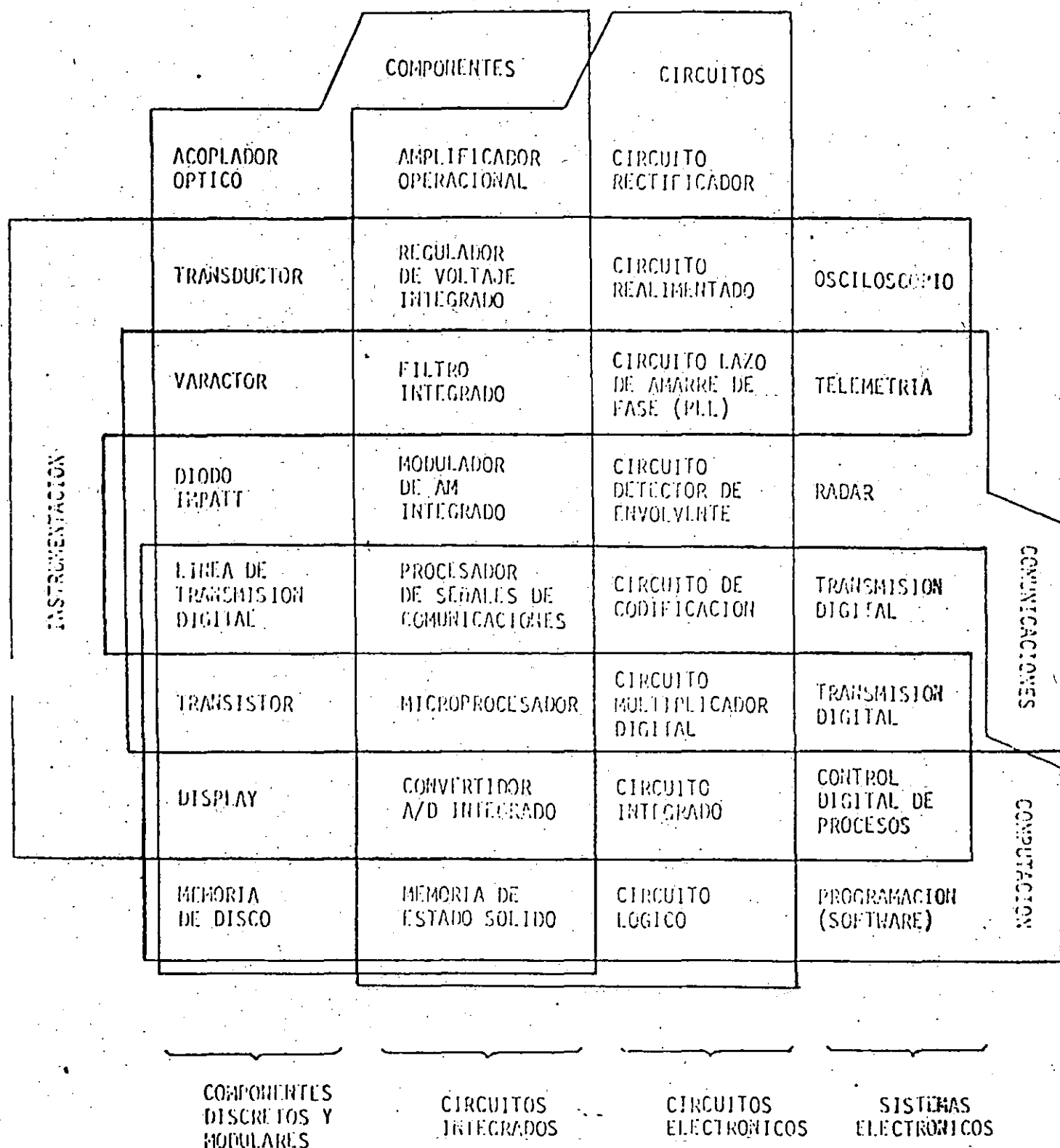


FIG. 2 Áreas en que se divide la electrónica y elementos representativos de las intersecciones entre ellas.

Puesto que este planteamiento pudiera ser un poco arbitrario, se aclarará lo que se entiende por cada una de estas áreas. Es evidente que los componentes electrónicos son fácilmente reconocibles como tales, especialmente porque se basan en los fenómenos eléctricos que ocurren en los gases, el vacío y principalmente en los semiconductores. Debe destacarse, sin embargo, que muchos componentes no son de este tipo (como inductores, capacitores, etc.) y algunos no son ni siquiera eléctricos (son mecánicos o magnéticos), pero está claro que no son los más importantes, sino que son únicamente de apoyo y están hechos en forma especial para uso electrónico.

Por otra parte, la teoría de circuitos no sólo es útil en electrónica sino que también en ingeniería eléctrica, pero ya se sabe que los circuitos que se emplean en electrónica son muchos más, más específicos y bastante más interesantes. Hecha la salvedad, queda claro que los componentes y los circuitos son las bases físicas y teóricas de los sistemas que se desarrollan a partir de ellos, los que se indican en la figura 1 como comunicaciones, instrumentación y computación.

Las comunicaciones son, en síntesis, el área que trata de la aplicación de técnicas y elementos al análisis, procesamiento, transmisión y posterior recuperación, procesamiento y aplicación de información, por lo que constituye un área bastante específica.

La computación, por otro lado, es el área vinculada al desarrollo y aplicación de las computadoras; sin considerar, por supuesto, lo que actualmente se conoce como ciencia de la computación que ha adquirido fuerza e independencia.

Al hacer estas distinciones, queda claro que la definición de instrumentación electrónica no limita la interacción entre las diferentes áreas, ya que tanto en comunicaciones como en computación serán necesarios los instrumentos de análisis, medición y prueba. También en todos los sistemas se tendrá la influencia o aplicación de técnicas de comunicaciones o de computación al procesarse o transmitirse señales o datos dentro de un sistema o en una red de ellos.

Puesto que la definición planteada es muy general, es conveniente especificar con mayor claridad las formas que adopta la instrumentación elec

trónica o las partes en que se le puede dividir. Para este efecto se considerarán los sistemas de medición, los sistemas de adquisición de datos, los sistemas de adquisición y procesamiento de datos y los sistemas automáticos.

Los Sistemas de Medición (SM)

En la figura 3 se muestra un diagrama esquemático de un sistema de medición generalizado, que permitirá reconocer que cualquier instrumento de medición es un buen ejemplo de un SM. Se tiene una etapa detectora

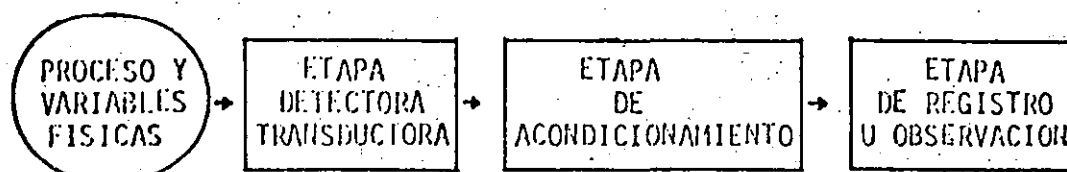


Fig. 3 Diagrama esquemático de un sistema de medición generalizado (SM)

transductora, que transforma a las variables a medir a su forma eléctrica, una etapa de acondicionamiento, responsable de efectuar algunas modificaciones a las señales con el objeto de adecuarlas al procedimiento mismo de medición, o del procesamiento necesario para determinar el valor que se desea medir. La etapa final tiene por objeto, como puede suponerse, registrar el valor obtenido o permitir que sea observado por el usuario.

En esta forma simple implica únicamente una transformación de la variable en observación desde el dominio del mundo físico a un dominio observable. Esta transformación es la esencia de todo proceso de medición y por ende de la instrumentación. Por ello cada vez que se tenga que realizar este proceso, se tendrá algún tipo de SM, aunque esta transformación no es exclusiva de ellos, sino que es compartida por los demás sistemas que se analizarán.

Otra forma, un poco más compleja, que adoptan los SM incluye el uso de la comparación con referencias internas para obtener la diferencia entre el valor medido y un valor que "debió ser", la realimentación y uso de esta diferencia o error y, por último, el control del valor obtenido. En esta forma, el SM adquiere además características de controlador, aunque todo el proceso se basa en la determinación de los valores de la variable, es de

cir, en la medición.

Los Sistemas de Adquisición de Datos (SAD)

En el caso anterior se trataba de obtener (y a veces manipular) el valor de una sola variable (o de algunas variables, aunque nunca en forma simultánea), lo que producía instrumentos sencillos y de aplicación muy local. En ocasiones, sin embargo, se requiere la obtención y el tratamiento de los valores de muchas variables, función que ejecutan los sistemas de adquisición de datos. En la figura 4 se observa un diagrama esquemático

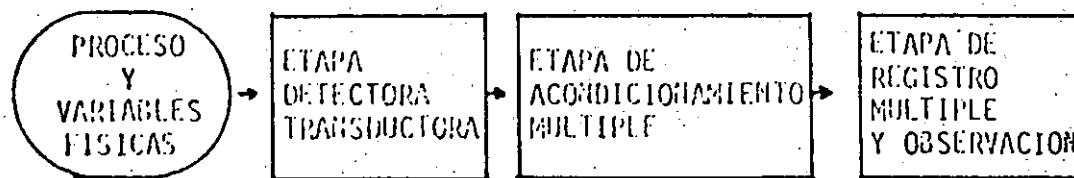


Fig. 4 Diagrama esquemático de un Sistema de Adquisición de datos generalizado (SAD).

co que representa a los SAD, el que no difiere esencialmente de los SM, excepto porque ahora existe una obtención y un tratamiento múltiple de las variables en observación. La diferencia, sin embargo, tiene muchas facetas que no son evidentes en el diagrama, pero que son importantes, como son los procedimientos (principalmente de acondicionamiento y de registro) que se aplican a los datos que se obtienen. Al mismo tiempo, el objetivo ahora es principalmente obtener no un valor (o un conjunto de ellos), sino más bien una "visión" específica del proceso en observación. Esto se conoce como estado del proceso y tiene por lo general la intención de caracterizarlo o controlarlo.

En esta forma es como surge en forma natural la idea de controlar el proceso con un lazo de realimentación, similar al de los SM realimentados. Esta vez, sin embargo, no se trata de un solo lazo que se cierra, sino que de un sistema complejo de interacciones entre los valores obtenidos del proceso en cada momento, los que se desean obtener, el error que resulte entre ambos conjuntos y de los múltiples mecanismos que puede haber para controlar o dirigir el proceso. En cualquier caso, es preciso señalar que el volumen de la información que se maneja obliga al empleo de mecanismos de registro o almacenamiento, por lo que la etapa final va por

diendo su característica de ser de observación y se va convirtiendo cada vez más en una etapa para uso del sistema, es decir, donde el SAD puede encontrar información útil para su operación.

Los Sistemas de Adquisición y Procesamiento de Datos (SAPD)

Tal como se mencionó en el caso anterior, el volumen de la información recolectada por un SAD va obligando a considerar como una actividad importante el procesamiento de ellos, lo que conduce directamente a los SAPD.

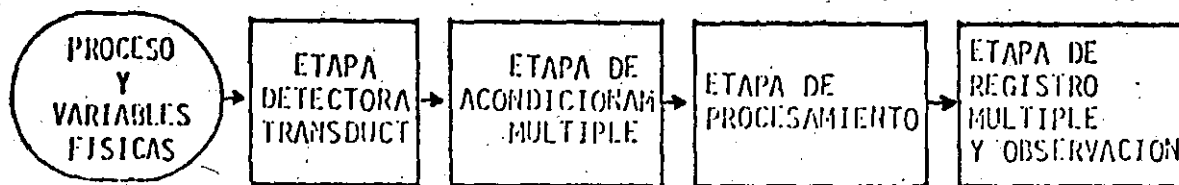


Fig. 5 Diagrama esquemático de un sistema de adquisición y procesamiento de datos generalizado (SAPD).

En la figura 5 se muestra un diagrama esquemático de estos sistemas donde se observa que se ha agregado, una etapa de procesamiento posterior al acondicionamiento múltiple. Esta nueva etapa es la más importante del SAPD, porque es la responsable de obtener, a partir de toda la información recogida, los elementos de juicio necesarios y resumidos para evaluar, corregir, conducir o controlar el proceso en cuestión.

Los elementos de juicio a que se hace referencia son curvas, cifras de mérito (como medias, dispersiones, etc.), diagramas, relaciones y todo tipo de información condensada que permitirá evaluar la evolución del proceso en observación y eventualmente tomar decisiones en forma automática para controlarlo.

De acuerdo a lo que se ha planteado queda la idea de que en estos sistemas lo más importante no es la detección, el acondicionamiento o la medición de los valores, sino que por el contrario, el procesamiento de los datos obtenidos. En este sentido cabe destacar que, aunque la etapa detectora sea sólo una especie de canal de comunicaciones entre las variables físicas y los datos, se requiere que ésta trabaje eficientemente como SI independiente, de cuya exactitud dependerán las decisiones toma

das o los resultados obtenidos por el procesamiento. Y puesto que se hace énfasis en el procesamiento de los datos, la síntesis, y no sólo el análisis, forma parte de él. Un ejemplo serían los sintetizadores de señales.

Por otra parte, debe notarse que se ha hecho a propósito la distinción entre acondicionamiento y procesamiento, ya que en el primer caso no hay una transformación real de la información, en tanto que en el segundo, si la hay. En la etapa de acondicionamiento, por ejemplo, se realizan las siguientes operaciones típicas:

1. Muestreo y retención
2. Conversión analógica digital
3. Filtrado, amplificación o atenuación
4. Sincronía entre las distintas variables
5. Medición

Todas estas operaciones están encaminadas principalmente a obtener valores confiables de la medición. En la etapa de procesamiento, por el contrario, el objetivo de las operaciones es muy diverso, como se destaca al mencionar algunas de las más simples de ellas:

1. Cálculo de estimaciones de probabilidad
2. Solución de integrales y diferenciales
3. Correlación y convolución
4. Cálculo y manejo de errores
5. Análisis espectral

La más importante diferencia, entonces, que puede observarse entre los SAPD y los SAD (incluyendo a los SM), es que los primeros logran condensar la información obtenida, además de obtenerla, por lo que su utilidad se incrementa notablemente, dando origen a los sistemas automáticos al emplear los recursos de la programación, de los sistemas de cómputo y de la realimentación a través de actuadores que influyan en el proceso.

Los Sistemas Automáticos (SA)

En la figura 6 se observa un diagrama esquemático de un SA obtenido

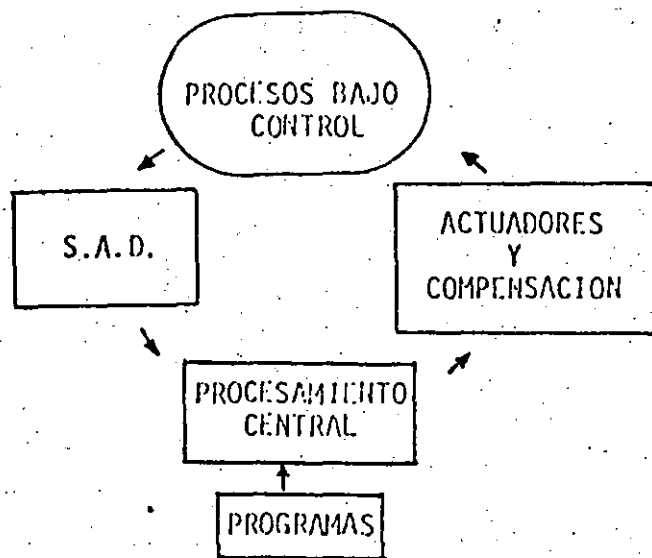


Fig. 6 Diagrama esquemático de un sistema automático generalizado (SA)

en forma natural y por evolución desde el SM. Se ha querido destacar al procesamiento como el punto más importante del sistema, por lo que se le ha dividido en un SAD, la unidad de procesamiento central, la correspondiente programación y los actuadores o etapa de salida.

Además de la realimentación, pareciera no haber mayor diferencia entre el SA y los SAPD, pero pueden hacerse notables distinciones entre la forma de operación de ambos sistemas y entre sus objetivos.

Los SAPD son por lo general dedicados y de programación más rígida, en tanto que los SA son más flexibles, dependen en gran medida de los recursos de programación, tienen a su cargo normalmente varios procesos y, lo que es más importante, no dependen del usuario durante la operación ni están diseñados para considerar como su función más importante la observación o registro de datos (salvo, tal vez, en la información a través de monitores). Para los SAPD es más importante el procesamiento de los datos obtenidos (evaluación del proceso), mientras que para los SA son vitales las decisiones a tomar sobre las acciones futuras (control del proceso).

La robótica es un ejemplo muy actual e interesante de los SA, ya que ha pasado a ser un importante ingrediente de la industria moderna, llegando se a observar desde ya sus influencias económicas, sociales y políticas. En el siguiente capítulo se analizarán con mayor detalle los SA y la robótica.

LOS SISTEMAS AUTOMÁTICOS Y LA ROBOTICA

Considerando al SA como un sistema capaz de obtener datos del mundo físico, de procesarlos apropiadamente para tomar decisiones basadas en ellos y, posteriormente, ejecutar acciones precisas y definidas con el fin de lograr ciertos objetivos, se tiene un sistema de alta complejidad, del que pueden mencionarse algunos ejemplos relevantes como los sistemas de control de plantas industriales, los vehículos y sondas automáticas empleadas en la exploración espacial y los robots industriales. Estos últimos han generado sus propias bases de análisis y desarrollo dentro de lo que se conoce actualmente como robótica.

Los robots destacan entre los ejemplos anteriores fundamentalmente porque tienen la capacidad potencial de sustituir al ser humano en labores rutinarias, repetitivas o peligrosas, característica que no es compartida por la totalidad de los demás SA que están principalmente orientados a ejecutar acciones que por su velocidad o dificultad no son humanamente posibles. Tal vez por esta razón, la robótica se ha desarrollado más rápidamente en los países industrializados donde la mano de obra es cara o escasa, en donde importa bajar los costos de producción por la competencia internacional, o en la industria más avanzada, a causa de la complejidad o dificultad que presenta el control de sus procesos.

En este sentido, la robótica plantea un desafío similar a la introducción de la máquina, que condujo a la revolución industrial, por lo que es de esperarse que muy pronto sea necesario adaptarse a nuevas y muy distintas condiciones de operación de la industria.

En la actualidad se ha tenido un desarrollo acelerado de la robótica que puede caracterizarse en los siguientes puntos [2]:

1. Lento avance del control dinámico y del diseño mecánico en comparación con los otros aspectos de la tecnología.
2. Factibilidad de las realizaciones como consecuencia del avance de la microelectrónica.

3. Es un campo de amplias aplicaciones y de investigación a largo plazo.
4. Fuerte impulso del desarrollo motivado por la competencia industrial internacional y por las implicaciones militares y gubernamentales.
5. Es un campo que exige la coordinación o niveles nacionales de la investigación, para impulsar en forma dirigida y eficiente la tecnología.

Los sistemas automáticos (y de robótica en particular) consideran aspectos de diferentes campos y los integran en un solo bloque de conocimientos. Los principales aspectos que se considerarán aquí son mecánicos, de detección, de adquisición de datos, de reconocimiento, de control, de comunicaciones y de programación. Todos estos aspectos son vitales y muchos de ellos presentan problemas en vías de solución, e incluso, aún no resueltos, por lo que se analizarán por separado.

Aspectos Mecánicos

Orientados básicamente a la tracción y al movimiento, los aspectos mecánicos tienen la responsabilidad final de la manipulación (robots manipuladores) [3] o del desplazamiento (vehículos exploradores). Por esta razón se enfrentan principalmente a dos cuestiones: la imitación de los movimientos hechos por brazos humanos (o a su sustitución por otros diferentes) en lo que se refiere a la ubicación en el espacio y libertad de posición, y la solución del problema del desplazamiento y transporte de todo el sistema en un terreno no apto para los mecanismos tradicionales de tracción.

En este último caso (los vehículos exploradores), la solución no se parece en nada a la humana, es decir, los sistemas no imitan una caminata, sino que se desplazan apoyados en ruedas u orugas muy adaptables al terreno en que se posan. Tal vez por eso la manipulación es más atractiva, ya que se observa en los robots manipuladores una grotesca imitación del movimiento de los brazos humanos. No debe olvidarse, tampoco, que estos robots sustituyen una actividad humana más productiva que el desplazamiento.

Aspectos de Detección y Adquisición

En sus formas más simples, la detección y adquisición de datos se relacionan estrechamente con los SM y SAD, aunque cuando se trata de SA o de robots, el problema no consiste simplemente en detectar y obtener un conjunto de datos. Con mucha frecuencia se trata de seleccionar de entre un grupo de variables la más significativa, para determinar en mejor forma los elementos necesarios que servirán para lograr el objetivo deseado. Por esta razón, aunque la detección de contacto, de proximidad, de formas, de distribuciones, de voz humano, etc. sean problemas resueltos en principio, es más importante el reconocimiento o análisis de lo detectado. La detección o adquisición de datos en sí no constituye realmente un obstáculo serio, aunque los mecanismos de detección han progresado notablemente (por ejemplo, con los arreglos de sensores) [4] y se han desarrollado nuevas técnicas digitales de adquisición de datos.

Aspectos de Control

Es indiscutible que la realización de acciones por parte del robot trae como consecuencia la necesidad de controlar su operación. Los sistemas físicos, en general, y los mecánicos en particular presentan características tales que obligan a considerar diversos aspectos de la teoría del control digital [5].

Por otra parte, la acción de los SA (y de los robots) está dirigido no sólo a controlarse a sí mismos, sino que también a controlar los procesos en consideración. Y por supuesto que es lógico que los mecanismos de detección, adquisición, procesamiento y realimentación del sistema requieran ser controlados.

El empleo generalizado de técnicas digitales, así como de variables muestreadas obliga también a considerar los sistemas desde puntos de vista más generales y modernos.

Aspectos de Comunicaciones

Entendiendo las comunicaciones como los procesos de transferencia de

información entre dos puntos, el manejo interno de los datos requiere el uso de técnicas digitales de análisis de señales y de comunicaciones [6]. También es importante considerar que las señales se transportan en forma analógica desde los detectores a la etapa de acondicionamiento; que en este punto se utilizan muchas técnicas de tratamiento típicas de comunicaciones, como son el filtrado, la modulación, etc.; que en ocasiones será necesario la transmisión de datos o instrucciones de control en situaciones de comandos a distancia; y que dependiendo del medio en que se realicen las transmisiones puede ser necesario el empleo de técnicas de protección de la información respecto al ruido por medio de códigos.

Por otra parte, los robots emplean profusamente en sus detectores técnicas de comunicaciones para la localización del entorno en que se desenvuelven, los que van desde simples detectores de proximidad hasta sistemas cerrados de TV.

Aspectos de Reconocimiento.

Entre las funciones características que deben desempeñar los robots está su relación con el entorno, por lo que la etapa de detección y adquisición de datos debe ser lo suficientemente compleja como para llegar a desempeñar sus funciones aunque se presentan cambios en el medio. Esto hace que las formas de detección sean similares a las humanas, debiendo ser capaces de reconocer sonidos, patrones, figuras, etc. Sin embargo, la principal dificultad no está en la adquisición de los datos, sino en los procedimientos necesarios de procesamiento para reconocer lo que se desea.

El tratamiento a que es sometida la información adquirida llega a ser el punto clave del proceso. Las señales se procesan por medio de apropiadas transformaciones que facilitan la tarea del reconocimiento. La problemática general se relaciona estrechamente con los modelos empleados para la representación de lo que se desea reconocer y con las herramientas matemáticas sobre las que se basan los modelos.

Aspectos de Programación (Software)

Al describirse el diagrama general de un SA se destacó que una de las

partes vitales del sistema corresponde al procesamiento central, individualizado por una computadora, por lo cual la programación se convierte en una herramienta indispensable para la operación de los SA. En el caso de los robots, la programación adquiere características especiales, ya que se hace preciso el empleo de lenguajes orientados al desempeño de la máquina [7].

La programación de los robots cumple entonces, entre otras funciones, las siguientes:

1. "Visualizar" el medio ambiente a través del tratamiento apropiado de las señales o datos adquiridos por el sistema.
2. "Adecuarse" a un determinado medio para realizar determinadas funciones, frente a cambios que se produzcan.
3. Controlar la ejecución de determinadas acciones, de acuerdo a los requerimientos de sus etapas de salida o de los procesos que se requiere controlar.
4. Supervisar la realización de una secuencia de actividades de acuerdo a la función que realiza.
5. Administrar óptimamente los recursos de cálculo al desarrollar las distintas operaciones, puesto que todas deben llevarse a cabo en tiempo real.
6. Coordinar las diferentes actividades entre sí, para que vayan culminando en una secuencia dependiente de la operación que se realiza y de acuerdo a lo que el medio ambiente vaya requiriendo.
7. Autocomprobar la operatividad de sus diferentes partes y diagnosticar las fallas o mal funcionamientos que se produzcan.

Como habrá podido notarse, la complejidad de las funciones que debe desempeñar la programación transforman al procesamiento central en la pieza clave de todo el sistema. Prácticamente no hay posibilidades de desarrollar funciones de ningún tipo si la programación no es adecuada o es inexistente.

Las funciones más simples de control residen en esta parte, así como la responsabilidad del reconocimiento, o del proceso de los datos se caen en ellos.

De allí que es de vital importancia reconocer que el desarrollo de los robots (y en general de los SA) depende en gran medida del avance de estas técnicas y, por supuesto, de lo que se apoyen en las cuestiones básicas del reconocimiento y del control.

CONCLUSIONES

Se ha planteado una estructura general de la Instrumentación Electrónica, en la que los SA constituyen el ingrediente más elaborado. Al mismo tiempo, se han destacado las diferencias entre las partes constitutivas y se incluye a la robótica dentro de los SA. Esta visión de conjunto implica también reconocer que los SA (y la robótica, en particular) han comenzado a independizarse como disciplinas y que reúnen en su seno a una serie de conocimientos provenientes de distintas áreas.

En la figura 6 se mencionan como elementos constitutivos de un SA generalizado: un SAD, un sistema de procesamiento central, los actuadores y la compensación, la programación, y los lazos de realimentación respectivos de la arquitectura del SA, lo que también es aplicable a los robots. Debe reconocerse que todos estos elementos son importantes y que en cada uno de ellos se presentan los aspectos que se han analizado.

Los aspectos mecánicos son típicos de los actuadores y de la compensación; los aspectos de detección, de adquisición, así como algunos de reconocimiento se refieren al SAD; los aspectos de comunicaciones y control están relacionados con la totalidad del SA; los aspectos de reconocimiento, programación, control y algunos de comunicaciones están vinculados con el sistema de procesamiento central y con la programación. Esta perspectiva pone de manifiesto que sobre estas dos partes recae la mayor parte de la responsabilidad de la operación del sistema, lo que las transforma en las más importantes.

Esta situación tenderá a agudizarse a causa de que en el futuro los sistemas de control computarizado tenderán a ser redundantes y de múltiples

grados de libertad; se mejorará la confiabilidad con el procesamiento distribuido; se obtendrán mejores modelos dinámicos y cinemáticos para el control en tiempo real; se desarrollarán lenguajes orientados y de alta especialización; y se espera un fuerte avance en los sistemas de reconocimiento.

REFERENCIAS

1. Bernard M. Oliver y John M. Cage (Eds.), "Electronic Measurements and Instrumentation", Mc Graw Hill, 1971.
2. D. Tesar, "Conclusions for the NSF Robotics Workshop" Proceedings of the National Science Foundation, Febrero 1978, Florida.
3. J. Angeles, "Aspectos Teóricos de la Robótica", Revista Ingeniería, Vol. LIII No. 4, Diciembre 1982.
4. J.M. Kates, "A Generalized Approach to High-Resolution Array Processing". International Conference on Acoustics, Speech, and Processing, ICASSP 83, Boston MA.
5. Robert B. McGhee, "Dynamics and Control of Manipulators and Robotics Systems", Proceedings of the National Science Foundation, Feb. 1978.
6. C. Richmond y V.K. Jain, "Systems Modeling by Digital Signal Processing and Laboratory Verification", International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, ICASSP 83, Boston MA.
7. W.T. Park, "Robotics Research Trends", Proceedings of the National Science Foundation, Feb. 1978.

APENDICE VIII. Definiciones

SISTEMA. Es un conjunto de elementos (no necesariamente físicos) que interaccionan entre sí para lograr un determinado objetivo. Por ello, ante un estímulo (entrada) el sistema responde de una cierta forma (Salida) característica.

PROCESO. Es una operación continua o discreta que es susceptible de ser controlada.

PLANTA. Es un objeto físico, equipo o conjunto de ellos que funcionan juntos, cuyo propósito es realizar una determinada función u operación que puede controlarse.

PERTURBACION. Es una señal que tiende a afectar de manera negativa la salida de un sistema.

REALIMENTACION. Es una operación que consiste en utilizar la salida de un sistema como referencia a su entrada, con el objeto de reducir la diferencia entre ambas variables, lográndose con ello también un mejor control de la salida por parte de la entrada en presencia de perturbaciones.

SISTEMA DE CONTROL REALIMENTADO. Es un sistema en el cual se trata de obtener una relación predeterminada y fija entre la entrada y la salida, comparando ambas señales y utilizando la diferencia entre ellas como medio de control.

SISTEMA DE REGULACION. Es un sistema de control realimentado cuya función principal es mantener la salida dentro de un intervalo deseado, a pesar de las perturbaciones externas o variaciones de la entrada.

SISTEMA DE CONTROL DE PROCESOS. Es un sistema de regulación en el cual la salida se somete a una determinada variación predeterminada por un programa o itinerario.

SISTEMA DE CONTROL DE LAZO CERRADO. Es un sistema de control realimentado, ya que la salida se emplea para afectar directamente a la entrada, con lo

cual se tiene un lazo cerrado.

SISTEMA DE CONTROL DE LAZO ABIERTO. Es un sistema de control en el que la salida no tiene ninguna influencia en la entrada.

CONTROL DIRECTO. Se denomina así a los mecanismos de control que utilizan la variable de salida en forma directa para influenciar la entrada. De no ser esto posible, la variable de salida puede determinarse indirectamente a través de otras mediciones.

SISTEMA DE CONTROL ADAPTABLE. Es el sistema de control que tiene la habilidad de automodificarse o ajustarse para compensar las variaciones no predecibles del medio ambiente o de su propia estructura interna.

CONTROLADOR. Es la parte del sistema de control que produce una o más variables de control para alimentar a la planta en función de las variables de referencia o de entrada y de las variables de salida de la planta.

SISTEMA DE CONTROL DIGITAL DIRECTO. Es el sistema de control que está constituido por un dispositivo digital; el que se encarga de generar directamente las señales o variables que alimentan a los elementos finales de control (actuadores).

SISTEMA DE CONTROL SUPERVISÓRIO. Es el sistema de control, en el que los lazos de control operan en forma casi totalmente independiente, ya que son susceptibles de ser ajustados o corregidos por la acción independiente de otros lazos de control (supervisores), normalmente digitales.

COMPENSACION. Mecanismo adicional de control que permite anular o contrarrestar los efectos debidos a las fuentes conocidas de error en un sistema de control dado.

CONTROL PROPORCIONAL. Es una forma de control en la que existe una relación lineal entre la salida del controlador y la señal de error de la entrada.

CONTROL DE DOS POSICIONES. Es una forma de control en la que el elemento final o actuador tiene sólo dos posibles estados, típicamente encendido y

apagado.

CONTROL INTEGRAL. Es una forma de control en la que la salida del controlador varía a una razón proporcional a la señal de error de entrada, o sea, es proporcional a la integral de esta señal.

CONTROL PROPORCIONAL E INTEGRAL (PI). Es una forma de control en la cual la salida del controlador responde a una combinación lineal de proporcionalidad y de la integral de la señal de error de entrada.

CONTROL PROPORCIONAL Y DERIVADO (PD). Es una forma de control en la que la salida del controlador es una combinación lineal de proporcionalidad y de la derivada de la señal de error de entrada.

CONTROL PROPORCIONAL, INTEGRAL Y DERIVADO (PID). Es una forma de control en la que la salida del controlador es una combinación lineal de la señal de error de entrada, de la integral, de la derivada de ésta.

APENDICE IX. Realimentación y Controladores.

REALIMENTACION

El concepto de realimentación es uno de los más importantes en el control y la instrumentación industrial. De hecho, la realimentación marca el inicio del control moderno y éste es inconcebible sin aquélla. Por ello, es importante conocer perfectamente los fundamentos de la realimentación, la terminología empleada en esta técnica y los resultados que se obtienen al realimentar un sistema.

La forma canónica de representar la realimentación es la que se muestra en la figura 1, donde se observa que la salida y de la planta A se hace pasar por el bloque B y a continuación se reintroduce a la entrada restándola a la entrada original x . Esto produce la señal de error e , que es igual a $x - By$, la que se constituye en la nueva entrada de la planta A . También se observa que la salida de A se altera con la perturbación d , por lo que la salida está dada por

$$y = d + A(x - By)$$

$$\therefore \frac{y}{x} = \frac{A+d/x}{1+AB} \quad (1)$$

Nótese en esta ecuación que el efecto de la realimentación en A es diferente del efecto en la perturbación d , por lo que se tomará $d=0$ de ahora en adelante, excepto cuando se indique.

Tomando $d=0$, resulta entonces que

$$\frac{y}{x} = \frac{A}{1+AB} \quad (2)$$

la que se conoce como fórmula fundamental de la teoría de control y cuyas aplicaciones llegan hasta campos tan alejados como la sociología y la electrónica.

En la figura 1 debe destacarse que la planta A es normalmente activa, es

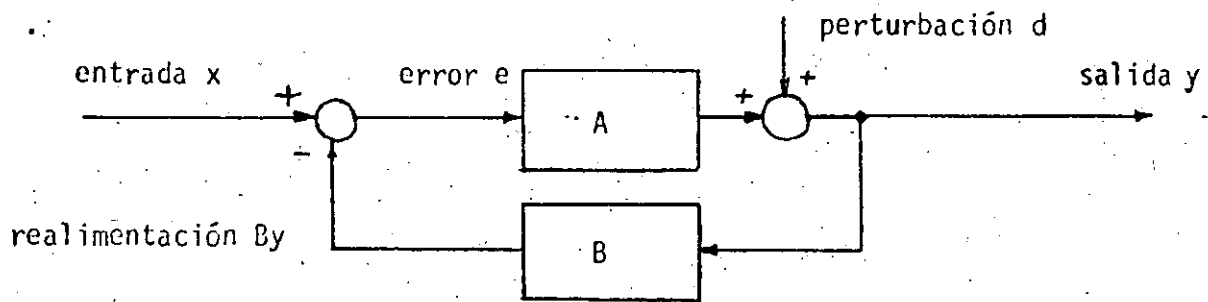


Figura 1. Diagrama canónico de la realimentación.

decir A representa amplificación; B es menor que cero, de modo que es una fracción de y la que se realimenta; y el elemento sumador no debe restar necesariamente, ya que por lo general el amplificador A proporciona el signo negativo a través de una inversión de fase. En el caso que $AB < 0$, se tiene inestabilidad del sistema.

También conviene destacar que la perturbación d a la salida del amplificador A es equivalente a una perturbación d/A a la entrada de éste. De la misma forma, una perturbación d_1 en el interior de A es equivalente a otra a la entrada de valor d_1/A_1 , o a otra a la salida del valor $d_1\Lambda_2$, donde $\Lambda_1 \cdot \Lambda_2 = A$ señala el punto de influencia.

Los efectos de la realimentación en el sistema pueden resumirse en tres elementos principales:

- a) Reduce la distorsión.
- b) Estabiliza la ganancia
- c) Mejora la relación señal o ruido para idénticos niveles de la señal de salida.

Para considerar el primer caso, supóngase que d representa una señal generada por la distorsión del amplificador A. Al realimentar se tiene que:

$$y = \frac{A}{1+AB} x + \frac{d}{1+AB} \quad (3)$$

En esta última ecuación se observa que d aparece disminuida por un factor

$1+AB > 1$, con lo que se demuestra que la distorsión disminuye con la realimentación.

Por otro lado, el segundo efecto anotado puede considerarse al definir la sensibilidad del parámetro M del sistema a las variaciones del parámetro n , S_n^M , de la siguiente forma:

$$S_n^M = \frac{dM/M}{dn/n} = \frac{d \ln M}{d \ln n} \quad (4)$$

Este factor describe la razón de la variación por unidad de M a la variación por unidad de n . Entonces se tiene, por ejemplo, que

$$S_A^{(y/x)} = \frac{d(y/x)}{dA} \cdot \frac{Ax}{y} = \frac{1}{1+AB} \quad (5)$$

Esto significa que una variación de A tiene muy poca influencia en y/x [Si A cambia $\pm 1\%$, y/x se modifica apenas en un $1/(1+AB)\%$].

La relación entrada salida (y/x) se ve más afectada por las variaciones en B , ya que

$$S_B^{(y/x)} = \frac{AB}{1+AB} \quad (6)$$

Como $AB/(1+AB) \sim 1$, si $AB \gg 1$; debe suponerse que B es un factor sobre el cual se tiene mucho control o que no es susceptible de experimentar variaciones importantes. Esto es correcto en la realidad ya que $B=1$ o bien es una relación de resistencias que es muy estable.

El último efecto anotado, correspondiente a la mejoría que experimenta la relación señal ruido para idénticos niveles de la señal de salida, se aprecia al considerar que la señal d de la figura 1 es el ruido agregado, por lo que según la ecuación (3), el ruido aparece dividido por $(1+AB)$, al igual que Ax . Como el sistema sin realimentación tendía una salida dada por

$$y = Ax + d \quad (7)$$

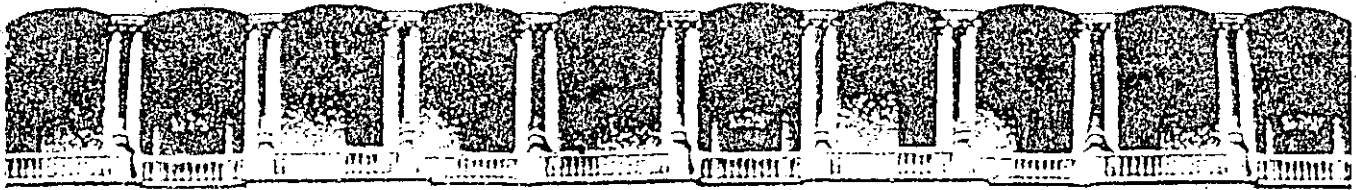
resulta que para idénticos niveles de salida, la señal de entrada es mayor en el caso realimentado y como d se mantiene constante, la relación señal a ruido es mejor $1/(1+AB)$ veces.

Los tres factores analizados, que pueden interpretarse como beneficios obtenidos no son los únicos. Recuérdese que en circuitos electrónicos se obtienen mejoras en las impedancias de entrada y de salida, así como en el ancho de banda del circuito.

Sin embargo, entre las desventajas importantes que pueden mencionarse están la disminución de la ganancia, ya que

$$\frac{y}{x} = \frac{A}{1+AB} \quad (8)$$

y los efectos del retraso de la señal, que puede provocar inestabilidad, oscilaciones, sobretiros, etc. Cuando estos efectos son tolerables, la realimentación siempre acarrea beneficios.



FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA

INSTUMENTACION ELECTRONICA DE PROCESOS INDUSTRIALES

MICROPROCESADORES

SISTEMA MINIMO DE MICROPROCESADOR

ING. ANTONIO SALVA CALLEJA

SISTEMA MINIMO DE MICROPROCESADOR CONTROLADO POR UNA MICROCOMPUTADORA

AUTORES: ING. ANTONIO SALVA CALLEJA.

ING. VICTOR MANUEL SANCHEZ ESQUIVEL .

FACULTAD DE INGENIERIA .

DIVISION DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA .

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO .

CIUDAD UNIVERSITARIA, C. P. 04510 .

R E S U M E N

Este trabajo presenta un sistema mínimo de microprocesador constituido por los siguientes elementos:

- 1.- CPU .
- 2.- Memoria RAM .
- 3.- Memoria EPROM .
- 4.- Tres puertos paralelos (Dos de salida y uno de entrada) .
- 5.- Un puerto serie .
- 6.- Ocho puertos de entrada analógicos .
- 7.- Dos puertos de salida analógicos .

El sistema es manejado por una microcomputadora a través del puerto serie - de la misma, pudiéndose editar, guardar en disco o leer de disco programas - en lenguaje de máquina del CPU empleado en el sistema mediante la microcom - putadora, de esta manera se puede tener un medio de almacenamiento permanen - te y versátil para dichos programas, ya sea en disco flexible o duro, depen - diendo de la microcomputadora empleada, facilitándose así el desarrollo del software para el sistema que fuere necesario en una aplicación específica - del mismo .

INTRODUCCION

En la figura 1 se muestra un diagrama de bloques simplificado del sistema mínimo de microprocesador que de aquí en adelante se denominará SIMMP-1; -- puede apreciarse que el CPU empleado es el Z-80 de ZILOG que si bien es un microprocesador que apareció hace varios años en el mercado sigue siendo a la fecha sumamente versátil para las aplicaciones hacia las cuales esta --- orientado el SIMMP-1, además de que su costo es actualmente el más bajo en el mercado, siendo además los periféricos comunmente asociados con este microprocesador fácilmente asequibles en el país .

Para establecer la comunicación entre la microcomputadora y el SIMMP-1 se emplea el chip 8251 que es un trasmisor-receptor universal síncrono y asíncrono (USART) fabricado por Intel. Al inicializarse el sistema el puerto serie, queda habilitado para transmitir y recibir información a 300 bauds, pudiéndose mediante un comando enviado por la microcomputadora cambiarlo a 1200 bauds.

En la EPROM 2716 existe un programa que toma una cadena de bytes procedentes de la microcomputadora localizándolos en una zona específica de la memoria RAM 2016 autoejecutándose el programa correspondiente en el SIMMP-1 .

A continuación se describen algunos aspectos relevantes del software y del hardware relacionados con el SIMMP-1 y la microcomputadora empleada para comandarlo; así como también un ejemplo de aplicación del sistema .

PAGINACION DE MEMORIA DEL SIMMP-1

En la figura 2 se muestra el mapa de memoria del SIMMP-1 .

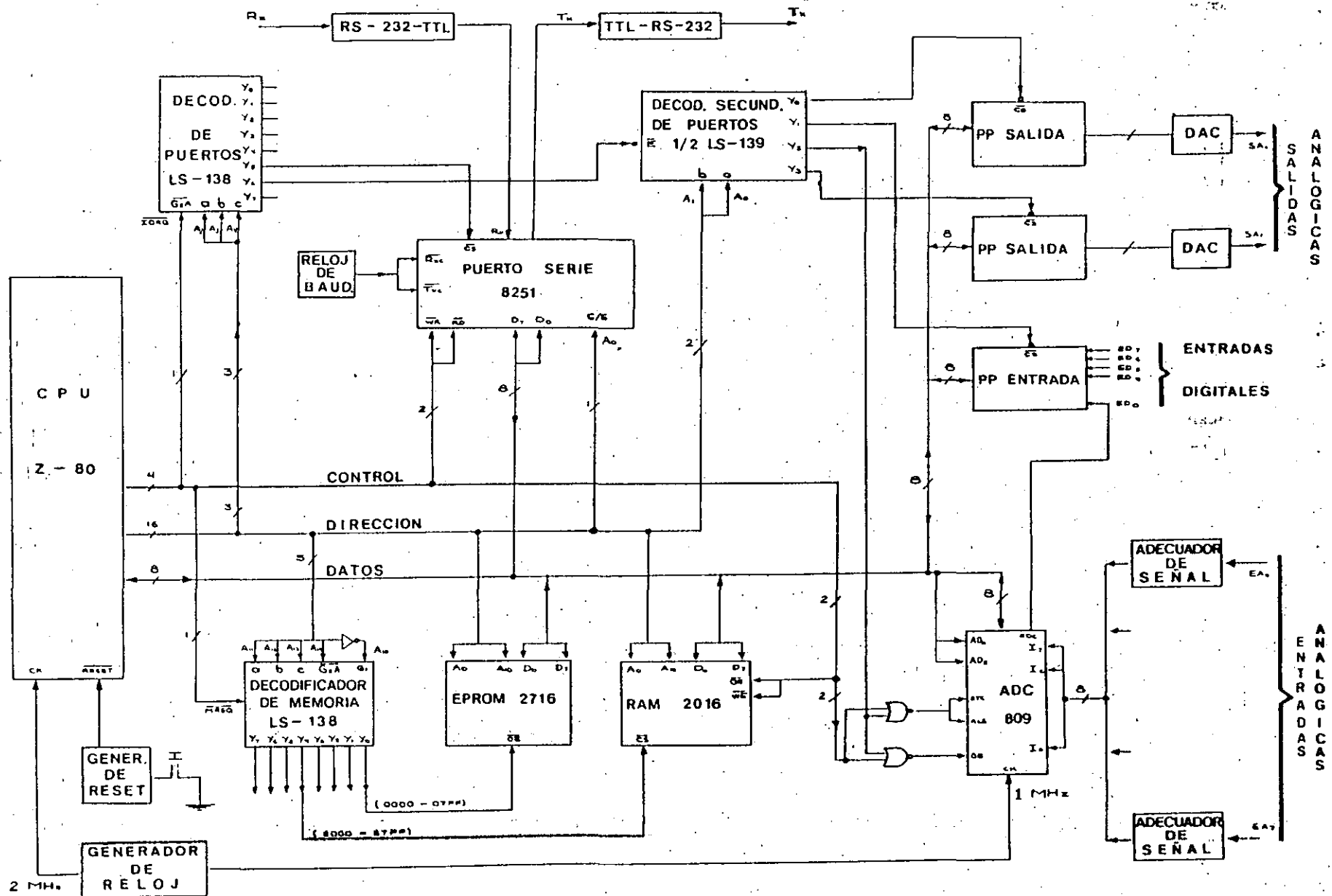


FIGURA 1: DIAGRAMA DE BLOQUES SIMPLIFICADO DEL SISTEMA

0 0 0 0
 0 7 F F
 0 8 0 0
 0 F F F
 1 0 0 0
 1 7 F F
 1 8 0 0
 1 F F F
 2 0 0 0
 2 7 F F
 2 8 0 0
 2 F F F
 3 0 0 0
 3 7 F F
 3 8 0 0
 3 F F F

E P R O M 2 7 1 6	
E X P A N S I O N	F U T U R A
E X P A N S I O N	F U T U R A
E X P A N S I O N	F U T U R A
R A M	
E X P A N S I O N	F U T U R A
E X P A N S I O N	F U T U R A
E X P A N S I O N	F U T U R A

FIGURA 2 M A P A D E M E M O R I A
 DEL S I M M P - I

Puede apreciarse que la paginación está hecha en bloques de 2K bytes pudiéndose decodificar hasta 16K bytes, esto es de la dirección 0000 a la dirección 3FFF. En la versión inicial del sistema únicamente se ocupan 4K bytes de memoria; 2K bytes de RAM situados de la dirección 2000 a la dirección 27FF y 2K bytes de EPROM situados de la dirección 0000 a la dirección 07FF; quedando disponibles 12K bytes de memoria para expansión futura. Físicamente la paginación de memoria se realiza mediante el circuito integrado 74LS138 como puede apreciarse en la Fig. 1.

PAGINACION DE PUERTOS

En la Fig. 3 se muestra el mapa de puertos del SIMMP-1.

0 0
0 3
0 4
0 7
0 8
0 B
0 C
0 F
1 0
1 3
1 4
1 5
1 8
1 9
1 A
1 B
1 C
1 F

EXPANSION	FUTURA
EXPANSION	FUTURA
EXPANSION	FUTURA
EXPANSION	FUTURA
EXPANSION	FUTURA
DATOS	PUERTO SERIE
CONTROL	PUERTO SERIE
PUERTO PARALELO DE	SALIDA
PUERTO PARALELO DE	ENTRADA
CONVERTIDOR	A/D
PUERTO PARALELO DE	SALIDA
EXPANSION	FUTURA

FIGURA 3

MAPA DE PUERTOS DEL SIMMP - I

Se observa que se dispone de un máximo de 32 direcciones asociadas con puertos de las cuales, la 14 y 15 están vinculadas con las direcciones de control y datos del puerto serie. Otras cuatro direcciones de la 18 a la 1B se usan para los 3 puertos paralelos y el convertidor analógico digital. Cabe señalar que los dos puertos paralelos de salida están vinculados con sendos converti

tidores digital analógico; las 26 direcciones restantes pueden usarse en expansiones futuras del SIMMP-1.

La decodificación de puertos se lleva a cabo mediante dos circuitos integrados un 74LS138 y un 74LS139, como se observa en la Fig. 1, la porción no empleada del 74LS139 puede ser usada para decodificar otras cuatro direcciones de puertos; de esta manera sin necesidad de añadir más chips - decodificadores el sistema mínimo puede contar hasta con ocho puertos.

R E L O J

El SIMMP-1 trabaja con un reloj de 2MHz, el circuito empleado para generar la señal correspondiente se muestra en la Fig. 4.

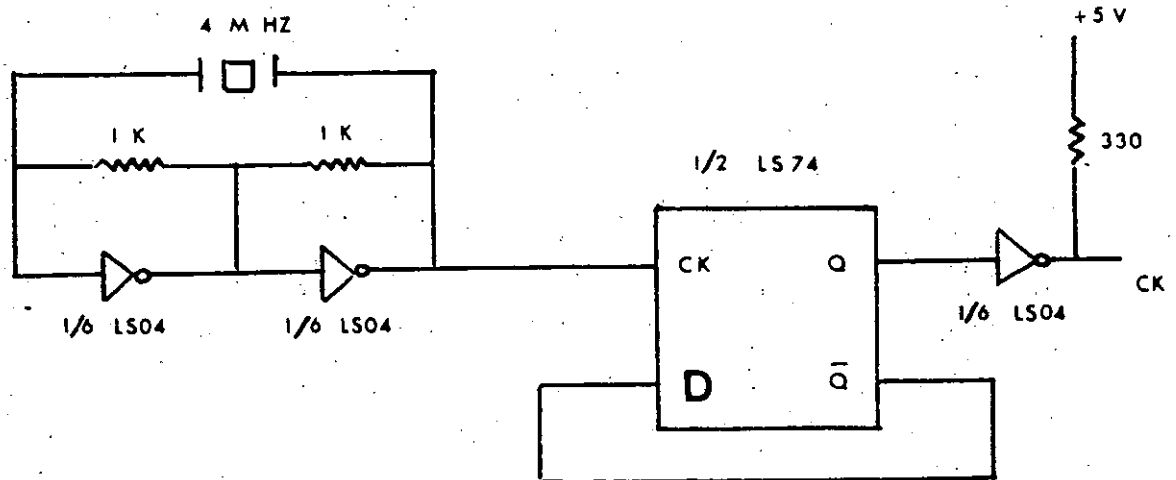


FIGURA 4

CIRCUITO EMPLEADO PARA GENERAR LA
SEÑAL DE RELOJ DEL **SIMMP-1**

Para generar la señal correspondiente al reloj de baudaje se emplearon circuitos digitales convencionales que dividen la señal de reloj original de 2MHz entre 104 generandose así una señal de 19230 Hz, la cual hace posible

que el puerto serie pueda ser programado por software para poder trabajar ya sea a 300 bauds ó a 1200 bauds .

CIRCUITO DE RESTABLECIMIENTO (RESET)

El circuito para generar la señal de restablecimiento (Reset) en el --- SIMMP-1 se ilustra en la Fig. 5.

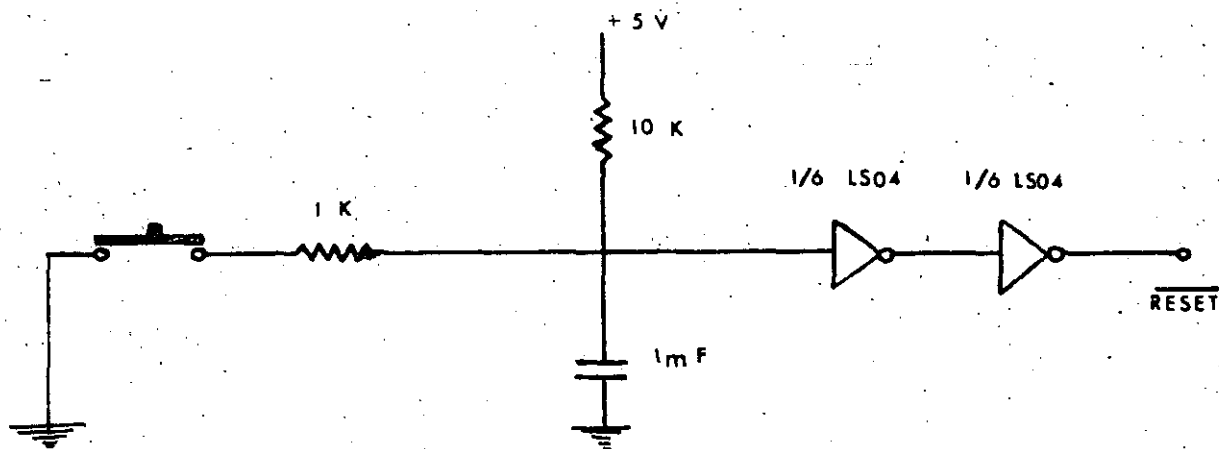


FIGURA 5 CIRCUITO DE RESTABLECIMIENTO

PUERTOS PARALELO DE ENTRADA Y SALIDA

Debido a que los puertos paralelo del SIMMP-1 están ya prefijados como -- puertos de salida o entrada, para su realización se empleó el circuito -- integrado 74LS373 resultando así el costo de los puertos más económico -- comparado con el que se tendría si se hubiera empleado para el mismo fin un circuito integrado de alta escala de integración como el 8255 fabricado por Intel .

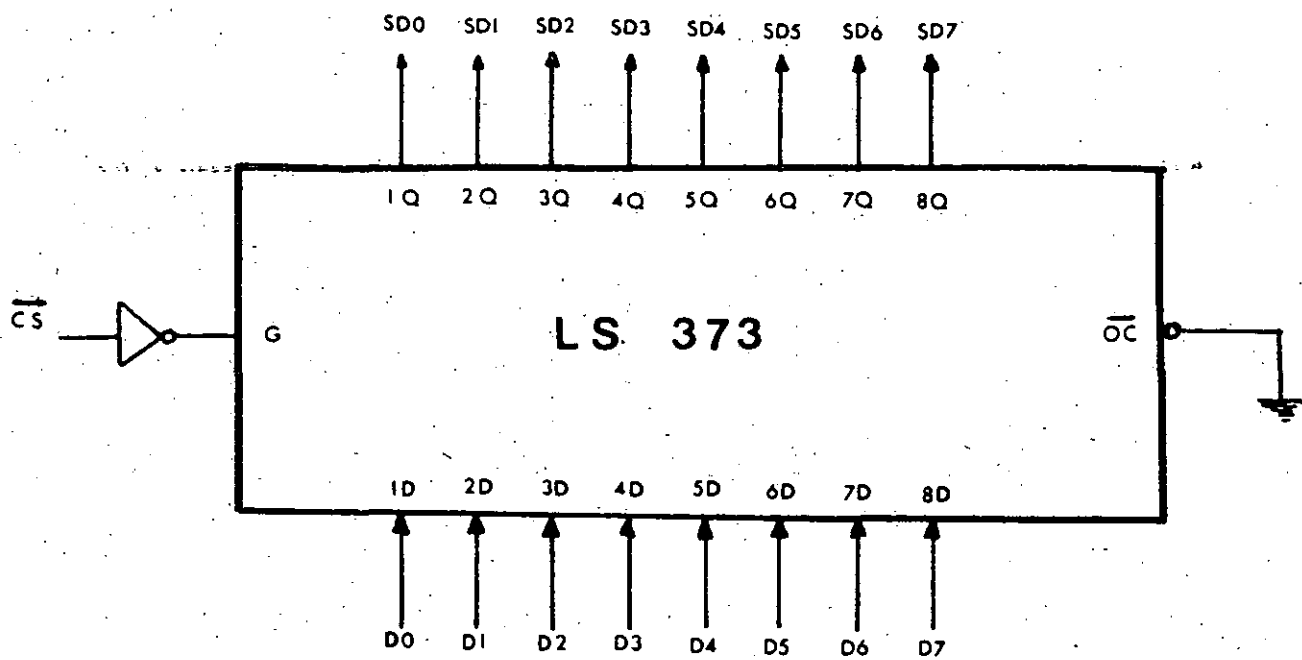


FIGURA 6 PUERTO PARALELO DE SALIDA

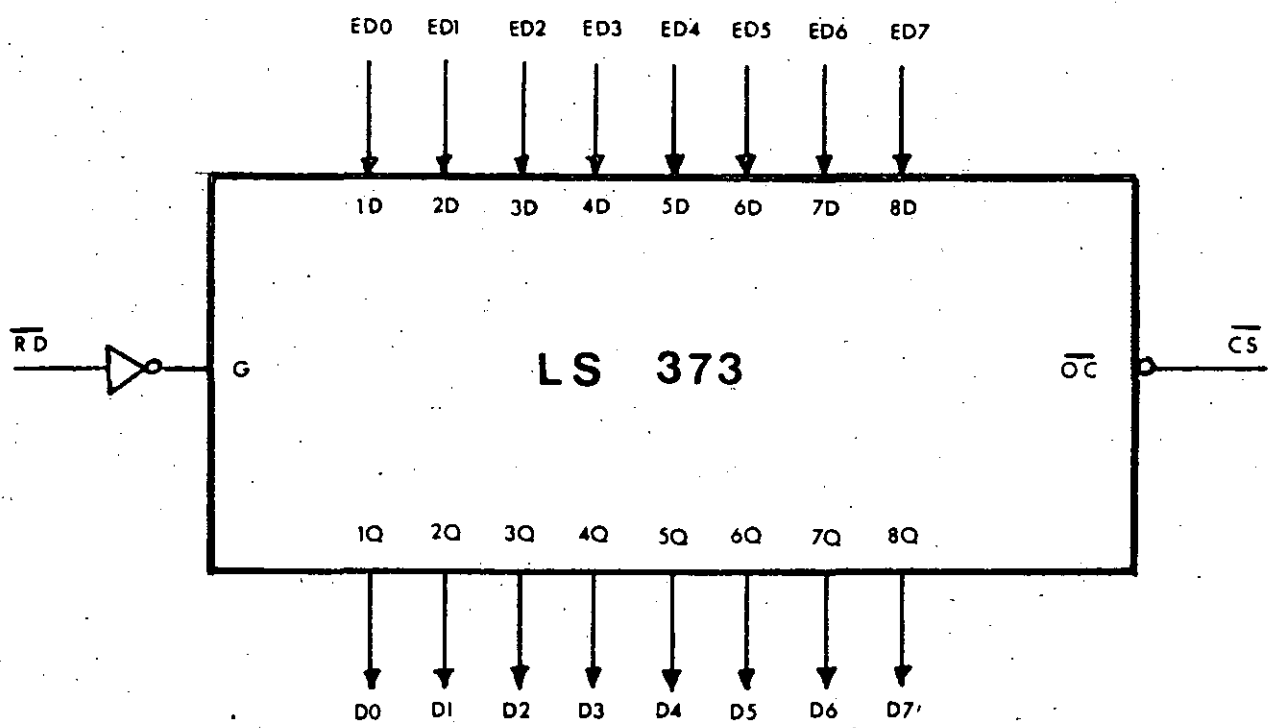


FIGURA 7 PUERTO PARALELO DE ENTRADA

En la Fig. 6 se ilustra el circuito correspondiente para realizar un puerto paralelo de salida; en la Fig. 7 el correspondiente a un puerto de entrada.

CIRCUITO ADECUADOR DE SEÑAL

Debido a que el rango de la señal de entrada para el convertidor analógico digital va de 0 a 5 volts, para poder registrar señales bipolares hay que hacer un acondicionamiento de las mismas. En el SIMMP-1 esto se hizo mediante un circuito analógico que transforma un rango que va de -10 volts a +10 volts en un rango que va de 0 volts a +5 volts. En la Fig. 8 se muestra el circuito correspondiente. En caso de que se deseara que el rango de las señales de entrada sea diferente se pueden emplear circuitos de atenuación o amplificación antes del adecuador de señal correspondiente.

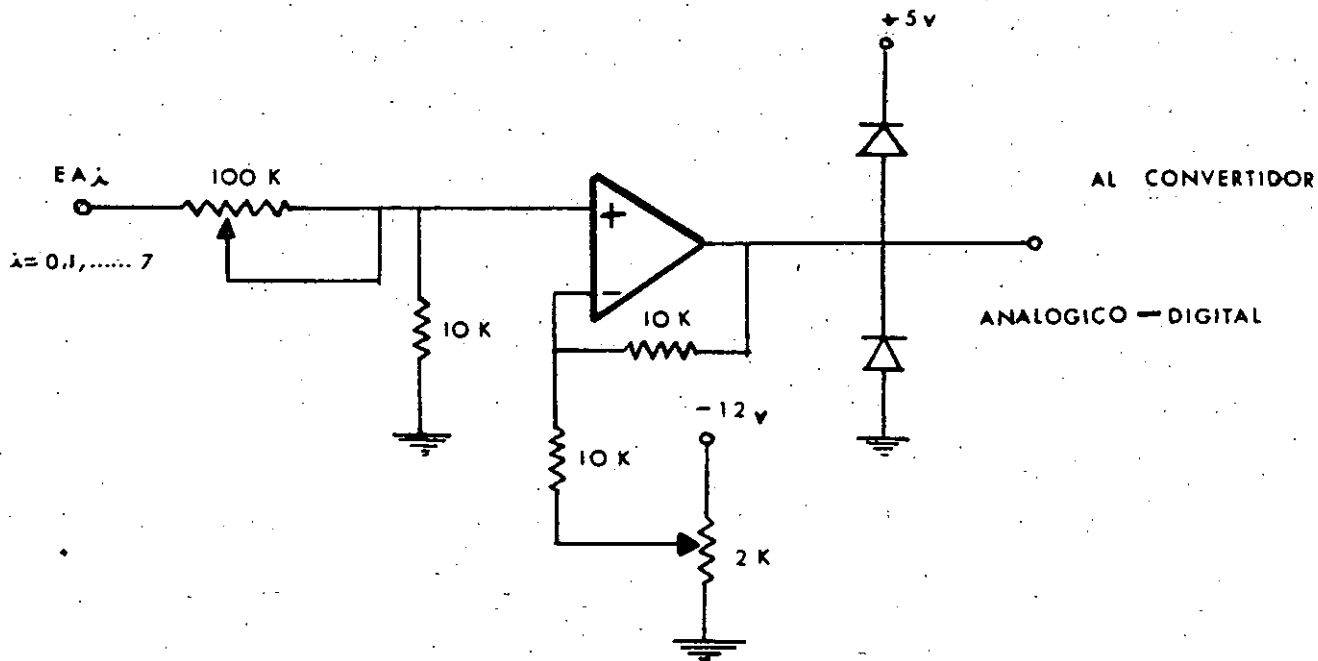


FIGURA 8

CIRCUITO ADECUADOR DE SEÑAL
DE ENTRADA ANALOGICA

CONVERSION ANALOGICA DIGITAL

- El convertidor analógico-digital que se utilizó en el SIMMP-1 es el circuito integrado ADC0809 fabricado por National. Trabajando con un reloj de 1MHz, que se deriva del reloj del sistema, el tiempo de conversión es del orden de 70 microsegundos. En la Fig.1 se puede apreciar la conexión correspondiente.

SOFTWARE BASICO EN EL SIMMP-1

Como se menciona en la introducción la esencia del SIMMP-1 se encuentra en un programa grabado en la EPROM, dicho programa recibe de la microcomputadora una cadena de bytes que integran un programa en lenguaje de máquina del Z-80, autoejecutandose el mismo una vez que se ha terminado de bajar. En la Fig.9 se muestra un diagrama de flujo de dicho programa, -- que se ejecuta automaticamente al restablecer el sistema o bien al energizarse el mismo.

Al bajar al SIMMP-1 un programa, la secuencia que envía la microcomputadora es la siguiente:

- 1.- Envía un caracter de identificación que indica al SIMMP-1 que los caracteres que siguen representan a un programa para el microprocesador Z-80.
- 2.- Trasmite 4 bytes con información referente a la dirección inicial y la dirección final del programa a bajar.
- 3.- Trasmite la cadena de bytes correspondiente al programa que se este bajando.

Cabe señalar que en esta primera versión del SIMMP-1 no se manejan interrupciones, sin embargo el programa básico en la EPROM esta localizado en una zona de memoria que deja libre las localidades correspondientes que pudieran requerirse programar a futuro al trabajar con interrupciones.

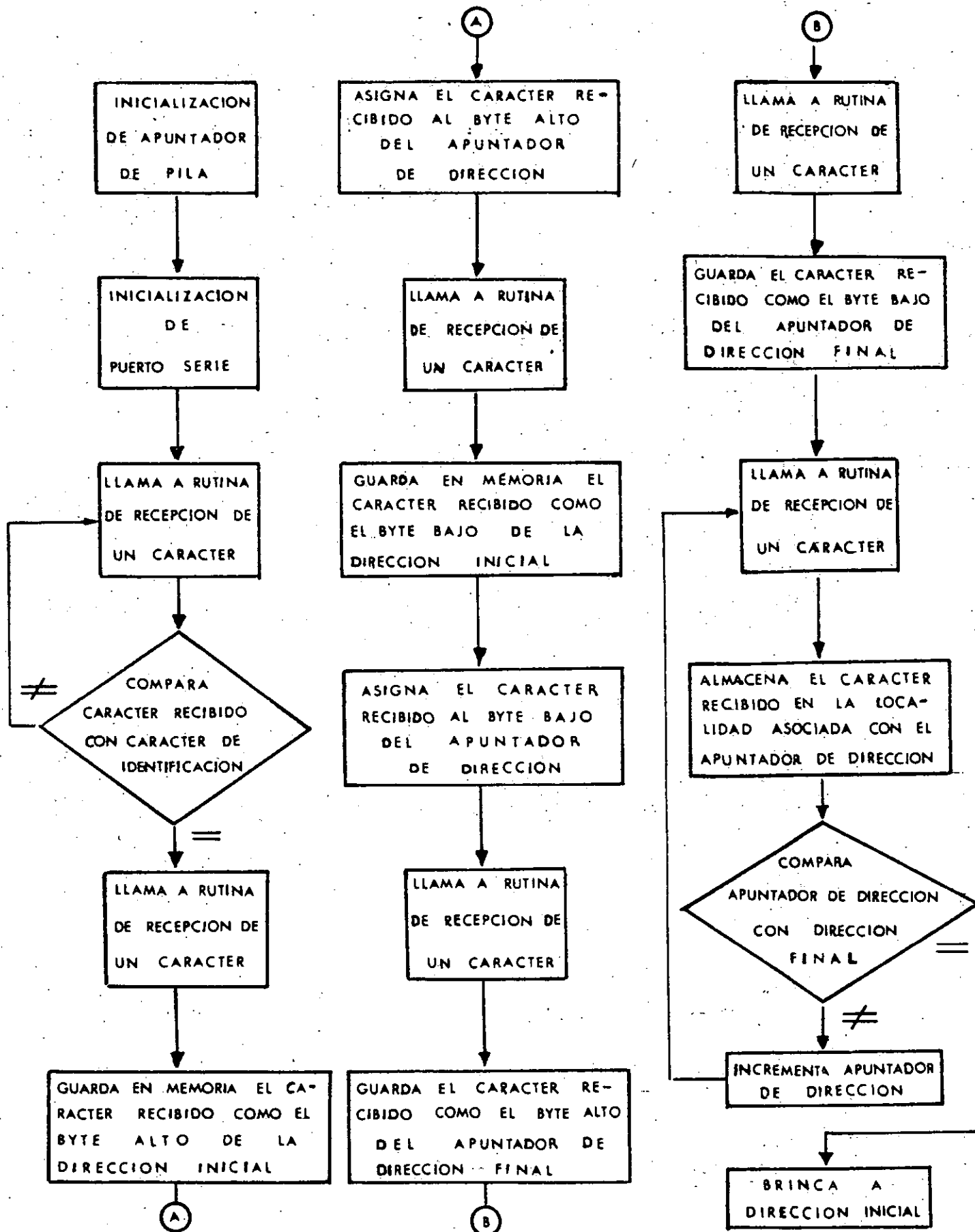


FIGURA 9

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA DE VACIADO Y
 AUTOEJECUCION DE PROGRAMAS A TRAVES DE UNA MI-
 CROCOMPUTADORA EN EL **SIMP-I**

SOFTWARE EN LA MICROCOMPUTADORA

En lo que toca al software del lado de la microcomputadora el lenguaje utilizado fue el BASIC ya que para los requerimientos de velocidad de las aplicaciones hacia las cuales esta orientado el SIMMP-1, dicho lenguaje es adecuado. En el programa básico se manejan dos menús uno de comando y otro de edición. El menú de comando es el siguiente:

- 1.- Cargar un programa en lenguaje de máquina Z-80.
- 2.- Cargar de disco un programa para Z-80.
- 3.- Cargar en disco un programa para Z-80.
- 4.- Bajar a SIMMP-1 programa que se autoejecute.
- 5.- Editar programa.
- 6.- Definir baudaje .
- 7.- Terminar la sesión .

A continuación se describe brevemente lo que acontece al seleccionar cada una de las opciones del menú de comandos .

OPCION UNO

Al hacer esta selección el programa pide las direcciones inicial y final - así como también el nombre del programa que se va a cargar. Una vez efectuado lo anterior el programa despliega en la pantalla de la microcomputadora las direcciones en forma sucesiva debiendo el usuario introducir cada vez el valor del byte correspondiente en notación hexadecimal. El programa asigna a cada dirección una variable de tipo cadena (String) que representa lo que ha de almacenarse en las locaciones de memoria correspondientes del SIMMP-1, de esta manera la cadena de bytes que representa al programa queda contenida en un arreglo cuyo tamaño es igual al número de bytes que integran el programa.

OPCION DOS

Cuando se escoge esta opción la microcomputadora requiere del usuario el nombre del programa a tomar de disco y la unidad correspondiente. Una vez

que se ha ejecutado esta opción la cadena de bytes correspondiente al programa que se ha tomado de disco queda en un arreglo similar al resultante al de la opción uno.

OPCION TRES

Mediante esta opción el arreglo correspondiente a un programa determinado se guarda en un archivo de disco junto con las direcciones inicial y final correspondientes .

OPCION CUATRO

Esta opción permite bajar al SIMMP-1 las direcciones inicial y final de un programa para Z-80, así como también la cadena que lo constituyen. - Una vez que el programa es bajado se autoejecuta .

OPCION CINCO

Al seleccionar esta opción se pasa al menú de edición que se describe -- más adelante.

OPCION SEIS

Si se desea cambiar el valor de baudaje, esto se puede hacer mediante esta opción; los baudajes posibles en esta primera versión del SIMMP-1 son 300 y 1200 .

OPCION SIETE

Escogiendo esta opción el usuario regresa al sistema operativo de la microcomputadora .

El menú de edición consta de cinco alternativas a saber:

- 1.- Insertar bytes.
- 2.- Borrar bytes .
- 3.- Listar .
- 4.- Cambiar bytes .
- 5.- Continuar .

A continuación se describe brevemente el accionamiento de cada alternativa.

ALTERNATIVA UNO

Esta alternativa, permite insertar instrucciones en lenguaje de máquina en un programa en el cual este trabajando el usuario .

ALTERNATIVA DOS

Mediante esta alternativa el usuario puede borrar instrucciones del programa en lenguaje de máquina del Z-80 que se este depurando .

ALTERNATIVA TRES

Para poder listar todo un programa en lenguaje de máquina para Z-80 ó una parte del mismo se emplea esta alternativa.

ALTERNATIVA CUATRO

Esta alternativa permite cambiar una o varias instrucciones de un programa para Z-80 con el cual se este trabajando .

ALTERNATIVA CINCO

Al seleccionar esta alternativa el sistema pasa a un submenú que comprende las siguientes acciones:

- 1.- Editar .
- 2.- Retornar a menú principal .

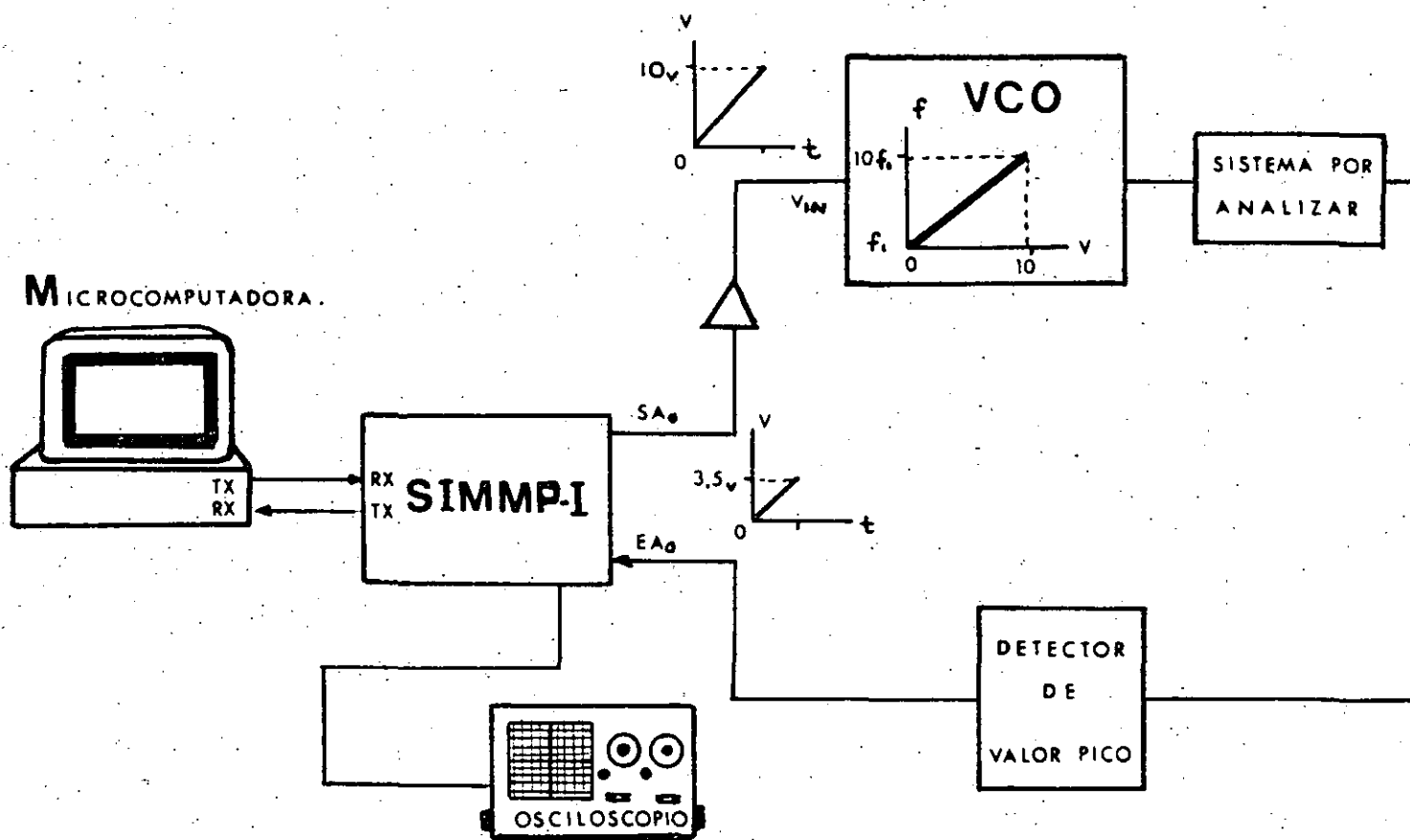
Si se toma la acción 1 el usuario retorna al menú de edición, si se toma la acción 2 el usuario retorna al menú principal ó de comandos. Cabe señalar que una vez que se ha ejecutado cualquiera de las opciones 1 a 6 del menú de comandos, el submenú descrito en este párrafo aparece nuevamente .

Para cada uno de los comandos del menú principal existe una subrutina que ejecuta la opción correspondiente, de esta manera si el SIMMP-1 se emplea como hardware auxiliar de un programa en la microcomputadora, para poder comandarlo desde la misma basta que dentro del programa en la microcomputadora se genere el arreglo que contiene la cadena de bytes correspondiente a -

un programa en lenguaje de máquina para Z-80 que realice en el SIMMP-1 el accionamiento requerido por el programa en la microcomputadora, para lo cual se requerirá que el programa en la microcomputadora cuente con la subrutina correspondiente a la opción cuatro del menú de comandos.

EJEMPLO DE APLICACION

Los posibles ejemplos de aplicación del SIMMP-1 son muchos y muy variados, para este trabajo se eligió un caso en el cual el SIMMP-1 es operado como hardware auxiliar de un programa en la microcomputadora. Mediante dicho programa y el SIMMP-1 se puede obtener la respuesta en -- frecuencia en magnitud de un sistema en el rango de una década. La -- respuesta en frecuencia correspondiente es desplegada en la pantalla - de la microcomputadora y en la pantalla de un osciloscopio auxiliar. - En la Fig. 10 se muestra un diagrama de bloques del sistema mencionado que de aquí en adelante se denominará Bodímetro de una década (BUD). Como se aprecia en la figura, el VCO empleado barre un rango de frecuencia de una década cuando el voltaje de control al mismo varía de 0 a 10 volts. Dado que la salida analógica del SIMMP-1 varía en el rango de 0 a 3.5 volts, se requiere un amplificador de ganancia 2.857 para poder lograr el rango de barrido requerido por el VCO. Es conveniente señalar que tanto el VCO como el amplificador de rango requerido se encuentran en un solo aparato comercial fabricado por la compañía BWD ELECTRONICS denominado MINI-LAB; el instrumento mencionado permite al usuario seleccionar la frecuencia inicial de la década de barrido que se desee.



SISTEMA BUD

FIGURA 10

DIAGRAMA DE BLOQUES PARA OBTENER LA RESPUESTA EN FRECUENCIA DE UN SISTEMA, CON REGISTRO EN EL OSCILOSCOPIO Y PANTALLA DE MICROCOMP. EMPLEANDO EL **SIMMP-I**

El programa correspondiente en el SIMMP-1 que se ha llamado CV01 efectúa las siguientes acciones:

- Carga en registros internos del CPU las direcciones inicial y final de una tabla de 256 bytes donde han de almacenarse los valores de -

la magnitud de la respuesta en frecuencia del sistema que se esté analizando.

- b) El programa pasa a un lazo del cual no sale a menos que el bit 1 -- del puerto paralelo de entrada del SIMMP-1 cambie de 0 a 1. De esta manera puede iniciarse el barrido de frecuencia en el momento en que el usuario efectue físicamente el cambio mencionado .
- c) Si se sale del lazo mencionado en el paso b), se inicia el barrido de frecuencia, para lo cual el SIMMP-1 pone sucesivamente en un puerto paralelo de salida una cuenta que va de 00 a FF, de esta manera en el puerto analógico de salida correspondiente (SA₀) aparecerá la rampa de barrido requerida por el amplificador de rango. Para cada paso en la cuenta el SIMMP-1 lee el valor pico de la respuesta en frecuencia y lo coloca en una locación de la tabla asignada para tal fin, una vez hecho lo anterior el programa va a una subrutina de retraso de 20 milisegundos e incrementa la cuenta, de esta manera una vez que se ha colocado la cuenta FF se ha concluido con el llenado de la tabla que contiene 256 puntos de la magnitud de la -- respuesta en frecuencia del sistema analizado.
- d) Concluida la acción anterior el SIMMP-1 sube a la microcomputadora la tabla que contiene los datos de la respuesta en frecuencia requerida. Una vez terminada la transferencia, la microcomputadora despliega una gráfica ilustrando dicha respuesta .
- e) La tabla de respuesta en frecuencia es reciclada en el puerto analógico de salida SA₁, con lo cual es posible desplegar tal respuesta en un osciloscopio.

Del lado de la microcomputadora se ejecuta un programa que como primera acción del mismo baja al SIMMP-1 el programa CVC01 descrito a grandes -- razgos anteriormente; el programa en la microcomputadora contiene además las rutinas necesarias para interaccionar con el programa CVC01 ---

que se ejecuta con el SIMMP-1 .

En la Fig. 11 se muestra la gráfica desplegada en la computadora correspondiente a la respuesta en frecuencia del circuito mostrado en la Fig. 12 .

Dicho circuito puede emplearse como una de las bandas elementales de un ecualizador gráfico de audio.

Mediante análisis convencional de redes puede demostrarse que dicho circuito puede presentar una atenuación o amplificación de 12.5 decibels a una frecuencia de 5.486KHz. La máxima amplificación se logra cuando $K=0$. Para obtener mediante el sistema de la Fig. 10 la magnitud de la respuesta en frecuencia del circuito mostrado en la Fig.12 se procedió de la siguiente manera:

- a) Se calibró el VCO de modo que la frecuencia inicial de barrido fuera 1000 Hz .
- b) Se ajustó la amplitud de la salida del VCO a 1 volt de pico .
- c) Se pusieron en operación el sistema SIMMP-1 y la microcomputadora .
- d) Se ejecuta el programa en la microcomputadora que usa el sistema --- SIMMP-1 como auxiliar en la obtención de la respuesta en frecuencia .
- e) Una vez ejecutado el programa correspondiente en la microcomputadora, se obtuvo la gráfica mostrada en la Fig. 11.

Como puede apreciarse, los valores experimentales obtenidos para la ganancia máxima y la frecuencia a la cual esta ocurre difieren de los valores teóricos mencionados. Esto puede deberse a que el circuito analizado fue construido con elementos que presentan una cierta tolerancia en sus valores nominales.

En la Fig. 13 se muestra la curva de respuesta en frecuencia teórica del circuito de la Fig. 12

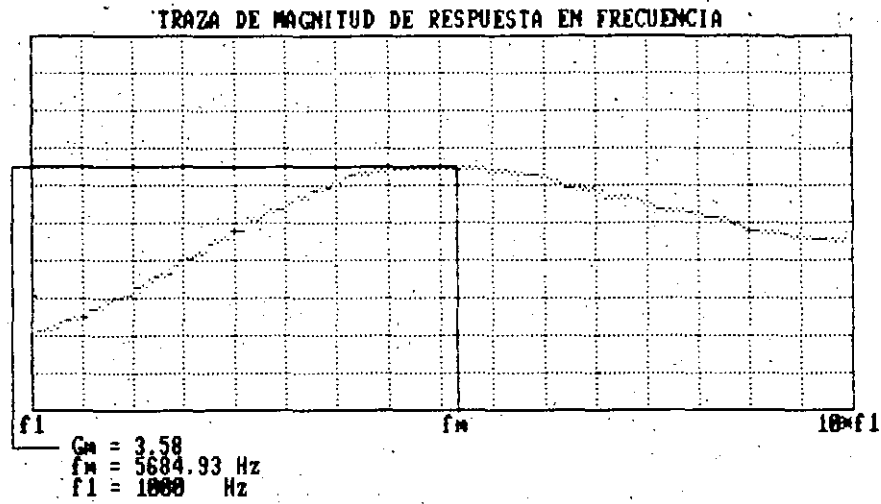


Figura 11: Respuesta en frecuencia del circuito de la figura 12 obtenida mediante el sistema de la figura 10

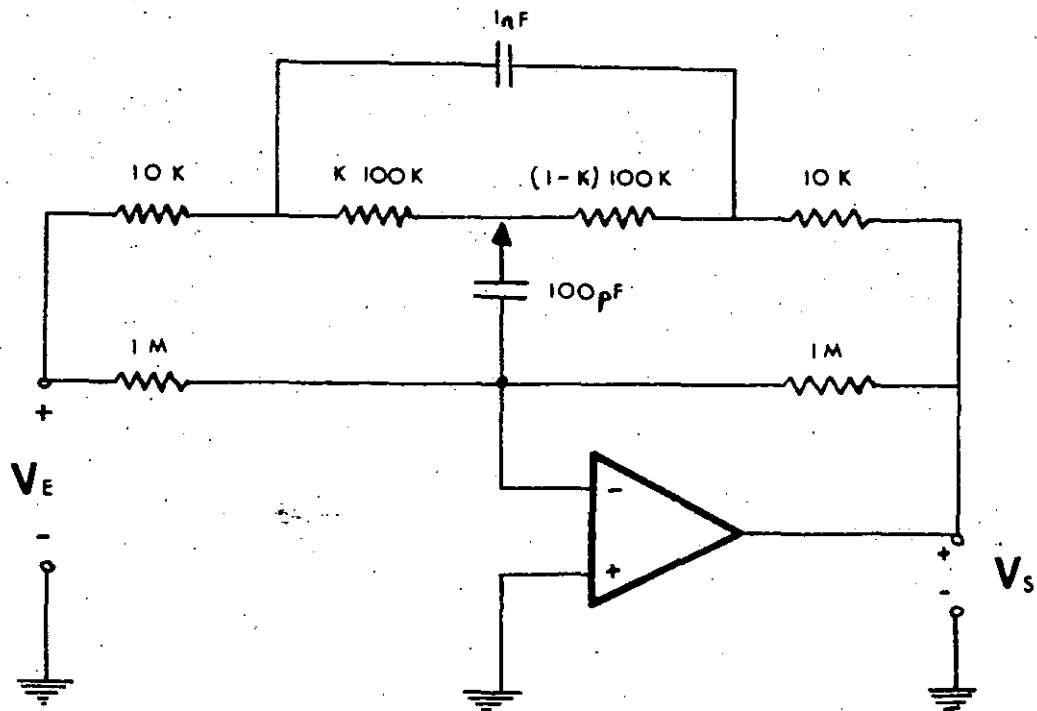


FIGURA 12

CIRCUITO ANALIZADO EN FRECUENCIA
POR EL BUD

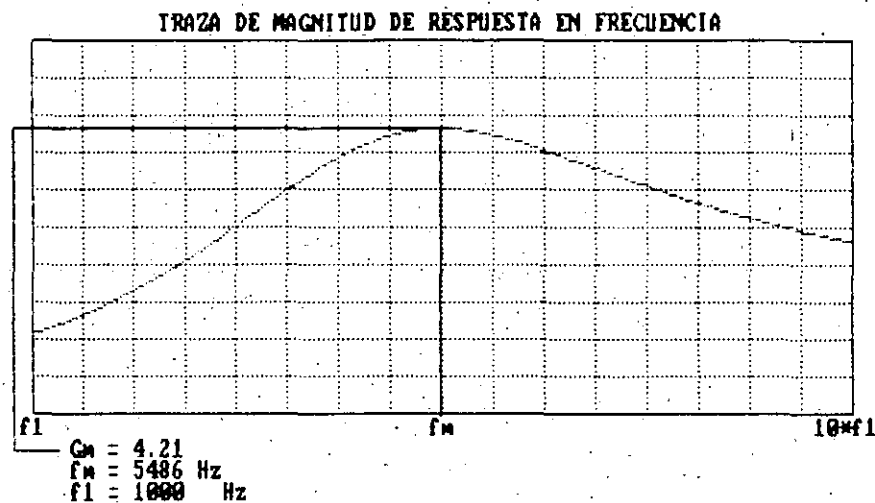


Figura 13: Respuesta en frecuencia teorica del circuito de la figura 12

Cabe señalar que el sistema BUD descrito anteriormente se alambro exprofe_ so para mostrar un ejemplo de aplicación del SIMMP-1, que pudiera constru_irse en un tiempo breve, por esa razón se utilizo un VCO que se controla_ analógicamente con los naturales problemas que esto implica .

Actualmente los autores trabajan en el desarrollo de un sistema que anali_ ce respuesta en frecuencia empleando un generador de funciones monolítico al cual se le pueda agregar la circuiteria analógica y digital necesaria_ para que el SIMMP-1 pueda controlarlo digitalmente .

CONCLUSIONES

Como se ha apreciado en el presente trabajo las posibles aplicaciones del SIMMP-1 son muy diversas entre otras estas podrían ser :

- a) Adquisidor de datos de baja velocidad, que pudieran ser procesados fue_ ra de linea en una microcomputadora empleando un lenguaje de alto nivel.
- b) Procesamiento en tiempo real de señales de muy baja frecuencia .

- c) Control lógico de secuencias .
- d) Enseñanza de la teoría y práctica de los microprocesadores .
- e) Instrumentación electrónica empleando microcomputadoras y microprocesadores .

Si bien se trabajó en este desarrollo alrededor de un microprocesador de 8 bits es claro que la misma idea básica puede realizarse empleando microprocesadores más evolucionados tales como el 8086 de Intel y el 68000 de Motorola. Los autores planean a futuro desarrollar una nueva versión del SIMMP-1 basada en alguno de los microprocesadores mencionados anteriormente .

REFERENCIAS

The Engineering Staff of Texas Instruments Incorporated Semiconductor - Group .

" The TTL Data Book for Design Engineers " .

Texas Instruments Incorporated, 1976 .

Garland H.

" Introduction to microprocessor system design " .

McGraw Hill, 1979 .

Hayes J.P.

" Diseño de sistemas digitales y microprocesadores " .

McGraw Hill, 1986.

National Semiconductor

" Linear databook " .

National Semiconductor Corporation, 1986 .

Hall D.V.

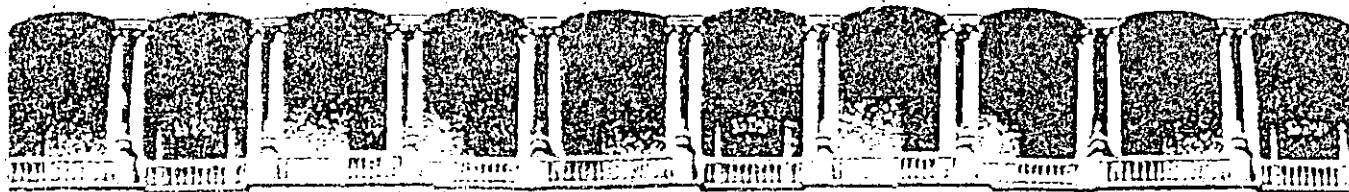
"Microprocessors and interfacing. Programming and hardware"

McGraw Hill, 1986 .

Hall D.V.

"Microprocessors and digital systems"

McGraw Hill, 1983 .



FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA

INSTUMENTACION ELECTRONICA DE PROCESOS INDUSTRIALES

MICROPROCEADORES

UNA DECADA DE CAMBIOS

EXPOSITOR: ING ANTONIO SALVA CALLEJA

A Decade of Change:

The Microprocessor

Today, microprocessors are used in everything from microwave ovens to automobiles to home computers. They've come a long way in a few short years.

ROBERT GROSSBLATT, CIRCUITS EDITOR

NAMES LIKE UNIVAC AND ENIAC HAVE MYSTICAL connotations for some of us. Visions of huge rooms filled with glowing tubes and punched cards dance before our eyes, and our ears fill with the all-pervading murmur of massive air-conditioning systems. We remember staring awe-struck as those giant computers flexed their electronic muscles to produce printed portraits of George Washington. (Wow!—Editor)

Those machines aren't really part of microcomputer history—they're part of its pre-history. Microcomputer history really began one day in the early 1960's when Jack Kilby of Texas Instruments made the first integrated circuit. After it was shown that an entire circuit could be fabricated from a single solid chunk of semi-conductor material, the stage was set for the development of the microprocessor. But things didn't really take off until the early 1970's.

Several important events occurred in 1970:

- The development of Large Scale Integration (LSI) techniques made it possible to fabricate a complete circuit on a single piece of silicon.
- Memory technology matured to the point that standard products became widely available.
- A huge market opened up for hand-held calculators.

A year later Intel introduced a general-purpose IC that did just about everything necessary needed to support calculator-type operations. Intel called that IC the 4004; it had a four-bit data path, and it was the first microprocessor.

First generation microprocessors were designed for specific applications. The 4004 was designed to handle calculator logic, and the eight-bit 8008, introduced a year later, was designed to control an intelligent terminal.

Intel's IC's were designed at a time when memory was very expensive. Consequently, from the beginning, their microprocessors relied heavily on internal registers to store and transfer data. As shown in Fig. 1, the 8008's six storage registers are eight bits wide, and the program counter is fourteen bits wide. That limited the 8008 to 16K of directly addressable memory. Further, the internal stack is only seven words deep. That's fine for a controller, but it really limits use of the 8008 as a computer.

The microcomputer industry really came into its own with the second generation of microprocessors: Intel's 8080 and Motorola's 6800. Although both are microprocessors, their design philosophies are radically different.

Intel increased power in the 8080 by moving the stack itself to external memory, and by giving it a sixteen-bit stack pointer. As shown in Fig. 2, the 8080 also



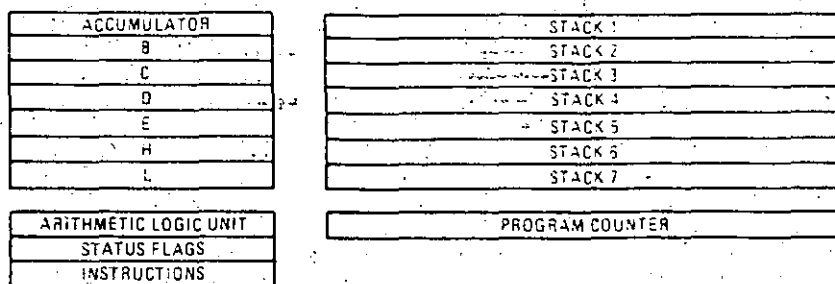


FIG. 1—THE FIRST 8-BIT MICROPROCESSOR, Intel's 8008, had an internal seven-byte stack, and it was limited to 16K bytes of memory.

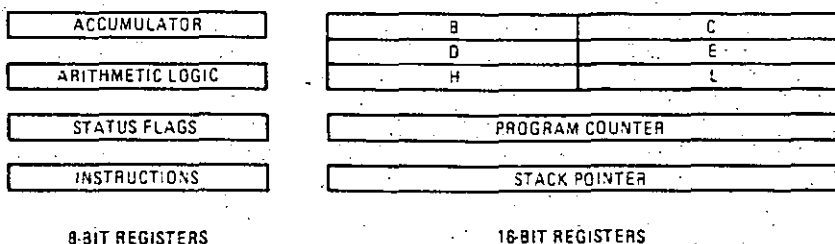


FIG. 2—THE FIRST GENERAL-PURPOSE MICROPROCESSOR, Intel's 8080, features an eight-bit accumulator and three general-purpose sixteen-bit registers.

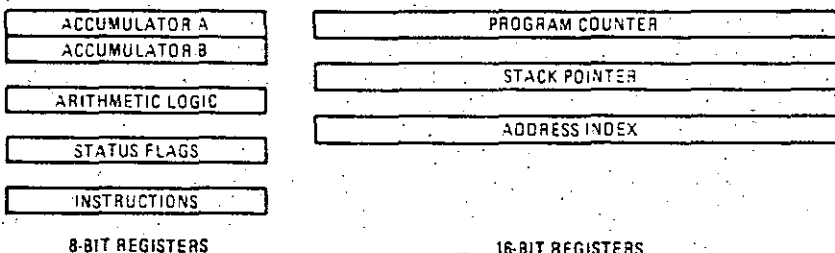


FIG. 3—MOTOROLA'S 6800 emphasizes quick memory access at the expense of few internal registers.

has three sixteen-bit registers in addition to the program counter, which was itself increased to sixteen bits. That gave the 8080 the capability of addressing the now-familiar 64K of external memory.

Motorola's 6800 was designed along different lines altogether. Instead of emphasizing internal registers, temporary data storage occurs in external memory, and the microprocessor has only enough registers to keep track of where things are. Other than the primary and secondary accumulators, the only "data" register in the 6800 is an index register that is used as a counter, and to do indexed memory addressing. The 6800's internal structure is shown in Fig. 3.

There are advantages and disadvantages to both design philosophies. For example, the 6800 must access memory much more often than the 8080, but it can do that much more rapidly than the 8080 can. But by far the most important consequence of the difference in those IC's is in overall memory organization.

To the 8080, all addresses are the same—it takes the same amount of time to access any location in its 64K range.

Also, the processor goes to location 0000 for its first instruction after power up and after reset.

The 6800, on the other hand, has a special set of two-byte "zero page" addressing instructions that allow page zero—the first 256 bytes of memory—to be accessed rapidly. All other address instructions are three bytes long. That makes zero-page real estate valuable—the microprocessor can address page zero locations in two-thirds the time it can address locations in other pages. Since zero-page addresses are, in a sense, the 6800's substitute for registers, the operating system is put at the top of memory. When a 6800 is first powered up, it goes to address FFFE for its first instruction.

The Motorola and Intel design philosophies have shaped the architectures of just about all microprocessors that have followed, down to the latest sixteen- and thirty-two-bit microprocessors.

CP/M

In 1973 the microcomputer industry was rather limited. First-generation micros like the Altair and the Imsai stored

data on paper tape or cassettes. Floppy disk drives had just begun to appear when Gary Kildall, a consultant working for Intel, developed CP/M, a Disk Operating System (DOS) for Intel's 8080. When Imsai licensed CP/M and began distributing it, the home computer market exploded. Since CP/M was just about the only DOS available, the 8080 became the microprocessor of choice for most home computers.

Because of the popularity of CP/M, any heir to the 8080's throne would have to have an instruction set compatible with that microprocessor. Since most of the software available for home computers was coded in the 8080's native tongue, microprocessor manufacturers realized that it was a matter of simple economic survival to make sure that such software would run on any new microprocessor.

By the time that the second generation of microprocessors began winding down, the home-computer market was an economic reality. CP/M gave birth to a variety of sophisticated systems-programming languages, and user-oriented application programs began to fill the market. That caused more CP/M computers to be sold and more programs to be written for them. Then, when major manufacturers like IBM and Xerox began adopting CP/M for use in their products, the stage was set for the birth of the third generation of microprocessors.

Intel introduced the 8085, an improved version of its 8080, and then upgraded that with the 8085A. The old 8080 required three voltages to operate: +12, +5 and -5. The 8085A required only +5 volts, and a much simpler clock circuit now sufficed. In addition, a series of new interrupt and I/O signals were tied to various pins on the IC—in an attempt, perhaps, to simplify the complex I/O set-up of the 8080.

Unfortunately, Intel paid a high price for that increased flexibility. Because they dedicated so many pins to I/O, and because they remained locked to a standard forty-pin package, the data bus had to be multiplexed with the lower eight bits of the address bus. And that meant that the 8085 would always need external latching. A big gripe with the 8080 was that it needed extra support IC's (an 8224 Clock Generator and an 8228 System Controller); and since the 8085 also needed at least an eight-bit latch and some decoding, the 8085 never became as popular as Intel had hoped. However, a CMOS version became available relatively early; Tandy used it in their portable computers, and that prevented it from becoming totally obscure. But perhaps the real reason for its lukewarm reception was that it was introduced three years after the Z80.

Zilog's Z80

From the moment it appeared, the Z80

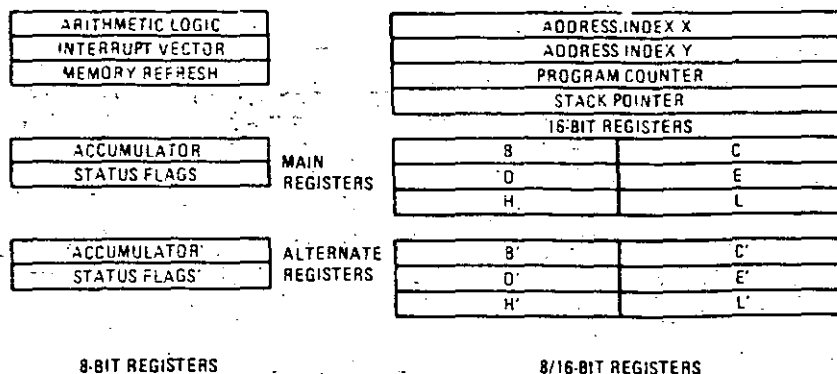


FIG. 4—ZILOG'S Z80 has the same registers as the 8080, but it provides a duplicate register set for quick response to interrupts.

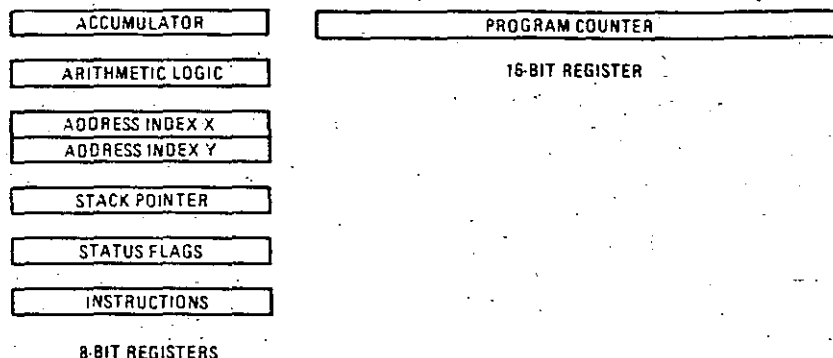


FIG. 5—MOS TECHNOLOGY'S 6502 has no general-purpose 16-bit registers, but it has the most flexible addressing schemes of all the early eight-bit processors.

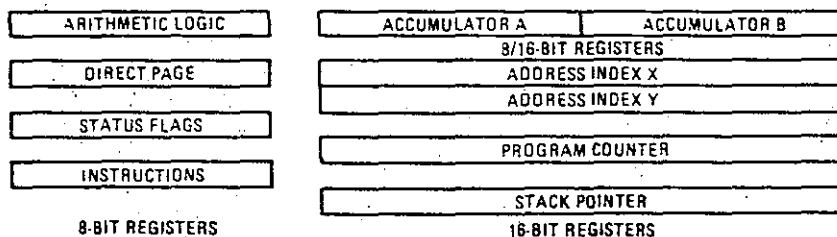


FIG. 6—MOTOROLA'S 6809 was intended to bridge the 8/16-bit gap; but it never really caught on, in spite of its having some really powerful features.

was a winner. It incorporated all the 8080 instructions as a subset of its own greatly-expanded instruction set. And that allowed it to run all the existing 8080-based software. In terms of hardware, the Z80 was designed according to the Intel philosophy. Zilog maintained the register structure of the 8080, but also added a set of alternate registers that duplicated the main set, as shown in Fig. 4. The alternate registers allow an increase in processing speed because, during an interrupt, the main registers can be swapped with the alternates by using a fast one-byte instruction.

Combined with the other advantages it had over the 8080—a single supply-voltage and a simple clock—the Z80 became the upgrade for the 8080. It had built-in features that required extra IC's in an 8080-based system. The Z80, for exam-

ple, can refresh dynamic RAM IC's automatically.

One interesting point about the Z80 is that, when it was first introduced, Zilog believed that the huge new instruction set would be responsible for most sales of the IC. As it turned out, 8080 code had become the standard, and the Z80's extra instructions were, for the most part, ignored. Intel, on the other hand, showed awareness of that need for compatibility, because the 8085 added only two instructions to the 8080's repertoire.

The 6502

In 1975 MOS Technology introduced the 6502. Just as the Z80 is a high-performance version of the 8080, the 6502 is a souped up 6800—but with differences. You can run 8080 code on a Z80, but 6800 code is gibberish to a 6502. What the

Microprocessor Speed

How fast a program runs on your computer depends on more than just its clock speed. The clock frequency determines microprocessor speed, but the instruction set, as well as the way a program is written, determine how fast a program runs.

Most of a microprocessor's time is spent accessing locations in your computer's memory, and the instruction that tells the microprocessor to do that can be two, four or even more bytes long. The overall speed of your computer is a function of how many cycles of the system clock it takes to complete a particular instruction.

A computer running at 8 Mhz will complete a four-byte instruction in exactly the same length of time that it takes a 2-MHz computer to complete a one-byte instruction. Overall program execution speed, therefore, depends on how much the microprocessor has to do and how quickly it can do it. The same program running on two computers with different microprocessors will undoubtedly run at two different speeds. Which runs faster depends on what the program is asking the microprocessor to do.

Some microprocessors have instruction sets that are quick at number crunching, while others are better at memory access. In general, microprocessors with internal registers, like the Z80, are better at number crunching because they have one-byte commands to manipulate register data. Microprocessors like the 6502, on the other hand, which do most things in memory, access that memory quicker than the register-oriented type of microprocessor. **R-E**

6502 got from the 6800 was its design philosophy. The 6502 is a top-down processor; its strength is in powerful addressing modes, rather than a lot of internal registers. Among its advantages over the 6800 were: on-IC clock generator, an improved instruction set, new addressing modes, faster access to the stack, and built-in BCD arithmetic.

At first glance, the 6502's architecture might look like a step backward. As shown in Fig. 5, the sixteen-bit index register of the 6800 was split into two eight-bit registers, and the stack pointer is only eight bits wide. That limits the stack to 256 bytes, but the designers of the 6502 decided that a 256-byte stack is more than adequate for most applications. By limiting its length, it could be placed in a dedicated area of memory (100 to 1FF). And that allowed the stack to be accessed very quickly, which increased overall execution speed. Splitting the index register allows both halves to be used independently for some very powerful indexed addressing modes.

What saved the 6502 from obscurity was being chosen as the microprocessor for the Apple, Atari, and Pet computers. The huge successes enjoyed by those ma-



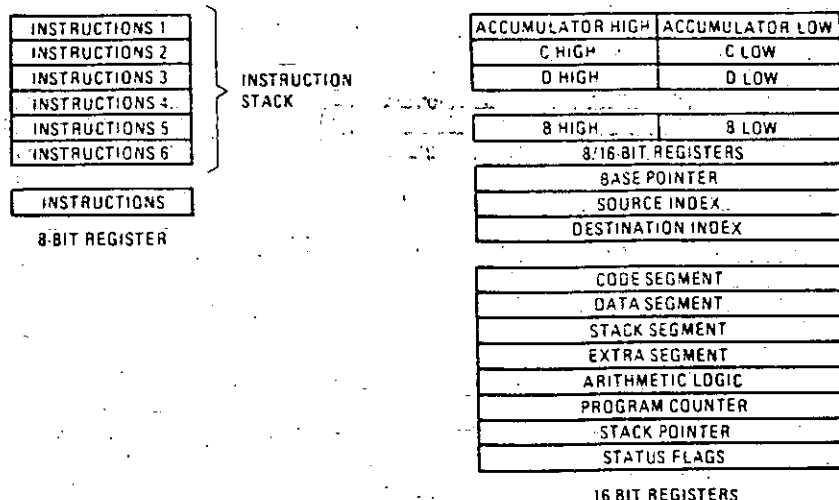


FIG. 7—INTEL'S 8088/86, workhorse of the IBM PC, provides one-megabyte memory addressing through the use of segment registers.

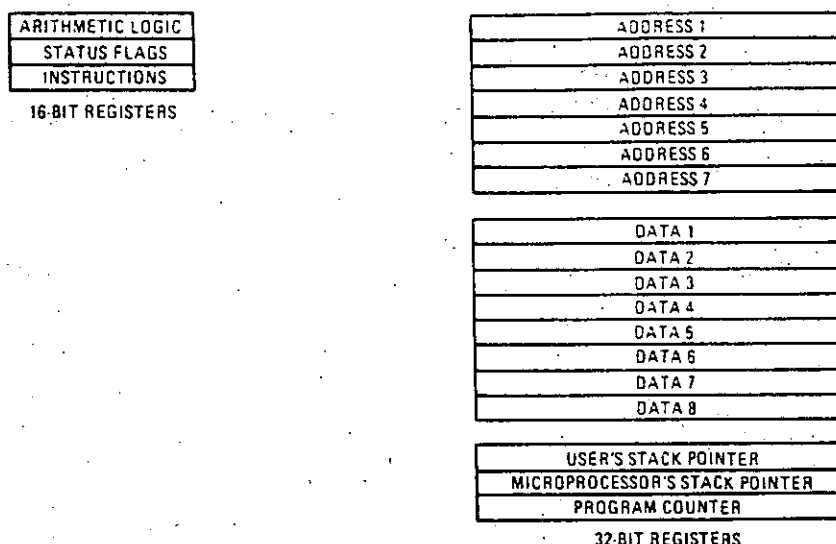


FIG. 8—MOTOROLA'S 68000, heart of Apple's Macintosh, is probably the most powerful sixteen-bit microprocessor on the market.

chines transformed the 6502 into one of the few silicon superstars.

The fourth generation of microprocessors began to emerge around 1980. The home-computer market was a mammoth economic reality by that time, and IC manufacturers were selling microprocessors as fast as they could make them. The third generation's last gasp was Motorola's 6809. It included advanced addressing and a multiply instruction. That instruction was innovative, unique, and it allowed a substantial increase in program execution speed. The 6809's structure is shown in Fig. 6.

Unfortunately for Motorola, the 6809 came late in the history of microcomputing, so few machines were designed around that IC. (Radio Shack's *Color Computer* is a notable exception.—Editor) One interesting footnote to computer history is that Apple was so impressed

with the 6809 that they used it in early *Macintosh* designs.

Fourth-generation microprocessors came about through refinements in IC technology. The advent of Very Large Scale Integration (VLSI) vastly increased on-IC component density. Results include sixteen-bit microprocessors, 64K (and larger) dynamic RAM's, as well as performance upgrades for the previous generation of microprocessors.

Sixteen bit microprocessors weren't really new. For example, TI's TMS9900, was a second-generation, top-down, sixteen-bit microprocessor with two sixteen-bit registers: a stack pointer and a program counter. All other data storage occurred in external memory. The TMS9900 has separate address and data buses because it comes in a 64-pin package. The TMS9900 is a powerful microprocessor, and the way it was marketed is a perfect

example of how *not* to do it. TI used the IC in its home computer, the *Ti99*, but TI did nothing to support outside developers. When the computer failed to catch on, Texas-Instruments let it die, and the TMS9900, essentially an IC ahead of its time, died with it.

The second-generation design philosophies of the 8080 family and the 6800 family showed up in third generation sixteen-bit IC's. Intel released the 8086 and 8088; they're direct descendents of the original 8080, so they emphasize the use of internal registers for storing and manipulating data. Zilog's Z8000 is a more-powerful, sixteen-bit version of the well-established Z80. Motorola's 68000, a muscular, sixteen-bit version of the neglected 6809, is more powerful than either Intel's or Zilog's microprocessors. We'll look at each in turn.

The 8086 family

As we mentioned earlier, it takes more than good design to make a silicon superstar. Intel struck it rich when IBM jumped into the home-computer market with a machine based on the 8088. Intel was a bit surprised, as well. The 8088 is a watered-down version of Intel's more powerful 8086. As shown in Fig. 7, the 8086 has a number of 16-bit registers, but the 8088 has an eight-bit-wide data bus, and that means that sixteen-bit data must be loaded into the microprocessor eight bits at a time. That's why it's called an 8 16 bit IC. The 8086, on the other hand, is a true sixteen-bit microprocessor.

IBM's choice of the 8088 was a serious miscalculation of both their marketing ability, and the viability of the market. One of the forgotten oddities of the IBM PC is that it originally showed up in the market with only 16K of RAM. The incredible popularity of the PC led to the development of huge amounts of applications software, and much mainstream eight-bit software was rewritten to operate on the 8088. Once again, Intel had produced the microprocessor that became the industry standard.

Several new features showed up in the new sixteen-bit series that had no counterpart in their eight-bit predecessors. A multiply instruction was added (as Motorola had done with the 6809), but it could be used effectively only in the 8086. The 8088 had a tough time handling thirty-two bit results, so most IBM-PC programmers do multiplication with the traditional shift and add approach, and that slows the PC down drastically.

Although the 8086 and 8088 are standalone microprocessors, Intel has some support IC's that can speed things up. The 8087 Math Co-Processor, for example, does high-speed number crunching, and it substantially increases the computing speed of the 8086. Note that the eight-bit data bus of the IBM PC restricts the

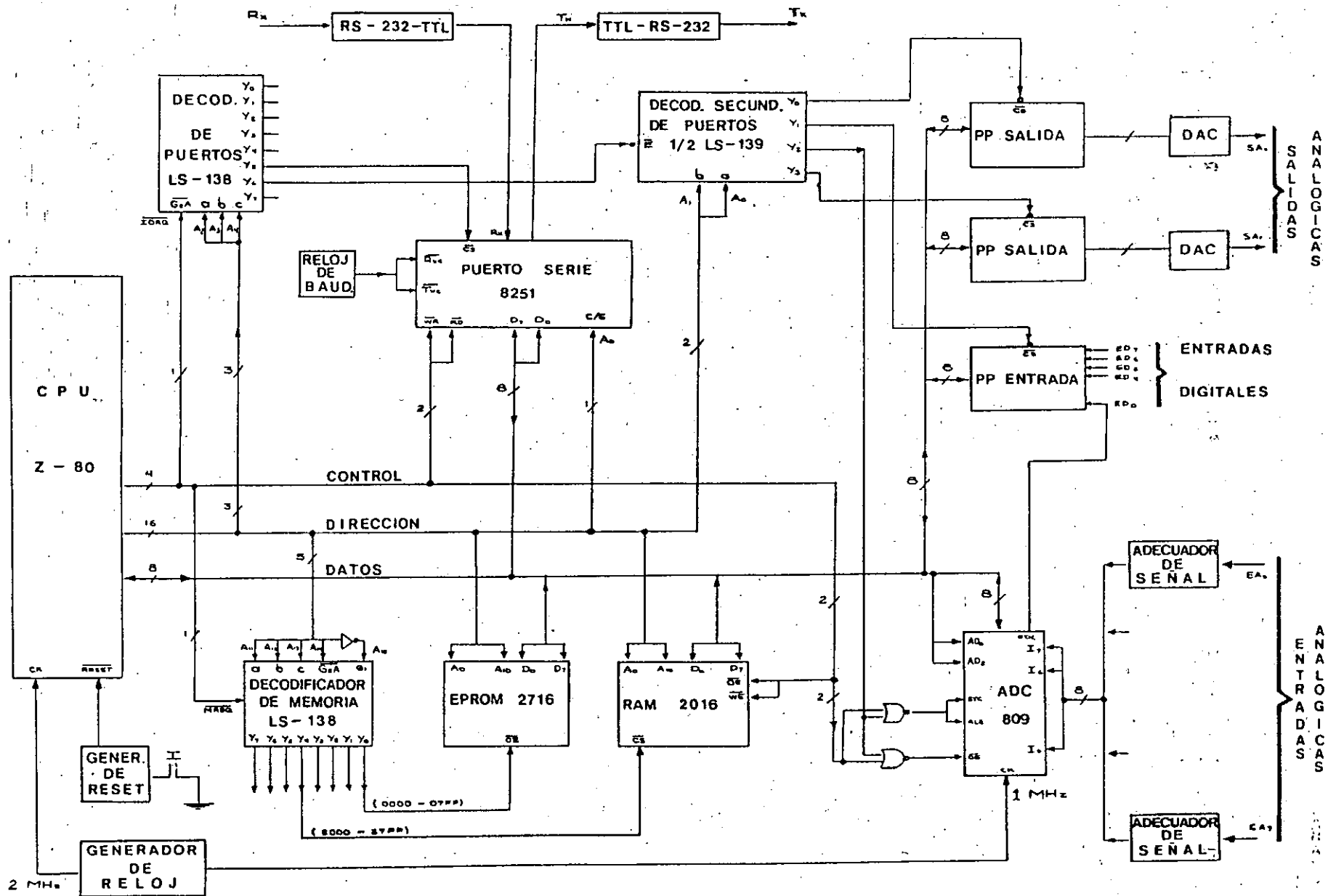
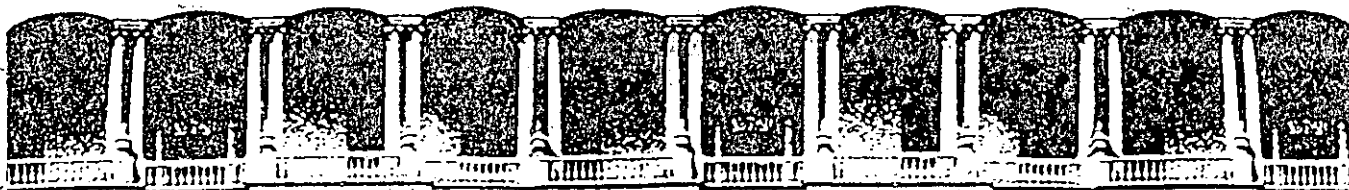


FIGURA 1: DIAGRAMA DE BLOQUES SIMPLIFICADO DEL SISTEMA

MINIMO DE MICROPROCESADOR SIMMP-1





**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

INSTRUMENTACION ELECTRONICA DE PROCESOS INDUSTRIALES

CONTROL DIGITAL

ING RICARDO GARIBAY JIMENEZ

CONTROL DIGITAL DE PROCESOS

I N D I C E

1. INTRODUCCION.
 - 1.1 Antecedentes.
 - 1.2 Controlador Digital de Procesos.
 - 1.3 Controlador Digital: características principales.
2. CONCEPTOS BASICOS Y ESQUEMA DE CONTROL DIGITAL.
 - 2.1 Conceptos y Esquema Básicos.
 - 2.2 Algoritmos PID de Control Digital.
 - 2.2.1 Controlador P. Ecuación en diferencias.
 - 2.2.2 Controlador PI. Ecuación en diferencias.
 - 2.2.3 Controlador PID. Ecuación en diferencias.
3. SOFTWARE DE CONTROL POR COMPUTADORA: PAQUETE PCDIGITAL.
 - 3.1 Implementación de un paquete de control por computadora: PCDIGITAL.
 - 3.2 Descripción del paquete en diagramas de flujo.
4. APLICACIONES DEL CONTROLADOR DIGITAL DE PROCESOS.
 - 4.1 Objetivo de la demostración.
 - 4.2 Procedimiento.
 - 4.3 Comentarios.
5. BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS.

1 INTRODUCCION.

En la actualidad la computadora se ha convertido en un instrumento indispensable en la realización de las actividades humanas, su capacidad para almacenar grandes cantidades de información, su velocidad y precisión en cálculos numéricos, su bajo costo y su versatilidad, la han convertido en un producto de gran éxito (algunas de las compañías constructoras de computadoras figuran entre las más destacadas del mundo). Su injerencia en todos los ámbitos del quehacer del hombre, es tal, que resulta difícil mencionar alguno que no haya sido modificado con su incorporación.

Este es el caso de la rama de la ingeniería que se especializa en el estudio del control automático de procesos, la cual, si bien tiene sus orígenes en la antigüedad, solo en recientes fechas ha incorporado con notables beneficios a la computadora digital.

En el campo de control automático la gran versatilidad de la computadora ha permitido desarrollar una amplia variedad de tareas, como adquirir datos del proceso para efectuar balances de materia y energía, calcular eficiencias y rendimientos y elaborar reportes con la información procesada. Ha permitido, asimismo, a través de diversos esquemas de aplicación, incorporarse a las tareas de control de los procesos de la planta de producción, lo cual redundo en una mayor flexibilidad en el manejo de la misma, debido a que introduce técnicas de control que no podían ser aplicadas anteriormente con instrumentación analógica. Algunas de esas técnicas son: compensación por 'tiempo muerto', desacoplamiento de procesos multivariables, algoritmos de control digital y control adaptable.

Adicionalmente, si consideramos la capacidad de la computadora de simular modelos de los procesos, asumiendo

condiciones que no pueden ser aplicadas físicamente, se explica también su aplicación en la investigación del área.

1.1 ANTECEDENTES.

La idea de utilizar computadoras digitales como componentes de control surgió alrededor de 1950 (Åström y Wittenmark), en aplicaciones de control de misiles y dispositivos aeroespaciales; sin embargo, como las computadoras de ese tiempo eran demasiado grandes y consumían mucha potencia, la idea fue abandonada y se optó por desarrollar computadoras de propósito específico llamadas 'Analizadores Diferenciales Digitales' (DDA), las cuales, se enfocaban exclusivamente a resolver los problemas particulares de la navegación espacial.

La aplicación específica de la computadora digital en el control de procesos industriales, se inició a mediados de la década de los cincuentas, desde entonces, la gran mayoría de los adelantos en el control por computadora provienen de esfuerzo puesto en superar las dificultades que surgen al controlar los procesos industriales.

El primer trabajo se remonta al año de 1956 cuando la Cia. TEXACO solicitó a la Cia. Aeroespacial Thomson Ramo Woolridge (TRW) un estudio de factibilidad para instalar una unidad de polimerización controlada por computadora en la refinería de Port Arthur, Texas. Este proyecto entró en operación en marzo de 1959, la arquitectura de diseño se basó en la computadora RW-300, la cual controlaba 26 flujos, 72 temperaturas, 3 presiones y 3 composiciones.

El proyecto de la Texaco inició la primera etapa en la historia del control por computadora. Durante esta primera etapa la computadora actuaba solamente como un supervisor del

comportamiento de la planta; su principal función consistía en encontrar el punto óptimo de operación y adicionalmente planear la producción y generar reportes sobre la misma (cantidad de materiales utilizados, cantidad de materiales fabricados, etc.). Es característico de esta etapa la implementación de dos modos supervisorios de operación: 'guía del operador' y 'control de referencia'. En el modo 'guía del operador' la computadora imprimía mensajes al operador indicándole las acciones a tomar, por otra parte, en el modo 'control de referencia', la computadora ajustaba los puntos de operación de los reguladores analógicos.

A partir de la fecha en que exitosamente se concluyó el proyecto Texaco, los fabricantes de computadoras, las instituciones de investigación y la industria en general, dieron un fuerte impulso al desarrollo de estos sistemas, varios estudios de factibilidad fueron iniciados y para 1962 el número de computadoras aplicadas al control de procesos había aumentado y llegaba a ser de 100.

Ya se ha mencionado que los primeros sistemas realizaban dos funciones de un mismo modo de operación llamado 'modo supervisorio'; sin embargo, en ambas funciones se empleaban instrumentos analógicos para el control. En la figura 1.1 se muestra un esquema del modo de control supervisorio. De cualquier manera, en esta etapa 'pionera' se adquirió la experiencia necesaria para impulsar otras formas de aplicación y como resultado de esto, se realizó en Inglaterra un proyecto que revolucionó la forma de aplicar las computadoras al control.

En el año de 1962, la compañía Imperial Chemical Industries (ICI) cambió todos sus instrumentos de control analógicos por una computadora digital Ferranti Argus para efectuar las funciones de la instrumentación reemplazada:

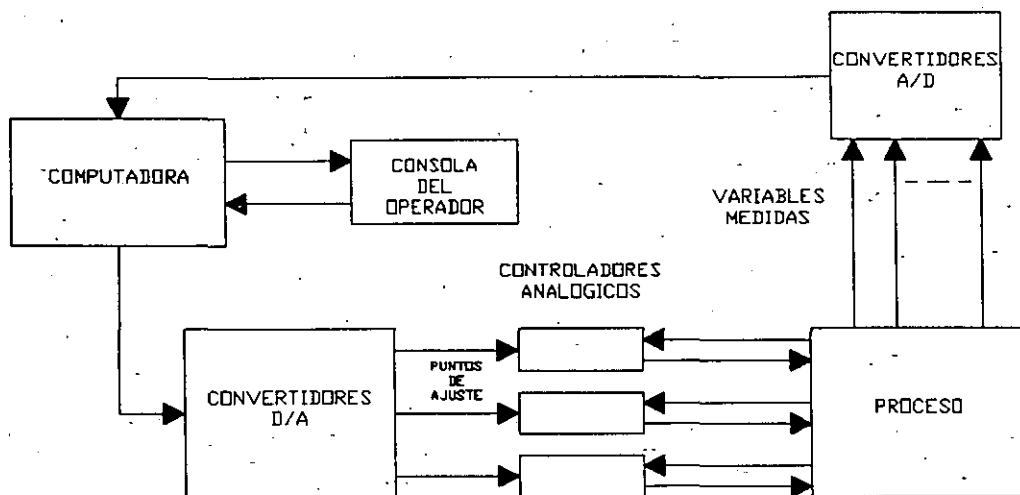


Figura 1.1 Esquema de Control Supervisorio

medir 224 variables y controlar 129 válvulas. Lo más impactante de este proyecto fue el hecho de que la medición y el control se hacían directamente con la computadora, la cual, pasó a formar parte del lazo de control. Este cambio no tuvo precedente y fue el inicio de la segunda etapa del desarrollo del control por computadora, la del 'control digital directo' (DDC), la figura 1.2 ilustra este esquema.

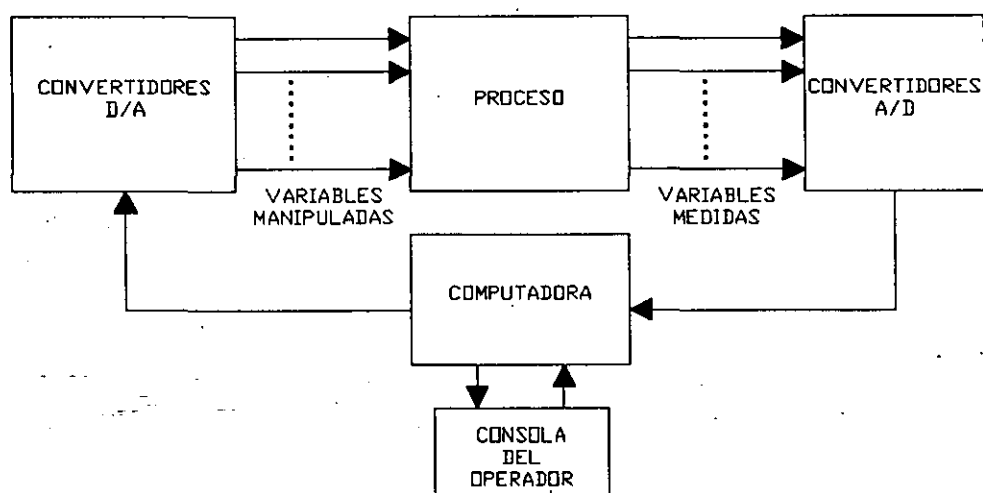


Figura 1.2 Esquema de Control Digital Directo

Las ventajas más importantes que introdujo la sustitución de la tecnología analógica por digital fueron en relación con el costo y la flexibilidad. En la tecnología analógica el costo depende del número de lazos de control, mientras que con los sistemas DDC el costo por lazos de control adicionales es mínimo: no obstante que normalmente la inversión inicial es más fuerte, finalmente resultan de menor costo. Por lo que corresponde a la flexibilidad, ésta es mayor en los sistemas DDC, ya que los cambios en los lazos de control analógico se hacían realambrando, mientras que en los sistemas digitales los cambios se efectúan programando. El surgimiento de los sistemas DDC ha sido el avance más importante en la historia del control por computadora, ya que con base en la creciente confiabilidad y velocidad de las máquinas, ha sido posible asignarles la total responsabilidad del control de las plantas.

Posteriormente, dos acontecimientos relativos al desarrollo de la tecnología digital han influido determinantemente en el avance del control por computadora. El primero de éstos ocurrió a mediados de los años 60's con la aparición de las 'minicomputadoras', las cuales, por su potencia y reducidas dimensiones eran adecuadas para dar solución a problemas de control de mediana magnitud y por su menor costo eran accesibles aún para proyectos de bajo presupuesto. La microcomputadora fué el segundo de los acontecimientos mencionados, ya que su aparición en 1972 significó otro gran impulso en esta disciplina: si bien las minicomputadoras eran pequeñas, no lo eran suficientemente para la mayoría de los pequeños problemas de control, los cuales, demandaban soluciones de más bajo costo y dimensiones en el equipo empleado. Con el nacimiento de las microcomputadoras un gran número de estos problemas tuvieron solución, incluso aquellos que únicamente consistían de un sencillo lazo de control.

La importancia de estos últimos sucesos en la historia del control por computadora es mayúscula, si consideramos que en 1965 a 3 años del advenimiento de los sistemas DDC, el número de computadoras empleadas en el control de procesos era alrededor de 1000 y para 1975, después de la aparición de las mini y microcomputadoras el número aumentó a 100,000.

En la actualidad el perfeccionamiento de la técnica de integración de circuitos a muy grande escala (VLSI) ha permitido la fabricación de microprocesadores muy baratos y poderosos, con esto, las microcomputadoras están al alcance de cualquier proyecto de control siendo posible además realizar algoritmos más elaborados. Es común la sustitución de equipo analógico por sistemas DDC basados en microprocesador. También se ha ensayado el control de plantas con un gran número de variables por medio de las llamadas 'redes de control distribuido', las cuales, emplean una minicomputadora para coordinar un conjunto de microcomputadoras que efectúan el control directo de la planta y que para dicho efecto se encuentran distribuidas a lo largo de ella.

Finalmente, como referencia, se pueden enunciar algunas de las ventajas que presenta el control por computadora:

1. La tecnología digital tiene un bajo costo.
2. El consumo de potencia es bajo.
3. El uso de señales digitales codificadas presentan las ventajas de que pueden ser almacenadas por un tiempo indefinido además de que pueden ser transmitidas con mayor confiabilidad mediante el uso de códigos de protección.
4. Con el uso del control digital se logra un mejor funcionamiento que con la tecnología analógica.
5. En telemetría se requiere un solo canal de comunicación para varios sistemas de control multiplexando señales.
6. Pueden realizarse simulaciones con modelos matemáticos que en la tecnología analógica no son posibles.

TABLA I
CONTROL DE PROCESOS POR COMPUTADORA
BOSQUEJO HISTORICO

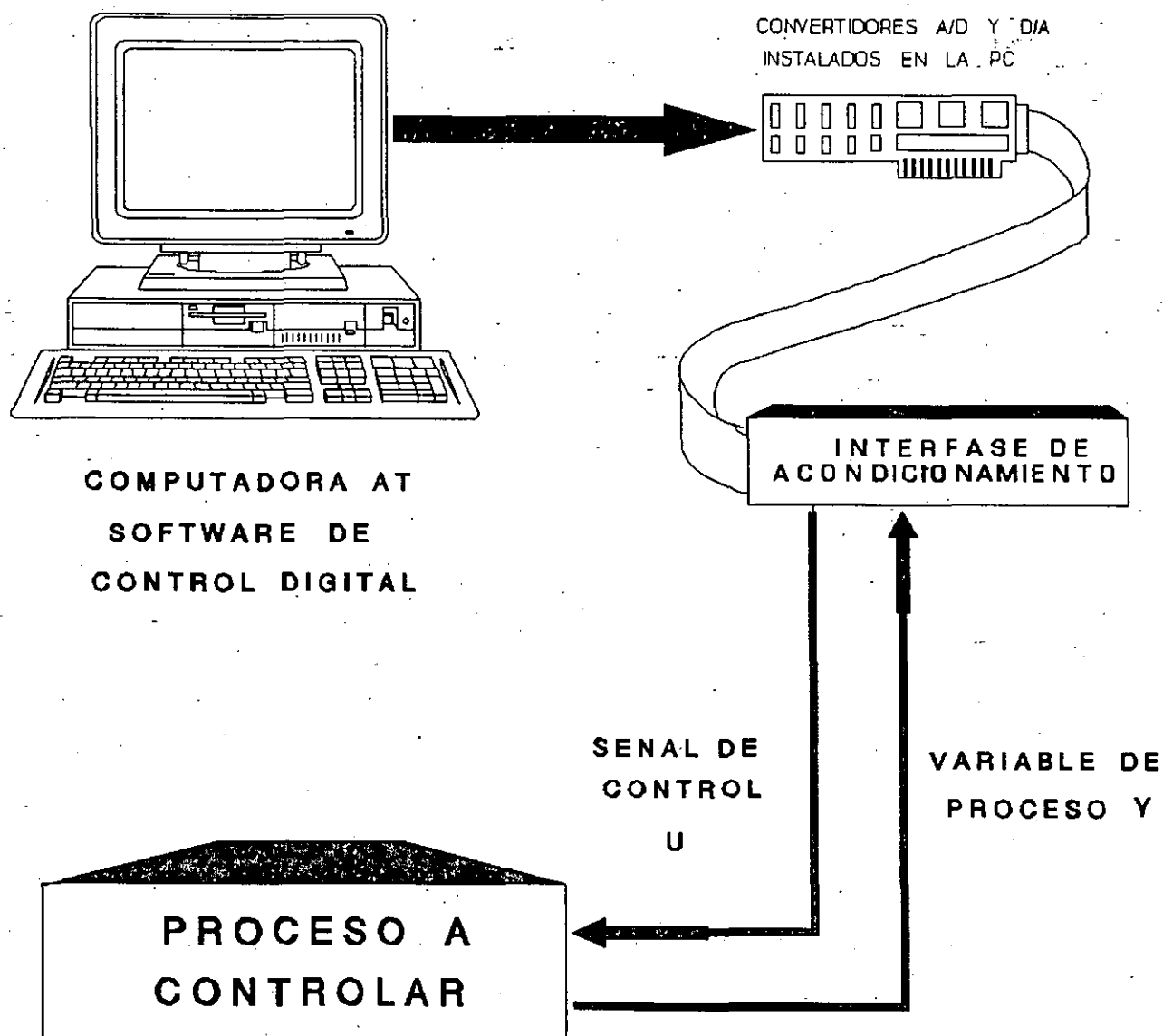
1950	PRIMERA APLICACION: CONTROL DE MISILES Y DISPOSITIVOS AEROSPACIALES. ANALIZADORES DIFERENCIALES DIGITALES (DDA) COMPUTADORAS DE CARACTER ESPECIFICO APLICADAS A NAVEGACION ESPACIAL.
1954-1959	PRIMERA APLICACION EN CONTROL DE PROCESOS: CONTROL DE UNA UNIDAD DE POLIMERIZACION EN LA REFINERIA DE PORT ARTHUR, TEXAS.
1959	INICIO DE LA PRIMERA ETAPA DEL CONTROL POR COMPUTADORA: ESQUEMA DE CONTROL SUPERVISORIO.
1962	NUMERO DE COMPUTADORAS APLICADAS AL CONTROL: 100 APROXIMADAMENTE.
1962	SUSTITUCION DE TODOS LOS CONTROLADORES Y DISPOSITIVOS ANALOGICOS POR UNA COMPUTADORA DIGITAL: CONTROL REALIZADO DIRECTAMENTE POR LA COMPUTADORA (CONTROL DIGITAL DIRECTO DDC).
1965	NUMERO DE COMPUTADORAS APLICADAS AL CONTROL DE PROCESOS: 1000 APROX.
MEDIADOS DE 60's	APARICION DE LAS MINICOMPUTADORAS: SOLUCION DE PROBLEMAS DE CONTROL DE MEDIANA MAGNITUD Y COSTO.
1972	APARICION DE LAS MICROCOMPUTADORAS: SOLUCION A LOS PEQUEÑOS PROBLEMAS DE CONTROL: CONTROL DIGITAL DE UN SOLO LAZO.
1975	NUMERO DE COMPUTADORAS APLICADAS AL CONTROL: 100,000 APROXIMADAMENTE.
ACTUAL	APLICACION DE LOS MICROPROCESADORES AL CONTROL: CONTROL DE PLANTAS COMPLEJAS POR MEDIO DE REDES DE CONTROL DISTRIBUIDO.

1.2 CONTROLADOR DIGITAL DE PROCESOS.

El trabajo presentado muestra la realización de un Controlador Digital basado en una microcomputadora y en un paquete de programación (software) que se puede aplicar satisfactoriamente en el control de procesos industriales. La figura 1.3 muestra el esquema general del sistema con sus componentes principales.

El paquete de programación incluye los algoritmos de las acciones de control industrial más comunes: proporcional, proporcional-integral y proporcional-integral-derivativa. Dentro del mismo, la función de interfase con el operador es esencial, dado que permite comandar la operación, seleccionando las acciones de control a través de menús, y desplegar el desempeño a través de gráficas de tendencia y de barras de las variables principales. Las funciones de interacción operador-proceso incluyen también la asignación del punto de operación deseado (set point), la de frecuencia de muestreo y la de los parámetros de sintonía del controlador. En suma, se trata de un sistema que efectúa su operación con base en un dispositivo digital programable, empleando los conceptos, procedimientos y algoritmos propios de control digital directo (DDC) y habilitando un medio de interacción con el usuario completamente amigable, que le facilita atender exclusivamente la operación del proceso, sin tener que ocuparse de otras tareas, como: programación, selección o identificación de información.

Cabe mencionar que originalmente el controlador digital fue realizado con las acciones PID convencionales; sin embargo, en la actualidad, dispone de otros algoritmos más avanzados propios del control digital, como el de 'Asignación de Polos'. Este algoritmo puede ser aplicado y demostrado fácilmente durante la exposición.



CONTROLADOR DIGITAL DE PROCESOS

FIGURA 1.3

1.3 CONTROLADOR DIGITAL: CARACTERISTICAS PRINCIPALES.

El sistema de control que se presenta está constituido por un ensamble de elementos físicos (hardware) y de programación (software). El hardware empleado en la realización es:

Una computadora personal AT compatible, con las siguientes características:

- Memoria principal de 640 KB.
- Una unidad de disco flexible de 360 KB.
- Reloj de 12 MHz.
- Monitor cromático con capacidad de gráficos.

Con esta configuración, la computadora satisface las necesidades del procesamiento, con memoria suficiente para la ejecución del programa y calidad de gráficos en el monitor para dar una mejor presentación de la información al usuario.

Por otra parte, para la interfase entre la computadora y el proceso se emplea un tarjeta de conversión A/D y D/A PCL-812, de la marca PCLABCARD, la cual tiene las siguientes características:

- 2 convertidores digital/analógico.
- 16 canales de conversión analógico/digital.

La tarjeta además tiene velocidad de conversión suficientemente rápida para satisfacer los requerimientos del sistema (frecuencia de conversión de hasta 30 KHz).

En cuanto al software, el sistema se programó empleando un lenguaje que cumplía con los requerimientos indicados a continuación:

- Capacidad de lectura y escritura en puertos de la computadora, para comunicarla con la tarjeta PCLABCARD.

-Capacidad de ser compilable, esto es, que pueda generar código ejecutable, para reducir el tiempo de ejecución y conseguir, por lo tanto, frecuencias de muestreo mayores.

Por lo anterior, el sistema se ha desarrollado empleando el lenguaje Turbo Pascal (BOREALAND) para la tarea de la programación, ya que por tratarse de un lenguaje estructurado, permite las funciones de graficación, comunicación (lectura y escritura de puertos) y su ejecución es rápida.

2. CONCEPTOS BASICOS Y ESQUEMA DE CONTROL DIGITAL.

2.1 Conceptos y Esquema Básicos.

El planteamiento básico de control digital es abordado a partir de los conocimientos previos, clásicos, que los participantes del curso tienen sobre el control de lazo cerrado. Es necesario retomar las ideas y mecanismos que los participantes han tenido y practicado durante muchos años en sus respectivos campos de acción, en relación con el control de procesos.

En instrumentación y control de procesos, se conoce a fondo la función de los controladores y su relación con el resto de los elementos que constituyen el lazo de control: elemento primario de medición, transmisor, actuador, elemento final y sobre todo con la planta o proceso que se desea controlar. Asimismo, tradicionalmente se ha recurrido a la acción PID como forma de control fundamental: se conocen variantes de la misma y se aplican diversos métodos de sintonización, que por lo general son satisfactorios en la práctica. Los operadores se han acostumbrado a aplicar los controladores PID y conocen suficientemente la manera de

sintonizarlos. A partir de esta base el control digital ha formulado sus conceptos elementales y desarrollado sus aplicaciones primarias.

El esquema más sencillo de aplicación de la computadora digital al control consiste en la traslación directa de las funciones analógicas al dominio discreto: el controlador PID (proporcional-integral-derivativo) analógico convencional es remplazado por un equivalente digital, lo que hace necesario conocer y aplicar los métodos que convierten o aproximan un sistema analógico en digital sin alterar sus propiedades. Dicha aproximación resulta adecuada si la discretización se realiza empleando un intervalo de muestreo suficientemente pequeño, tal que el sistema discreto obtenido sea muy aproximado al continuo original.

En notas posteriores se enuncian brevemente los métodos de aproximación la forma en que se obtienen las ecuaciones que definen al algoritmo de control; sin embargo, previamente es necesario exponer los conceptos, consideraciones generales y el esquema requeridos para dicho desarrollo.

En la figura 2.1 se muestran los componentes de un sistema de control digital. Como puede observarse, se forma un lazo de control simple en el que la computadora forma parte de la trayectoria directa del lazo, actuando sobre la planta y con realimentación unitaria. Con respecto a este esquema se establecen las siguientes definiciones:

$G_p(s)$ es la función de transferencia continua de la planta o proceso.

$G_c(z)$ es la función de transferencia discreta del controlador.

$r(kT)$ es la secuencia de referencia.

$e(kT)$ es la secuencia de error.

$u(kT)$ es la secuencia de control.

$y(t)$ es la salida de la planta.

T es el período de muestreo.

k es elemento de los enteros no negativos.

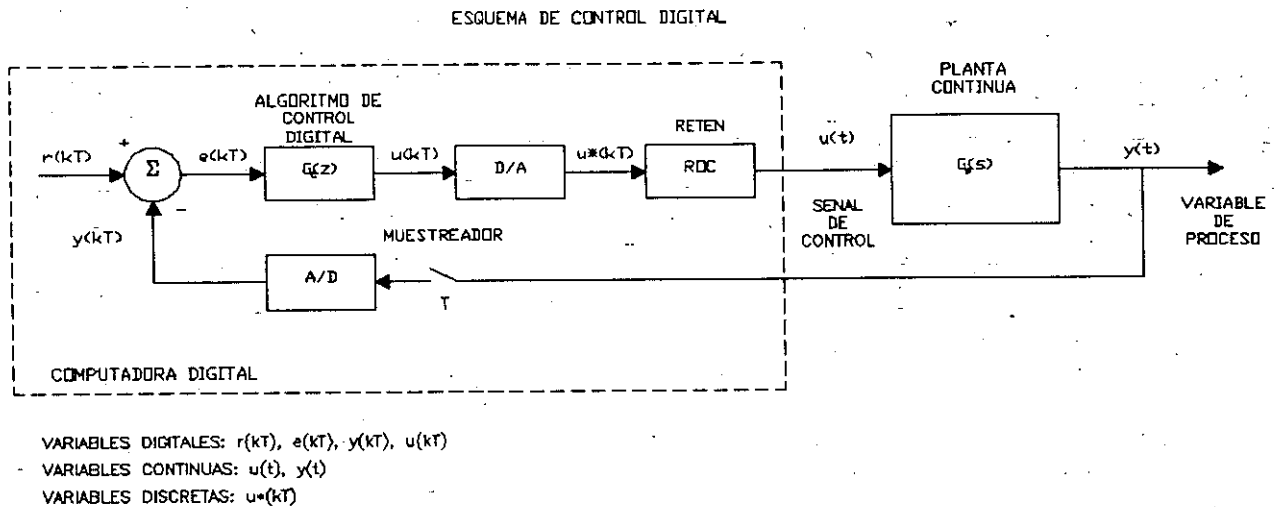


Figura 2.1 Esquema de Control Digital

En el análisis y diseño de un controlador digital generalmente se efectúa el siguiente procedimiento:

1. Obtención de un sistema equivalente discreto $G_p(z)$ para la planta continua $G_p(s)$. Este equivalente discreto se calcula por la siguiente expresión:

$$G_p(z) = (1 - z^{-1}) Z [G_p(s)/s]$$

2. Dada una estructura y parámetros de un controlador analógico $G_c(s, \theta')$, donde θ' son los parámetros de diseño, obtener mediante aproximación un controlador discreto $G_c(z, \theta)$ donde $\theta = f(\theta', T)$. Esta aproximación discreta del controlador analógico puede realizarse mediante diferentes métodos, los cuales, en general, son simples reemplazos de s por una expresión de z .

3. Una vez obtenida la estructura del controlador discreto $G_c(z, \theta)$, se procede a expresarla como una ecuación en diferencias, a fin de editarla como un programa de computadora, en el lenguaje que corresponda y posteriormente ejecutarla y aplicarla al proceso en cuestión.

Es importante resaltar que el paso 2 no es estrictamente necesario ya que a partir de la descripción discreta de la planta, es posible determinar directamente la estructura del controlador discreto, mediante la especificación de un objetivo de control adecuado.

2.2 Algoritmos PID de Control Digital.

La teoría de control considera tres acciones básicas de control: la acción proporcional, la acción integral y la acción derivativa. Estas acciones pueden aplicarse de manera combinada dando lugar a los controladores más populares: el controlador proporcional (P), el proporcional-integral (PI) y el proporcional-integral-derivativo (PID). Su importancia se debe no solamente a que son tradicionalmente estudiados en los primeros cursos de control automático sino porque dan solución satisfactoria a innumerables aplicaciones en la industria.

2.2.1 Controlador Proporcional P. Ecuación en diferencias.

Es el más simple de los algoritmos de control, tanto por la obtención de la ecuación en diferencias que lo define, como por la implantación de ésta en la computadora. La función de transferencia de un controlador proporcional continuo está dada por la ecuación (A).

$$G_c(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K \quad (A)$$

donde:

s es la variable de Laplace

$U(s)$ transformada de Laplace de la señal de control

$E(s)$ transformada de Laplace de la señal de error

K ganancia del controlador

Al no existir términos en ' s ' la discretización es simple, resultando:

$$G_c(z) = \frac{U(z)}{E(z)} = K \quad (B)$$

Despejando la variable $U(z)$ de la función de transferencia anterior y antitransformando se obtiene la ecuación en diferencias de la acción de control proporcional, misma que se enuncia por medio de la ecuación (C).

ECUACION EN DIFERENCIAS DE LA ACCION P

$$u(kT) = K e(kT) \quad (C)$$

La ecuación de este algoritmo es muy simple debido a que el controlador proporcional es un amplificador de la señal $e(kT)$.

En general, la aplicación de la acción proporcional aislada, no es suficiente para solucionar la mayoría de los problemas de control, ya que, si bien, un controlador proporcional puede mejorar la respuesta transitoria del sistema, no sucede así con la respuesta permanente, la cual llega a presentar una desviación u 'offset', por lo que es necesario, la aplicación de algoritmos mas elaborados.

2.2.2 Controlador PI. Ecuación en diferencias.

Un algoritmo ligeramente más complejo que el anterior, pero que ofrece mayores ventajas, es el algoritmo del control proporcional-integral. En efecto, la introducción de un controlador PI en un lazo de control, tiene como ventaja principal, la eliminación del error de estado estacionario para cambios en la referencia y eventuales perturbaciones aditivas constantes. En contraste con lo anterior, debe considerarse, además, que la introducción del término integral produce disminución en los márgenes de estabilidad.

El controlador PI analógico en el dominio de la variable de Laplace, se define comunmente por medio de la función de transferencia que se enuncia a continuación:

$$G_c(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K \left(1 + \frac{1}{T_i s} \right) \quad (D)$$

donde, además de los términos enunciados respecto a la ecuación (A), se tiene el parámetro T_i , el cual se define como constante de tiempo de integración (tiempo de 'reset').

En la función de transferencia anterior es posible identificar claramente a las componentes que corresponden a la acción proporcional (K) y a la acción integral ($\frac{1}{T_i s}$).

La aproximación discreta de estos términos se efectúa por medio del método de 'diferenciación hacia adelante', de donde resultan las expresiones discretas (E) y (F). La suma de ambos términos conducen a la función de transferencia discreta de la acción PI. Ecuación (G).

acción proporcional: K (E)

$$\text{acción integral: } -\frac{KT}{T_i} \frac{z^{-1}}{(1 - z^{-1})} \quad (F)$$

$$G_c(z) = \frac{U(z)}{E(z)} = \frac{KT_i(1 - z^{-1}) + KTz^{-1}}{T_i(1 - z^{-1})} \quad (G)$$

Despejando $U(z)$ de la ecuación anterior y antitransformando se obtiene la ecuación en diferencias de la acción proporcional-integral, misma que se enuncia por medio de la expresión siguiente:

ECUACIÓN EN DIFERENCIAS DE LA ACCIÓN PI

$$u(kT) = u(kT-T) + K e(kT) + K \left(-\frac{T}{T_i} - 1 \right) e(kT-T)$$

2.2.3 Controlador PID. Ecuación en diferencias.

El algoritmo de control que conjunta las tres acciones de control mencionadas, es conocido como controlador proporcional-integral-derivativo. Este es el que se emplea más frecuentemente debido a que utiliza acciones de control que son complementarias entre sí, por lo que presenta ventajas sobre los algoritmos anteriores mejorando la precisión y la estabilidad del sistema en malla cerrada.

La expresión (J) enunciada a continuación describe al controlador PID de estructura estandar en su forma continua, en términos de 's', (el controlador PID tradicional). Consiste en la superposición de los operadores elementales cuyos efectos en conjunto deben aportar las ventajas particulares de cada uno de ellos.

$$G_c(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K \left(1 + \frac{1}{T_i s} + \frac{T_d s}{1 + (T_d/N) s} \right) \quad (J)$$

donde, además de los términos enunciados con respecto a las ecuaciones (A) y (D) se tiene un nuevo parámetro: la constante de tiempo derivativa T_d .

En la función de transferencia anterior es posible identificar los términos que corresponden a la acción proporcional (K), a la acción integral ($\frac{1}{T_i s}$) y a la acción derivativa ($T_d s$). Sin embargo, es necesario destacar que en la parte derivativa se tiene un filtro paso bajas de primer orden con una constante de tiempo T_d/N (frecuencia de corte N/T_d), el cual es necesario para la implementación física de esta acción.

La aproximación discreta de la acción PID se efectúa empleando el método de 'diferenciación hacia adelante' para la acción integrativa y la 'diferenciación hacia atrás' para la acción derivativa y el filtro, resultando las equivalencias siguientes:

	FORMA CONTINUA	FORMA DISCRETA
acción proporcional:	K	K
acción integral:	$\frac{K}{T_i s}$	$\frac{\alpha z^{-1}}{(1 - z^{-1})}$
acción derivativa:	$K T_d s$	$\frac{1}{\beta} (1 - z^{-1})$
filtro:	$\frac{1}{1 + (T_d/N) s}$	$\frac{1}{r - (r - 1) z^{-1}}$

Los parámetros ' α ', ' β ' y ' γ ' se definen por las expresiones:

$$\alpha = \frac{K T}{T_i} ; \quad \frac{1}{\beta} = \frac{K T_d}{T} ; \quad \gamma = \frac{T_d}{N T} + 1$$

La ecuación en diferencias total que define al algoritmo PID se obtiene adicionando las componentes enunciadas; sin embargo, en la práctica, es necesario realizar el agrupamiento de acuerdo con algunas estructuras algebraicas particulares que permitan formas de operación confiables. Las estructuras más frecuentemente empleadas se muestran en la figura 2.2 en forma de diagramas de bloques.

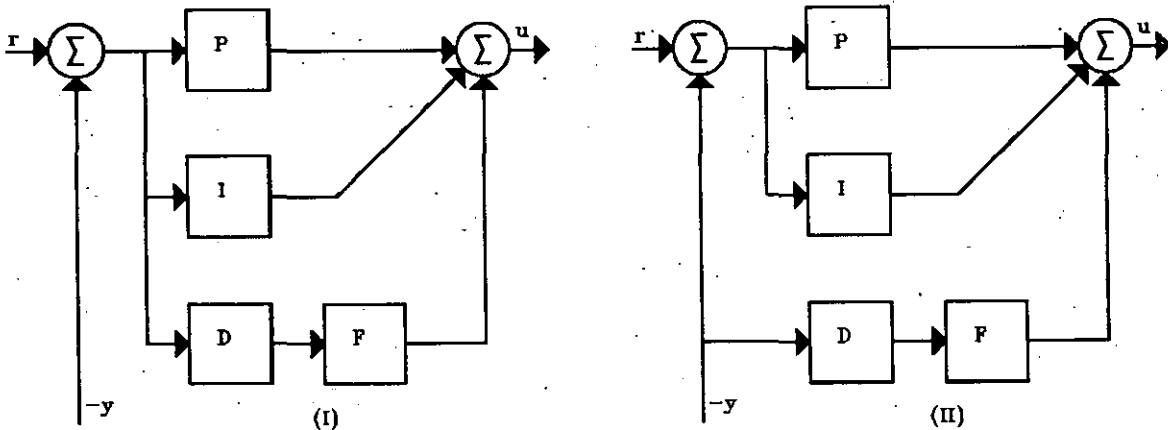


Figura 2.2 Estructuras de acción PID

La estructura (I) corresponde a la simple adición de los algoritmos elementales; sin embargo, presenta la gran desventaja de que la operación derivativa se aplica sobre el error. Esto es inconveniente, debido a que eventuales cambios intempestivos de esta variable, ocasionan la presencia de 'picos' en la señal de control. Esta situación es muy factible si se piensa que los cambios de referencia se introducen frecuentemente como señales de tipo escalón.

La estructura (II) es mejor debido a que la derivativa se aplica sobre la variable de proceso directamente, la cual es una variable lenta normalmente, evitando así, posibles picos en la señal de control. También se dice que con esta estructura el efecto 'anticipatorio' se aplica efectivamente sobre la variable que lo requiere, es decir, las variaciones del proceso.

Cada una de las estructuras mostradas dan origen a diferentes ecuaciones en diferencias, las cuales pueden representarse por una ecuación general de la forma:

$$U(z) = \frac{T(z)}{S(z)} R(z) - \frac{Q(z)}{S(z)} Y(z)$$

donde:

$$S(z) = s_0 + s_1 z^{-1} + s_2 z^{-2} = \gamma + (1 - 2\gamma)z^{-1} + (\gamma - 1)z^{-2}$$

$$Q(z) = q_0 + q_1 z^{-1} + q_2 z^{-2}$$

$$T(z) = t_0 + t_1 z^{-1} + t_2 z^{-2}$$

ESTRUCTURA I. Para ésta resulta que: $T(z) = Q(z)$, por lo que los coeficientes de estos polinomios son :

$$q_0 = t_0 = K\gamma + 1/\beta$$

$$q_1 = t_1 = K(1 - 2\gamma) + \alpha\gamma - 2/\beta$$

$$q_2 = t_2 = (K - \alpha)(\gamma - 1) + 1/\beta$$

Sustituyendo $S(z)$, $T(z)$ y $Q(z)$, despejando y antitransformando se obtiene la ecuación en diferencias que corresponde a esta estructura PID, la cual se enuncia en la continuación.

ECUACION EN DIFERENCIAS DE LA ACCION PID I

$$s_0 u(kT) = -s_2 u(kT-2T) - s_1 u(kT-T) + q_2 [r(kT-2T) - y(kT-2T)] + q_1 [r(kT-T) - y(kT-T)] + q_0 [r(kT) - y(kT)]$$

ESTRUCTURA II. Para ésta el polinomio $Q(z)$ es igual al definido para la estructura (I) anterior; sin embargo, el polinomio $T(z)$ se define como:

$$t_0 = K\gamma$$

$$t_1 = K(1 - 2\gamma) + \alpha\gamma$$

$$t_2 = (K - \alpha)(\gamma - 1)$$

Sustituyendo $S(z)$, $T(z)$ y $Q(z)$, despejando y antitransformando se obtiene la ecuación en diferencias para la estructura PID II enunciada abajo.

ECUACION EN DIFERENCIAS DE LA ACCION PID II

$$s_0 u(kT) = -s_2 u(kT-2T) - s_1 u(kT-T) + t_2 r(kT-2T) + t_1 r(kT-T) + t_0 r(kT) - q_2 y(kT-2T) - q_1 y(kT-T) - q_0 y(kT)$$

3. SOFTWARE DE CONTROL POR COMPUTADORA: PAQUETE PCDIGITAL.

3.1 Implementación de un paquete de control por computadora.

Con base en el desarrollo teórico que se expuso en el tema 2, cuyos elementos concluyentes fueron las cuatro ecuaciones en diferencias de las acciones de control PID, se desarrolló el paquete de programación de control llamado PCDIGITAL, orientado al control de procesos monovariantes.

Este paquete de programación no solamente incluye la ejecución de las ecuaciones en diferencias y su aplicación a un proceso, sino que incorpora muchas otras funciones requeridas por su propia estructura de realización. Entre éstas, genéricamente, se pueden destacar las siguientes:

- Configuración de los canales de adquisición y conversión.

- Validación de las señales y valores obtenidos.

- Interfase con el usuario con base en el despliegue de pantallas dinámicas interactivas.

- Interfase con el usuario respecto a la adquisición de comandos y valores desde el teclado.

- Selección, configuración y asignación de parámetros de los algoritmos de control.

- Generación de valores como resultado de la ejecución de los algoritmos y ajuste de los mismos de acuerdo a rangos especificados de conversión.

3.2 Descripción del paquete en diagramas de flujo.

Al ejecutarse el paquete de control PCDIGITAL en una microcomputadora, se realiza el control de un proceso físico a través de un dispositivo de interfase que adquiere y convierte la variable analógica medida en el proceso, la procesa de acuerdo con el algoritmo de control seleccionado y convierte la señal digital de control generada. Una descripción global del software y de los subprogramas principales se presenta en los siguientes párrafos.

El desarrollo del paquete de control digital se realizó en varios subprogramas en lenguaje Turbo Pascal de BORELAND. Se incluyeron los controladores siguientes: manual, proporcional, proporcional-integral y finalmente proporcional-integral-derivativo.

Los subprogramas principales son:

- PCDIGITAL.
- OBVALCANAL.
- PANTALLAS.
- CNTRLS.
- MANUAL.
- OBVALMANUAL.
- P.
- OBVALP.
- PI.
- OBVALPI.
- PID.
- OBVALPID.

Al compilarse el programa PCDIGITAL ensambla todos los subprogramas generándose un solo ejecutable. La razón de generar un solo programa objeto, es que al ejecutarse no sean requeridas continuas lecturas en disco y sea mas rápido, manejándose todo en la memoria principal.

Se describen en las siguientes hojas algunos programas de PCDIGITAL, incluyendo el diagrama de flujo, conceptual, correspondiente .

NOMBRE: PCDIGITAL.

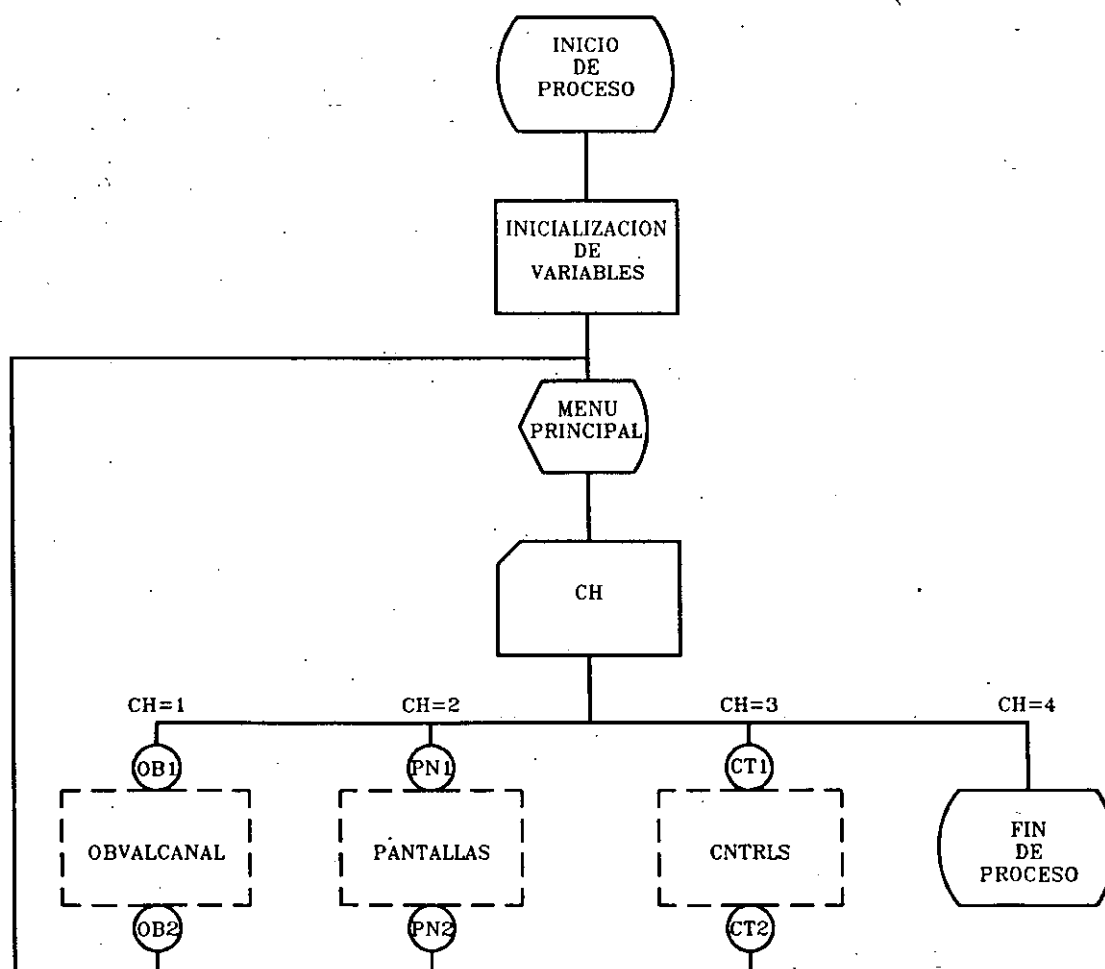
OBJETIVO: Ensambla todas las rutinas y controla la ejecución de éstas.

SALIDAS : Despliegue del menú principal en la pantalla.

ENTRADAS: Desde el teclado, la selección de las opciones del menú principal.

PROCESO : Asignación de la opción seleccionada a la variable 'CH' y ejecución de la rutina correspondiente.

DIAGRAMA DE FLUJO:



NOMBRE : OBVALCANAL.

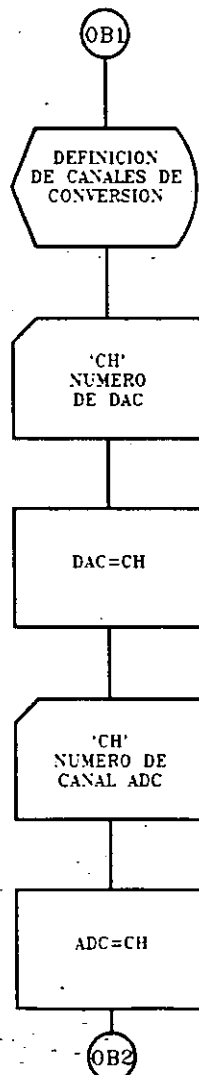
OBJETIVO: Definir los canales de conversión A/D y D/A.

SALIDAS : Despliega en pantalla las formas para seleccionar los canales de conversión.

ENTRADAS: Desde el teclado el número de los canales seleccionados.

PROCESO : Asignación de los canales seleccionados a las variables 'ADC' y 'DAC'.

DIAGRAMA FLUJO:



NOMBRE : PANTALLAS.

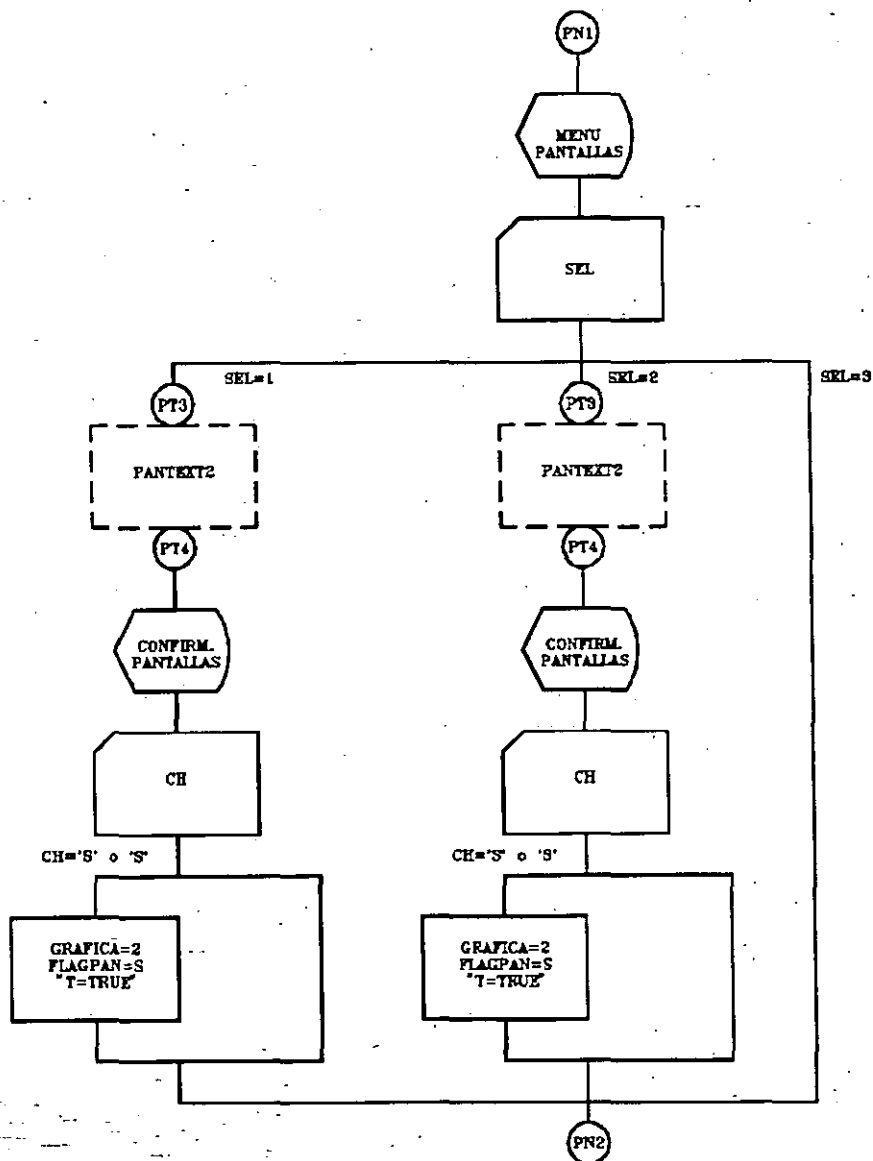
OBJETIVO: Desplegar las gráficas de seguimiento, de las variables continuas del sistema de control.

SALIDAS : Despliega el menú de pantallas y la selección del tipo de pantalla deseada.

ENTRADAS: Desde el teclado la opción del tipo de pantalla y asignación a la variable 'SEL'.

PROCESO : De acuerdo con la opción seleccionada despliega en pantalla el tipo de gráfica correspondiente y regresa al menú principal en PCDIGITAL.

DIAGRAMA DE FLUJO:



NOMBRE : CNTRLS.

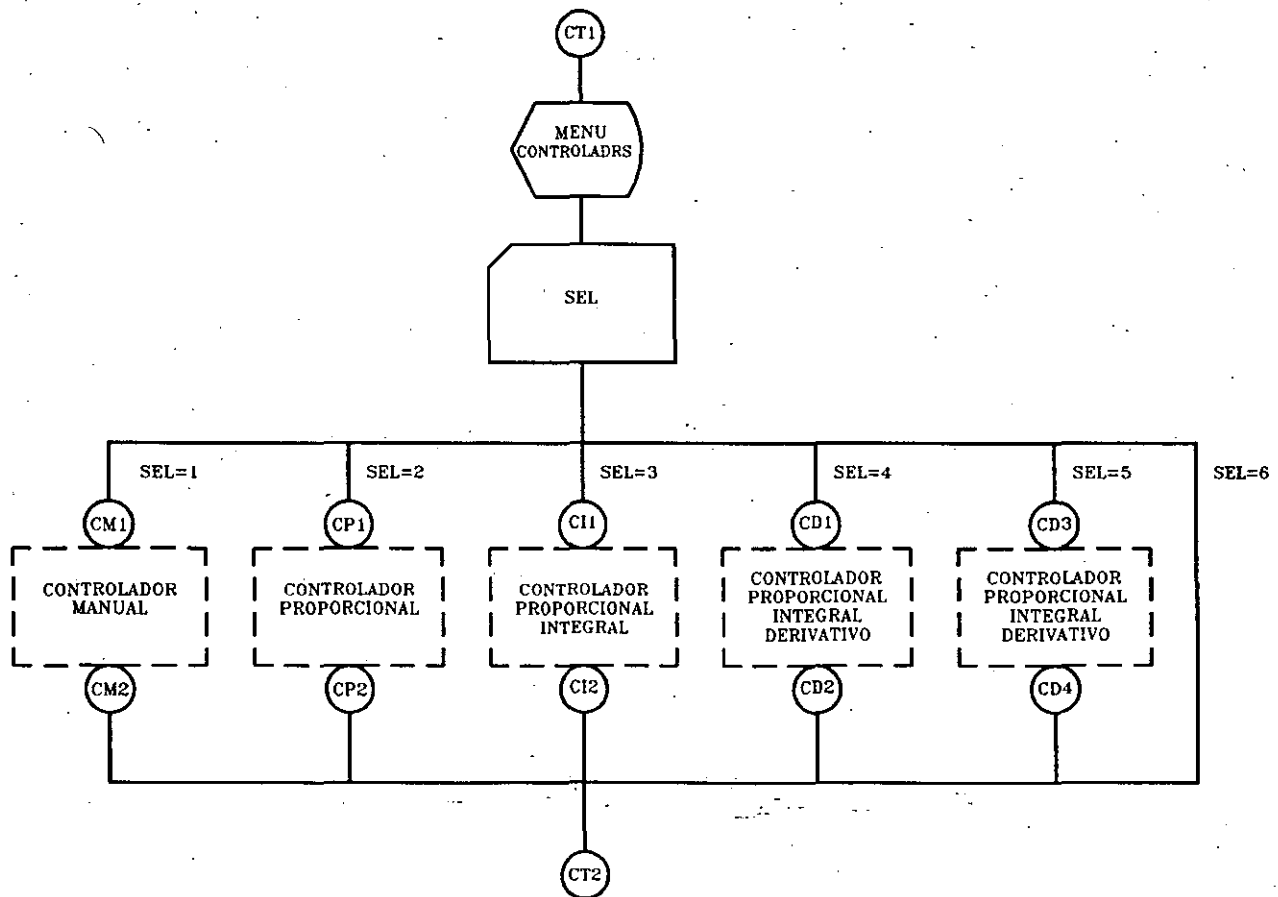
OBJETIVO: Seleccionar el algoritmo de control.

SALIDAS : Despliega el menú de controladores.

ENTRADAS: Desde el teclado la opción del controlador seleccionado y la almacena en la variable 'SEL'.

PROCESO : Valida que la opción del controlador seleccionado y ejecuta la rutina correspondiente a dicha opción.

DIAGRAMA DE FLUJO:



NOMBRE : MANUAL.

Procedimientos DESPMENUMANUAL y LEETECLADOMANUAL.

OBJETIVO: Generar manualmente la señal de control.

SALIDAS : Inicialmente, de los procedimientos DESPMENUMANUAL y PANTEXT1 o PANTEXT2 despliega las gráficas de seguimiento de las variables continuas y un bloque de definición de teclas de funciones.

En el cuerpo principal del procedimiento se despliegan los valores de la señal de control y de la variable de proceso. Además, se envían comandos e información a los puertos para inicializar la tarjeta 'PCLAB' y para generar en ella la señal de control en forma continua.

ENTRADAS: En el procedimiento LEETECLADOMANUAL lee las teclas de funciones. En el cuerpo principal del procedimiento lee los puertos para obtener el voltaje correspondiente a la variable de proceso.

PROCESO : Inicializa 'PCLAB' y ejecuta OBVALMANUAL, mediante el cual, el usuario define los parámetros del controlador manual. Luego, programa el temporizador para controlar el período de muestreo y despliega la gráfica de seguimiento de las variables continuas. A continuación ejecuta el bloque de control propiamente dicho, el cual consiste en:

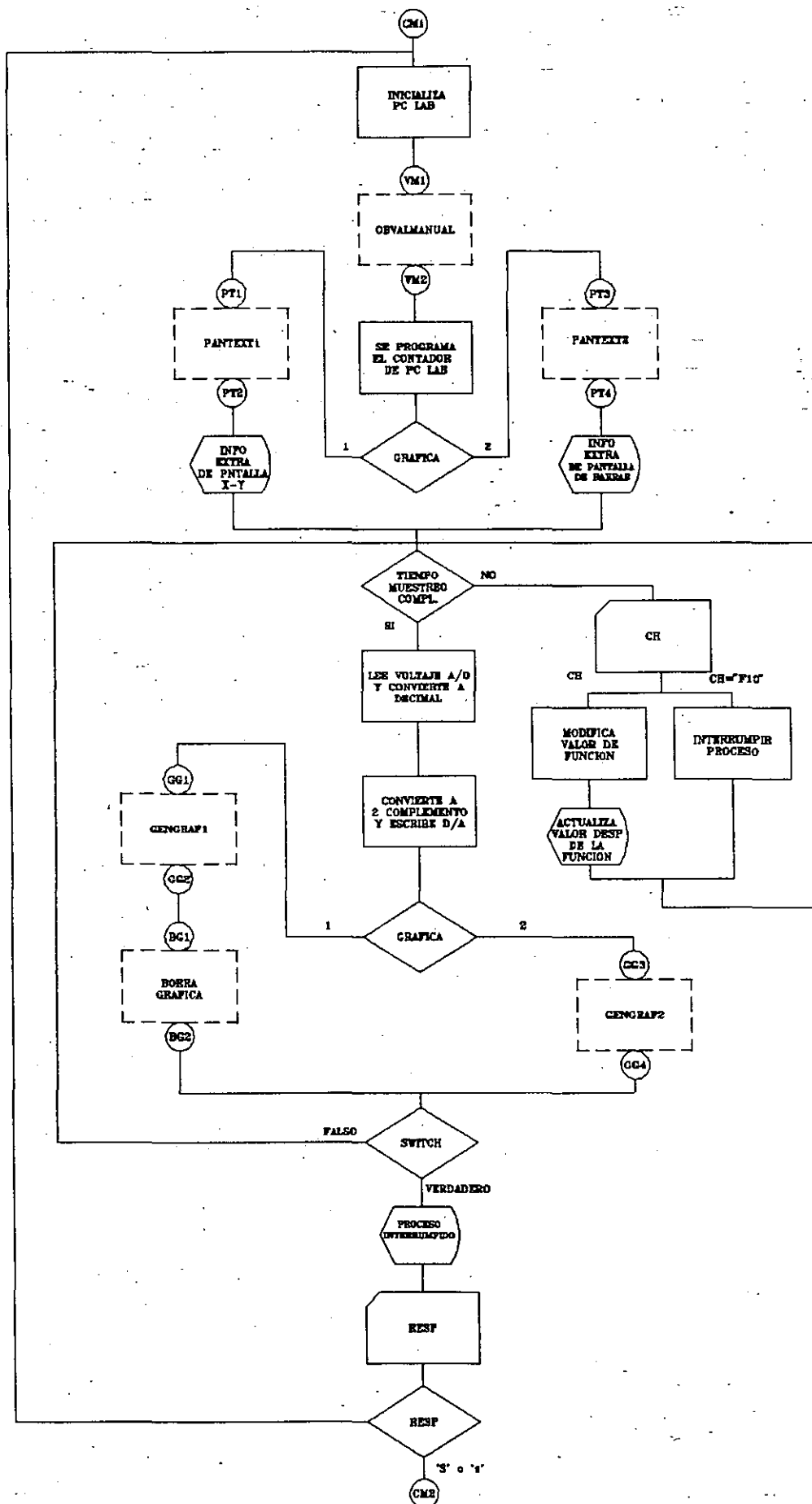
- Espera a que el temporizador indique el fin del período de muestreo anterior y simultáneamente barre el teclado por si se oprime alguna tecla. En este caso, efectúa la operación solicitada, actualizando valores desplegados.

- Lee el voltaje de la variable de proceso a través del canal del convertidor A/D seleccionado y lo convierte a decimal.

- Convierte el valor de la señal de control a formato 2-complemento y genera la señal continua por medio del convertidor D/A.

- Grafica en pantalla la variable de proceso y la señal de control.

- Repite el bloque de control si la tecla F10 no ha sido oprimida, en cuyo caso despliega el mensaje 'Proceso Interrumpido' y da la opción de salir o redefinir los parámetros iniciales del controlador. Si se redefinen los parámetros, retoma el bloque de control; si no, termina.



NOMBRE : PID.

Procedimientos DESPMENUPID y LEETECLADOPID.

OBJETIVO: controlar el proceso por medio de un algoritmo de control proporcional-integral-derivativo.

SALIDAS : Inicialmente, de los procedimientos DESPMENUPID y PANTEXT1 o PANTEXT2 despliega las gráficas de seguimiento de las variables continuas y un bloque de definición de teclas de funciones. En el cuerpo principal se grafican los valores de la señal de control y de la variable de proceso. Además, se envían comandos e información a los puertos para inicializar la tarjeta 'PCLAB' y para generar en ella la señal de control en forma continua.

ENTRADAS: En el procedimiento LEETECLADOPID lee las teclas de funciones. En el cuerpo principal del procedimiento lee los puertos para obtener el voltaje correspondiente a la variable de proceso.

PROCESO : Inicializa 'PCLAB' y ejecuta OBVALPID, mediante el cual, el usuario define los parámetros del controlador. Luego programa el temporizador para controlar el período de muestreo y despliega la gráfica de seguimiento de las variables continuas. A continuación ejecuta el bloque de control propiamente dicho, el cual consiste en:

- Espera a que el temporizador indique el fin del período de muestreo anterior y simultáneamente barre el teclado por si se oprime alguna tecla. En este caso, efectúa la operación solicitada, actualizando valores desplegados.

- Lee el voltaje de la variable de proceso a través del canal del convertidor A/D seleccionado y lo convierte a decimal.

- Calcula el valor de la señal de control aplicando el algoritmo de control PID I o PID II, de acuerdo con la selección previa. El programa de cálculo incluye los siguientes enunciados fundamentales:

SI PID I : $NUM2 = Q0 \cdot R + Q1 \cdot R[-1] + Q2 \cdot R[-2]$

SI PID II: $NUM2 = T0 \cdot R + T1 \cdot R[-1] + T2 \cdot R[-2]$

$NUM1 = Q0 \cdot VOLTE + Q1 \cdot Y[-1] + Q2 \cdot Y[-2]$

$VOLTC = (NUM2 - NUM1 - (GAMMA-1) \cdot U[-2] - (1-2 \cdot GAMMA) \cdot U[-1]) / GAMMA.$

donde:

VOLTC : voltaje de señal de control.

VOLTE : voltaje de planta a controlar.

Q0, Q1, Q2: parámetros calculados controlador

T0, T1, T2: parámetros calculados controlador

ALFA, GAMMA: parámetros calculados controlador.
BETA

R : referencia de entrada teclado.

U : voltaje de salida en el tiempo.

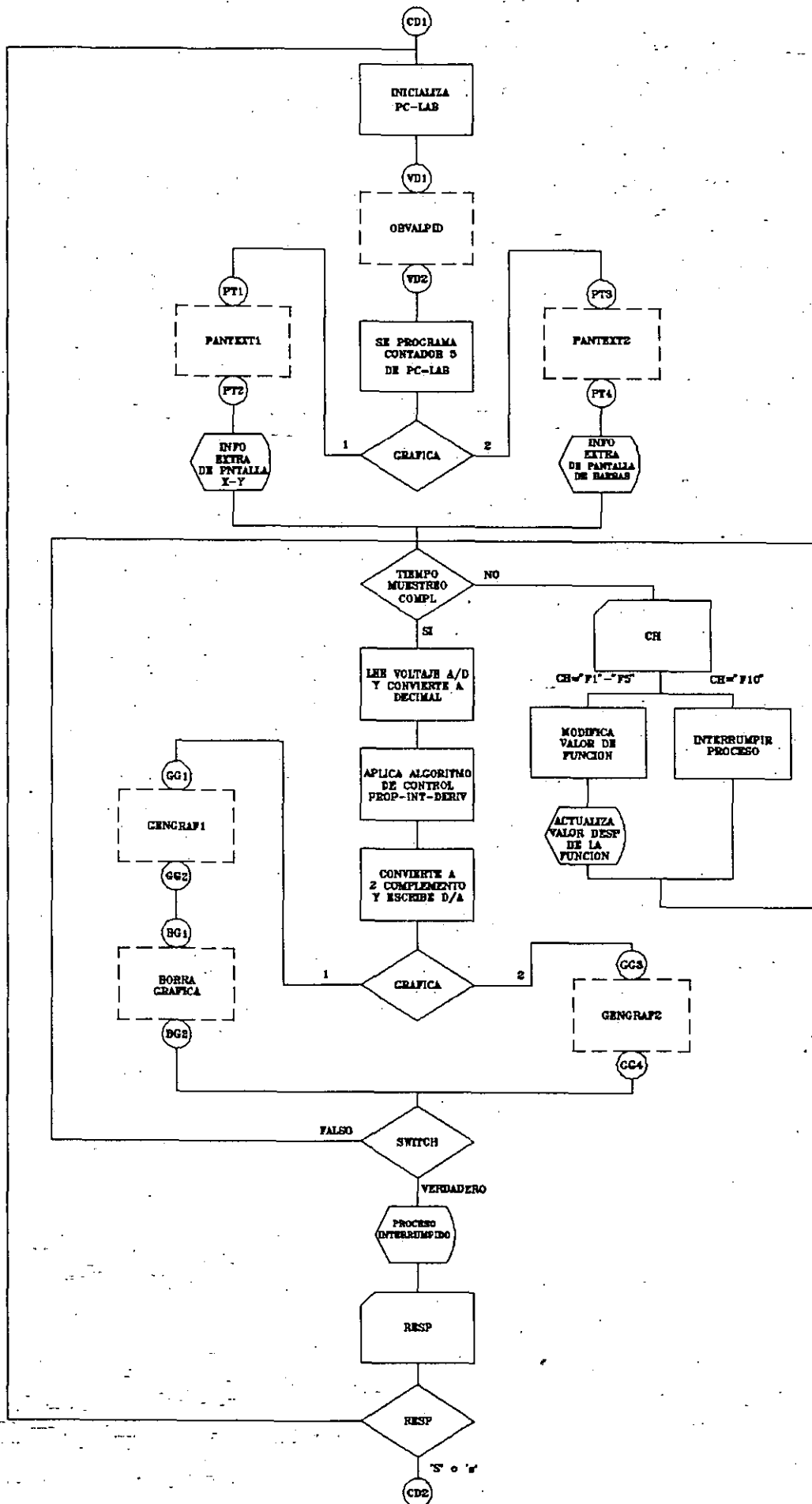
Y : voltaje de planta en el tiempo.

(para más información sobre el algoritmo de control ver la sección 2).

-Convierte el valor de la señal de control a formato 2-complemento y genera la señal continua por medio del convertidor D/A.

-Grafica en pantalla la variable de proceso y la señal de control.

-Repite el bloque de control si la tecla F10 no ha sido oprimida, en cuyo caso despliega el mensaje 'Proceso Interrumpido' y da la opción de salir o redefinir los parámetros iniciales del controlador. Si se redefinen los parámetros, retoma el bloque de control; si no, termina.



4. APLICACIONES DEL CONTROLADOR DIGITAL DE PROCESOS.

4.1 OBJETIVO DE LA DEMOSTRACION.

El objetivo de la demostración consiste en aplicar los algoritmos de control que se han enunciado. Para tal efecto, se dispone de una microcomputadora con el programa de control digital PCDIGITAL, el cual tiene las formas de control manual, proporcional P, proporcional-integral PI y PID, en las dos estructuras mencionadas: PID I y PID II. El acceso a cada una de las formas de control se obtiene haciendo la selección de opciones desplegadas en la pantalla de la computadora. Dichas selecciones son sencillas debido a que los textos y menues son directos y conducen a la configuración y operación del sistema en forma clara y lógica.

La demostración se realiza con un enfoque meramente operativo, con objeto de verificar cualitativamente el efecto de las acciones de control en un proceso dinámico continuo; en este caso el controlador digital opera como un controlador analógico tradicional para realizar las funciones de regulación del proceso dentro de márgenes de estabilidad y precisión establecidos. Se considera que los efectos obtenidos en los experimentos son iguales o similares a los observados cuando el controlador es de tipo continuo.

Considerando que un sistema de control digital o de datos muestreados puede comportarse como un sistema de tiempo continuo si el período de muestreo es suficientemente pequeño, se tiene que, en primera instancia, el diseño de controladores digitales se puede realizar simplemente trasladando los diseños analógicos tradicionales a la nueva tecnología. Por tanto, para diseñar un controlador es posible usar la teoría de control de tiempo continuo tradicional,

obtener una ley de control y aproximarla adecuadamente a una forma discreta o digital; resultando con bastante aproximación las mismas propiedades del sistema de tiempo continuo, en un sentido exclusivamente práctico.

Para la realización se requiere del equipo indicado en la lista, aplicado según el esquema de conexiones de la figura 4.1.

- Computadora personal con tarjetas de conversión A/D y D/A.
- Fuente de poder PS1/EV.
- Simulador de procesos
- Impresora de matriz.
- Osciloscopio de memoria y/o graficador X-t.

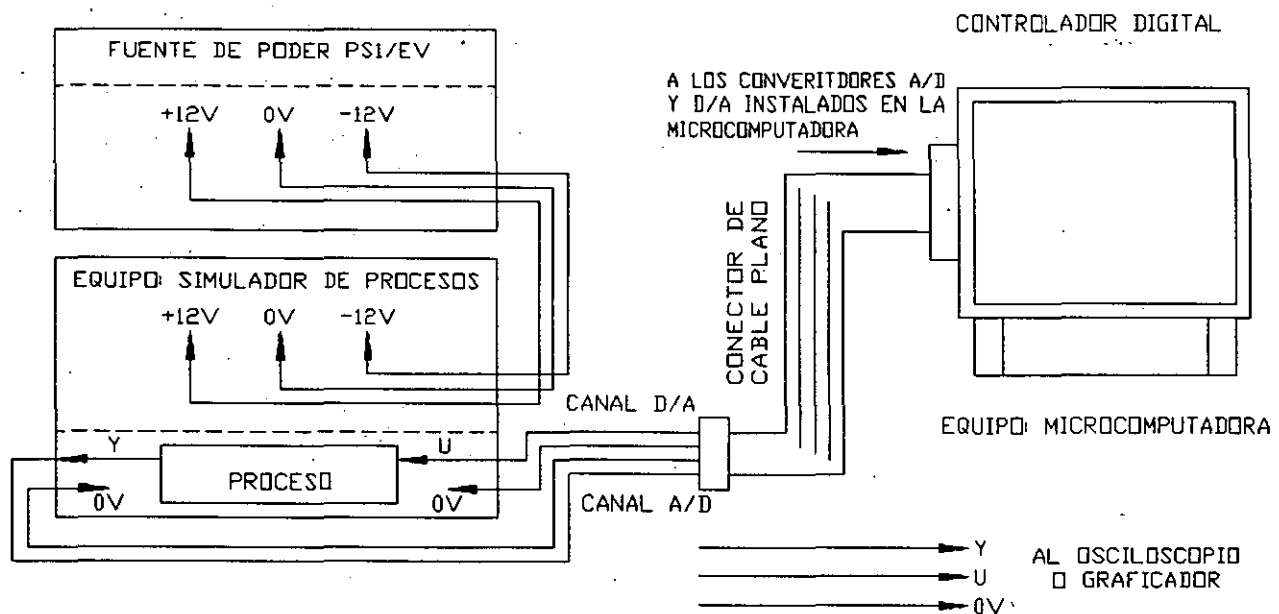


Figura 4.1 Equipo Y Diagrama de Conexiones

La planta continua que es controlada consiste en un equipo de tipo didáctico de simulación de procesos, el cual, es de manejo sencillo y directo, tomando como base algunas condiciones mínimas de operación: conexiones internas y posición de los interruptores involucrados en el funcionamiento deseado.

A continuación se enuncia el procedimiento de la demostración del sistema.

4.2. PROCEDIMIENTO.

1. Instalar e interconectar el equipo de la práctica de acuerdo con los diagramas de las figuras 1.3 y 4.1.

2. En el simulador de procesos asegurar que las conexiones internas, la polaridad de los cables de alimentación y la posición de los interruptores sean las correctas.

3. Encender la fuente de energía PS1/EV.

4. Conectar a la entrada del proceso, el voltaje variable de prueba desde la terminal 1. Al modificar el valor del voltaje de prueba con el potenciómetro asociado, la salida del proceso deberá reflejar el ajuste hecho, tanto en el indicador de 'leds' del simulador, como en el osciloscopio o graficador. Observar que la polaridad del voltaje de prueba sea la misma que la del de salida. Revisar las conexiones del simulador si lo anterior no ocurre.

5. Después de reconectar la señal de control 'U' a la entrada del proceso, encender la computadora e instalarse en el subdirectorio c:\pcdigital.

6. Cargar el programa PCDIGITAL.

7. Una vez que se ha cargado el paquete de controladores, en la pantalla de la PC se desplegará el menú principal del programa.

8. Es recomendable verificar la operación completa del

sistema, para lo cual se requiere accesar el modo de control manual y comandar el proceso desde el teclado de la PC. Las señales de control 'U' y de salida del proceso 'Y' aparecerán desplegadas en la pantalla, y deberá verificarse que sean de la misma polaridad y magnitud. Si estas condiciones no son observadas será necesario revisar las conexiones 'hardware' y la configuración 'software' de los canales de conversión.

9. Nota importante: independientemente del controlador que se esté trabajando, para evitar perturbaciones al proceso durante la realización de los experimentos, es necesario mantener las condiciones iniciales de las variables 'Y', 'E', 'R', 'U', etc., según corresponda, cada vez que se reconfigure la operación del controlador o cuando se cambie de uno a otro.

10. Experimento 1. Controlador proporcional P.

- Instalar el controlador P. Asignar una frecuencia de muestreo de 10 Hz.

- Ajustar la ganancia del controlador: $K = 1$.

- Introducir un cambio de referencia de magnitud 4 (entrada escalón de valor 4) y graficar la respuesta del sistema. Asegurar que las acotaciones de tiempo y magnitud en la gráfica sean las correctas.

- Cambiar la ganancia: $K = 10$.

- Repetir el paso 1.3 anterior.

- Comparar las gráficas obtenidas y comentar los efectos que sobre la respuesta del sistema determinó el cambio de ganancia del controlador. Considerar las características de comportamiento del estado estable y del transitorio.

- Se presentó error de estado estable para ambos valores de K?. Explique por qué.

11. Experimento 2. Controlador proporcional-integral PI.

- Instalar el controlador PI. Asignar una frecuencia de muestreo de 10 Hz.

- Ajustar los parámetros del controlador: $K=2$ y $T_i=2$ seg.
- Introducir un cambio de referencia de magnitud 4 (entrada escalón de valor 4) y graficar la respuesta del sistema. Asegurar que las acotaciones de tiempo y magnitud en la gráfica sean las correctas.

- Cambiar el parámetro: $T_i = 0.5$ seg.

- Introducir un cambio de referencia de magnitud 4 (entrada escalón de valor 4) y graficar la respuesta del sistema.

- Comparar las gráficas obtenidas y comentar los efectos que sobre la respuesta del sistema determinó el cambio de la constante de tiempo de la acción integrativa del controlador. Considerar las características de comportamiento del estado estable y del transitorio.

- Se presentó error de estado estable para alguno de los valores de T_i ? Explique por qué.

12. Experimento 3. Controlador PID II.

- Instalar el controlador PID II. Asignar una frecuencia de muestreo de 10 Hz.

- Ajustar los parámetros del controlador: $K=2$, $T_i=0.5$ seg y $T_d=0.5$ seg.

- Introducir un cambio de referencia de magnitud 4 (entrada escalón de valor 4) y graficar la respuesta del sistema. Asegurar que las acotaciones de tiempo y magnitud en la gráfica sean las correctas.

- Cambiar el parámetro: $T_d = 1$ seg.

- Introducir un cambio de referencia de magnitud 4 (entrada escalón de valor 4) y graficar la respuesta del sistema.

- Comparar las gráficas obtenidas y comentar los efectos que sobre la respuesta del sistema determinó el cambio de la constante de tiempo de la acción derivativa del controlador. Considerar las características de comportamiento del estado estable y del transitorio.

- Se presentó error de estado estable para alguno de los valores de T_d ?. Explique por qué.

- Las observaciones experimentales obtenidas son congruentes con sus conocimientos previos sobre el comportamiento de controladores en procesos continuos?.

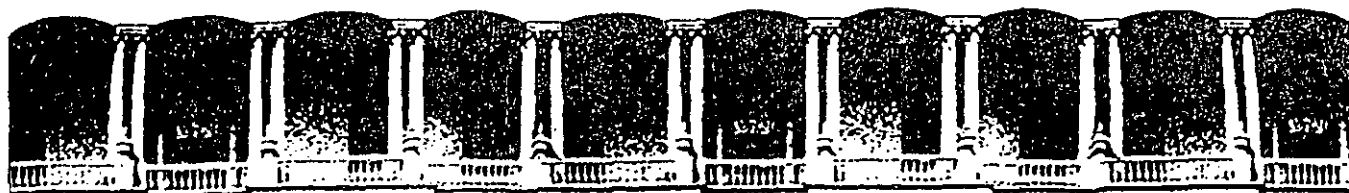
4.3 COMENTARIOS.

Del desarrollo de los experimentos podría erróneamente concluirse que no se requiere una teoría para los sistemas muestreados. Esto es incorrecto, ya que, los sistemas de control digital pueden desempeñarse mejor que sus equivalentes continuos, no solamente en las tareas y aplicaciones propias de estos últimos, sino en muchas otras técnicas novedosas, lo que hace razonable disponer de una teoría de control de sistemas muestreados.

El sistema que se implementó permite llevar a cabo experimentos y análisis del sistema de control, más completos, en el dominio discreto, con el propósito de introducir el manejo analítico de los algoritmos de control digital, los cuales, posteriormente, pueden dar lugar a desarrollos de mayor complejidad. El análisis, puede ser de tipo clásico, con base en el lugar geométrico de las raíces, o empleando métodos de la teoría moderna de control. De cualquier manera, una vez que se ha decidido abordar el análisis y diseño desde el dominio discreto o digital, es necesario discretizar el modelo de la planta por medio de la aproximación ROC. Para estas tareas se requieren elementos matemáticos adicionales que conviene conocer para profundizar en las técnicas de control digital.

BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS.

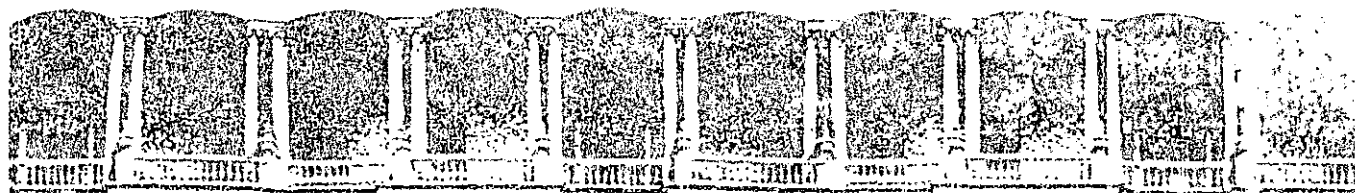
1. Franklin, G. F., y Powell, J. D., 'Digital Control of Dynamic Systems'. Addison-Wesley Publishing Co., New York, 1980.
2. Åström, K. J., y Wittenmark, B., 'Computer Controlled Systems'. Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, N. J., 1984.
3. Pinet Botello J. F., y Pinet Ojeda, L. M., Tesis de licenciatura 'Diseño e implementación de un paquete de controladores digitales en una microcomputadora'. Facultad de Ingeniería, UNAM, 1989.
4. Garibay Jiménez, R. y Rodríguez Ramírez, F., 'Notas sobre control analógico de procesos'. Facultad de Ingeniería, UNAM, 1990.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

INSTRUMENTACION ELECTRONICA DE PROCESOS INDUSTRIALES

*CONTROLADORES LOGICOS PROBRAMABLES
APENDICE I*



FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA

INSTRUMENTACION ELECTRONICA DE PROCESOS INDUSTRIALES

CONTROLADORES LOGICOS PROGRAMABLES
APENDICE I

An Introduction to Programmable Controllers

Objectives

This chapter reviews general fundamentals common to our programmable controllers (PCs). When you are finished, you will have read several important concepts that will help you understand this manual. You'll be able to:

- Describe what a programmable controller does.
- List and describe the functions of the four major sections of a programmable controller.
- Describe how the four major sections of a programmable controller interact.
- Give an example of a simple program.

If you can do all this now, then turn directly to chapter three.

Traditional Controls

You are probably familiar with the traditional methods of machine control (figure 2.1). Sensing devices located on the machine detect changes in the machine's condition. For instance, a part arriving at a work station would contact and close a limit switch, the sensing device. As a result, an electrical circuit is completed and a signal is sent to the control panel. An electrical circuit is completed and a signal is sent to the control panel.

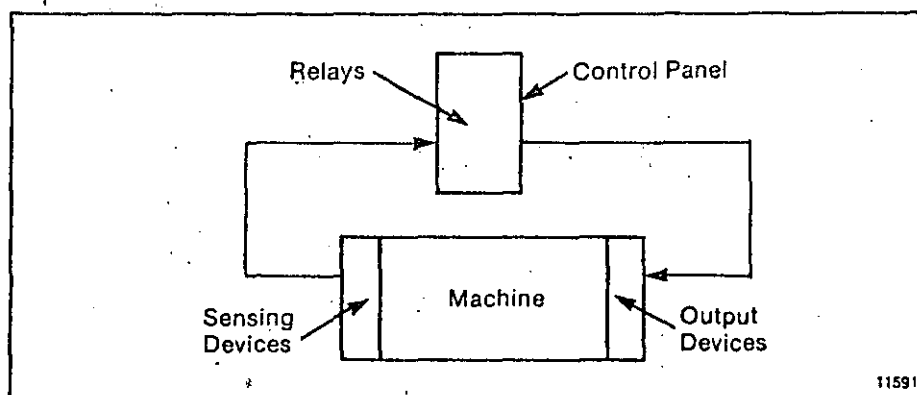


Figure 2.1 — Traditional Methods of Machine Control

At the control panel, the electrical signal enters a bank of relays or other devices, such as solid state modules. Circuits within the control panel open or close causing additional electrical signals to be sent to output devices at the machine. For example, a relay energized by the limit switch may complete another circuit energizing the output device, a clamp, which secures the part at the work station.

Programmable Control

Programmable controllers can perform many of the functions of traditional controls (figure 2.2). Sensing devices and output devices are located at the machine and perform the same jobs. The field wiring between the machine and the control panel provides electrical paths from the sensing devices to the control panel, and from the control panel to the output devices.

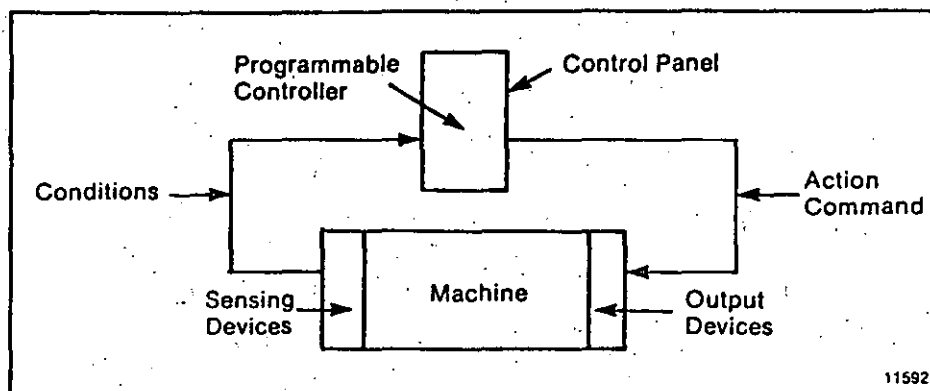


Figure 2.2 — Machine Control with a Programmable Controller

However, inside the control panel you'll find a programmable controller rather than relays or discrete solid state devices. Instead of wiring those devices and relays together to produce a desired response, you simply tell your programmable controller how you want it to respond to the same conditions. You do this with a program.

Programming is telling your programmable controller what you want it to do. A program is nothing more than a set of instructions you give the programmable controller telling it how to react to different conditions at the machine.

The Four Major Sections

Let's take a closer look at a typical programmable controller system. It usually consists of four major sections:

- Power supply
- Input section (connects to input devices)
- Output section (connects to output devices)
- Processor section

Figure 2.3 shows these sections.

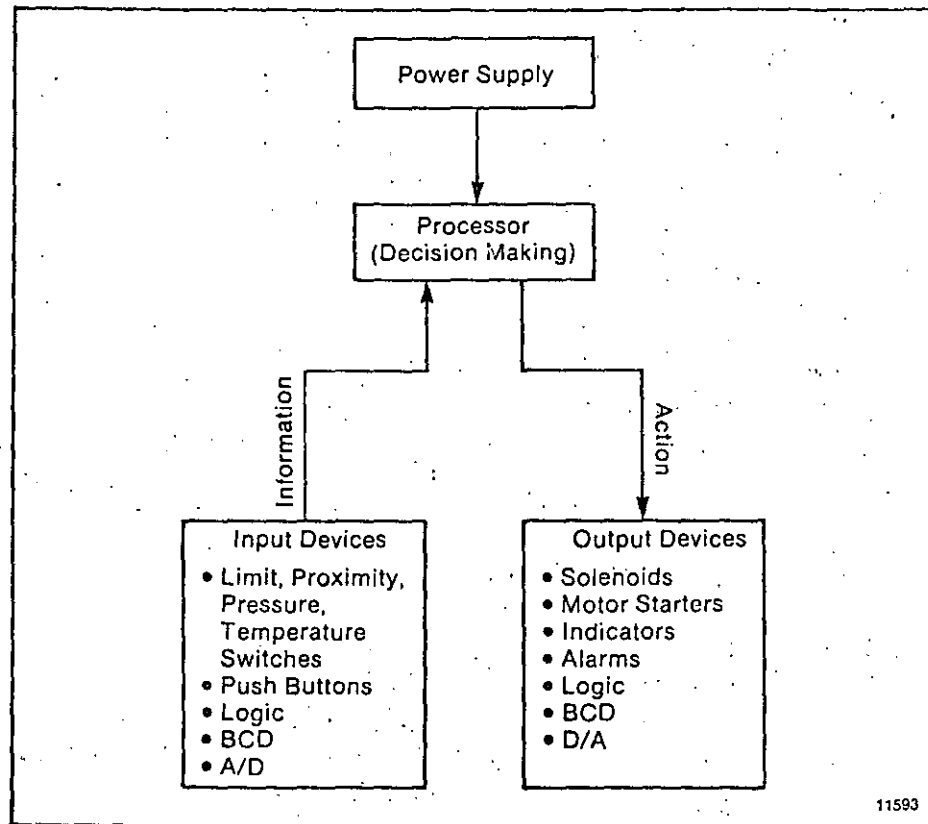


Figure 2.3 — The Four Major Sections of a Programmable Controller

Power Supply The power supply provides a low level DC voltage source for the electronic circuitry of the programmable controller. It converts the higher level line voltages to low level logic voltages required by the programmable controller's electronic circuitry.

Input Section The input section serves four very important functions:

- Termination
- Indication
- Conditioning
- Isolation

Termination

The input section provides terminals for the field wiring coming from the sensing devices on the machine.

Indication

The input section of most modules also provides a visual indication of the state of each input terminal with indicators. The indicator is on when there is a voltage applied to its terminal. It is off when there is no voltage applied to its terminal. Since the indicator reveals the status of its terminal, it's usually called an input status indicator.

You should also notice another important characteristic of input indicators. They are only associated with terminals used for wiring sensing devices to the input section. The terminal that's used to provide a ground for the sensing circuits has no indicator.

Conditioning

Another function of the input section is signal conditioning. The electrical power used at the machine is usually not compatible with the signal power used within the programmable controller. Therefore, the input section receives the electrical signal from the machine and converts it to a voltage compatible with the programmable controller's circuitry.

Isolation

The input section isolates the machine circuitry from the programmable controller's circuitry. Isolation helps to protect the programmable controller's circuitry from unwanted and dangerous voltage levels that may occur occasionally at the machine or in the plant's wiring system.

Output Section

The output section has functions similar to those of the input section:

- Termination
- Indication
- Conditioning
- Isolation

Termination

The output section provides terminals for the field wiring going to the output devices on the machine.

Indication

The output section of most modules provides a visual indication of the state of each output device with indicators.

The output status indicator will be on when the output device is energized. A common term applied to either input status indicators or output status indicators is I/O status indicators. I/O stands for either input or output.

In addition, the output section of modules with fuses has blown fuse indicators. Typically, each output circuit is fused in the output section. Groups of these fuses will have a blown fuse indicator associated with them. When one of the fuses in the group opens, the blown fuse indicator will be lit.

Conditioning

The output section conditions the programmable controller's signals for the machine. That is, it converts the low-level DC voltages of the programmable controller to the type of electrical power used by the output devices at the machine.

Isolation

The output section isolates the more sensitive electronic circuitry of the programmable controller from unwanted and dangerous voltages that occasionally occur at the machine or the plant's wiring system. There are situations where additional external protection may be required.

Processor Section

The fourth major section of a programmable controller is the processor. The processor section might be called the "brains" of the programmable controller because it is divided into halves that serve functions similar to your brain. One half is the Central Processing Unit (CPU), the other is memory.

Central Processing Unit

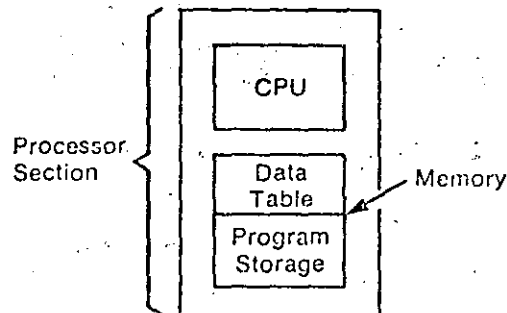
The Central Processing Unit (CPU) is divided into two sections:

- Decision area — makes decisions about what the machine is to do.
- Memory — storage area.

Memory

The programmable controller's memory serves three functions:

- Stores important information (or data) that the CPU may need to make its decisions.
- Stores sets of instructions called a program.
- Stores messages.



Data Table The area of memory, where data is controlled and utilized, is called the data table. The data table is divided into several smaller sections according to the type of information to be remembered. These smaller sections are called:

- Input image table
- Output image table
- Processor work areas (2)
- Timer/Counter accumulated values and internal storage
- Timer/Counter preset values and internal storage

Data Table

Input Image Table
Output Image Table
Program Storage

At this time, we will only discuss the input and output image tables. Chapter 4 discusses the remaining areas.

Image Tables The input image table reflects the status of the input terminals. The output image table reflects the status of the output terminals.

Each image table is divided into a number of smaller units called bits. A bit is the smallest unit of memory. A bit is a tiny electronic circuit that the CPU can turn on or off. Bits in the image table are associated with a particular I/O terminal in the input or output section.

When the CPU detects a voltage at an input terminal, it records that information by turning the corresponding bit on. Likewise, when the CPU detects no voltage at an input terminal, it records that information by turning the corresponding bit off. If, while executing your program, the CPU decides that a particular output terminal should be turned on or off, it records that decision by turning the corresponding bit on or off. In other words, each bit in the I/O image tables corresponding to the on or off status of an I/O terminal.

When people who work with PCs talk about turning a bit on, they use the term "set." For example, "The CPU sets the bit." means "turns it on". On the other hand, they use the term "reset" when they talk about turning the bit off. For example, "The CPU reset the bit."

Picture memory as a page that has been divided into many blocks. Each block represents one bit. You now know that each bit is either on or off. We could show the state of each bit by writing "on" or "off" into each block. However, there is an easier way. We can agree that the numeral one (1) means on and that the numeral zero (0) means off.

We can easily and quickly show the status of each bit by writing one (1) or zero (0) into the appropriate block. Most people who work with PCs show bit status in this way. Frequently, you'll hear them use expressions like, "The CPU responded by writing a one into the bit when the limit switch closed." Of course, the CPU didn't really write a one into memory, it simply set the bit by turning it on.

If you heard the expression, "The CPU wrote a zero into that bit location," what actually happened? If you said the CPU merely reset the bit by turning it off, you're right. Remember,

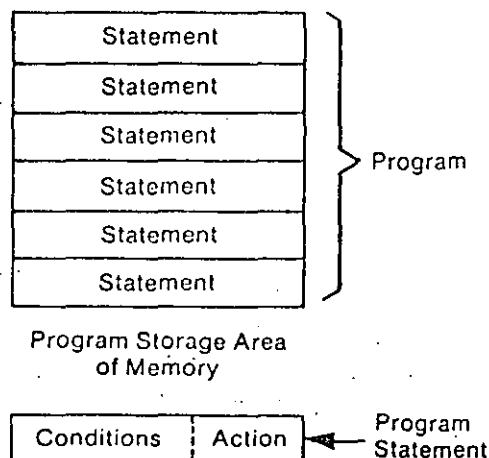
When the I/O device is:	The bit status is said to be:
on	on 1 set
off	off 0 reset

Program Storage

The other major area of memory, program storage, takes up the largest portion of memory. You'll recall that this is where your instructions to the programmable controller are stored. You'll also recall that this set of instructions is called a program.

Program Language

A program is made up of a set of statements. Each statement does two things. First, it describes an action to be taken. For instance, it might say, "Energize motor starter number one." Second, it describes the conditions that must exist in order for the action to take place.



For example, you may want the action to take place, "Whenever a certain limit switch closes." So your condition could be, "If limit switch number two is closed, ...". The action would be, "energize motor starter number one." The entire statement would then read, "If limit switch number two is closed, then energize motor starter number one." Therefore, when limit switch number two at the machine is closed, the programmable controller would energize the motor starter. When the condition is not met, however, the action, "energize the motor starter" is not taken. Thus, when limit switch number two opens, the programmable controller responds by de-energizing the motor starter because that action is implied in the statement.

A program is made up of a number of similar statements. Typically, there is one statement for each output device on the machine. Each statement first lists the conditions that must be met and second, states the action to be taken.

Instructions

Each condition is represented by a specific instruction; therefore, each action is represented by a specific instruction. These instructions tell the CPU to do something with the information stored in the data table.

Some instructions tell the CPU to read what's written in the image table. When the CPU is instructed to read from an image table, it examines a specific bit to see if a certain I/O device is on or off.

Other instructions tell the CPU to write information into the image table. When the CPU is instructed to write into the output image table, it writes a one or a zero into a specific bit. The corresponding output device will turn on or off as a result.

PC Control Sequence

Let's look at a simple example to see the sequence of events that take place in controlling a machine with a programmable controller (figure 2.4). Suppose you are making a unit. This unit would be carried to the work area by the motor driven conveyor. The limit switch will detect when the part has arrived at the work area. When that happens, we want the conveyor to de-energize so work can be done on the part.

Notice how the limit switch and motor are wired to the programmable controller. The limit switch, wired to terminal 02, is normally-closed. The arriving part will open the switch. Therefore, the program statement controlling the conveyor motor must read, "If there is voltage at input terminal 02 (limit switch), then energize output terminal 02 (conveyor motor)." The conveyor motor is wired to output terminal 02.

NOTE: Figure 2.4 is for demonstration purposes only. We do not label associated wiring, a motor starter, or an emergency stop button.

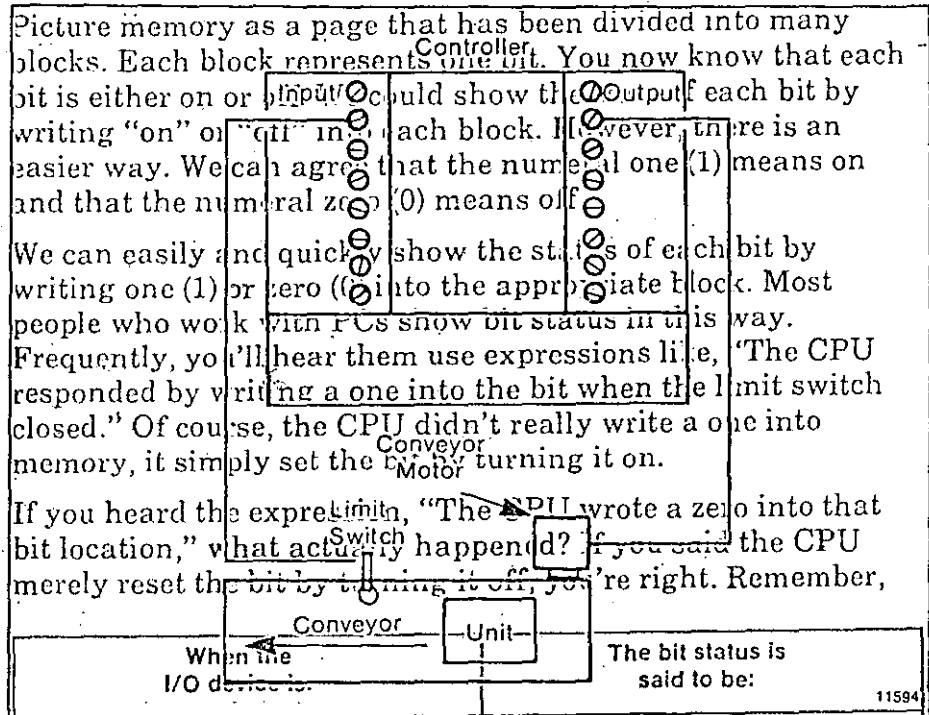


Figure 2.4 — A Simplified Example of a Machine with a Programmable Controller

Since the limit switch is wired normally-closed, the conveyor motor will run until the arriving part opens the switch. At that time, the condition for energizing the motor will no longer be met. Therefore, the motor will be de-energized.

Program Storage

The other major area of memory, program storage, takes up the largest portion of memory. You'll recall that this is where your instructions to the programmable controller are stored. You'll also recall that this set of instructions is called a program.

Program Language

When all the conditions in that set of conditions are true, the action is executed and we say the statement is true. When one or more of the conditions are false, the action is not executed and we say the statement is false.

Scan Sequence

Upon power-up, the CPU begins the scan sequence (figure 2.5) with the I/O scan. During the I/O scan, data from input modules is transferred to the input image table. Data from output image table is transferred to the output modules.

- Next, the CPU scans the program. It does this statement by statement. Each statement is scanned in this way:
 - First, for each condition, the CPU checks, or "reads," the image table to see if the condition has been met.
 - Second, if the set of conditions has been met, the CPU writes a one into the bit location in the output image table, corresponding to the output terminal to be energized. On the other hand, if the set of conditions has not been met, the CPU writes a zero into that bit location, indicating that the output terminal should not be energized.

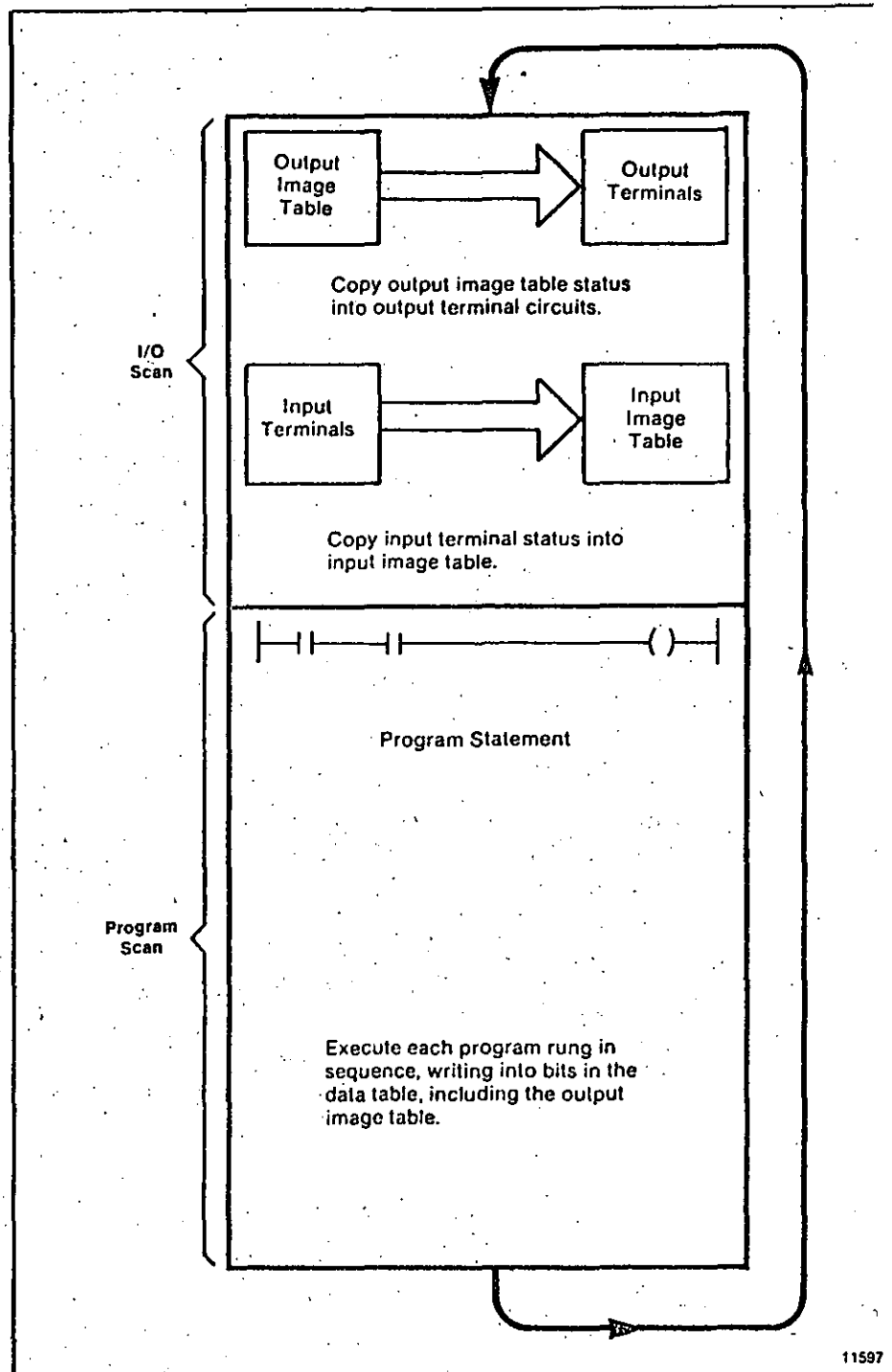


Figure 2.5 — Scan Sequence

The program in this example has only one statement, "If there is no voltage at input terminal 02, then energize output terminal 02." The condition, "If there is no voltage at input terminal 02," is really an instruction to the CPU to examine bit 02 in the input image table to see if it is off. The action portion of our program, "then energize output terminal 02," is really another instruction telling the CPU to turn on bit location 02 in the output image table if the condition has been met.

Our program could have been written this way:

If (Condition)	Then (Action)
Input bit 02 is off	Turn output bit 02 on

In our example, the CPU reads a 0 at input bit location 02 and knows that the condition has been met. The CPU then carries out the action instruction by writing a 1 into output bit location 02.

If there were more statements in the program, the CPU would continue in this same manner scanning each statement and executing each instruction until it reached the end of the program. Statement by statement, the CPU would first read specific image table bits to see if the proper set of conditions were met. Then, the CPU would respond by writing a 0 or a 1 into an output bit as directed by the program. After reading and executing all program statements, the CPU scans the output image table and energizes or de-energizes output terminals. The CPU then goes to the input modules to update the input image table.

Now the entire process is repeated. In fact, it's repeated over and over again, thousands of times a minute. Each time, the CPU starts by sensing the status of the input terminals during the input image table scan. If an input device has changed states since the last scan, the CPU will change the state of the corresponding bit to reflect the new state. Next, the CPU scans the program and sets or resets output bits. Finally, the CPU scans the output image table and orders each output terminal on or off according to the state of its corresponding bit in the output image table.

When our example begins the CPU is energizing output terminal 02 because output bit 02 is on.

When the part is conveyed to the work station, it trips the limit switch. The closed limit switch applies a voltage to input terminal 02. The CPU scans the input image table, senses this voltage, and responds by writing a 1 (on) into bit 02 in the input image.

The CPU then scans our program. Our program states that "if (condition) input bit 02 is off, then (action) turn output 02 on." The CPU examines input image table bit 02 and discovers that input bit 02 is on. Since the condition is not true, the CPU writes a 0 (off) into output image table bit 02.

Finally, when the CPU next scans the output image table, it sees the zero in output bit 02 and responds by de-energizing output terminal 02. The conveyor will stop after the part closes the limit switch.

1-4 TYPICAL AREAS OF APPLICATION

Since its invention, the programmable controller has been successfully applied in virtually every segment of industry including steel mills, paper and pulp plants, food processing plants, chemical and petrochemical plants, and automotive and power plants. PCs perform a great variety of control tasks, from repetitive on/off control of a simple machine to sophisticated manufacturing and process control. Table 1-1 lists a few of the major areas in which PCs have been applied and some of the typical applications.

Table 1-1. Typical Programmable Controller Applications

CHEMICAL/PETROCHEMICAL	GLASS/FILM
Batch Process	Process
Materials Handling	Forming
Weighing	Finishing
Mixing	Packaging
Finished Product Handling	Palletizing
Water/Waste Treatment	Materials Handling
Pipeline Control	Lehr Control
Off-Shore Drilling	Cullet Weighing
MANUFACTURING/MACHINING	FOOD/BEVERAGE
Energy Demand	Bulk Materials Handling
Tracer Laths	Brewing
Material Conveyors	Distilling
Assembly Machines	Blending
Test Stands	Container Handling
Milling	Packaging
Grinding	Filling
Boring	Weighing
Cranes	Finished Product Handling
Plating	Sorting Conveyors
Welding	Accumulating Conveyors
Painting	Load Forming
Injection/Blow Molding	Palletizing
Metal Casting	Warehouse Storage/Retrieval
Metal Forming	Loading/Unloading
MINING	METALS
Bulk Material Conveyors	Blast Furnace Control
Ore Processing	Continuous Casting
Loading/Unloading	Rolling Mills
Water/Waste Management	Soaking Pit
PULP/PAPER/LUMBER	POWER
Batch Digesters	Coal Handling
Chip Handling	Burner Control
Coating	Flue Control
Wrapping/Stamping	Load Shedding
Sorting/Winding/Processing	
Woodworking	
Cut-to-Length	

Although the uses of the programmable controller are far too extensive to enumerate, the applications shown here are frequently found within the listed industries. Later in Chapter 12, we describe several actual applications.

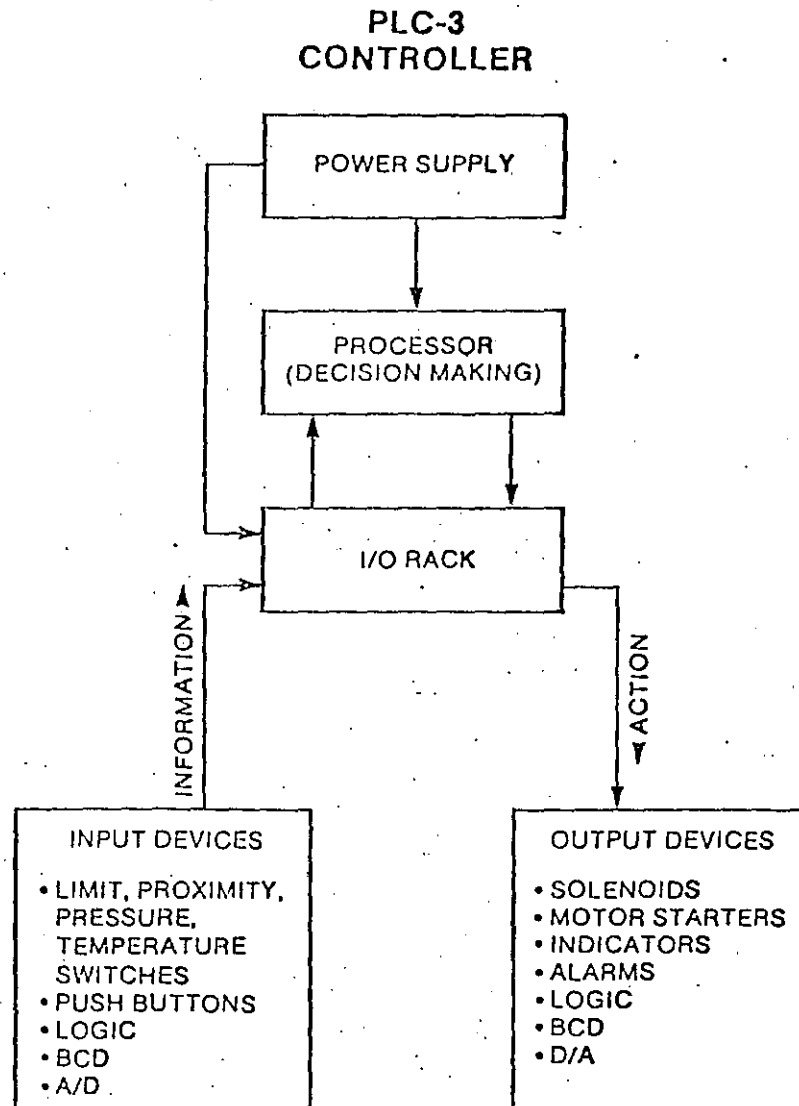


Figure 1.1 -- PLC-3 Controller Block Diagram

Table 13-5. System Checklist (Continued)

Manual Programmer • Physical - Display type - Ladder matrix size - Communication - Incoming power - Operating temperature - Keyboard type • Functional - Intelligent - Single scan - Power flow - Monitor function - Modify function - Force I/O - Search - Mnemonics		LCD or LED 7x4 elements RS-232C From unit 0-40 degrees C Mylar
Storage Devices • Digital cassette • Floppy disk • Computer • Electronic memory module		Yes, STR-LINK No Yes, thru computer module Yes, for small PC
SYSTEM DIAGNOSTICS CHECKLIST		TYPICAL ANSWERS
Power Supply • Power loss detection • Voltage level detection • Diagnostic monitoring		Yes, after 3 cycles Yes, DC levels for CPU Continuously
Memory • Memory OK • Battery OK • Diagnostic monitoring		Yes, checksum, LED indicator Yes, LED indicator At power up only
Processor • Local • Remote • Diagnostic monitoring		Yes, watch dog timer, and LED indicator Yes, indicator in CPU Continuously
Communication • Local I/O • Remote I/O • Programming device • Diagnostic monitoring		Yes Yes, check-sum CRT port OK, and RS-232C OK During transmission
Fault Indications • CPU • Remote • LAN • I/O		Yes, external relay contacts Yes, external contacts at remote driver Yes, internal coil Yes, detects presence of I/O module

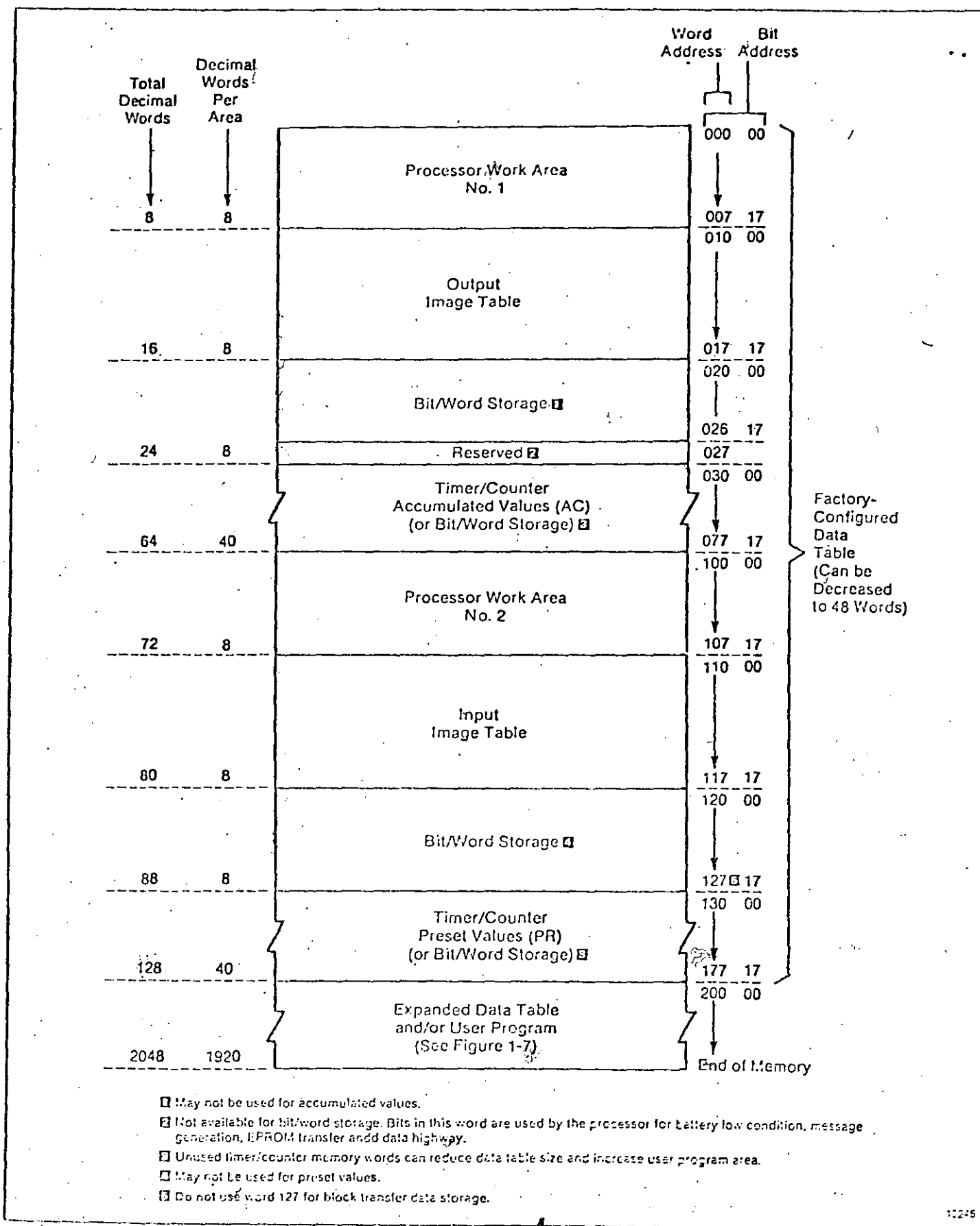


Figure 4.3 -- Data Table Organization, Factory Configured

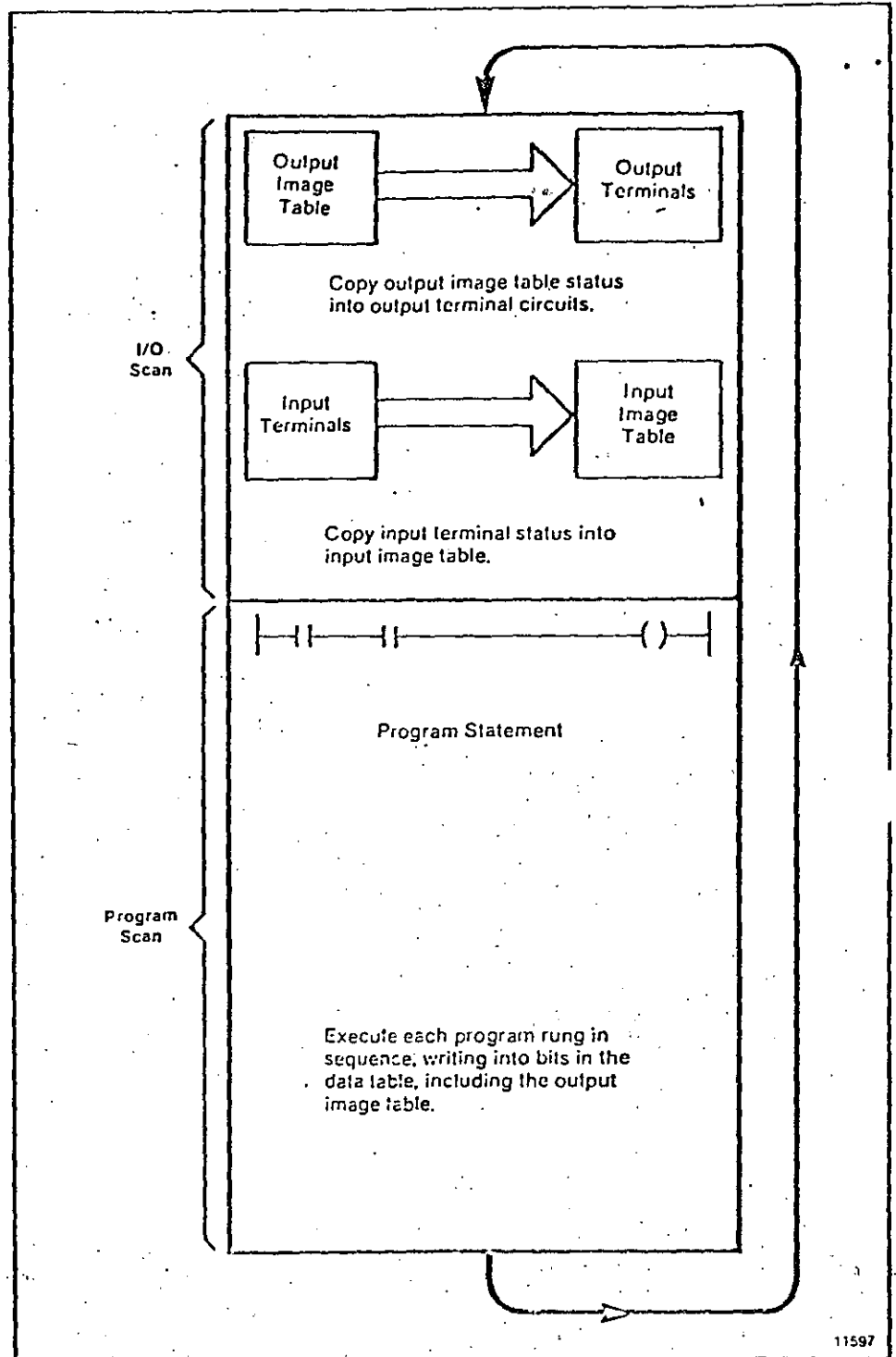


Figure 2.5 — Scan Sequence

The program in this example has only one statement, "If there is no voltage at input terminal 02, then energize output terminal 02." The condition, "If there is no voltage at input terminal 02," is really an instruction to the CPU to examine bit 02 in the input image table to see if it is off. The action portion of our program, "then energize output terminal 02," is really another instruction telling the CPU to turn on bit location 02 in the output image table if the condition has been met.

Table 7-1. PC instruction summary.

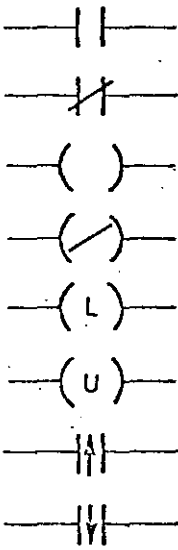
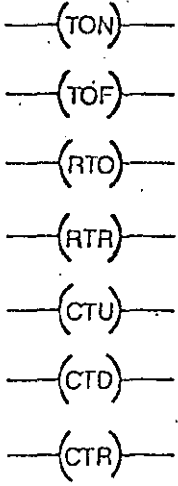
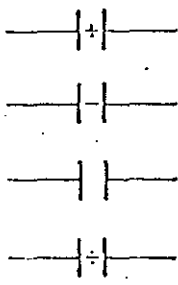
Operation Type	Basic Level Language	High Level Language
Relay Logic		
Timer and Counter		TMR On TMR Off Count Up Count Down Count Up/Down
Arithmetic		Add Sub Mul Div Double Prec Add Double Prec Sub Double Prec Mul Double Prec Div Square Root Floating Point Trigonometric

Table 7-1 (continued). PC instruction summary.

Data Manipulation	--- CMP = --- --- CMP > --- --- CMP < ---	CMP = CMP > CMP < CMP >= --- --- CMP <= --- --- LIMIT Logic Matrix Convert BCD $\rightarrow$ BIN Convert BIN $\rightarrow$ BCD Absolute Invert Complement Set Constant Shift Rotate Examine Bit Increment Register
Data Transfer	--- GET --- ---(PUT)---	Move Register Move Point Move With Mask Move Block Table To Register Register To Table Block Transfer In Block Transfer Out ASCII Transfer FIFO Stack Transfer
Program Flow Control	---(MCR)--- ---(ZCL)--- ---(SKD)--- ---(SKR)--- ---(JMP)--- --- LBL --- ---(JSB)--- ---(RET)---	

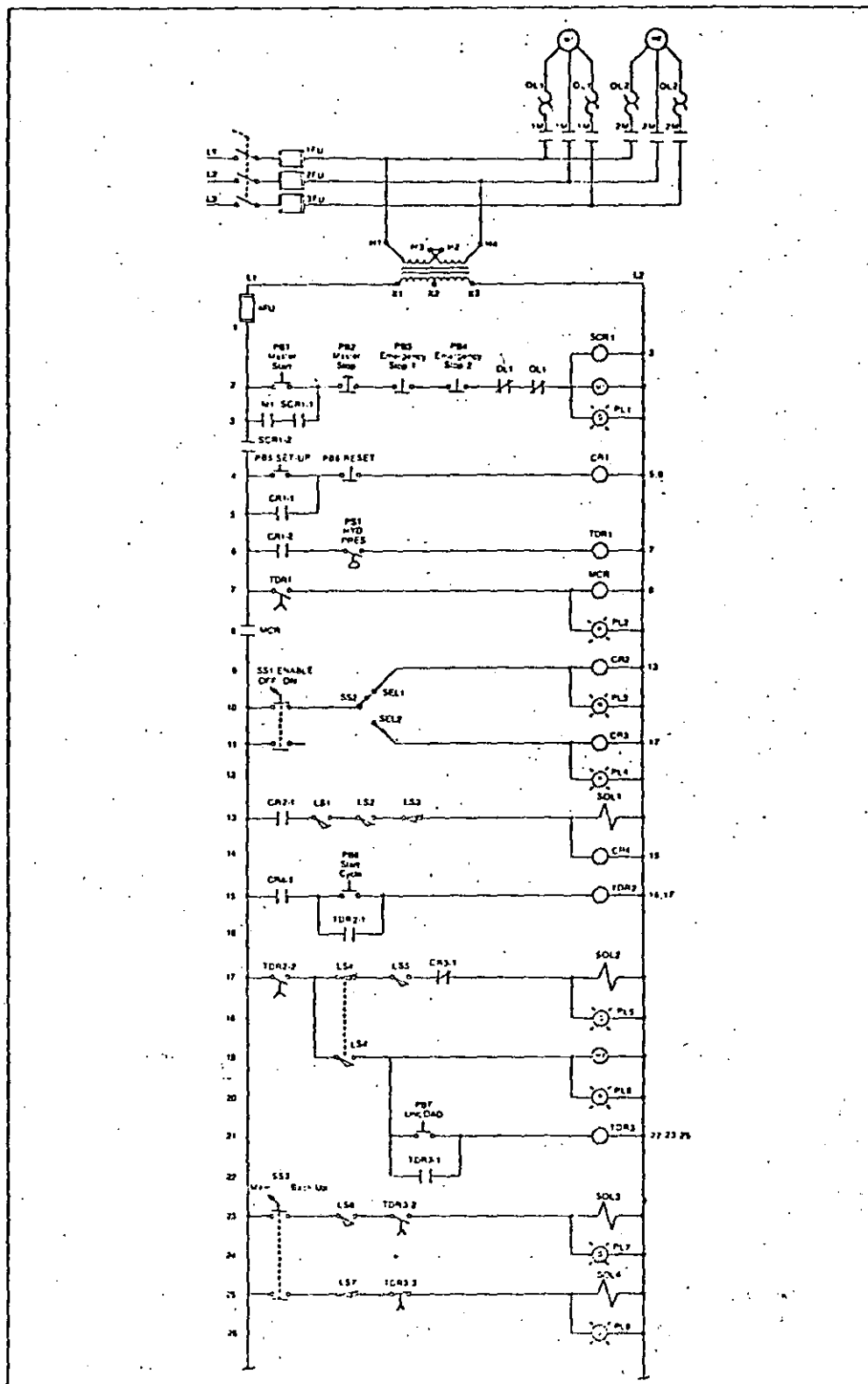


Figure 8-10. Relay ladder diagram for modernization example.

PROGRAMMING THE CONTROLLER

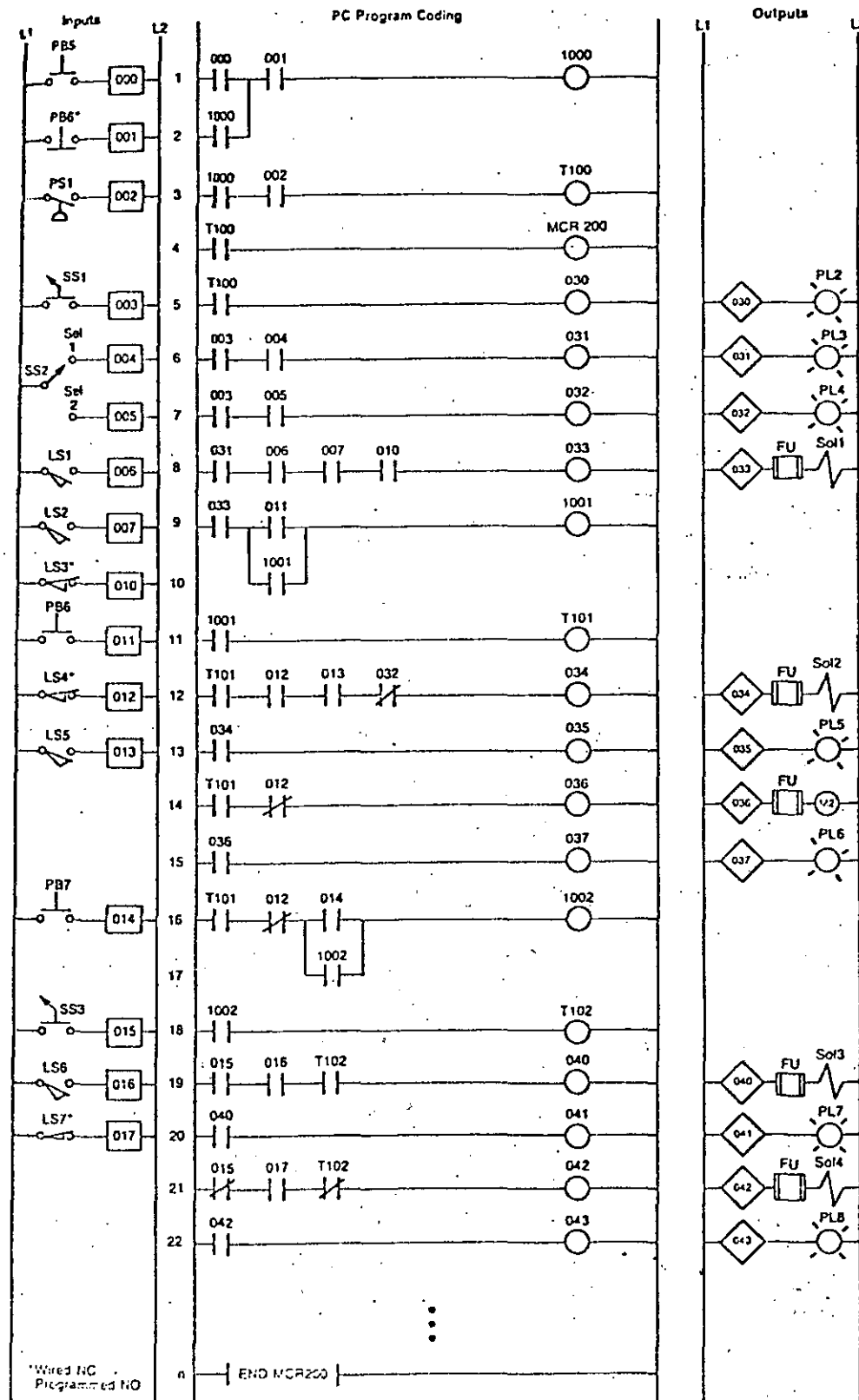
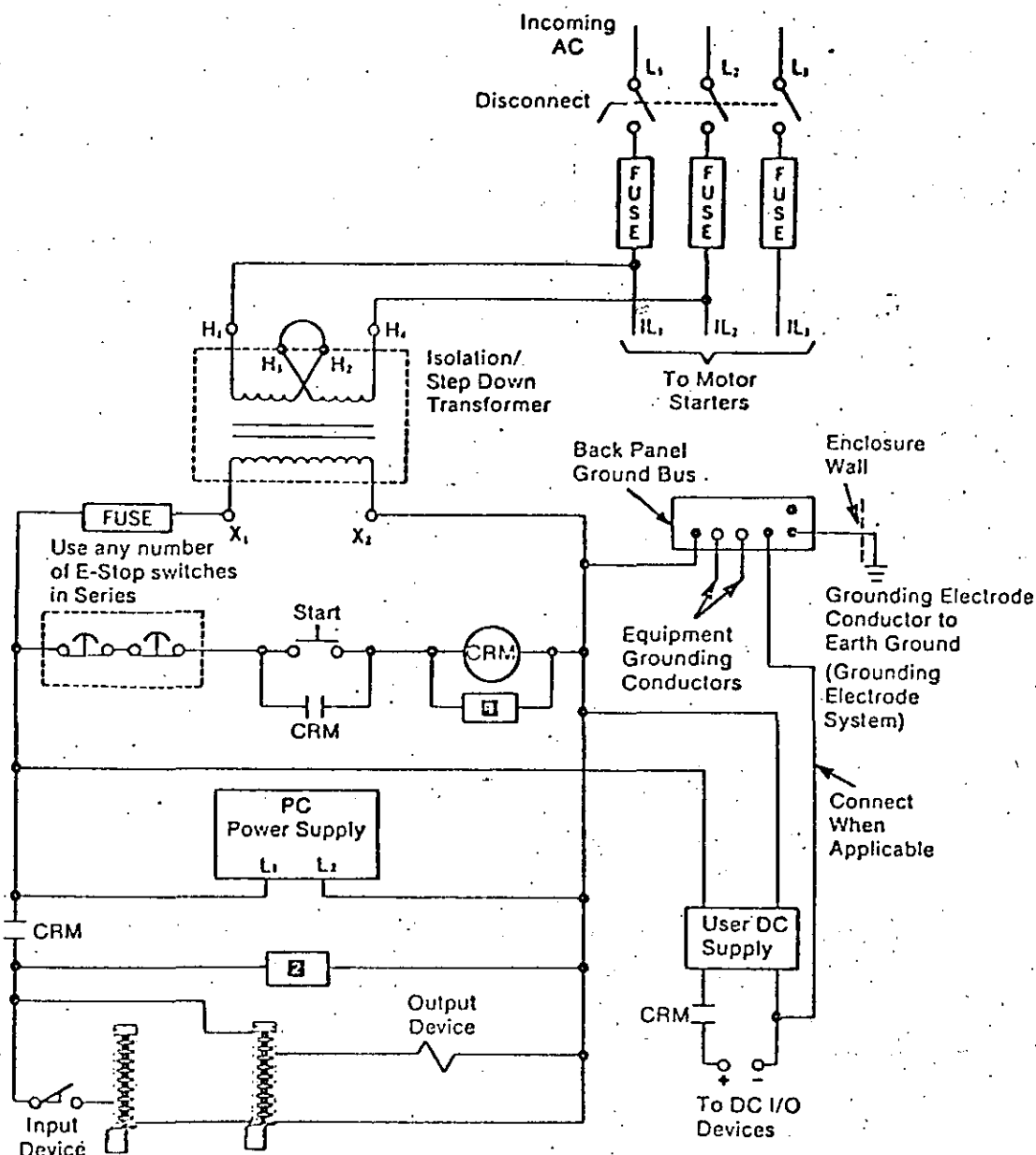


Figure 8-13. Program coding for Example 1.



1 To minimize EMI generation, connecting a suppression network is recommended: for 120V AC, Allen-Bradley cat. no. 1691-N2; for 220/240V AC, Electrocube part no. RG 1676-13.

2 To minimize generation, connecting a suppression network is recommended: for 120V AC, Electrocube part no. RG 1676-14; for 220/240V AC, Electrocube part no. 1676-28.

10693

Figure 3-34 — Power Distribution with Master Control Relay, Grounded System

SELECTING THE RIGHT PROGRAMMABLE CONTROLLER

temperature, EMI/RFI, shock, vibration, etc.). Users should be aware of the tests performed and whether or not the results meet the demands of the operating environment.

Checklist with typical sample answers are given in Table 13-5. This list will help to examine most of the features a user should look for when evaluating PC requirements. Note that all product ranges are covered in the list, from small to very large. Some PCs may not answer all checks, primarily due to their range characteristics.

Table 13-5. System Checklists

I/O SYSTEM CHECKLIST	TYPICAL ANSWERS
I/O Count	
• Digital count	Maximum of 128 I/O mixable
• Analog count	Maximum of 16 I/O mixable
Digital I/O	
• Inputs	
Number of points/module	4 points/module, etc.
Input Type	AC, DC, non-voltage, etc.
Input ratings	110 VAC, 220 VAC, 5-24 VDC, contact, etc.
Maximum inputs/channel	64 points/channel
Input status indicators	Power, logic
Isolation	1500 Volts optical
• Outputs	
Number of points/module	16 points/module
Output type	AC, DC, contact, etc.
Output ratings	110 VAC, 220 VAC, contact
Output current Amps/point	1 Amp/point with all outputs on @ 115 VAC
Maximum outputs/channel	64 points/channel
Output status indicators	Power, individual blown fuse, logic
Output protection	Fuse, suppression on contact output
Analog I/O	
• Inputs	
Number of points/module	4 analog inputs/module
Resolution	11 bits
Input type	current, voltage
Input ratings	4-20 ma., 0-5 volts, 0-10 volts
Built-in transducer	Yes, thermocoupler input
Maximum analog inputs/channel	32
Supply of power	Internal to PC
• Outputs	
Number of points/modules	2 analog outputs/module
Output type	current, voltage
Output ratings	4-20 ma., 10-50 ma., 0-10 volts
Maximum analog outputs/channel	16
Supply of power	+ 15 VDC and -15 VDC
Remote I/O	
• Digital	
Distance	1500 ft.
Number of I/O per remote	32 I/O per remote
Communication Link	Twisted pair, 100 ohms impedance
• Analog	
Distance	5000 ft. with receiver/transmitter
Number of I/O per remote	16 analog inputs/outputs per remote
Communication Link	coaxial
Special I/O	
• High-speed pulse counter	Local and remote, 50 KHz
• Fast electronic input	Yes, 5 microsecond pulse width minimum
• Interrupt module	Yes
• Absolute encoder	Direct connection to encoder
• Incremental encoder	Not available
• BCD input/output module	Remote, 4 and 8 BCD digits

PROGRAMMABLE CONTROLLERS

Table 13-5. System Checklist (Continued)

• Stepper motor • ASCII communications module • Host computer • LAN I/O module • PID module • Language module PHYSICAL • Wire size to I/O • Separate commons • Removable under power • Disturb wiring to remove I/O	Yes Yes, full ASCII, 300-4800 baud Yes, protocol decode on module Extra board in CPU Local and remote, 2 loops per module Yes, basic interpreter module 20 AWG, can handle two wires per I/O Yes for 4 points/module, no for 16 Yes Disconnect screw from I/O module
CENTRAL PROCESSING UNIT CHECKLIST	TYPICAL ANSWERS
Processor • Microprocessor • Scan time • Communication ports Memory • Memory type • Total system memory • Application memory size • Word size • Memory utilization • Memory protect Power Supply • Incoming Power • Frequency • Voltage variation • Overvoltage protection • Current limiting • Maximum current supply • Isolation • Location Built-in CPU Environmental • Operating temperature • Humidity • EMI/RFI • Noise • Vibration • Shock	8 bit micro, and multiprocessor board 10 msec/K of memory Two RS-232C ports RAM, EEPROM 64K 8K for user 8 bits 1 word per element (coil, contact) Yes, key switch 120/240 VAC, 24 VDC 50/60 Hz + 15%, -10% Yes Yes 100 ma. @ 14 VDC, 2.5 amps @ 5 VDC 1500 volts 0-60 degrees C 5%-90% relative humidity non-condensing Satisfies NEMA and IEEE tests .000 volts peak-peak, 1 microsecond Withstands 16.7 Hz, double amplitude 10g X,Y, and Z direction
SOFTWARE CHECKLIST	TYPICAL ANSWERS
Language • Ladder or Boolean • High level Software Coils • Number of internals • Number of timers • Number of counters • Number of shift registers • Number of drum timers • Timer's time base • Timer type • Counter type • Latch coil	Ladder language Functional blocks 128 32 timers, maximum count 9999 sec. BCD 166 32, 16 bit each 16 0.1, 1.0 seconds on delay and off delay up/down count 32

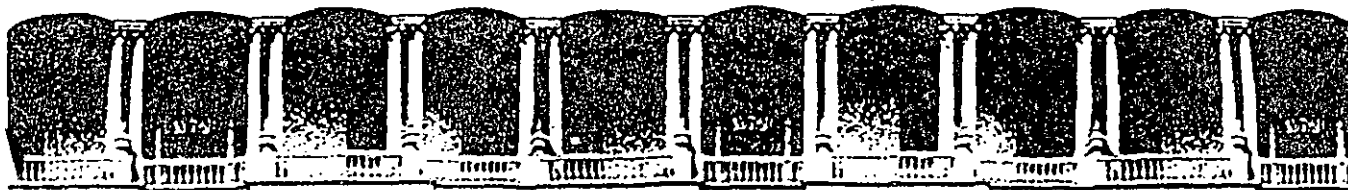
SELECTING THE RIGHT PROGRAMMABLE CONTROLLER

Table 13-5. System Checklist (Continued)

• Transitional coil • MCR • Global coil • Global register • Fault coil • Interrupt coil	16, OFF-ON, and ON-OFF 8 256 in LAN 128 in LAN Yes, detection of CPU failure Yes
Math • Addition • Subtraction • Multiplication • Division • Square root • Floating point • Trigonometric functions	Yes, double precision Yes, double precision Yes Yes Yes Yes, 1E+38, 1E-38 Yes, sine and cosine
Data Handling • Number of registers • Data size in registers • Compare • Conversions • Move • Matrix • Tables • PID • LIFO • FIFO • Jump • Subroutines • ASCII instructions • Sort • Machine diagnostics	128, 16 bits each +32767, -32767, and 9999 BCD Yes, greater/less than or equal to Binary-BCD, BCD-Binary Registers and single files AND, OR, EXOR, NAND Move to ASCII or binary tables Software functional block, 20 loops Yes Yes Conditional and direct Yes Yes, print and read No Yes
PROGRAMMING AND STORAGE DEVICES CHECKLIST	
TYPICAL ANSWERS	
CRT Or Computer • Physical - CRT or computer - Display size - Graphics - Ladder matrix size - Built-in storage - LAN • Communication - Incoming power - Operating temperature - Keyboard type • Functional - Intelligent - Single scan - Power flow - OFF-LINE programming - Monitor function - Modify function - Force I/O - Search - Mnemonics	CRT 9" screen No 10x7 elements Yes, tape No RS-232C and 20 ma current loop 115/230 VAC 0-40 degrees C Mylar or standard keys Yes No Yes, element intensified on screen Yes Yes Yes Yes, indicates forcing on mainframe No Yes

SELECTING THE RIGHT PROGRAMMABLE CONTROLLER

- Step 1:** Know the process to be controlled.
- Step 2:** Determine the type of control.
 - a. Distributed control
 - b. Centralized control
 - c. Individual machine control
- Step 3:** Determine the I/O interface requirement.
 - a. Estimate digital and analog inputs and outputs
 - b. Check for input/output specifications
 - c. Determine if remote I/O is required
 - d. Special I/O requirements
 - e. Allow for future expansion
- Step 4:** Determine software language and functions.
 - a. Ladder, Boolean, and/or high level
 - b. Basic instructions (timers, counters, etc.)
 - c. Enhanced instructions/functions (math, PID, etc.)
- Step 5:** Consider the type of memory.
 - a. Volatile (R/W)
 - b. Non-volatile (EEPROM, EPROM, NOVRAM, Core, etc.)
 - c. Combination of volatile and nonvolatile
- Step 6:** Consider memory capacity.
 - a. Estimate memory usage based on memory utilization per instruction
 - b. Allow extra memory for complex programming and future expansion
- Step 7:** Evaluate processor scan time requirements.
- Step 8:** Define programming and storage device requirements.
 - a. CRT
 - b. Computer
 - c. Cassette or disk storage
 - d. Mini-programmer
 - e. Consider the functional capabilities of programming devices
- Step 9:** Define peripheral requirements.
 - a. Graphic display
 - b. Operator interface
 - c. Line printers
 - d. Documentation systems
 - e. Report generation systems
- Step 10:** Determine any physical and environmental constraints.
 - a. Available space for system
 - b. Ambient conditions
- Step 11:** Evaluate other factors that can affect selection.
 - a. Vendor support
 - b. Product proven reliability
 - c. Plant goals for future (e.g. standardization)



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

INSTRUMENTACION ELECTRONICA DE PROCESOS INDUSTRIALES

CONTROLADORES LOGICOS PROGRAMABLES

ING. RICARDO GARIBAY JIMENEZ

CONTROLADORES PROGRAMABLES

El sistema de entradas salidas forma la interfaz por medio de la cual los dispositivos de campo son conectados al procesador.

El propósito de esta interfaz es condicionar las señales recibidas de los dispositivos del campo o enviadas a los mismos.

Las señales provenientes de sensores como botones pulsadores, interruptores límite, termopares, transmisores, etc... son alambreadas a las terminales de las interfaces de entrada.

Los dispositivos que se van a controlar, como arrancadores de motor, válvulas solenoides, luces piloto, válvulas de posición, etc... son conectados a las terminales de las interfaces de salida.

CONTROLADORES PROGRAMABLES

HISTORIA

El primer Controlador Programable fue especificado por GENERAL MOTORS.

El objetivo principal fue eliminar el alto costo asociado a la falta de flexibilidad de los sistemas controlados en base a relevadores o a los sistemas de Lógica Alambrada.

Las especificaciones requerían un sistema de:

- Estado sólido con la Flexibilidad de las computadoras,
- capaz de soportar el medio ambiente industrial,
- que las tareas de mantenimiento y programación pudieran ser realizadas por los Ingenieros y Técnicos de la Planta,
- y por último que fuera reutilizable.

Este tipo de sistema de control reduciría el tiempo muerto de las máquinas y además proporcionaría las bases para expansiones futuras.

CONTROLADORES PROGRAMABLES

LOS PRIMEROS CONTROLADORES PROGRAMABLES

Aunque solamente eran capaces de realizar control Encendido/Apagado (on/off) y sus aplicaciones estaban limitadas a máquinas y procesos que requerían operaciones repetitivas, fueron algo más que sistemas de control substitutos de tableros de relevadores.

Esto fue debido a:

- Instalación más sencilla.
- Usaban considerablemente menos espacio y energía.
- Indicadores de diagnóstico para detección de fallas.
- Sistemas reutilizables.

CONTROLADORES PROGRAMABLES

LAS PRIMERAS INNOVACIONES (1970-1974)

Aumentaron la flexibilidad e inteligencia de los controladores programables.

- Terminal de Programación de tubo de Rayos Catódicos (CRT) para la introducción y monitoreo de programas usando símbolos eléctricos.
- Funciones Aritméticas que permitieron que los controladores programables fueran usados con dispositivos de instrumentación que proporcionaban datos numéricos de entrada.
- Tareas lógicas y secuenciales podían ser ampliadas con la habilidad de realizar cálculos o acciones correctivas en base a los datos medidos.

CONTROLADORES PROGRAMABLES

LOS PRIMEROS CONTROLADORES PROGRAMABLES

El diseño inicial no solo cumplió con las especificaciones de GENERAL MOTORS, sino que sentó las bases para que los controladores programables fueran siendo mejorados y además su uso se expandió a otras industrias.

CONTROLADORES PROGRAMABLES

INNOVACIONES POSTERIORES (1975-1979)

- MAYOR FLEXIBILIDAD.
- MAYOR CAPACIDAD DE MEMORIA.
- ENTRADAS Y SALIDAS REMOTAS.
- CONTROL ANALOGICO.
- CONTROL DE POSICION.
- MEJOR COMUNICACION CON EL OPERADOR.

CONTROLADORES PROGRAMABLES

- MAYOR CAPACIDAD DE MEMORIA:

Permitió almacenar programas de control que no solo incluían partes lógicas y secuenciales, sino también adquisición y manipulación de datos.

- ENTRADAS Y SALIDAS REMOTAS:

Reducción en los costos de alambrado.

Distribución del control a través de la planta.

- CONTROL ANALOGICO:

El control programable llenó el hueco existente entre los sistemas on-off y los sistemas de instrumentación analógicos.

Anteriormente el controlador programable estaba limitado a controlar parcialmente sistemas tales como procesamiento de minerales, tratamiento de aguas o sistemas tipo "BATCH". Aplicaciones que requerían una combinación de funciones de control on-off y funciones analógicas.

- CONTROL DE POSICIÓN:

Usando salidas para controlar motores de paso (steppers) y entradas de retroalimentación por medio de "Encoders".

CONTROLADORES PROGRAMABLES

- MEJOR COMUNICACION CON EL OPERADOR:

Mayores capacidades de comunicación con otros dispositivos.

Reportes de mantenimiento y producción en papel.

A fines de 1979 se empezaron a desarrollar pistas de datos o redes locales de comunicación de alto nivel, permitiendo que las tareas de control de una fábrica entera fueran divididas o distribuidas entre varios controladores, todos comunicándose entre sí.

CONTROLADORES PROGRAMABLES

Con los desarrollos de 1975 - 1979,
el controlador programable dió el primer paso para
reemplazar a las minicomputadoras en muchas
aplicaciones industriales.

CONTROLADORES PROGRAMABLES

LOS CONTROLADORES DE HOY EN DIA:

Los primeros años de la década de los 80's trajeron muchos avances tecnológicos en la industria del controlador programable.

Esta explosión de capacidades reflejó los grandes logros obtenidos en la tecnología de los microprocesadores. Estos cambios no solo afectaron al diseño del controlador sino que también al enfoque de los sistemas de control.

CONTROLADORES PROGRAMABLES

MEJORAS AL HARDWARE:

- Tiempos de barrido de los programas más rápidos.
- Micro-controladores programables de bajo costo.
- Sistemas de entrada/salida más compactos (mayor densidad de puntos por módulo).
- Módulos inteligentes de entrada/salida (Basados en microprocesadores) aumentaron la distribución de procesamiento.
- ES: Módulos PID, ASCCI, BASIC, Posicionamiento, etc...
- Interfaces especiales que permitieron que ciertos dispositivos fueran conectados directamente al controlador.
Ej.: Termopares, celdas de carga, RTD's, etc...
- Desarrollo de familias de controladores programables que utilizan módulos de entrada y salida comunes.
- Puertos de comunicaciones integrado en el módulo del procesador.

CONTROLADORES PROGRAMABLES

MEJORAS AL SOFTWARE

- Lenguajes de alto nivel, como BASIC implementados en algunos controladores para proporcionar mayor flexibilidad para comunicarse con dispositivos periféricos.
- Instrucciones de bloques funcionales dentro del lenguaje de escalera.
- Diagnósticos y detección de fallas no solo del controlador sino de la maquinaria o del proceso controlado también.
- Matemática de punto flotante para hacer posible la realización de cálculos complejos.
- Mejores instrucciones para la manipulación y manejo de datos.

CONTROLADORES PROGRAMABLES

El CONTROLADOR PROGRAMABLE es ahora un sistema de control maduro que ofrece mucho más de lo que se creía de él en la década de los 70's. Ahora es capaz de comunicarse con otros sistemas de control con computadoras y macrocomputadoras, proporcionando reportes, de producción, planeación de la producción, y además diagnostica sus propias fallas y aquellas que pudieran suceder en las máquinas o procesos que controla. Estas mejoras han permitido al controlador programable contribuir de manera importante a alcanzar las demandas actuales de mejor calidad y mayor productividad.

CONTROLADORES PROGRAMABLES

PRINCIPIOS DE OPERACION DE LOS CONTROLADORES PROGRAMABLES:

Un controlador programable es un dispositivo de estado sólido usado para controlar máquinas o la operación de un proceso, por medio de un programa almacenado y la retroalimentación de dispositivos de entrada para accionar salidas.

CONTROLADORES PROGRAMABLES

Un controlador programable está formado por dos secciones principales: La unidad central de proceso (CPU) y la interface de entradas salidas (E/S).

Los componentes principales de la CPU son: El procesador, la memoria y la fuente de poder.

La CPU Acepta (lee) datos de entrada de varios dispositivos sensores, ejecuta el programa almacenado en memoria por el usuario, y envía comandos de control apropiados a los dispositivos de salida.

El proceso de leer entradas, ejecutar el programa, y controlar las salidas es hecho continuamente y se llama barrido o "Scan".

La fuente de poder proporciona todos los voltajes requeridos para la operación apropiada de la CPU y la circuitería de los módulos de E/S.

CONTROLADORES PROGRAMABLES

Otro componente de los controladores programables es el dispositivo de programación que se utiliza para introducir el programa de control en la memoria del procesador.

Este dispositivo puede ser una terminal industrial dedicada, un programador manual o una computadora personal con el software adecuado.

CONTROLADORES PROGRAMABLES

CONTROLADORES PROGRAMABLES VS RELEVADORES

- Flexibilidad para hacer cambios en la lógica de control.
- Alta confiabilidad.
- Menor Espacio.
- Recolección y manejo de datos.
- Capacidad para realizar modificaciones en forma rápida.
- La lógica de control se puede trasladar fácilmente a otro controlador para ser usado en otras máquinas.
- Facilidad de crecimiento en el futuro.

CONTROLADORES PROGRAMABLES

CONTROLADORES PROGRAMABLES - COMPUTADORAS

- La arquitectura de un controlador programable es básicamente la misma que la de una computadora de propósito general.
- Existen algunas características importantes que distinguen a los controladores de las computadoras:
 - . El CP fue específicamente diseñado para sobrevivir a las condiciones no siempre estables de un ambiente industrial.
 - . Ruido eléctrico, interferencia electromagnética, vibración mecánica, temperaturas extremas y humedad sin condensación.
 - . Hardware y Software de los CP diseñados para fácil uso de los técnicos y electricistas de la planta.

CONTROLADORES PROGRAMABLES

CARACTERISTICAS/BENEFICIOS TIPICOS DE LOS CONTROLADORES PROGRAMABLES.

CARACTERISTICAS INHERENTES:

- * Componentes de estado sólido
- * Memoria programable
- * Tamaño pequeño
- * Basado en microprocesadores
- * Contadores/Temporizadores por Software.

BENEFICIOS:

- . Alta confiabilidad.
- . Simplifica cambios.
- . Control flexible.
- . Requerimientos de espacio mínimos.
- . Capacidades de comunicación.
- . Productos de mejor calidad.
- . Mejores niveles de funcionamiento.
- . Capacidades multi-funcionales.
- . Elimina Hardware.
- . Reduce requerimientos de espacio.

CONTROLADORES PROGRAMABLES

CARACTERISTICAS INHERENTES:

- * Relevadores de control por Software.
- * Arquitectura modular.
- * Variedad de interfaces de E/S.
- * Estaciones remotas de E/S.
- * Indicadores de diagnóstico.
- * Interfaces modulares de E/S.
- * Desconexión rápida de E/S.
- * Todas las variables del sistema almacenadas en memoria.

BENEFICIOS:

- . Reduce Hardware/costos alambrado.
- . reduce requerimientos de espacio.
- . Flexibilidad en la instalación.
- . Fácilmente instalados.
- . Facilidad para crecer.
- . Controla una gran variedad de dispositivos.
- . Elimina costo cableado.
- . Reduce el tiempo de mantenimiento.
- . Facilidad para realizar mantenimiento.
- . Alambrado sencillo.
- . Servicio sin desalambrar.
- . Datos muy útiles para la dirección o para mantenimiento pueden ser imprimidos en forma de reportes.

QUE ES UN CONTROLADOR PROGRAMABLE

Los CONTROLADORES PROGRAMABLES han sido utilizados en la industria de una forma u otra en los últimos quince años. Los nuevos modelos pueden no parecerse a los primeros controladores programables, pero muchos de los conceptos utilizados en estos aún se encuentran en uso. Un controlador programable es básicamente un sistema controlado por computadora basado en un microprocesador que es programado por medio de un panel de programación. El PLC está dedicado a recibir señales de entrada y a mandar señales de salida en respuesta a la lógica del programa. El programa generalmente está formado por contactos, bobinas, temporizadores, contadores y funciones matemáticas.

Los controladores programables que se encuentran actualmente en la industria han evolucionado a partir de la necesidad de un sistema de control que pudiera fácilmente ser reprogramado a medida que existieran cambios o desarrollos en los productos que se estuvieran fabricando. Por ejemplo, anualmente en la industria automotriz es necesario hacer grandes cambios en la producción debido a los nuevos modelos que son diseñados .

Estos cambios anuales anteriormente requerían que el personal del departamento eléctrico y de mantenimiento de la planta trabajara largas horas en el re-alambrado de los tableros de control basados en relevadores. Cada período de cambio era muy costoso para esta industria, lo cual forzaba a que estos cambios fueran infrecuentes y generalmente muy simples. El controlador programable fué desarrollado en 1969 para resolver los problemas que ocasionan los sistemas de control que deben cambiar periódicamente. Los PLC's modernos están formados de cuatro partes principales: Unidad central de proceso, también conocido como el procesador; una sección de entradas; una sección de salidas; y una fuente de poder. El panel de programación generalmente no se considera como una parte principal en la operación de un controlador programable, porque una vez que ha sido usado para realizar la programación del procesador puede ser desconectado y el sistema seguirá operando correctamente. La relación de estas cuatro partes y la habilidad de los PLC's para ser reprogramados puede entenderse mejor comparando los circuitos alambrados de los tableros de relevadores contra circuitos idénticos controlados con PLC's.

.....

En la figura 1 se puede apreciar que los interruptores 1 y 2 son "push-buttons" normalmente abiertos. Cuando el interruptor 1 es accionado la lámpara 1 se enciende y cuando el interruptor 2 es accionado la lámpara 2 se enciende.

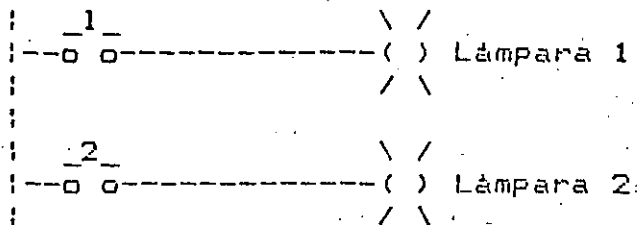


figura 1

La figura 2 muestra los mismos componentes conectados a un controlador programable. A partir de este diagrama se pueden apreciar varias diferencias entre las dos configuraciones. Primero los interruptores no están conectados directamente a las lámparas, en lugar de ello, los interruptores están conectados a los módulos de entrada, y las lámparas están conectadas a los módulos de salida. Otra diferencia es que los módulos de entrada y los módulos de salida no están conectados entre si directamente. Estos están conectados a través del procesador cuando la lógica o el programa indica que se están cumpliendo ciertas condiciones.

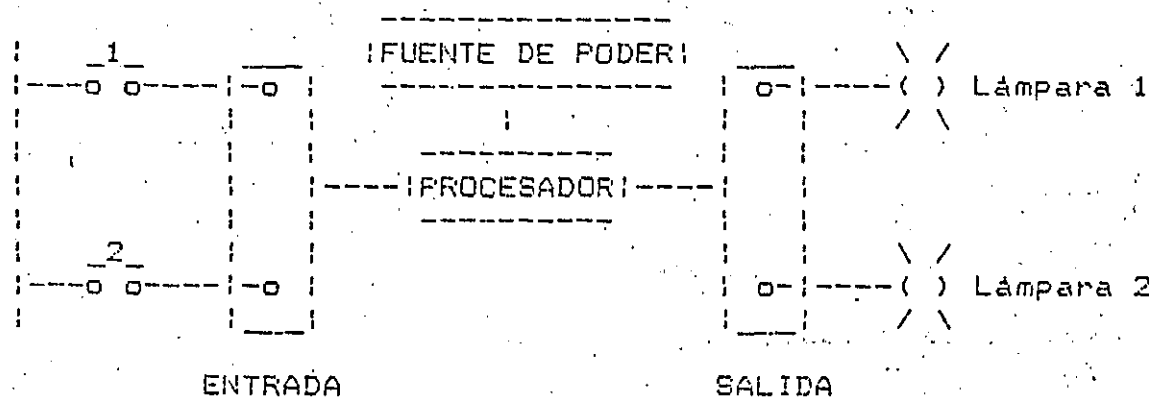


figura 2

El procesador de la figura 2 es programado para conectar el interruptor 1 a la lámpara 1 y el interruptor 2 a la lámpara 2. Esto se realiza introduciendo un programa en el procesador mediante la terminal de programación. Este programa tiene una apariencia muy semejante a los diagramas eléctricos de escalera.

La operación de los interruptores que se encuentran alambrados a las lámparas de la figura 1 es similar a la operación de los mismos elementos en el sistema del PLC. La diferencia más grande es la manera en que la electricidad fluye para realizar las mismas funciones.

En el sistema de la figura 1, los electrones fluyen de la fuente de voltaje, a través del interruptor, hasta la lámpara correspondiente. La energía eléctrica simplemente sigue los cables conductores hasta llegar a la lámpara. Cuando el interruptor es abierto, la corriente se interrumpe y la lámpara se apaga.

En el sistema del controlador programable, la corriente que proviene de la fuente de voltaje, pasa por el interruptor hasta llegar al módulo de entrada. El módulo de entrada detecta la presencia de este voltaje y a su vez manda una señal pequeña de voltaje al procesador. El voltaje que viene del interruptor es aislado de la señal que el módulo envía al procesador. Este aislamiento es necesario debido a que los voltajes a

los que operan los circuitos integrados dentro del procesador son muy pequeños en comparación a los voltajes que se utilizan generalmente en la industria. El aislamiento es generalmente proporcionado por un componente electrónico conocido como acoplador óptico.

El procesador recibe una señal del módulo de entrada cuando el interruptor se cierra, y de acuerdo al programa enviará una señal similar al módulo de salida. El programa dirige la señal que es transmitida por el procesador a la terminal de salida apropiada para la lámpara 1, cuando recibe una señal de la terminal del módulo de entrada que esta conectada al interruptor 1. Todo esto sucede en milésimas de segundo.

Cuando el interruptor 2 es activado una acción similar es realizada por el procesador, pero esta vez la señal es enviada a la terminal del módulo de salida que corresponde a la lámpara 2.

Un observador de ambos sistemas (tanto del alambrado convencionalmente como el del PLC) no notará ninguna diferencia en la operación del sistema. En ambos casos, el interruptor 1 controla la lámpara 1 y el interruptor 2 la lámpara 2.

La ventaja más grande del controlador programable se hace evidente cuando se requiere hacer un cambio en los circuitos previamente discutidos. Por ejemplo, que sea necesario que el interruptor 1 controle la lámpara 2 y que el interruptor 2

controle la lámpara 1. En el sistema de alambrado convencional se requerirían aproximadamente 10 minutos para realizar el cambio del alambrado entre los interruptores o entre las lámparas.

El mismo cambio en el sistema del PLC se efectúa reprogramando al procesador. Debido a que los cambios se realizan mediante programación en lugar de realamburar se logra ahorrar una gran cantidad de horas-hombre.

Este simple ejemplo de cambiar un programa puede ser aplicado a un sistema que contenga quince o más interruptores y salidas. Se puede observar que simplemente editando o cambiando el programa, se ahorra una gran cantidad de tiempo.

CONTROLADORES LOGICOS PROGRAMABLES
(PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLERS : PLC'S)

1) INTRODUCCION A LOS CONTROLADORES PROGRAMABLES.

1.1) HISTORIA DE LOS CONTROLADORES PROGRAMABLES.

El criterio de diseño para el primer controlador programable fue especificado en 1968 por la "HYDRAMATIC DIVISION" de GENERAL MOTORS CORPORATION. (Ver Nota 1). El objetivo principal fue eliminar el alto costo asociado a la inflexibilidad de los sistemas controlados en base a relevadores. Las especificaciones requerían un sistema de estado sólido con la flexibilidad de las computadoras, que fuera capaz de soportar el medio ambiente industrial, que las tareas de mantenimiento y programación pudieran ser realizadas por los Ingenieros y Técnicos de la planta, y por último que fuera reutilizable. Este tipo de sistema de control podría reducir el tiempo muerto de las máquinas y además podría proporcionar las bases para expansiones futuras.

LOS PRIMEROS CONTROLADORES PROGRAMABLES

Los primeros controladores programables fueron algo más que sistemas de control substitutos de tableros de relevadores. Debido a que eran capaces solamente de realizar control Encendido/Apagado (on/off), sus aplicaciones estaban limitadas a máquinas y procesos que requerían operaciones repetitivas, tales como líneas de transferencia y máquinas esmeriladoras o barrenadoras. Por otra parte, los controladores programables eran mejores sistemas de control en comparación con los tableros de relevadores, debido a que su instalación era más sencilla, usaban considerablemente menos espacio y energía, tenían indicadores de diagnóstico para ayudar en

...

NOTA 1: La HYDRAMATIC DIVISION de GM es la División de Transmisiones Automáticas.

la localización de fallas, y a diferencia de los relevadores, eran reutilizables si el proyecto terminaba o era cancelado. El diseño inicial no solo cumplió con las especificaciones de GENERAL MOTORS, sino que sentó las bases para que los controladores programables fueran siendo mejorados y además su uso se expandió a otras industrias.

LAS PRIMERAS INNOVACIONES

De 1970 a 1974, las primeras innovaciones en la tecnología de los microprocesadores aumentaron la flexibilidad e inteligencia de los controladores programables. La capacidad de comunicación con el operador, las funciones aritméticas, la manipulación de datos, y las comunicaciones con computadoras añadieron nuevas dimensiones a las aplicaciones de los controladores programables.

La terminal de programación de Tubo de Rayos Catódicos (CRT) permitió al usuario el introducir los programas usando los símbolos eléctricos de relevadores que le eran familiares. Con la terminal la lógica de control podía ser vista en el CRT con la misma apariencia que los diagramas de relevadores, lo cual resulta de bastante ayuda para la localización de fallas.

La adición de funciones aritméticas y mejores instrucciones aumentaron las aplicaciones de los controladores programables permitiendo que fueran usados con dispositivos de instrumentación que proporcionaban datos numéricos de entrada. Tareas lógicas y secuenciales podían ser ampliadas con la habilidad de realizar cálculos en base a los datos medidos. Los mismos datos podían ser usados como una base para realizar acciones correctivas. Esta nueva inteligencia encontrada en los PLC's fue el principio

para que una gran cantidad de avances fueran poco a poco integrados en los controladores programables así como en las aplicaciones en las que eran utilizados.

INNOVACIONES POSTERIORES

Las ampliaciones y mejoras tanto en el Hardware como en el Software entre los años de 1975 y 1979 aumentaron aún más la flexibilidad de los controladores programables. Las mejoras incluyeron mayor capacidad de memoria, entradas/salidas remotas, control analógico y de posición y comunicaciones con el operador. Estos avances permitieron que el controlador programable fuera utilizado en un rango más amplio de aplicaciones y además contribuyeron a que se redujeran tanto el alambrado como los costos de instalación.

Los sistemas con mayor capacidad de memoria permitieron el almacenamiento de programas más extensos y de una mayor cantidad de datos. Más memoria permitió almacenar programas de control que no solo incluían partes lógicas y secuenciales, sino también adquisición y manipulación de datos. La habilidad para almacenar más datos permitió además que recetas o datos de control previamente guardados pudieran ser recuperados o almacenados automáticamente. Por ejemplo, si un cierto evento ocurriera, todos los valores preestablecidos de temporizadores podrían ser cambiados, o los límites superiores preestablecidos podrían ser modificados. Esta flexibilidad eliminó la necesidad de que el operador detuviera el proceso para cambiar parámetros.

Los costos de alambrado fueron drásticamente reducidos con la nueva habilidad para localizar subsistemas de entrada y salida lejos de la unidad

central de proceso (CPU) y cerca del equipo a controlar. En lugar de llevar hasta la CPU cientos de cables desde las entradas y salidas remotas, las señales de estas podrían ser multiplexeadas sobre dos pares de cables entrelazados. Sistemas de entradas/salidas remotos también permitieron que sistemas grandes fueran divididos en pequeños subsistemas, lo cual simplificó de manera significativa el mantenimiento y permitió un arranque manual de subsistemas mayores.

Con el desarrollo del control analógico, el controlador programable llenó el hueco existente entre los sistemas de control encendido/apagado (on/off) y los sistemas de instrumentación analógicos. Hasta entonces, el controlador programable era capaz solamente de realizar control encendido/apagado, y estaba limitado a controlar parcialmente sistemas tales como procesamiento de minerales, tratamiento de aguas o sistemas de lotes o tipo "Batch". Aplicaciones como las mencionadas requerían una combinación de funciones de control encendido/apagado y funciones analógicas.

Otro desarrollo de Hardware durante este período fue el de poder desarrollar control de posición, usando salidas para controlar motores de paso (Steppers) y entradas de retroalimentación por medio de "Encoders". La interfaz de entrada cuenta un tren de pulsos que proporciona un valor numérico al controlador para la verificación de un movimiento. Usando los datos enviados por el controlador, la interfaz de salida produce un tren de pulsos que son interpretados por el traductor del motor de pasos. Las primeras aplicaciones de estas interfaces incluyeron esperiladoras, cabezas de transferencia y líneas de pulverizado de pintura.

Mayores capacidades de comunicación permitieron a los PLC's comunicarse con otros dispositivos que ayudaron a mejorar la interfaz con el operador. El hardware y el software del CRT fueron mejorados para ayudar en la in-

...

producción de programas y monitoreo de los mismos. Se podían proporcionar reportes de mantenimiento, resúmenes de producción en papel mediante una impresora. A fines de 1979 empezaron a desarrollarse las pistas de datos, que son redes de comunicación de alto nivel. Estas redes locales permitieron que las tareas de control de una fábrica entera fueran divididas y distribuidas entre varios controladores, todos comunicándose entre sí. Las pistas de datos abrieron nuevas aplicaciones a los PLC's, como en líneas de transferencia y manejo y seguimiento de materiales.

Las mejoras que se hicieron al software resultaron en instrucciones muy parecidas a las de las computadoras. Estas nuevas instrucciones permitieron que fuera sencillo utilizar el hardware mejorado, además de que incluyeron declaraciones para manipular grandes cantidades de datos, y comunicaciones con dispositivos analógicos y periféricos. Otras ampliaciones al software incluyeron rutinas del sistema para mejorar el monitoreo en línea del proceso.

Con los desarrollos de este período, el controlador programable dió el primer paso para reemplazar a las minicomputadoras en muchas aplicaciones industriales.

LOS CONTROLADORES DE HOY EN DÍA:

Los principios de la década de los 80's trajeron muchos avances tecnológicos en la industria del controlador programable. Esta explosión de capacidades reflejó los grandes logros obtenidos en la tecnología de los microprocesadores y ayudaron en gran medida a los fabricantes que estaban buscando atraer nuevos clientes y mantener a los que ya tenían. Estos cambios no solo afectaron al diseño del controlador sino que también al enfoque filosófico de los diseños de los sistemas de control. La siguiente lista describe algunas de estas mejoras.

MEJORAS AL HARDWARE:

- Se obtuvieron tiempos de barrido de los programas más rápidos usando tecnología de "bit-slice".
- PLC's de bajo costo que reemplazan desde tableros con 4 a 10 relevadores y asimismo reduciendo los requerimientos de espacio.
- Sistemas de Entrada/Salida proporcionaron interfaces eficientes en espacio a bajo costo.
- Módulos inteligentes (basados en microprocesadores) aumentaron la distribución de procesamiento. Los módulos o interfaces inteligentes típicos son PID (control proporcional, integral y derivativo), comunicación ASCII, posicionamiento y módulos con lenguajes de alto nivel (Ej: Basic).
- Interfaces especiales que permitieron que ciertos dispositivos fueran conectados directamente al controlador. Las interfaces típicas fueron las de termopar, celdas de carga y entradas de respuesta rápida.
- Desarrollo de familias de controladores programables. Estas familias consisten de una línea de productos que varían desde los muy pequeños, con capacidades de memoria (1/2 K) y de Entradas/Salidas limitadas (112 E/S), hasta los controladores programables muy grandes y sofisticados, con capacidades de más de 8000 puntos de E/S y hasta 128 K de memoria. Los miembros de estas familias utilizan módulos de E/S (Entrada/Salida) y dispositivos periféricos comunes.

MEJORAS AL SOFTWARE:

- Lenguajes de alto nivel, como BASIC fueron implementados en algunos

controladores para proporcionar mayor flexibilidad en la programación para comunicarse con dispositivos periféricos.

- Instrucciones de bloques funcionales se implementaron en los conjuntos de instrucciones del lenguaje de escalera para proporcionar mayores capacidades de software, pero en un ambiente de programación muy sensible.
- Los diagnósticos y la detección de fallas fueron ampliados de los diagnósticos del sistema, para detectar fallas en el controlador, a los diagnósticos de maquinaria, para detectar fallas o malos funcionamientos de la máquina o proceso controlado.
- Se incluyeron matemáticas de punto flotante para hacer posible la realización de cálculos complejos para aplicaciones de control que incluían mediciones, balances o cálculos estadísticos.
- Las instrucciones de manipulación y manejo de datos fueron mejoradas para realizar aplicaciones de adquisición de datos que envuelven almacenamiento, seguimiento y recuperación de grandes cantidades de datos.

El controlador programable es ahora un sistema de control más maduro que ofrece mucho más de lo que se creía de él en la década de los 70's. Ahora es capaz de comunicarse con otros sistemas de control, proporcionando reportes de producción, planeación de la producción, y además diagnóstica sus propias fallas y aquellas que puedan suceder en las máquinas o procesos que controla. Estas mejoras han hecho que el controlador programable haya contribuido de forma importante a alcanzar las demandas actuales de mejor calidad y mayor productividad. A pesar del hecho de que el controlador programable es más capaz, sigue teniendo la simplicidad de operación de sus orígenes.

1.2) PRINCIPIOS DE OPERACION DE LOS PLC'S.

Un ~~control~~ controlador programable es un dispositivo de estado sólido usado para controlar máquinas o la operación de un proceso por medio de un programa almacenado y la retroalimentación de dispositivos de entrada para accionar salidas.

Un ~~control~~ controlador programable está compuesto básicamente de dos secciones principales: La unidad central de proceso (CPU) y la interface de entradas/salidas (E/S).

Los ~~componentes~~ componentes principales de la CPU son: El procesador, la memoria y la fuente de poder. Juntos, estos componentes proporcionan la inteligencia del controlador. La CPU acepta (lee) datos de entrada de varios dispositivos sensores, ejecuta el programa almacenado en memoria por el usuario, y envía comandos de control apropiados a los dispositivos de salida. Este proceso de leer las entradas, ejecutar el programa, y controlar las salidas es hecho continuamente y se llama barrido. La fuente de poder proporciona todos los voltajes requeridos para la operación apropiada de la CPU.

El sistema de E/S forma la interfaz por medio de la cual los dispositivos de campo son conectados al procesador. El propósito de esta interfaz es condicionar las señales recibidas de los dispositivos del campo o enviarlas a los mismos. Las señales provenientes de sensores como botones pulsadores, interruptores límite, sensores analógicos, interruptores selectores, etc., son alambrados a las terminales de las interfaces de entrada. Los dispositivos que se van a controlar, como arrancadores de motor, válvulas solenoides, luces piloto, y válvulas de posición, son conectados a las terminales de las interfaces de salida.

Otro ~~com~~ponente de los controladores programables es el dispositivo de programación que se utiliza para introducir el programa de control en la memoria ~~del~~ procesador.

1.3) USANDO LOS CONTROLADORES PROGRAMABLES.

PLC'S VS RELEVADORES.

Por ~~varios~~ años, la pregunta de muchos Ingenieros, Directores de Plantas y de fabricantes de equipo original, ha sido, ¿Debo estar usando controladores programables? En algún momento, bastante tiempo de los Ingenieros de Proyectos o de planta ha sido usado para tratar de determinar la efectividad en costo de los PLC's Vs los tableros de relevadores. Aún ahora, muchos fabricantes de tableros y diseñadores de sistemas de control piensan que tienen que tomar una decisión al respecto. Una cosa es cierta, la demanda ~~de~~ hoy en día de alta calidad y productividad puede ser difícilmente alcanzada económicamente sin equipo de control electrónico. Con los desarrollos tan rápidos y con el aumento de la competencia, el costo de los PLC's ha bajado hasta tal punto que el viejo estudio de los PLC's contra los relevadores ya no es necesario. Las aplicaciones de los controladores programables pueden ser evaluadas bajo sus propios méritos.

Con este pensamiento en mente, se pueden hacer ciertas preguntas alrededor de las necesidades de control.

- ¿Existe la necesidad de flexibilidad para hacer cambios en la lógica de control?
- ¿Existe la necesidad de alta confiabilidad?

- . ¿Son los requerimientos de espacio mínimos?
- . ¿Existen requerimientos para recolección de datos?
- . ¿Se necesita la capacidad para realizar modificaciones en forma rápida?
- . ¿La lógica de control a utilizar debe ser usada en diferentes máquinas?
- . ¿Puede el personal de la planta operar y dar mantenimiento al sistema basado en un PLC?
- . ¿Existe la necesidad de crecer en el futuro?

Los méritos de los sistemas con controladores programables los hacen especialmente adecuados para aplicaciones en las que los requerimientos listados anteriormente son particularmente importantes para la viabilidad económica de la operación de la máquina o proceso.

PLC'S VS COMPUTADORAS

La arquitectura de un controlador programable es básicamente la misma que la de una computadora de propósito general. De hecho, algunos de los primeros PLC's estaban basados en computadoras. Sin embargo, algunas características importantes distinguen a los PLC's de las computadoras de propósito general.

Primero, a diferencia de las computadoras, el controlador programable fue específicamente diseñado para sobrevivir a las condiciones no siempre estables de un ambiente industrial. Un PLC puede ser puesto en áreas donde

existen cantidades considerables de ruido eléctrico, interferencia electromagnética, vibración mecánica, o temperaturas extremas y humedad sin condensación.

Una segunda distinción de los PLC's es que el hardware y el software fueron diseñados para fácil uso por los Técnicos y Electricistas de la planta. Las interfaces de hardware para conectar los dispositivos de campo son una parte del PLC y se conectan a él fácilmente. Los circuitos de interfaz modulares y con autodiagnósticos señalan con precisión las fallas y son fáciles de remover para ser reemplazados. El software de programación usa símbolos convencionales del lenguaje de escalera de relevadores.

La última diferencia a mencionar es una que está cambiando a medida que los PLC's se vuelven más inteligentes. Mientras que las computadoras son máquinas complejas de cómputo capaces de ejecutar varios programas o tareas simultáneamente y en cualquier orden, el PLC ejecuta un solo programa en un orden y secuencia establecido desde la primera hasta la última instrucción. En años recientes, sin embargo, se ha añadido flexibilidad a los PLC's incluyendo instrucciones que permiten llamar subrutinas, rutinas de interrupción, y además incluyen la manera de ignorar o saltar ciertas instrucciones.

APLICACIONES DE LOS CONTROLADORES LOGICOS PROGRAMABLES.

I. INDUSTRIA ALIMENTICIA.

Tradicionalmente la industria de alimentos ha empleado sistemas de control que emplean aire a presión. Si bien pueden ser aún operativos, su capacidad de mantener normas de calidad y eficiencia deja mucho que desear. Hoy en día los controles electrónicos manifiestan su gran poder sobre las variables físicas como son: temperatura, presión, nivel, flujo, etc. Dicho poder se sustenta en la capacidad de desarrollar funciones matemáticas de gran complejidad y a muy alta velocidad. Así, los algoritmos de control pueden pasar desde el simple "ON-OFF" hasta los muy actuales algoritmos de autoaprendizaje (control adaptivo), sin necesidad de cambiar el "Hardware" o circuitería. Los cambios son principalmente en la programación y significan un desarrollo muy importante dentro de los equipos, porque así no hacen falta instrumentos "dedicados" y en su lugar, solamente cambia el programa de instrucciones.

Los controladores lógicos programables (PLC's) fueron en sus inicios aparatos de control de secuencias que se daban a través de contactos que se abrían o cerraban de acuerdo al programa y a las condiciones de entrada que el usuario deseaba. Hoy en día, los PLC's pueden manipular señales analógicas como entradas y como salidas, haciendo posible que los lazos de control sean controlados en el mismo aparato.

Para ilustrar las capacidades de los PLC's dentro de la industria alimenticia, serán presentados algunos procesos típicamente comunes y que no pretenden ser exhaustivos, considerando que cada uno de ellos resulta más complejo de lo que aquí se presenta.

I.1 Industria Cervecera.

En la figura I.1.1 se presenta el bosquejo más generalizado de una cervecería moderna. Probablemente existan amplias diferencias en procesos particulares, pero la generalidad de las plantas emplea el mismo proceso.

Sistema de Transferencia de Grano a los Silos.

Proceso: La malta de cebada y arroz se reciben en furgones de ferrocarril dentro de un andén cubierto. El grano se extrae mediante un sistema de alto vacío denominado "sistema de transporte de grano por chorro de aire". Desde ahí se sopla el grano a la parte superior de los silos de almacenamiento de grano donde un cabezal giratorio dirige al silo adecuado.

Equipo: El equipo en el sistema de transferencia de grano consiste en un extractor que jala el grano del furgón y lo envía hacia el chorro de aire. El sistema de soplado por chorro de aire consiste de tubería flexible, motores, seguros rotativos de aire, válvulas automáticas, cabezales, etc.

Este sistema está conectado a un PLC. Hay tres silos de almacenamiento. El equipo Allen-Bradley consiste de un PLC-3. Aproximadamente un tercio de éste se utiliza para controlar al sistema de transporte de grano. El PLC-3 también se usa para controlar el molino del grano y los sistemas de cocción que existen en etapas avanzadas del proceso. Se emplean entradas discretas de 120VAC para recibir las señales de interruptores de límite, interruptores de proximidad (para detectar velocidad nula), arrancadores de motores (para saber si está encendido), y sensores de nivel. Se usan señales de salida de 120VAC para activar solenoides y arrancadores de los motores. Se usan entradas de 1-5V para recibir las señales desde los interruptores de presión y vacío del chorro de aire y de los sistemas de bombeo de aceite.

Molinos Giratorios de Grano.

Proceso: Cuando se necesita el grano para el proceso, éste se transporta a la Casa de Cocimientos a través de otro chorro de aire. Ahí será rolado, cocinado y colado; también se le agregarán varios componentes. Esto llevará al grano hasta un punto donde podrá ocurrir la fermentación. El grano fluye por gravedad al chorro de aire hacia los molinos. La cascarilla exterior del grano se rompe, al igual que el núcleo a un tamaño determinado.

Si el grano es demasiado pequeño, retarda el proceso de filtrado (en las pilas Lauter), así como la extracción del sabor. Si el grano es muy grande, los nutrientes que se requieren del grano se pierden.

Cuando el grano llega desde la descarga a través del chorro de aire, es recibido en un depósito de demasías. La compuerta de este depósito controla el flujo del grano a través del molino giratorio. El molino contiene varios juegos de rodillos de molienda y el espaciamiento entre ellos se ajusta para dejar al grano con el tamaño deseado. El grano que cae desde el depósito de demasías cae dentro de los rodillos, se extrae y colado para calibrar su tamaño. Una vez que tiene el tamaño adecuado se deja caer dentro de otro depósito (tolva) que permite pesarlo con celdas de carga conectadas a una báscula. La báscula tiene un punto preajustado para controlar, junto con la medida de la presión del chorro de aire, el flujo óptimo del grano a través de los molinos, garantizando que el grano no se detendrá dentro del chorro de aire por falta de presión. Es así como se controla el flujo del grano. Al término de este proceso se transporta el grano por gravedad a los cocedores de la cebada.

Equipo:

Existen dos molinos de rodillos de malta y dos molinos de rodillos de arroz en la planta de Houston. El número de molinos depende de la capacidad y velocidad de alimentación que se desea conducir a la Casa de Cocimientos. El número de cocedores, pilas Lauter y marmitas de cerveza determinan el número de molinos de grano, en virtud de ser las compuertas alimentadoras del sistema. Hay una báscula de malta y otra de arroz en el sistema. Las básculas tienen indicadores digitales de peso así como controles de desactivación del sistema preajustados. Las básculas tienen salidas de TTL para el PLC-3. En un futuro las señales de la celda de carga serán enviadas directamente al PLC empleando un transmisor-convertidor con salida digital y analógica de 4 a 20 mA.

El PLC-3 controla las válvulas de control de flujo con señales analógicas de 4 a 20 mA, usando transductores de corriente a presión (I/P). Este lazo de control tiene modo proporcional. La presión del chorro de aire se mide para mantener al grano "flotando" en el chorro. La velocidad del flu-

jo se determina por la relación que tiene con el flujo de grano que mide la báscula en cierto tiempo. Este balance entre el flujo de aire y la indicación de la báscula optimiza la relación de producción de la operación de molienda.

Equipo Allen-Bradley:

El mismo PLC-3 que se usa para controlar la zona de descarga de los furgones se usa para el control del chorro de aire, los molinos, las básculas y el sistema de alimentación de los cocedores de cereal. La misma clase de sensores: interruptores de límite, interruptores de proximidad, sensores de nivel, etc., se usan en la zona de molienda.

La relación de entradas discretas a analógicas que se usa en la planta de San Luis es de 14,000/600. Se tiene que la planta de Houston conserva la misma relación. De esta manera, los puntos de entrada y salida conforman el 4% del total existente en la planta de San Luis. La relación de puntos de entrada contra puntos de salida es de 4/1. La relación de puntos de entrada analógicos contra salidas analógicas es de 2/1. Típicamente existen 7 puntos de entrada y salida por cada válvula en la planta de Houston. Dos son de entrada discreta de 110V para sensar la posición de la válvula, una salida discreta de 110V para la solenoide que mueve la válvula, 2 de entrada de 24 VDC para la interfase del operador que encienden lámparas piloto del tablero de control y un promedio de 2 puntos discretos de entrada de 24 VDC desde la interfase del operador para marcar el número de tanque o para ser una señal de control diversa. La interfase del operador de la planta de San Luis es una pantalla de video que elimina las dos señales de entrada y las dos de salida de 24 VDC, debido a que esas funciones son realizadas por la terminal de video. Es así como el número de puntos de entrada-salida se reduce a 3 por válvula. Este arreglo se usa típicamente para también controlar los arrancadores de motores. En las dos últimas aplicaciones se puede contabilizar el 80% de los requerimientos de entradas y salidas discretas de toda la planta.

Cocedores de Malta.

Proceso:

La malta de cebada germinada se dirige por gravedad a través de diversos res a los cocedores de la masa. Se emplea una cantidad de agua para que dentro de los cocedores se mezcle con la cebada (malta), de manera continua. El grano se detiene antes que el flujo de agua para asegurar que no se formen aglomeraciones de cereal seco rodeado por agua. Cuando los cocedores alcanzan un nivel determinado, la mezcla se calienta hasta una temperatura conocida. Una cantidad limitada de masa de malta se bombea a un cocedor de masa de arroz. Se toma también una parte de la salida de los molinos de arroz para ser conjuntada con la masa de cebada. Algunas veces se cocina el resultante de esta conjunción sin agua, pero es variable. De este modo se cocina la mezcla durante un tiempo prefijado para convertir el almidón y el azúcar de los granos. Este proceso se repite en los cocedores de cebada y se agitan constantemente para homogeneizar el producto. El proceso toma de una hora a una hora con quince minutos por lote. Cuando termina, el lote producido se manda a las pailas lauter para su filtrado.

Equipo:

Hay tres cocedores de malta en la planta de Houston. Son tan grandes que su diámetro es de aproximadamente 7.5 m. Tienen válvulas de control de vapor controladas por controles de presión del vapor. Hay sensores de temperatura dentro de los cocedores para señalar las entradas analógicas del PLC. Hay transmisores de nivel en los cocedores para que sea controlado el flujo del agua, de la masa de malta de cebada y de la de arroz. El flujo del agua se controla con válvulas de mariposa en las salidas del cocedor. Hay adicionalmente otras válvulas de vaciado, de limpieza para el sistema CIP (clean in place), etc. También hay válvulas de bombeo para impulsar la masa entre los cocedores. De igual forma hay válvulas para transferir la masa cocida a la paila lauter.

Equipo Allen-Bradley.

El mismo PLC-3 se emplea en la casa de cocimientos. Los controles de los motores y bombas son de 110 V AC discretos. Las luces del operador y señales de los botones son de 24V DC discretos. Las entradas salidas analógicas son 1-5 VDC de entrada y de 4-20mA de salida. La planta de San Luis tiene 4 cocedores, dos pailas lauter, una paila de cerveza y una paila de contención, los cuales usan 700 puntos discretos de entrada y salida y 50 lazos de control analógico. La planta de Houston es un poco más pequeña con tres cocedores, tres pailas lauter, tres pailas cerveceras, pero sin paila de contención. La planta de Houston usa 500 puntos de control discreto adicionales porque usa tableros de señalización mímica, donde la planta de San Luis tiene terminales de video. El uso de las terminales reduce el uso de señales discretas de entrada y salida.

Envasado:

Proceso:

Todas las latas se reciben en forma paletizada. Cada nivel es de 360 latas y hay de 10 a 15 niveles por paletizado, siendo así casi 5000 latas.

Las latas llegan por camión y se mandan a los transportadores de cadena en la planta o se descargan con la transportadora del camión.

Existen numerosas puertas de entrada para las diferentes marcas de cerveza. El transportador de recepción carga a los vehículos guiados automáticamente para transferir el pallet a los depaletizadores. En la planta de Anheuser-Busch de Houston hay cinco equipos depaletizadores.

Cada depaletizador está al principio de una línea de enlatado. Un transportador conduce en hileras unitarias a las latas. Después se llevan las latas a los llenadores, donde se invierten las latas, se llenan con agua para enjuagarlas y se vuelven a poner boca arriba para ser transportadas por otro transportador de 50 o 60 pulgadas sobre el suelo. Aquí el ancho del flujo de latas es de 2 ó 3 para propósitos de control de excesos. Después se vuelven a alinear en filas unitarias.

Este lleva a las latas a los llenadores que toman la lata, la llenan con CO_2 , luego con cerveza y la bajan a una cadena de transferencia para llevarla al sitio donde se tapan. Posteriormente se llevan las latas al pasteurizador que rocía agua caliente sobre las tapas para eliminar la levadura inhibiendo así la posible fermentación. Después de esto, existe una cama acumuladora para acomodar las latas ya preparadas. Así llegan a una estación de inspección donde se rechazan las latas que no están totalmente llenas o que no fueron adecuadamente cerradas. Se usa radiación gamma para saber si las latas están o no llenas. Los defectos de la lata se determinan con controles fotoeléctricos. La radiación gamma se intensifica cuando falta cerveza, dado que este producto es opaco a dicha radiación. Luego de la inspección de nivel se envían las latas a las empacadoras. Estas máquinas son las que hacen el "6-pack" y que las enruta hacia las que forman conjuntos de 4-6-pack. Se paletizan y se mandan a la bodega mediante montacargas, listas para ser despachadas.

Hay máquinas empacadoras con diversas configuraciones de empaque, pero el resultado final es similar al ya mencionado.

En el caso del proceso de embotellado existen ciertas diferencias. Las botellas llegan en cajas, no en niveles paletizados. Las botellas son llenadas y tapadas con corcholatas y pasteurizadas. Después se etiquetan y debido a su lentitud, se requiere más etiquetadoras por línea. Las botellas son empacadas en cajas de 12 y a veces 24 botellas. Después pasan a un sistema de sellado de cajas.

Las cajas se inspeccionan con rayos gamma para asegurar que no hay botellas rotas y que están llenas. Luego se paletizan, se toman con montacargas y se almacenan.

Equipo de proceso:

Depaletizadoras, enjuagadoras, descajadoras, llenadoras, pasteurizadoras, etiquetadoras, detectores de llenado, paletizadoras, empacadoras, etc. Este equipo se suministra por fabricantes de equipo original con controles propios. Las nuevas empacadoras ya tienen inclusive sistemas de monitoreo a colores. Se usan sensores de proximidad para determinar la acumulación de latas en los transportadores. Se usan interruptores de límite para sensar botellas donde regresan. Se usan sensores fotoeléctricos para sensar la posición tanto de botella como de latas.

Un ejemplo es el control de las botellas que van a las llenadoras. Para asegurar la suficiencia de botellas hay un fotodetector a 15 pies del llenador. Se detiene el flujo de botellas a la entrada si detecta que no hay salida suficiente de las mismas. Muchos llenadores son más eficientes a razón de 1200 botellas por minuto. En las latas son de 1800 latas por minuto. La variación es de ± 25 botellas o latas. Esta operación se controla perfectamente con PLC's manteniendo un alto índice de eficiencia, porque puede sensar entradas discretas y producir cambios de velocidad a través de drives de los motores de las transportadoras, o de la máquina misma.

Equipo Allen- Bradley.

Se usan PLC 2/15 para el control de las depaletizadoras, pasteurizadoras, etiquetadoras, empacadoras y paletizadoras.

Se usan PLC 2/30 para controlar transportadores, desenchajadoras, enjuagadoras y llenadoras. Existe la tendencia de conectar esos PLC's con un PLC-3 supervisor a través de Data Highway, en la planta de Anhauser-Busch de Fort Collins.

Hay diez líneas en la planta de Houston y esto es muy grande. Una cervecería típica tiene 4 líneas.

La planta de Houston, la más reciente de ellos, tiene en cada línea de embotellado 7 u 8 racks con 900 puntos de entrada y salida para controlar desde la llegada de la botella hasta la salida al almacén. En otros casos y líneas de embotellado solo son necesarios 800 puntos de entrada/salida. Una enlatadora típica usa de 1200 a 1300 puntos de entrada y salida por línea de enlatado, desde depaletizado hasta paletizado.

El desglose de los puntos de entrada y salida son los siguientes:

80% puntos de entrada/salida de 110VAC

10% módulos de control analógico de 12 bits.

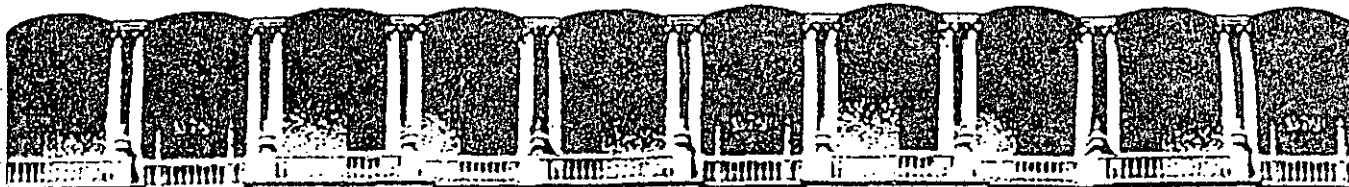
5% módulos PID para el control de temperaturas de pasteurización.

5% otros, como módulos de entradas de alta velocidad para encoders, salidas de DC y salidas con interfases serie para las terminales de monitoreo.

Interfases de operadores:

90% son pushbuttons, selctores y luces piloto. También se instalaron paneles de la serie 2700. Se tienen monitores de video en algunas empacadoras y paletizadoras. Se usan principalmente para control PID, control estadístico de calidad y programas de mantenimiento.

No hay más monitores a nivel de proceso porque la mayoría del equipo debe ser sometido a lavados frecuentes con agua a presión.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

INSTRUMENTACION ELECTRONICA DE PROCESOS INDUSTRIALES

CONTROLADORES LOGICOS PROGRAMABLES

ING. RICARDO GARIBAY JIMENEZ

AREA DE INFLUENCIA DE LOS PLC's

- Configurados originalmente como reemplazo de los tableros de relevadores. Emulan elementos como: relevadores, latches, temporizadores y contadores.

Empleados en máquinas, herramientas, líneas de transferencia, líneas de ensamble, máquinas de empacado, manejo de materiales.

Hay pocas máquinas que usen lógica digital o de relevadores donde un PLC no sea útil.

CAMPOS DE APLICACION RECIENTE

- Area del Control Analógico (Procesos industriales).
Aparición de módulos de entrada/salida analógicas, así como de módulos con capacidad de control PID por si mismos.
- Area de Diagnosticos, empleando la programación en el PLC para identificar problemas de funcionamiento en el sistema, tanto dentro como fuera del Controlador.

ARQUITECTURA DE UN PLC

- Fuente de Poder: Proporciona la alimentación eléctrica requerida por los restantes elementos del sistema.
- Módulo de Entrada: Aceptan las entradas provenientes del campo, las convierten a los niveles de D.C. convenientes, las filtran, proporcionan el estado de las señales y presentan un nivel adecuado de señal a la unidad central de procesamiento.
- Módulos de Salida: Reciben los niveles lógicos de salida de la unidad central de proceso, fijan la señal por un ciclo de barrido, convierten al nivel de voltaje de C.A. ó C.D. requerido y proporcionan el estado de indicación de cada salida.

- Memoria .- Elementos en los que se almacena el conjunto de instrucciones que forman el programa.

El programa equivale al alambrado en los tableros de relevadores.

- Unidad Central de Proceso (C.P.U.) es el cerebro del Controlador Programable, Interpreta las instrucciones de la memoria y actúa de acuerdo a ellas.

ACCIONES Y DIRECCIONES

Cada código de instrucción está formado por dos partes:

ACCION Y DIRECCION

La parte de la Dirección selecciona la dirección de la señal deseada, sea interna ó externa.

La parte de la Acción compara el estado deseado de la dirección con el estado actual y toma la acción correspondiente.

Ejemplos:

ACCION	DIRECCION
Sensa el estado para una Condición "ON"	En la entrada 16
Sensa el estado para una Condición "OFF"	En la intena 101
Pon el estado en la condición "ON"	En la salida 145

· RASTREO SECUENCIAL

- Las instrucciones son ejecutadas una a la vez, en forma secuencial.
- Las instrucciones en la memoria son vistas como una larga lista.
- En cada rastreo todas las instrucciones son vistas y ejecutadas
- El rastreo del programa nunca para.

DIAGRAMA DE ESCALERA A PROGRAMA DE PLC

Se deben seguir ciertos pasos para convertir un diagrama de escalera a programa de PLC:

1. Preparar una descripción funcional de la lógica de control.
 - Descripción escrita.
 - Diagrama de flujo.
 - Algebra Booleana.
 - Diagramas de relevadores.
 - Mnemónicos, etc.

2. Selección del Controlador Programable.

- Entradas/Salidas requeridas y futuras expansiones.
- Tamaño de la memoria.
- Tipos de memoria: Volatiles y no Volatiles de la máquina o proceso.
- Conjunto de instrucciones disponibles.
- Tipo de Programador.
- Facilidad de Mantenimiento e Instalación.
- Soporte local.

3. Preparar la asignación de Direcciones a las entradas/salidas.

- Nombre de los elementos de campo.
- Número y localización.
- Número de direcciones de E/S
- Número de señales de E/S por módulo.
- Identificación del rack de montaje.
- Localización Geográfica: local ó remota.

4. Codificación y carga del programa dentro del Controlador Programable.

Las instrucciones a emplear y dispositivo de programación cambian de acuerdo al fabricante y al modelo de PLC a emplear.

5. Documentación y Respaldos

- Se crean respaldos de diversos tipos:

- . Impresión en papel.
- . Cartuchos magnéticos.
- . Cinta perforada.
- . Memorias de Estado Solido.
- . Discos duros y/o flexibles.

- La documentación es vital para el mantenimiento.

PAST

"RELAY CONTROLLERS"

EMPHASIS ON RELAY EQUIVALENCE, TIMERS,
COUNTERS.

APPLICATIONS—MOSTLY AUTOMOTIVE—TRANSFERS
LINES, MATERIALS HANDLING, AUTOMATED
ASSEMBLIES.

COMMUNICATIONS TO COMPUTERS—REPORTING.

PRESENT

"INTELLIGENT CONTROLLERS"

EMPHASIS IN RICHER SOFTWARE: MCR, JUMP
ENABLE MATH, DATA HANDLING, CONTROL
ALGORITHMS.

BROADER RANGE HARDWARE: TTL, BCD, ANALOG,
PRINTERS, TAPE & CASSETTE READERS, CRTS.

APPLICATIONS IN PROCESS INDUSTRIES.

COMMUNICATIONS CPU TO REMOTES, CPU TO CPU.

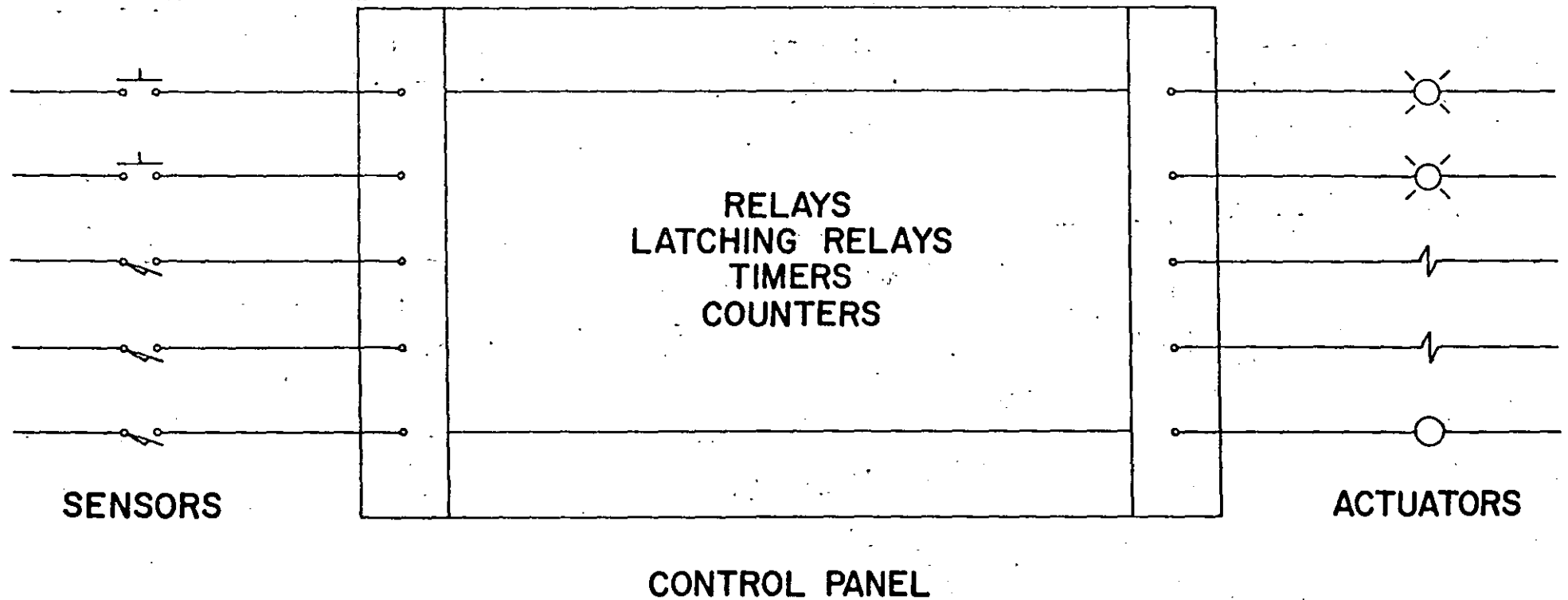
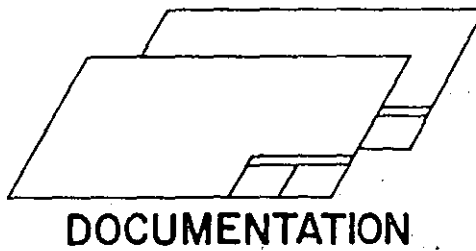
FUTURE

"DISTRIBUTED LOGIC"

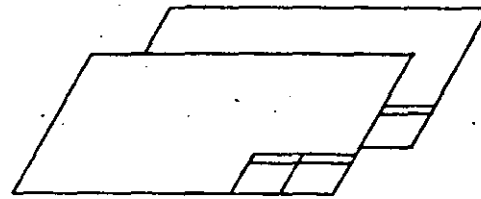
MATURE SOFTWARE, SOFTWARE-FIRMWARE
COMBINATION MICROPROCESSORS.

EMPHASIS ON IMPROVED COMMUNICATIONS TO
EXISTING COMPUTER TYPE PERIPHERALS,
INDUSTRIAL CONTROLLERS.

APPLICATIONS IN ALL INDUSTRIES, CLASSICAL
CAM, MIS, ROBOTS, GAMES.



TYPICAL E/M LOGIC SYSTEM



DOCUMENTATION

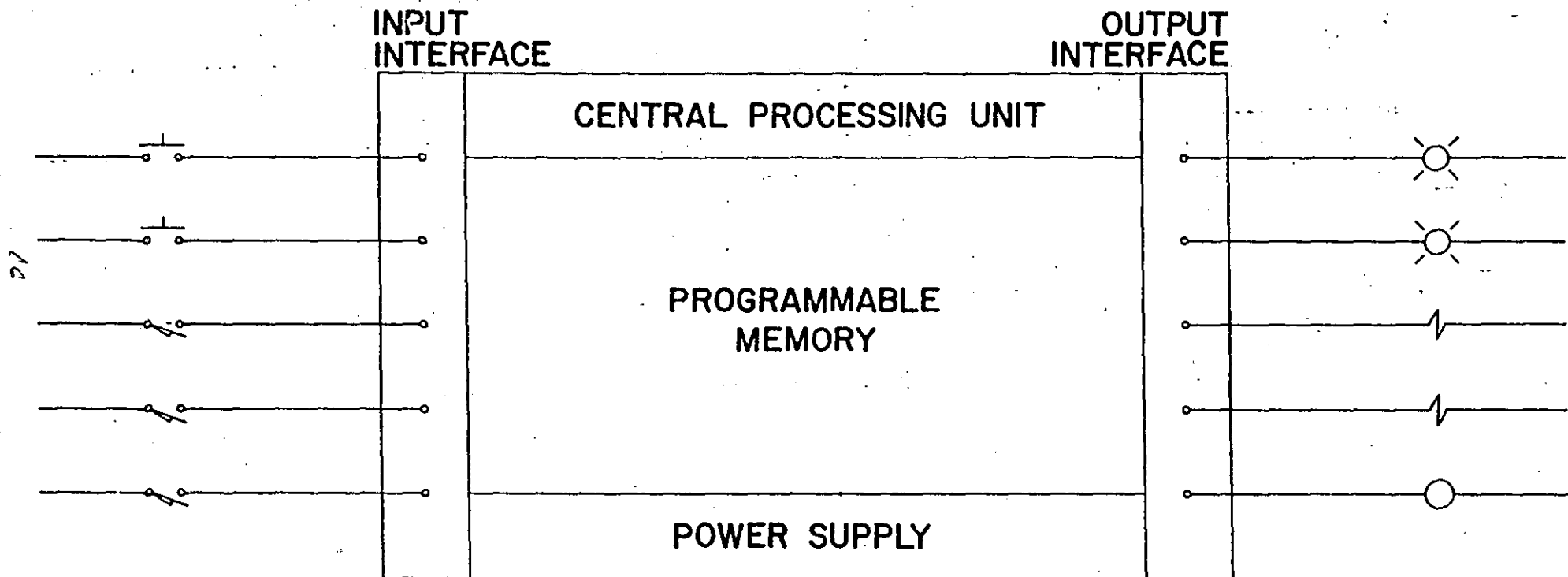
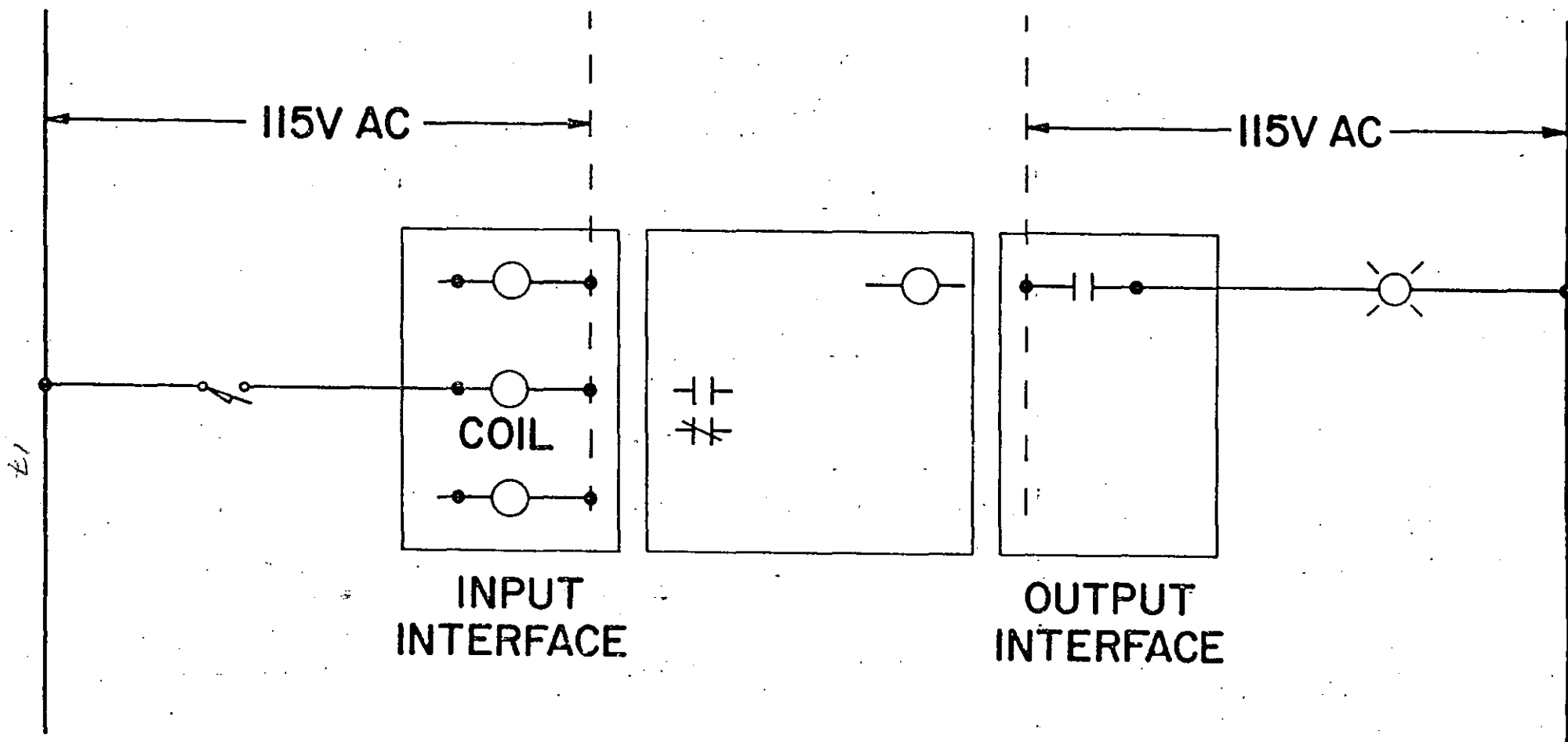
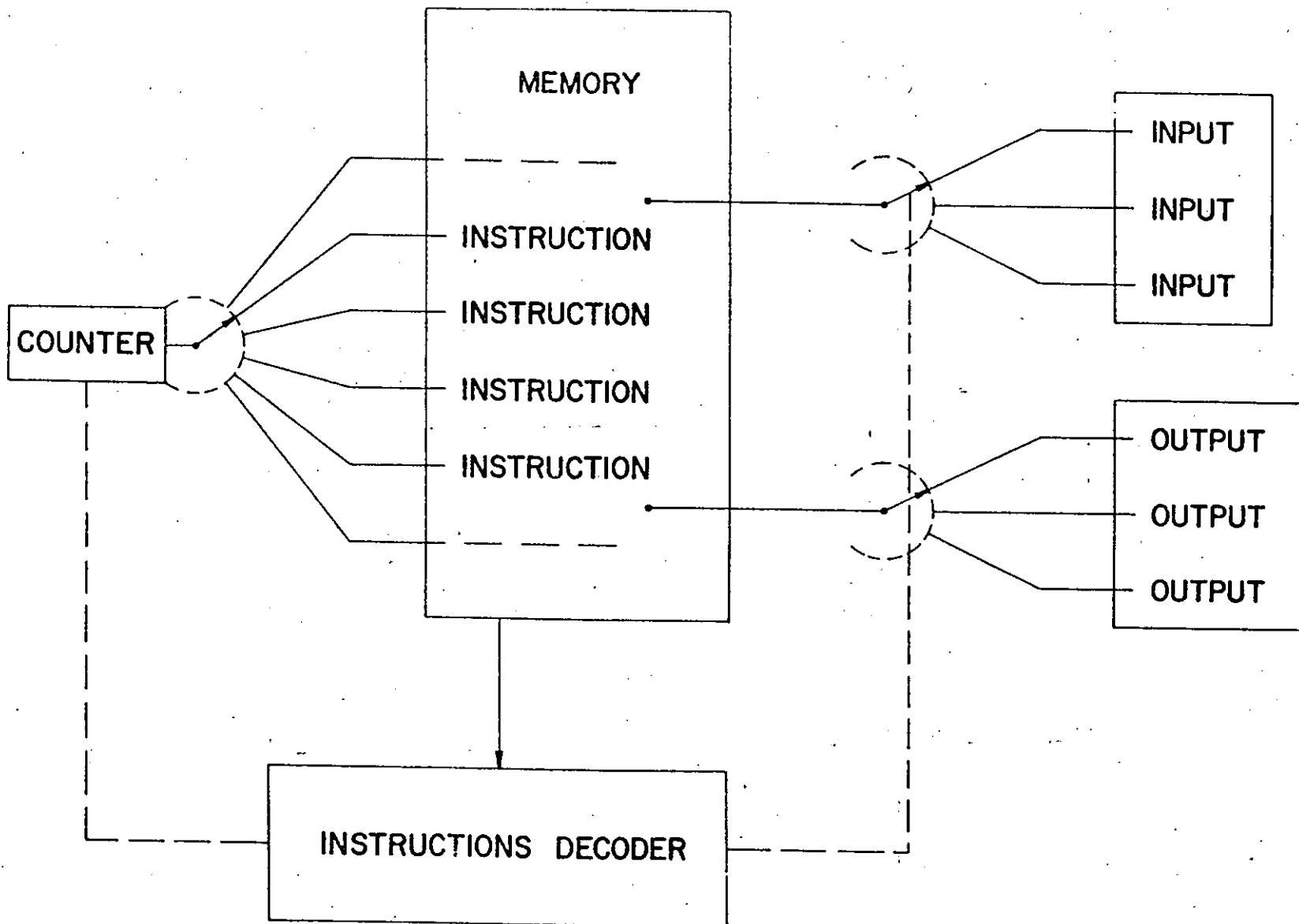


FIG. 1





INSTRUCTION:

ACTION	ADDRESS
--------	---------

FIG. 1

PROGRAM

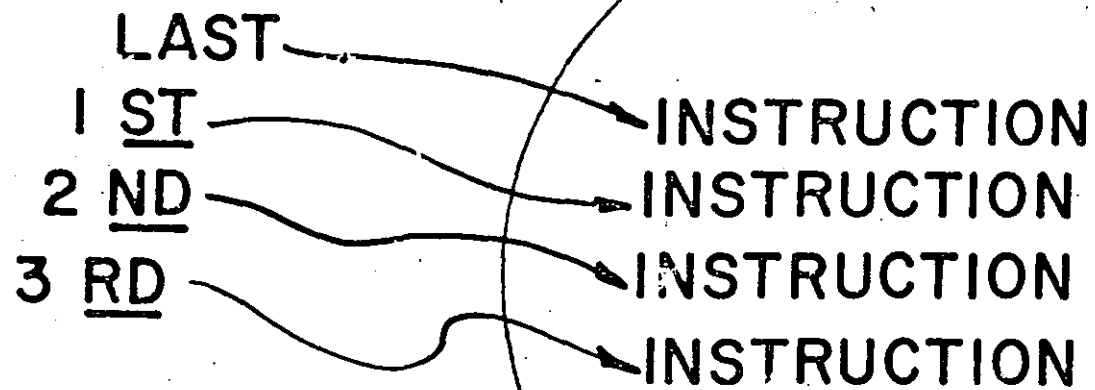
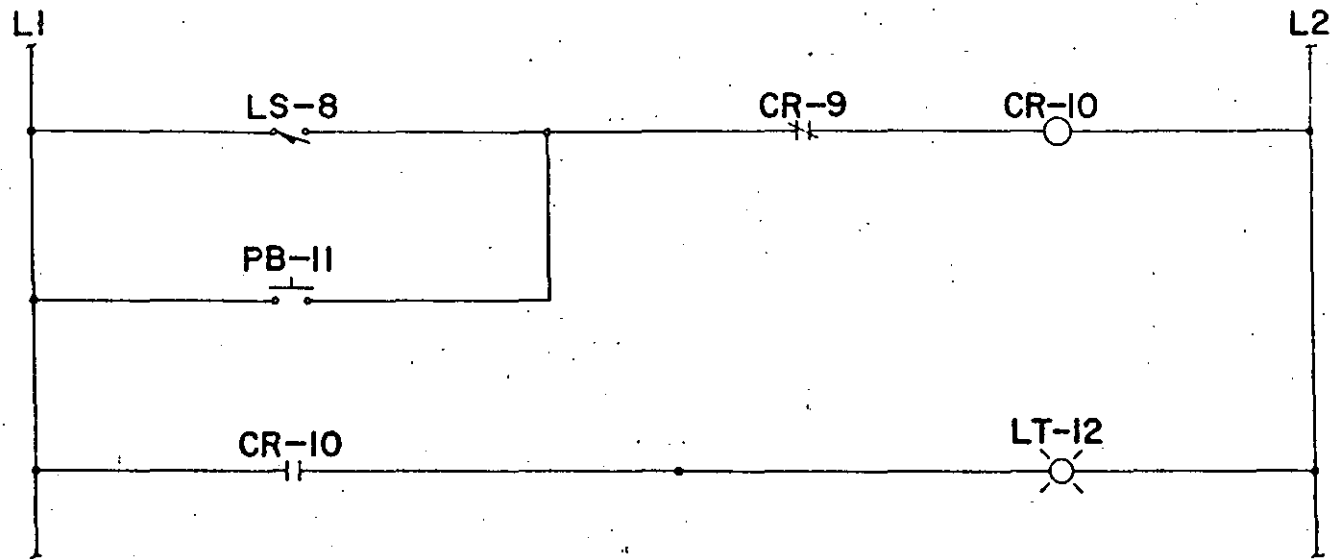


Fig. 10



1. LIGHT LT-12 WILL BE ON IF CONTROL RELAY CR-10 IS ENERGIZED.
2. CONTROL RELAY CR-10 WILL BE ENERGIZED IF EITHER LIMIT SWITCH LS-8 OR PUSHBUTTON PB-II ARE ACTUATED, AND CONTROL RELAY CR-9 IS NOT ENERGIZED.

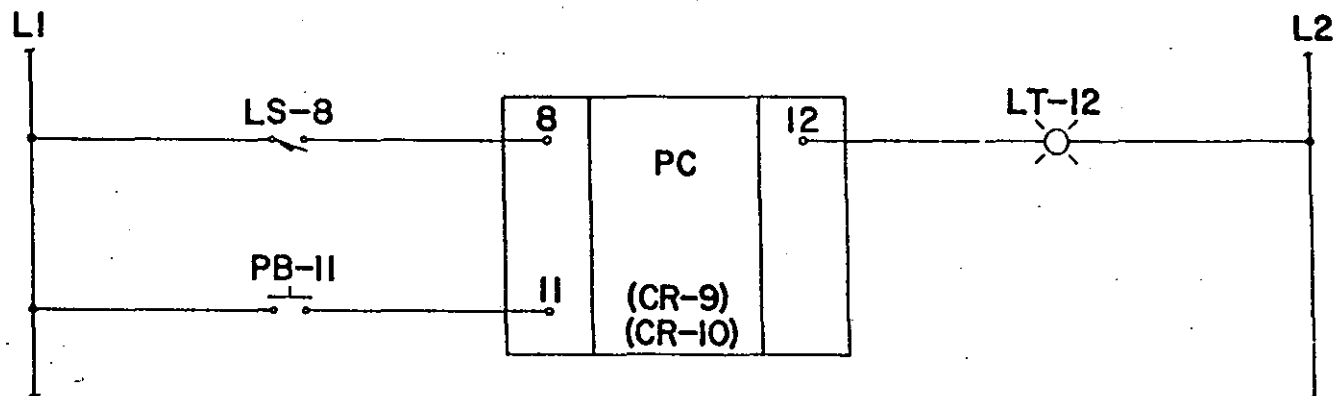
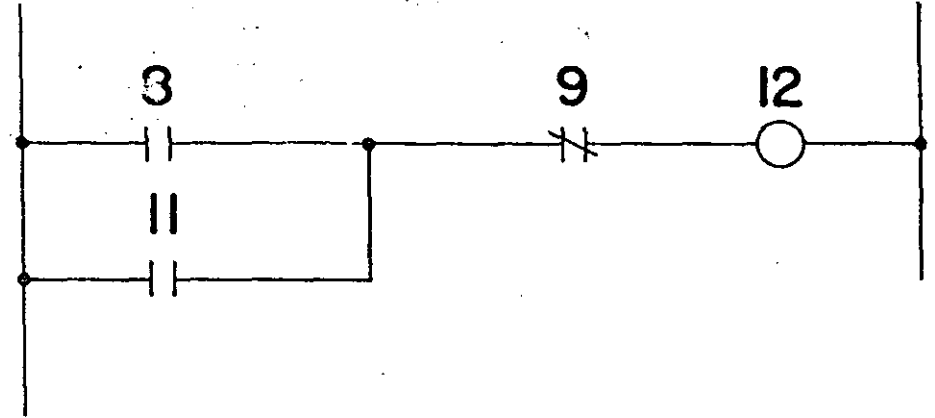
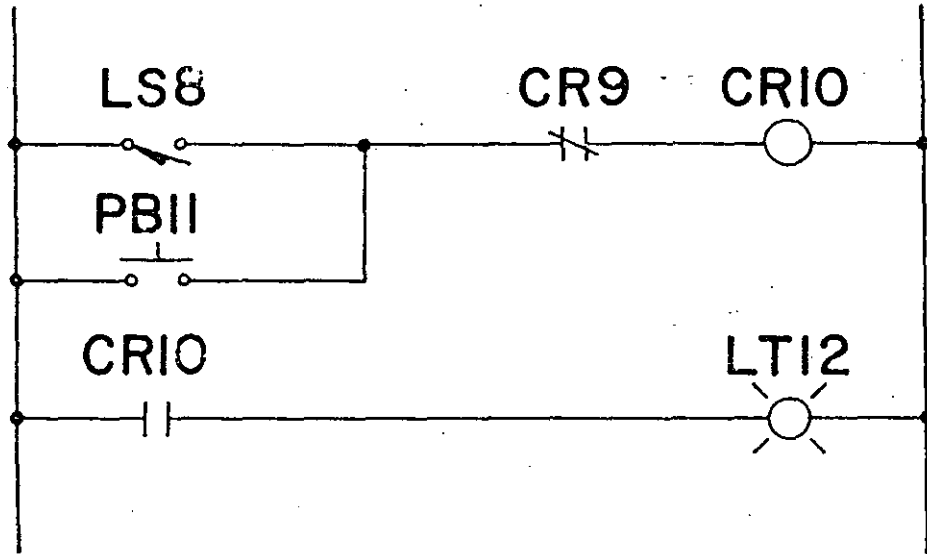
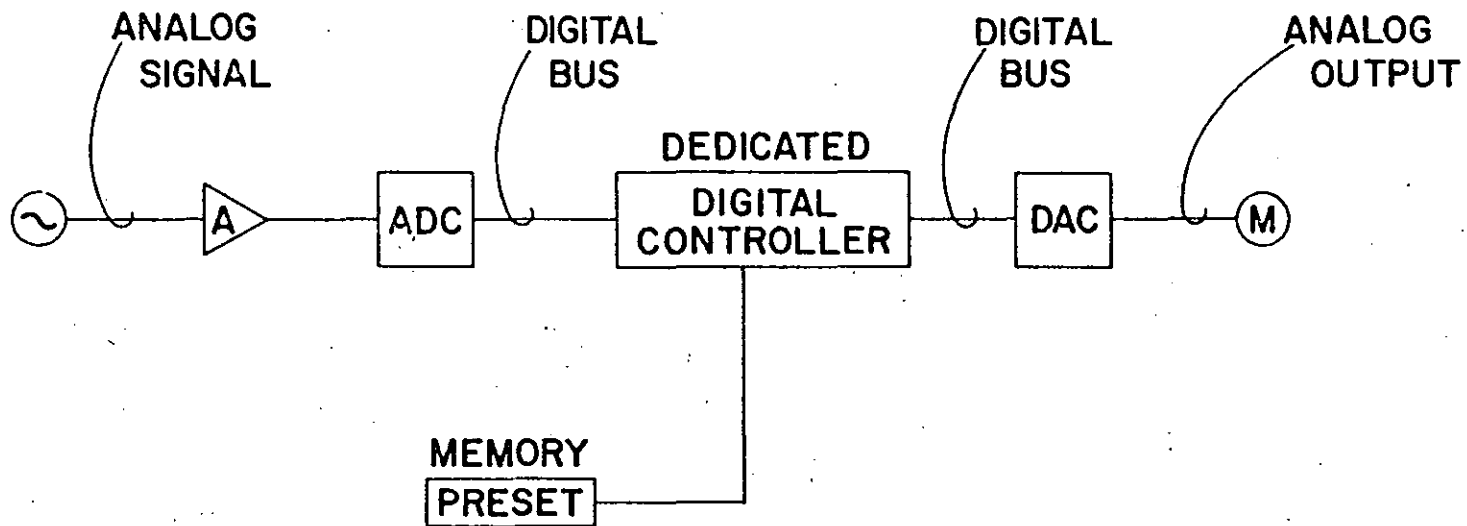


FIG. 11



PROCESS CONTROL

DIGITAL, DEDICATED



PROGRAMMABLE CONTROLLER

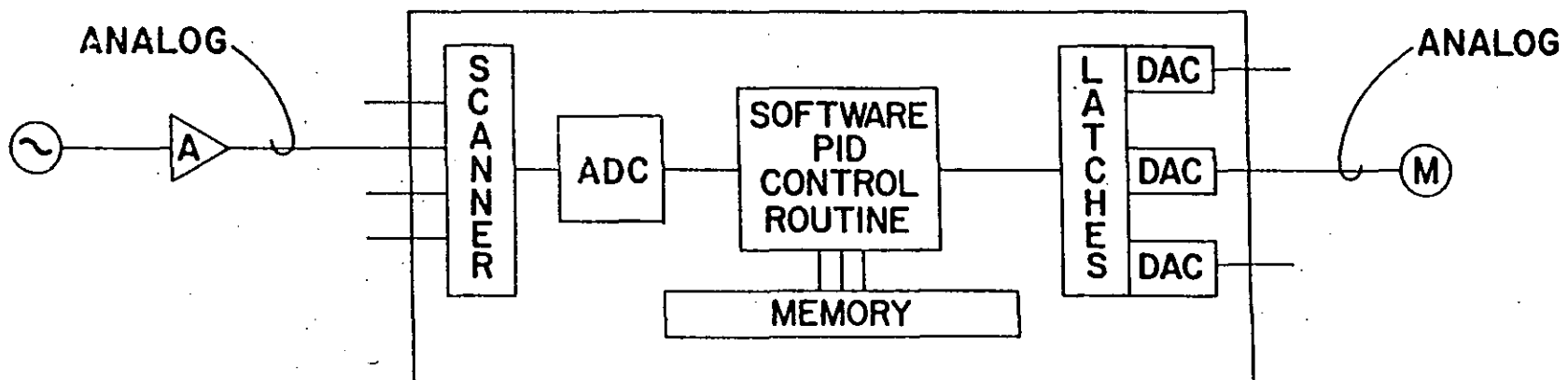
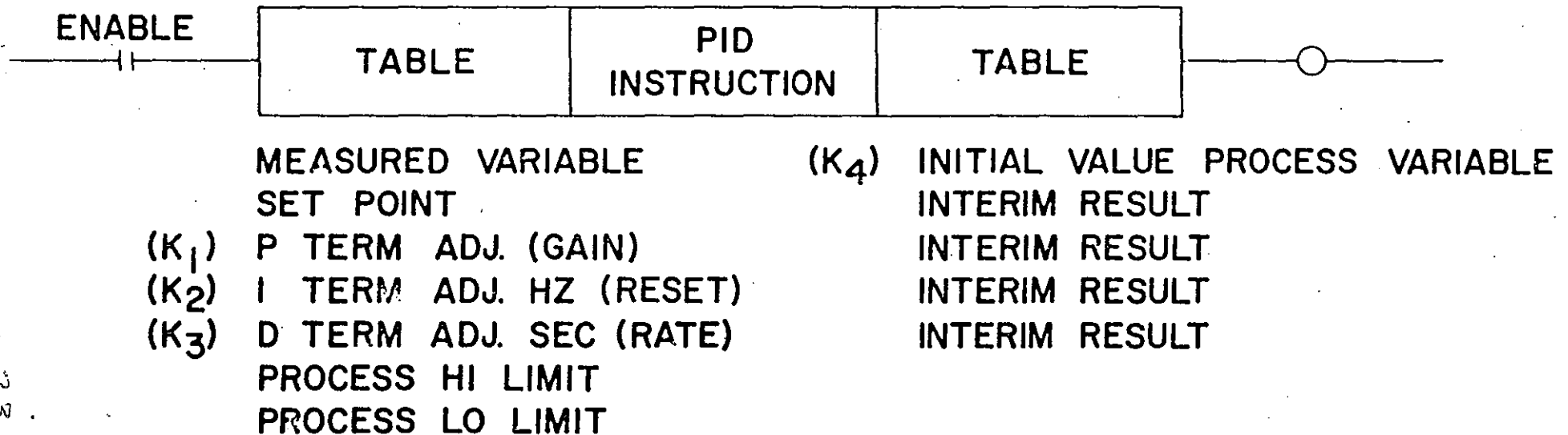


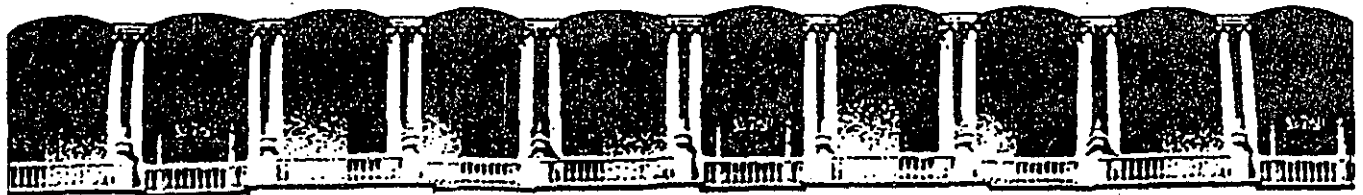
FIG. 31

PID LOOP



$$P = K_1 e + K_2 \int_0^t e dt + K_3 de/dt + K_4$$

PID i d#, a_iADR, a_oADR, STPT, LABEL, GAIN, RATE, RESET, INITIAL, POLARITY



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

INSTRUMENTO ELECTRONICA DE PROCESOS INDUSTRIALES

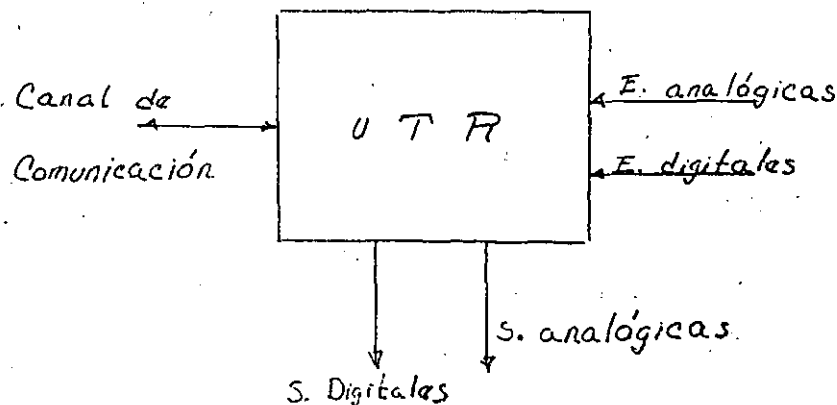
UNIDADES TERMINALES REMOTAS

AUTOR: ING. RODRIGO BERNAL SEPULVEDA

UNIDADES TERMINALES REMOTAS

DESCRIPCION

Las unidades Terminales Remotas (UTR's) son equipos electrónicos fabricados con tecnología digital, que en la mayoría de los casos se apoya en el uso de los microprocesadores; fueron pensadas, diseñadas y construidas para aplicaciones de adquisición de datos y control en las que la estación maestra se encuentra distante de los puntos de medición y control, desempeñando el papel de interfaz entre la computadora y los sistemas de control e instrumentación de campo. Las UTR's cuentan con los elementos eléctricos y electrónicos necesarios para, por un lado, recibir las señales eléctricas provenientes de los instrumentos de medición o bien enviar señales de control a los elementos actuadores; y por el otro, recibir y enviar mensajes a la computadora de la estación maestra. En la siguiente figura se presenta un diagrama de bloques en el que la terminal remota se muestra como una caja negra que recibe y envía señales desde y hacia el campo, y que además cuenta con un canal de comunicación para su enlace con otros equipos.



FUNCIONES.

Para cumplir adecuadamente con su desempeño como interfaz entre la computadora de la estación maestra y los instrumentos de campo, las UTR's realizan las siguientes funciones:

- Adquisición de señales de campo, analógicas y digitales, provenientes de los instrumentos de campo.
- Almacenamiento de la información obtenida y actualización de su base de datos.
- Ejecución de acciones de control a través de señales de salida cuando la maestra lo ordene.
- Envío de señales a equipos de señalización, como indicadores luminosos, registradoras analógicas, etc., por orden de la computadora de la estación maestra.
- Detección de cambios, y en algunos casos registro de eventos con hora de ocurrencia.
- Ejecución de programas de aplicación especiales que se encuentran almacenados en memoria no volátil.
- Intercambio de información con la estación maestra mediante la recepción y envío de comandos y respuestas de acuerdo con un protocolo preestablecido, y en el que las UTR's casi siempre actúan como esclavas de la maestra.

Con estas funciones se observa que, en esencia, la razón de ser de las UTR's se fundamenta en comunicar las condiciones de los elementos de un sistema a la estación maestra, y en realizar acciones de control sobre los dispositivos que lo regulan cuando la maestra se lo indique.

SEÑALES DE CAMPO MANEJADAS POR LAS UTR's

En la mayoría de los procesos o sistemas que se desean supervisar o controlar, se cuenta con elementos de instrumentación y control que generan o aceptan señales eléctricas acordes con los valores de las variables físicas que se desean conocer o manejar; estas señales eléctricas normalmente corresponden a uno de los siguientes tipos:

- Analógicas (entrada o salida): Señales de voltaje o corriente dentro de los rangos de -10 a 10 V, 0 a 10 V, 0 a -10 V, 0 a 20 mA o 4 a 20 mA respectivamente.
- Digitales de entrada: Señales de voltaje que representan el estado de contactos, relevadores, interruptores o alarmas del sistema, y que normalmente se energizan con $+24$ y 48 VCD, o bien con 120 VCA.
- Digitales de salida: Señales de voltaje que se emplean para controlar relevadores, contactores o motores; estas señales se generan desde las UTR's a través de transistores de potencia o relevadores que se insertan en los circuitos de alimentación de los elementos que se desean comandar.

CANAL DE COMUNICACION

Es el medio a través del cual se enlazan las UTR's con la computadora de la estación central y que debe ser cuidadosamente seleccionado de acuerdo a las condiciones físicas y geográficas que prevalezcan entre ambos equipos. Los canales de comunicación comunmente utilizados son: línea telefónica, portadora en línea de potencia, radio (VHF o UHF) y microondas. Generalmente en el diseño de las UTR's se utiliza el estandar RS-232 para permitir el manejo de modems, los que a su vez son la interfaz con el canal de comunicación empleado.

El protocolo de comunicaciones a emplear se define en base a las características del equipo y de la cantidad de información que se

deba transmitir. Las características de un protocolo específico o la capacidad para emular protocolos múltiples e implementar funciones futuras puede ser un elemento significativo para establecer la arquitectura interna de la UTR.

ALIMENTACION PRIMARIA

Los niveles de voltaje utilizados comunmente para alimentar a una UTR son: 24, 48, 125 o 250 VCD. Las baterias que suministran estos voltajes deben ser flotadas, de tal manera que una falla a tierra no cause daños al equipo o provoque operaciones incorrectas. Es común emplear las baterías para mojar los contactos empleados en la señalización digital y alimentar los dispositivos que son manejados por los contactos de salida digital, lo que permite que estas interfaces presenten un buen aislamiento a tierra.

Algunas UTR's pueden ser alimentadas con 120 o 240 VCA, en estos casos normalmente se tiene una batería de respaldo que alimenta a una fuente interna para mantener la operación en caso de falla de la línea de corriente alterna.

INTERFAZ HOMBRE-MAQUINA.

Es importante que las UTR's cuenten con alguna señalización que permita al operador del sistema conocer su estado y operación, de tal manera que al dar mantenimiento al equipo se puedan detectar fácilmente condiciones de falla o de buen funcionamiento del mismo. Con esta finalidad, normalmente se emplean indicadores luminosos (leds) a nivel local y banderas en los mensajes de respuesta para el caso remoto. Por otra parte es recomendable contar con un interruptor para la deshabilitación de las salidas de control para no generar, durante el mantenimiento, disparos o cambios no deseados en la evolución del proceso. Algunas UTR's cuentan con rutinas o programas de diagnóstico, así como con puntos de prueba y ajuste visibles y de fácil acceso.

GABINETE.

En función de la naturaleza de las aplicaciones de las UTR's, éstas normalmente se instalan dentro de gabinetes que las protegen de ambientes que pudieran dañarlas, pudiendo emplearse para su construcción normas que varían desde la Nema 12, que se aplica para gabinetes que serán instalados en interiores, hasta la Nema 7x que se emplea para gabinetes que estarán expuestos a la intemperie y que deben ser contruidos a prueba de explosiones:

ARQUITECTURA E INTERFACES

En la generalidad de los casos, la arquitectura de las unidades terminales remotas se basa en módulos funcionales, ya sea que estén distribuidos en una, dos o más tarjetas, que realizan funciones complementarias en el proceso de adquirir y reportar el estado de las variables de campo; entre estos módulos destacan:

- Módulo de Procesamiento.
- Módulo de Comunicaciones.
- Módulo de Conversión Analógica-Digital.
- Módulos de Entrada Analógica.
- Módulos de Salida Analógica.
- Módulos de Entradas Binarias.
- Módulos de Salidas Binarias o Digitales.
- Módulo de vigilancia.

En el caso en el que los módulos estén distribuidos en varias tarjetas, éstas se comunican entre sí a través de buses de dedicados, consistentes en una placa de circuito impreso provista con conectores que facilitan la inserción y extracción de las tarjetas para facilitar las operaciones de mantenimiento y remplazo. Como accesorios suelen incluir tiras o tablillas de terminales tipo tornillo o termipoint para la conexión de los cables de campo.

Módulo de Procesamiento.

Es el encargado de decodificar y verificar que se ejecuten los comandos provenientes de la estación maestra, así como de controlar el funcionamiento global de la UTR. Normalmente se encuentra constituido por un microprocesador, la memoria del programa y las interfases de conexión con los otros módulos. Algunas de las funciones más sobresalientes de este módulo son:

- Recibe la información del módulo de comunicaciones cuando esta le indica que se ha recibido un mensaje desde la estación maestra.
- Inicia las adquisiciones binaria y analógica solicitando la información necesaria a los módulos correspondientes. Esta función puede ser activada por comando o en forma automática después de una secuencia de encendido, requiriéndose en este último caso que la UTR tenga grabada en la memoria no volátil la configuración que determina de las direcciones de los módulos de entrada.
- Solicitar a los módulos de salidas de control el accionamiento de mandos, con o sin verificación antes de operar.
- Actualizar las salidas digitales y analógicas asignadas a equipos de señalización.
- Preparar los mensajes de respuesta que se enviarán a la estación maestra.
- Realizar procedimientos de supervisión y diagnóstico del sistema.

En los casos en los que estos módulos están integrados en una tarjeta dedicada, ésta normalmente se encuentra ubicada en cualquiera de los extremos del gabinete, rack o estructura que da soporte, forma y rigidez mecánica a la UTR.

Módulo de comunicaciones:

Es el elemento de la UTR que realiza la función de interfaz entre la estación maestra y el módulo de procesamiento. Las principales funciones que desempeñadas por este módulo son:

- Monitoreo continuo del canal serie.
- Recepción y validación de la integridad de los mensajes y comandos enviados por la estación maestra, cuando estos son dirigidos a la UTR a la que pertenece.
- Procesar el mensaje y notificar al módulo de Procesamiento que se ha recibido un mensaje desde la maestra para que éste lo atienda.
- Esperar y recibir el mensaje de respuesta del módulo de procesamiento, añadirle el encabezado y el código de seguridad de acuerdo al protocolo de comunicación empleado; enviar el mensaje a la estación maestra.
- En los casos en los que el canal de comunicaciones incluya equipos de radio, el módulo de comunicaciones es el encargado del manejo del PTT (PUSH TO TALK) del radio con la temporización adecuada.

En las aplicaciones en las que se requiere el empleo de modems, estos pueden estar o no incluidos en el módulo de comunicaciones, pero en cualquier caso, el módulo de comunicaciones es el encargado de su manejo. Opcionalmente suele ofrecerse la posibilidad de conectarse a módulos auxiliares que les permiten adaptarse a canales de comunicación con diversas características, normas o protocolos.

En aquellos equipos en los que el módulo de comunicaciones se encuentra ensamblado en una tarjeta dedicada, ésta suele instalarse en la ranura (slot) que está situada inmediatamente después de la del procesador.

Módulo de Conversión Analógica-Digital.

Es el encargado de monitorear y solicitar a los módulos de entrada analógica la información proveniente de campo, realizar la conversión analógica digital, procesar esa información comparandola contra límites de validación preestablecidos y finalmente reportar los datos obtenidos al módulo de procesamiento. En algunos casos este módulo puede incluir un microprocesador como parte de su hardware, en estos casos el módulo actúa como

esclavo del módulo procesamiento transfiriéndole la información pertinente únicamente bajo petición de éste.

Módulos de Entrada Analógica.

Son los módulos que reciben las señales eléctricas provenientes de los elementos de medición y que corresponden a funciones continuas en el tiempo. A continuación se presenta una lista en la que se señalan las características más comunes a estos módulos:

- Ocho canales de entrada en modo diferencial o 16 en modo simple. En algunos casos se ofrece la posibilidad de seleccionar un modo u otro a través de puentes configurables.
- Manejo de voltajes de entrada dentro de los rangos de -10 a 10 VCD, -10 a 0 VCD y 0 a 10 VCD, así como de corrientes dentro de los rangos de 0 a 20 mA y 4 a 20 mA.
- Impedancias de entrada: para entradas de voltaje de alrededor de 1 Gohm, en tanto que para entradas de corriente oscila alrededor de los 250 ohms.
- Filtros de entrada de un o dos polos con frecuencias típicas de corte que varían entre los 0.3 y los 30 Hz.

Para tarjetas con entradas de estado sólido comúnmente se tiene capacidad de manejar voltajes de modo común de hasta $\pm 5V$ sin alterar la operación en modo diferencial, y hasta de $\pm 20V$ sin que el módulo sufra daños. Para este tipo de módulos normalmente se presentan factores de rechazo de modo común de 80 dB. Opcionalmente pueden contener o conectarse a submódulos de acondicionamiento para lograr un aislamiento eléctrico con respecto a los equipos de campo, mejorando el índice de rechazo de modo común y protegiendo a la UTR de fallas en las líneas de señal de campo; o bien para la adquisición de señales especiales como lo son las provenientes de termopares, RTD's, etc.

Módulos de Salida Analógica

Son los módulos, normalmente accésados por el módulo de

Procesamiento, a través de los cuales la UTR puede enviar señales analógicas a controladores o equipos de señalización local, para la modificación de los valores de referencia (Set Point) o de la posición de plumillas o agujas. Las características más comunes a estos módulos son:

- 4 u 8 canales de salida con señales en voltaje o corriente dentro de los rangos de -10 a 10 VCD, 0 a +/- 10 VCD, 0 a 20 mA y 4 a 20 mA, respectivamente.
- Resolución de la conversión digital-analógica entre 8 y 12 bits.
- Impedancia de carga máxima para las salidas de corriente de alrededor de 700 ohms.

Módulos de Entrada Digital

Son módulos normalmente controlados por el módulo de procesamiento, a través de los cuales la UTR adquiere los estados (valores binarios) de los elementos de campo. Las características más comunes en este tipo de módulos son:

- 16 entradas optoaisladas con filtro digital opcional para eliminación de rebotes.
- Protección contra polarización inversa.
- Voltajes de entrada típicos de 24, 48 y 125 VCD.
- Corriente de máxima por entrada de hasta 15 mA.

A través de estos módulos la UTR puede recibir señales de generadores de pulso y realizar tareas de conteo y totalizadores mediante programas específicos en el módulo de procesamiento.

Módulos de Salida Digital

Son los elementos a través de los cuales las UTR's pueden enviar señales de voltaje a actuadores, motores, etc., para así modificar la evolución del proceso que se desea controlar y ajustarlo a los lineamientos requeridos. Su función básica es actuar como interruptores de paso en la línea de alimentación de los equipos

a controlar. A continuación se presentan algunas de las características más sobresalientes de este tipo de módulos:

- 16 salidas a colector abierto o relevador.
- Corrientes de paso máximas de 0.5 y 2 A, y manejo de voltajes de hasta 90 y 500 dependiendo del tipo de salida (colector o relevador).
- Para las salidas tipo relevador se emplean relevadores de alta calidad con vida útil promedio de hasta 10 millones de operaciones.

Módulos de Vigilancia.

Son módulos diseñados para sensar valores de parámetros básicos para el correcto funcionamiento del resto de los módulos que componen a la UTR, como lo son los voltajes de alimentación tanto de corriente directa como alterna. Normalmente son accedidos por el módulo de procesamiento al que le entregan información del estado de las variables que monitorea. En algunos casos este tipo de módulos pueden llegar a interrumpir al módulo de procesamiento para obligarlo a que ejecute rutinas de emergencia, como en el caso en el que es inminente la pérdida de la alimentación principal. Para facilitar actividades de supervisión y mantenimiento suelen presentar una interfaz hombre-máquina basada en indicadores luminosos.

PROGRAMACION

En la mayoría de los casos las UTR's suelen presentar una programación jerárquica en la que los programas del módulo de Procesamiento coordinan la ejecución de los programas de los otros módulos, controlando el intercambio de información y datos dentro del sistema. Algunas de las principales tareas ejecutadas por los programas del módulo de procesamiento son:

- Inicialización: el módulo de procesamiento pone en condiciones iniciales a todas sus variables (registros en memoria, Stack pointer) y entra en un ciclo de ejecución

continúa en espera de comandos provenientes de la estación maestra; simultáneamente ordena que se ejecuten los programas de inicialización en los módulos restantes.

- Atención y ejecución de comandos: recibe desde el módulo de comunicaciones los datos enviados por la maestra, los analiza y valida, coordina a los módulos restantes para que el comando se ejecute; finalmente elabora el mensaje de respuesta y se lo pasa al módulo de comunicaciones para que lo formatee y lo transmita a la estación maestra.
- Muestreo continuo: Esta tarea puede ser activada por comando, o bien después de una secuencia de encendido cuando la UTR así ha sido programada. El objetivo de esta tarea es el de coordinar a los módulos de entrada para que periódicamente le presenten los datos que reflejan el estado de las señales de campo, procesándolos y almacenándolos posteriormente en sus estructuras de datos para así mantener lo más actualizada posible la información que deberá reportar a la maestra cuando ésta se lo solicite.
- Diagnóstico continuo: El módulo de procesamiento corre periódicamente rutinas que permiten conocer el estado funcional de la UTR, tal y como lo es el estado de la información almacenada en memoria y la correcta comunicación con los módulos restantes verificando simultáneamente su correcta operación. Almacena en forma codificada los errores detectados y los notifica a la maestra a través de los mensajes de respuesta.

Para el módulo de comunicación tenemos:

- Inicialización: tarea activada desde el módulo de procesamiento, ya sea por comando o por hardware. Tiene básicamente el mismo objetivo que la rutina correspondiente del módulo de procesamiento.
- Monitoreo continuo del canal de comunicaciones: Esta tarea se encarga de vigilar continuamente el canal de comunicación en espera de algún mensaje dirigido a la UTR. Una vez que el mensaje se presenta, lo recibe, valida, formatea y comunica al módulo de procesamiento.
- Envío de mensajes de respuesta: recibe los datos que el módulo de procesamiento desea enviar a la maestra, los for-

matea y los envía a través del canal de comunicación.

Para el módulo de conversiones suelen presentarse las siguientes tareas:

- Inicialización.
- Atención de comandos provenientes del módulo de procesamiento: recibe los comandos y coordina los elementos a su disposición para ejecutarlos, generando (o no) una respuesta que posteriormente envía al módulo de procesamiento.
- Muestreo continuo de entradas analógicas; similar al muestreo continuo realizado por el módulo maestro.

En UTR's en las que los módulos de procesamiento, comunicaciones y conversión A/D se distribuyen en diferentes tarjetas, contando cada uno de ellos un microprocesador como parte de su circuitería, se tiene, o se dice, que el sistema operativo se encuentra distribuido, con la característica de que tareas como la de diagnóstico, muestreo e inicialización se ejecutan en forma complementaria en cada uno de los módulos obteniéndose como resultando en un esquema de procesamiento de información más eficiente.

APLICACIONES DE LAS UTR's

Por sus características funcionales y operativas, las UTR's pueden encontrar un amplio campo de aplicación en sistemas de telemetría y telecontrol, principalmente en aquellos de dinámica lenta, pues cabe mencionar que no cuentan con algoritmos de control y que el lazo para controlar un proceso se cierra a través de la computadora de la estación maestra; sin embargo, con el empleo de controladores lógicos programables (PLC's) sus aplicaciones pueden extenderse a procesos de dinámica rápida, en donde los algoritmos de control local se ejecutan en los PLC's y las UTR's operan como el medio de enlace para la ejecución de control a nivel global supervisorio desde la estación maestra.

Para su aplicación, las UTR's pueden conectarse a la maestra en

múltiples configuraciones, como lo son:

- Estrella: se tiende un canal de comunicación entre cada una de las UTR's y la maestra.
- Multipunto: varias UTR's se conectan al mismo canal de comunicación; en éste caso se requiere que cada UTR tenga asignado un código de identificación que le permita identificar cuando un mensaje es para ella.
- Una combinación de las dos anteriores.

13

DIAGRAMAS

14

2. Un canal HCMOS con las siguientes características:

- * "Half duplex".
- * 1200 bauds.
- * 7 bits de datos.
- * No paridad.
- * 1 bit de arranque.
- * 1 bit de paro.

3. Enlace a bus a través de memorias tipo "FIFO" de 512 bytes de profundidad.

4. Procesador 80C39, 128 bytes de RAM, hasta 4K bytes de ROM

5. Registro de configuración de propósito general de 8 bits, Dip-switch para asignar parametros como velocidad de operación, bits de paro, dirección de la tarjeta, etc...

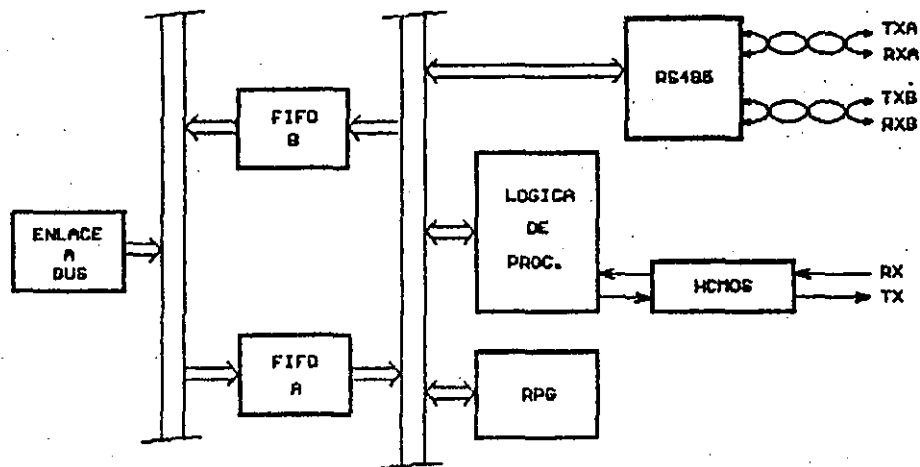


FIG 2.1 DIAGRAMA DE BLOQUES

Módulo de comunicaciones.

Módulo de Procesamiento

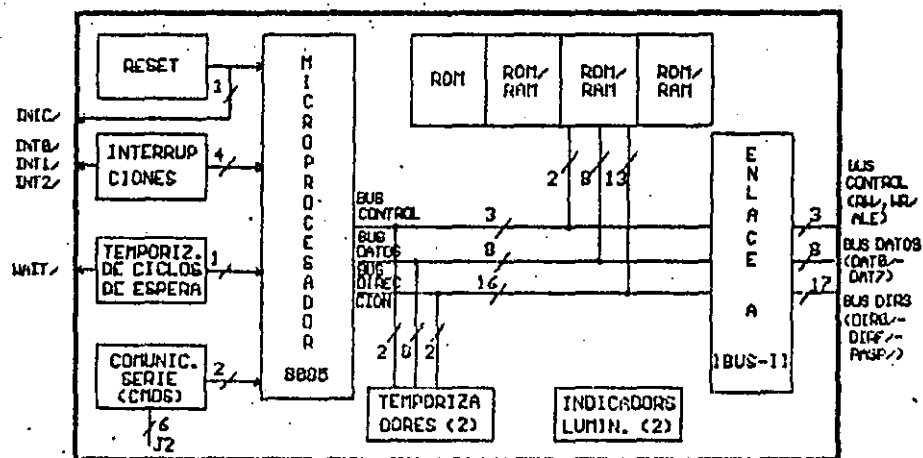


Fig. 3.1 Diagrama a bloques.

El diagrama de bloques de estas tarjetas se muestra a continuación, se observa un DAC y un comparador enmarcado con línea punteada. Estos elementos forman parte de un convertidor A/D de aproximaciones sucesivas distribuido, localizándose el registro de aproximaciones sucesivas (RAS) en la tarjeta controladora de conversión tipo MAC-710.

El objeto de lo anterior es efectuar el intercambio de información de la conversión A/D, vía IBUS-IIA, en forma digital exclusivamente, con la consiguiente mejora en la susceptibilidad electromagnética del sistema.

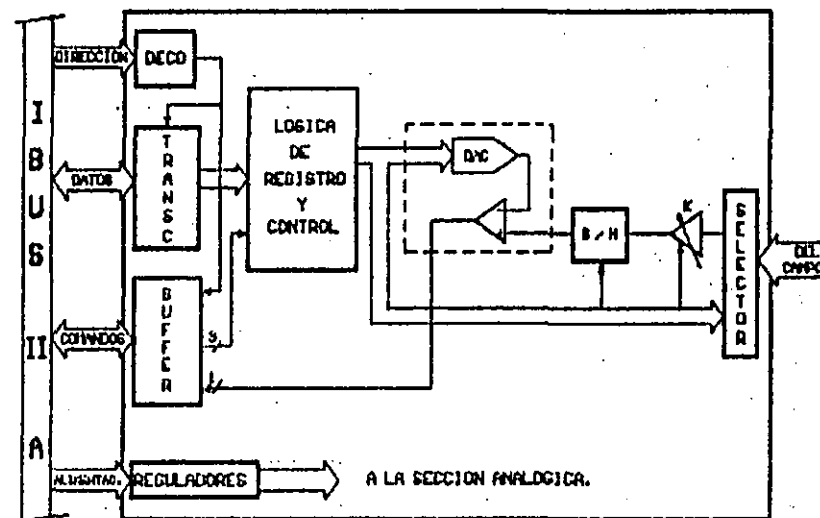


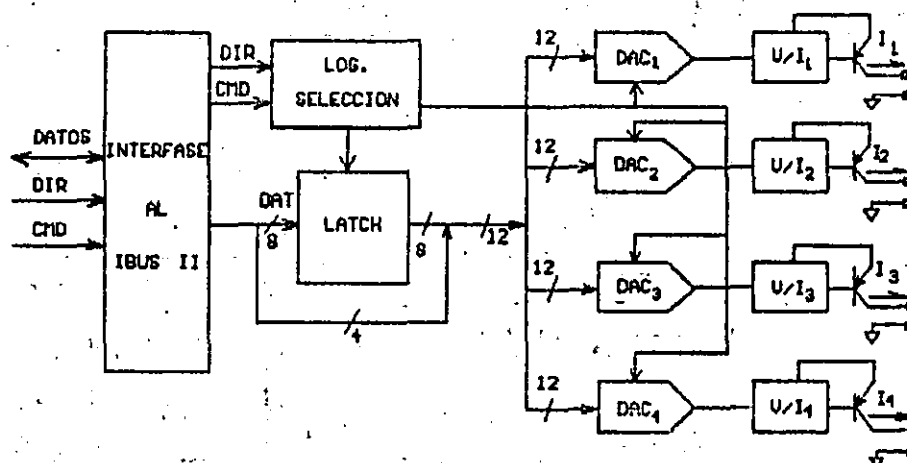
Fig. 2.1 Diagrama a bloques MAC-711/00/01.

Módulo de Ent. analógicas.

3 DESCRIPCION FUNCIONAL

3.1 DIAGRAMA DE BLOQUES

Para poder entender el funcionamiento de la tarjeta en una forma mas sencilla se provee el siguiente diagrama de bloques:



Módulo de Sal. analógicas.

Fig. 3.1.1 Diagrama a bloques.

Como se puede apreciar, la tarjeta se compone de cuatro bloques fundamentales:

- Enlace a IBUS-II.
- Lógica de selección.
- Convertidores digital-analógico.
- Convertidores de Voltaje-Corriente.

3. DESCRIPCION FUNCIONAL

3.1. MODULOS INTERNOS DE LA TARJETA

Para poder entender el funcionamiento de la tarjeta en una forma mas detallada, se provee el diagrama de bloques siguiente:

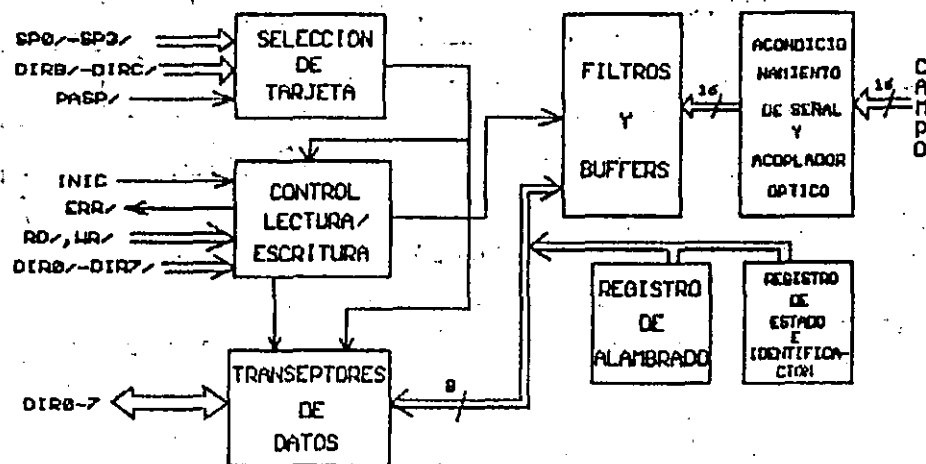


FIGURA 3.1.1

Módulos de E. Digital

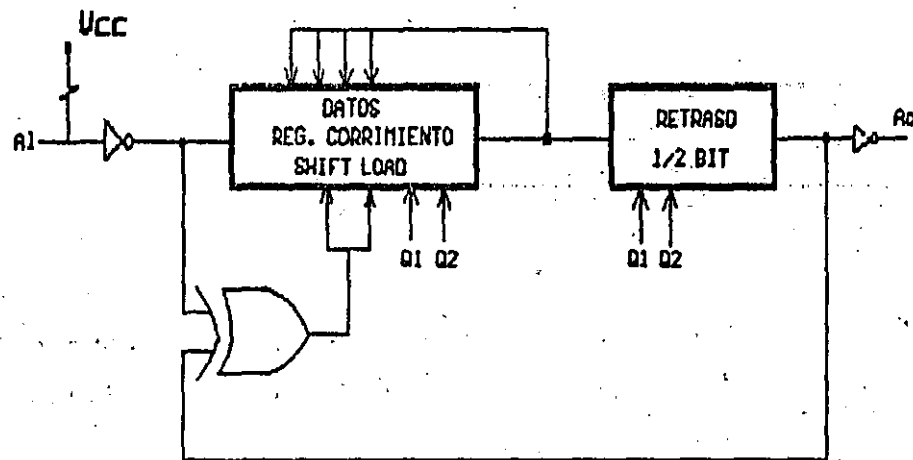


Fig. 3.1.2

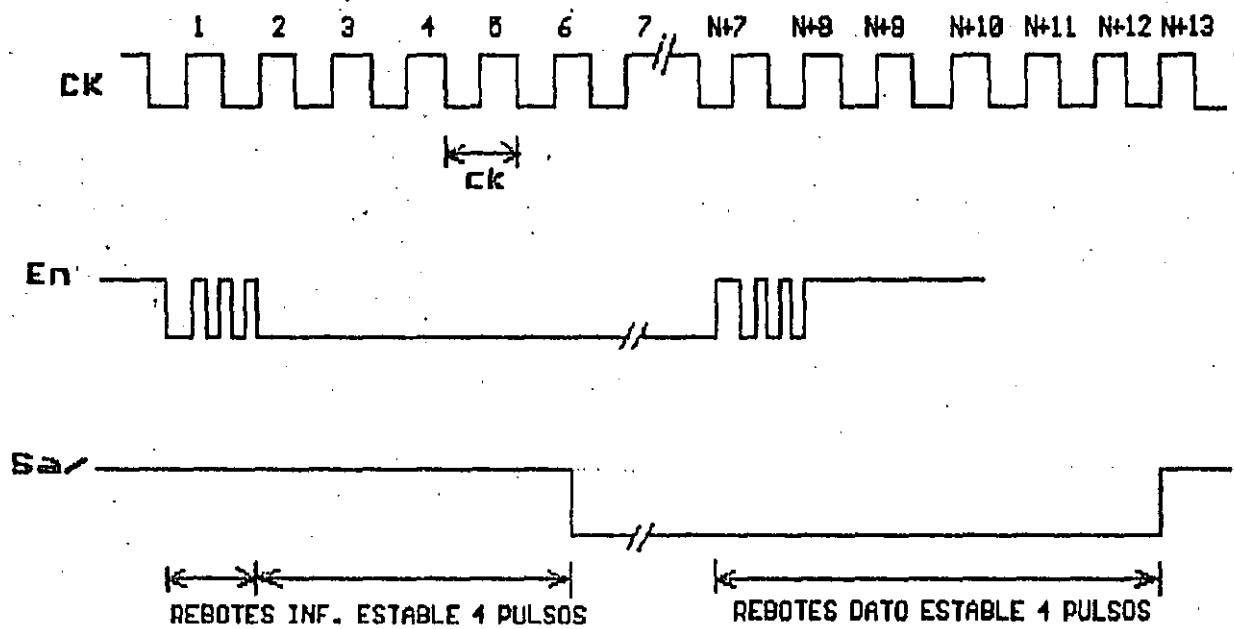


Fig. 3.1.3

La señal de reloj se logra con un oscilador interno y por medio de un capacitor externo que cumple con la siguiente relación :

$$F = \frac{0.375 V_{cc}}{C_{ext}}$$

Donde:

F es la frecuencia en Megahertz.

V_{cc} en volts.

C_{ext} en pf.

ACONDICIONAMIENTO DE ENTRADAS Y ACOPLAMIENTO OPTICO.

La tarjeta MAC-410 consta de 16 entradas digitales optoacopladas, las cuales convierten un voltaje CD a niveles digitales que pueden ser leídos por el IBUS-II. En la figura 3.1.4 se muestra un circuito típico de una de las entradas.

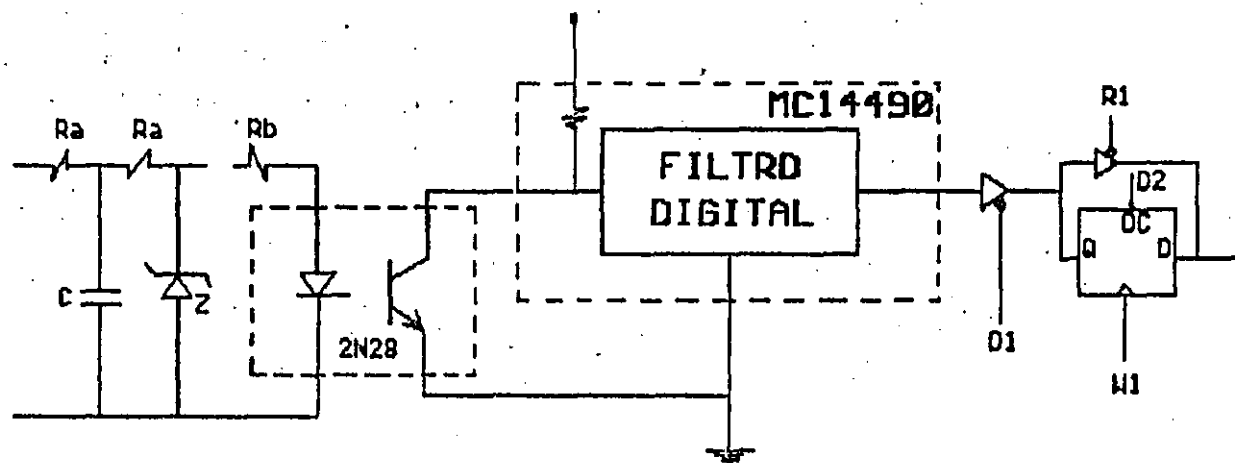


FIGURA 3.1.4

La primera etapa consiste en el acoplamiento de la señal para obtener una corriente proporcional al voltaje de campo V_c a la entrada del optoacoplador. En esta etapa existen también elementos que filtrarán a la señal de entrada y protegerán a través de un diodo zener, a la etapa de entrada contra sobrevoltajes y voltajes inversos.

3 DESCRIPCION FUNCIONAL

3.1 MODULOS INTERNOS DE LA TARJETA

Para poder entender el funcionamiento de la tarjeta en una forma mas sencilla se provee el siguiente diagrama de bloques :

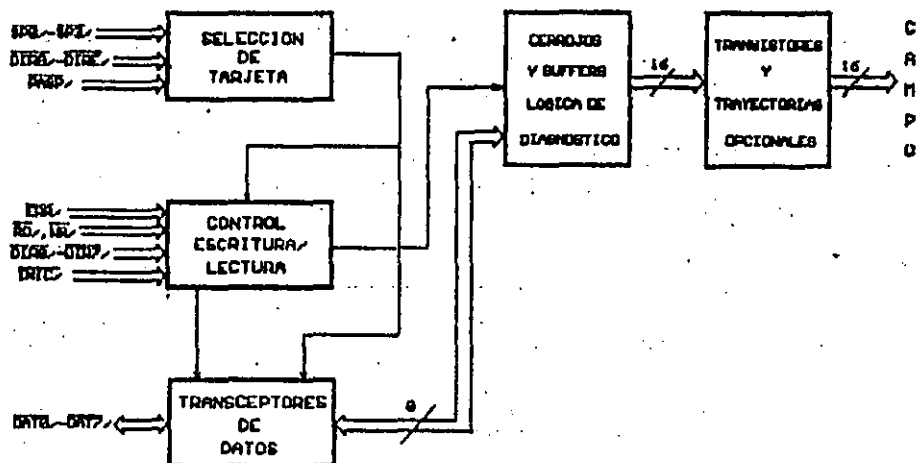


Fig. 3.1 Diagrama a bloques.

3 DESCRIPCION FUNCIONAL.

3.1 DIAGRAMA DE BLOQUES.

En la figura 3.1.1 se muestra un diagrama simplificado de la arquitectura de la tarjeta:

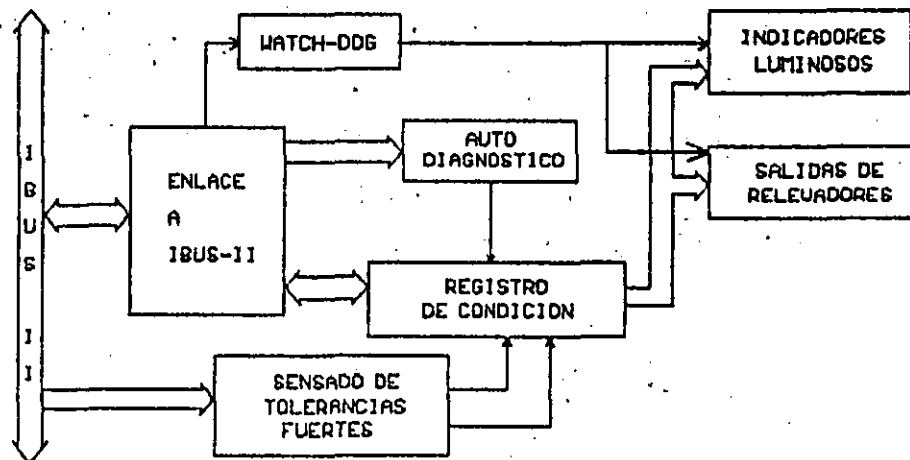
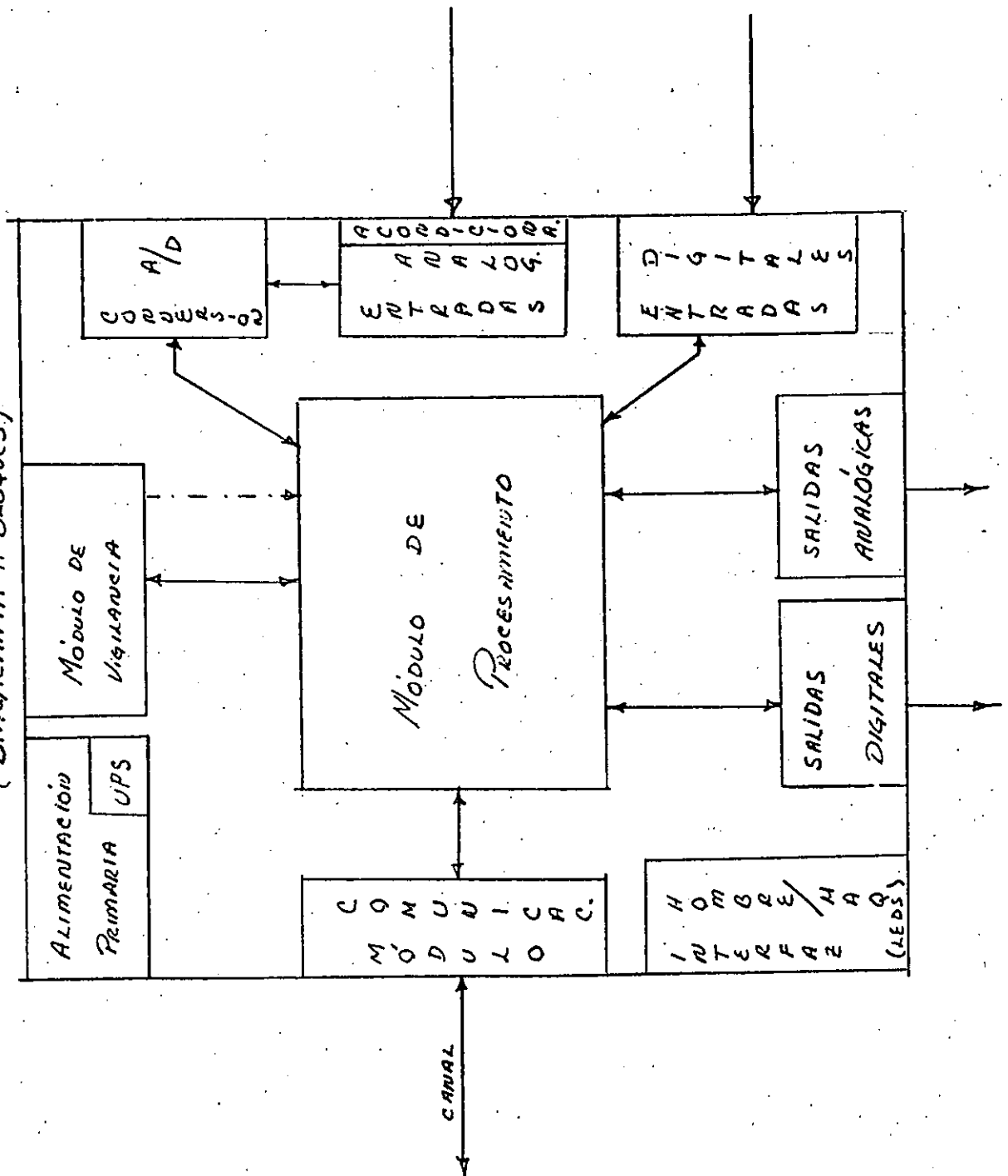
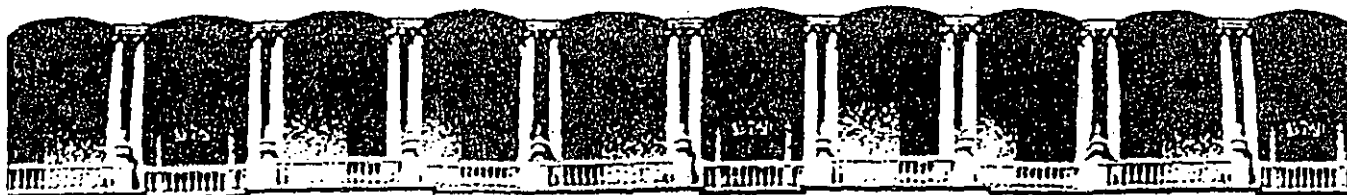


Fig. 3.1.1. Diagrama a bloques.

U T R

(DIAGRAMA A BLOQUES)





**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

INSTRUMENTACION ELECTRONICA DE PROCESOS INDUSTRIALES

SISITEMAS DE CONTROL DISTRIBUIDO

ING. LUIS ROBERTO VEGA GONZALEZ

SISTEMAS DE CONTROL DISTRIBUIDO

7.1 INTRODUCCION.

Hasta fines de los años 50's, los controles neumáticos se usaban en la mayoría de las plantas. Posteriormente se introdujeron los sistemas de control basados en electrónica analógica, los cuales ganaron terreno para, posteriormente, a mediados de los sesentas, para dar paso a los controladores con electrónica de estado sólido, llamada de arquitectura dividida.

Los últimos 20 años han permitido el mejoramiento de los sistemas de control analógico y el desarrollo de la computadora digital como una herramienta.

Actualmente con el advenimiento del microprocesador, contamos con sistemas de control avanzados de tipo distribuido.

El hecho de implementar controles cada vez mejores y más avanzados, se basa en la necesidad de optimizar recursos. Especialmente en México, sabemos que vivimos en una economía sensitiva a los costos de energía. Adicionalmente, el manejo de la planta requiere maximizar la disponibilidad del equipo y la confiabilidad en la operación del control.

También existe la necesidad de reducir los costos de instalación del sistema a través de diseños que minimicen los costos de mano de obra en campo.

Los sistemas actuales deben ser flexibles, cualquier cambio debe requerir el mínimo de alambrados, y prácticamente muy poca programación.

Además, la comunicación debe ser simple y de bajo costo, entre los sistemas de la planta. Debido a que la misma base de datos se usa por más de un sistema, es posible tener entradas de proceso alambradas en un sistema y disponibles a otros sistemas.

7.1.1 ANTECEDENTES DE CONTROL DIGITAL DIRECTO (C.D.D.)

El C.D.D. se hizo necesario debido a que cada vez más el operador requería monitorear más variables de proceso que antes.

El monitoreo y almacenamiento de muchas variables de proceso, es ideal para ser realizado por medio de computadoras digitales.

A principios de los 60's, las primeras computadoras se instalaron en plantas de proceso. Algunos sistemas de control analógicos se retuvieron para realizar el control de ciertas secciones estratégicas del proceso. Esto se debía principalmente a que las computadoras de aquel entonces tenían memorias pequeñas y muy lentas, además de carecer de periféricos.

Por otra parte, la aplicación de los computadores al control, se hacía cada vez más obligada, pues se trataba de mejorar algunos problemas subsistentes en los sistemas de control analógicos-electrónicos, como los siguientes:

- 1.- Los ajustes tienden a perderse. Hay bastantes componentes que se requiere mantener bajo calibración.
- 2.- Prácticamente no existe autodiagnóstico de fallas.
- 3.- Existen algunas fallas que pueden modificar la posición del elemento final de control, sin que en el sistema se hayan tomado medidas de seguridad.
- 4.- La única forma de manejar relaciones no lineales (Por ejemplo PH) es a través de aproximaciones. Esto se dificulta aún más cuando el proceso es dinámico.
- 5.- La única forma de comunicación entre lazos de control, es a través de alambrado duro, y esto es muy caro.
- 6.- Muchas veces se requiere de dispositivos de indicación auxiliar, los cuales requieren una salida dedicada del sistema.
- 7.- El cambio de la estrategia de control requiere cambio de alambrado.

A fines de los 60's y/o principios de los 70's, se inició la implementa-

ción de CDD, usando un procesador central o minicomputadora. Para entonces ya existían algunos periféricos como los tubos de rayos catódicos (pantallas) conversacionales, que permitían acceso a las funciones de la computadora.

El C.D.D. resuelve muchos problemas asociados con los sistemas analógicos.

- La naturaleza discontinua de la computación digital, resuelve el problema de la pérdida de ajustes que ocurre en algunos circuitos operacionales.
- Se puede obtener una exactitud muy alta (digital) aún con funciones no lineales.
- Se pueden desplegar las variables de proceso en pantalla.
- Se cuentan con autodiagnósticos.

Inicialmente el CDD, sólo se aplicaba a unos cuantos lazos, la función primaria del computador, todavía era monitoreo del proceso. Posteriormente se aplicó a plantas enteras.

En este último caso se requería de un respaldo, ya que una falla del CPU, o de los equipos de entradas/salidas podría forzar el sistema a control manual.

Por otra parte, en los sistemas analógicos, una falla afecta solamente el lazo donde se encuentra el controlador, dado que los mismos tienen un procesamiento de señales continuo y no de tiempo compartido.

El respaldo en los sistemas CDD, puede ser un sistema analógico u otro computador, con alguna forma de transferencia automática.

Las figuras #1 y 2 , muestran algunos sistemas de control analógicos neumáticos y electrónicos en tableros convencionales.

La figura #3 , es ejemplo de un sistema CDD típico.

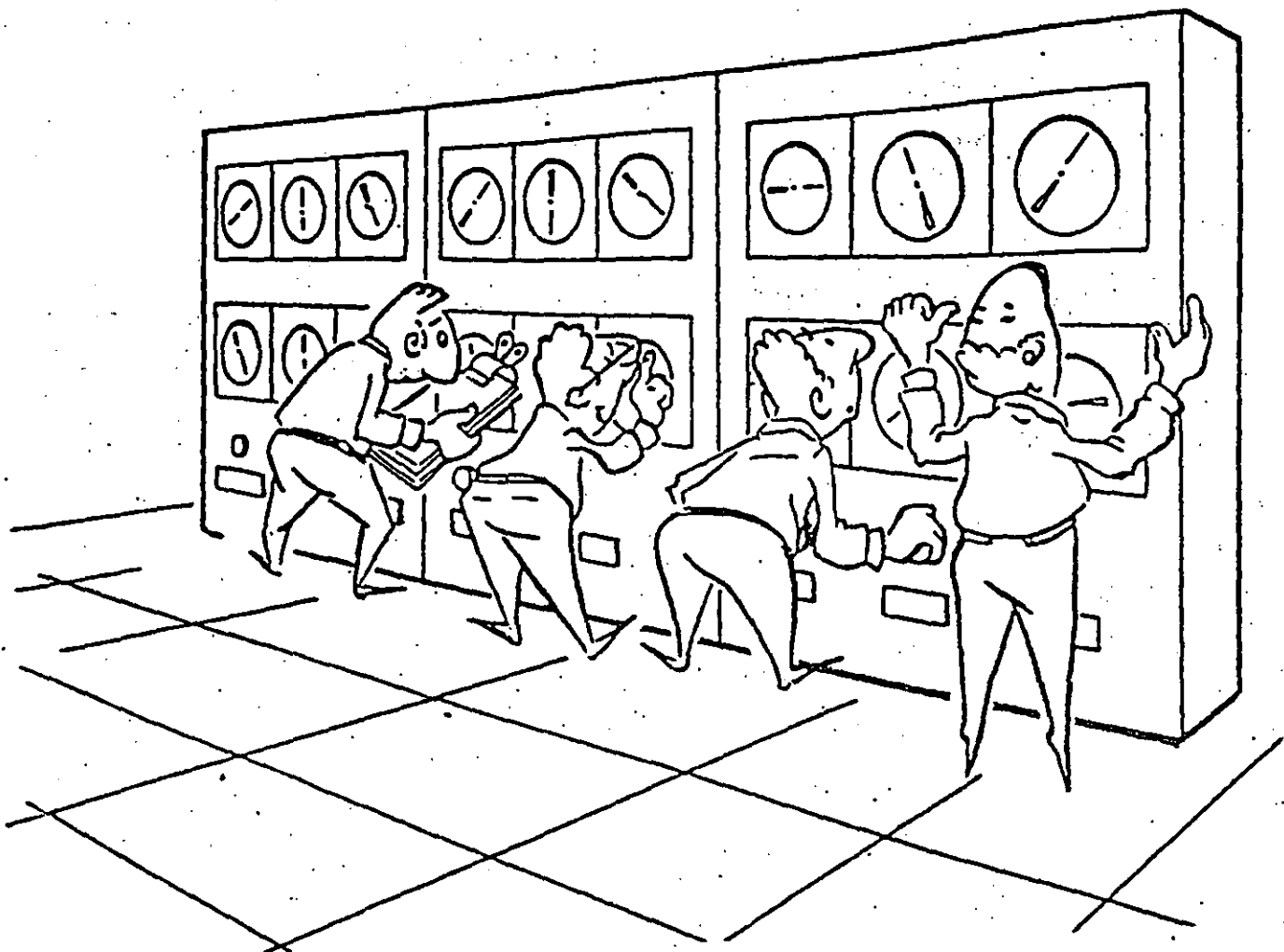


Fig. #1

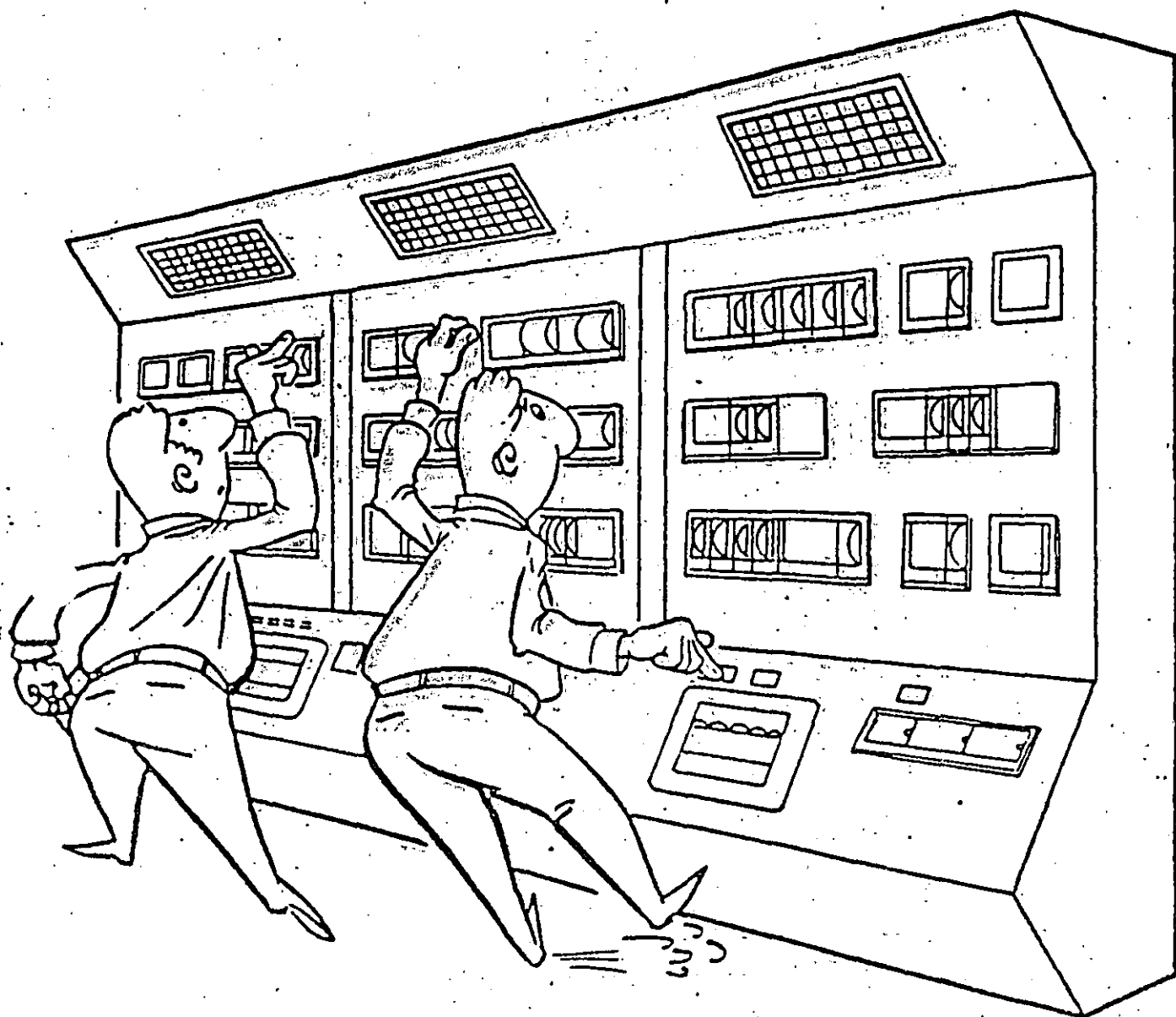


Fig. # 2

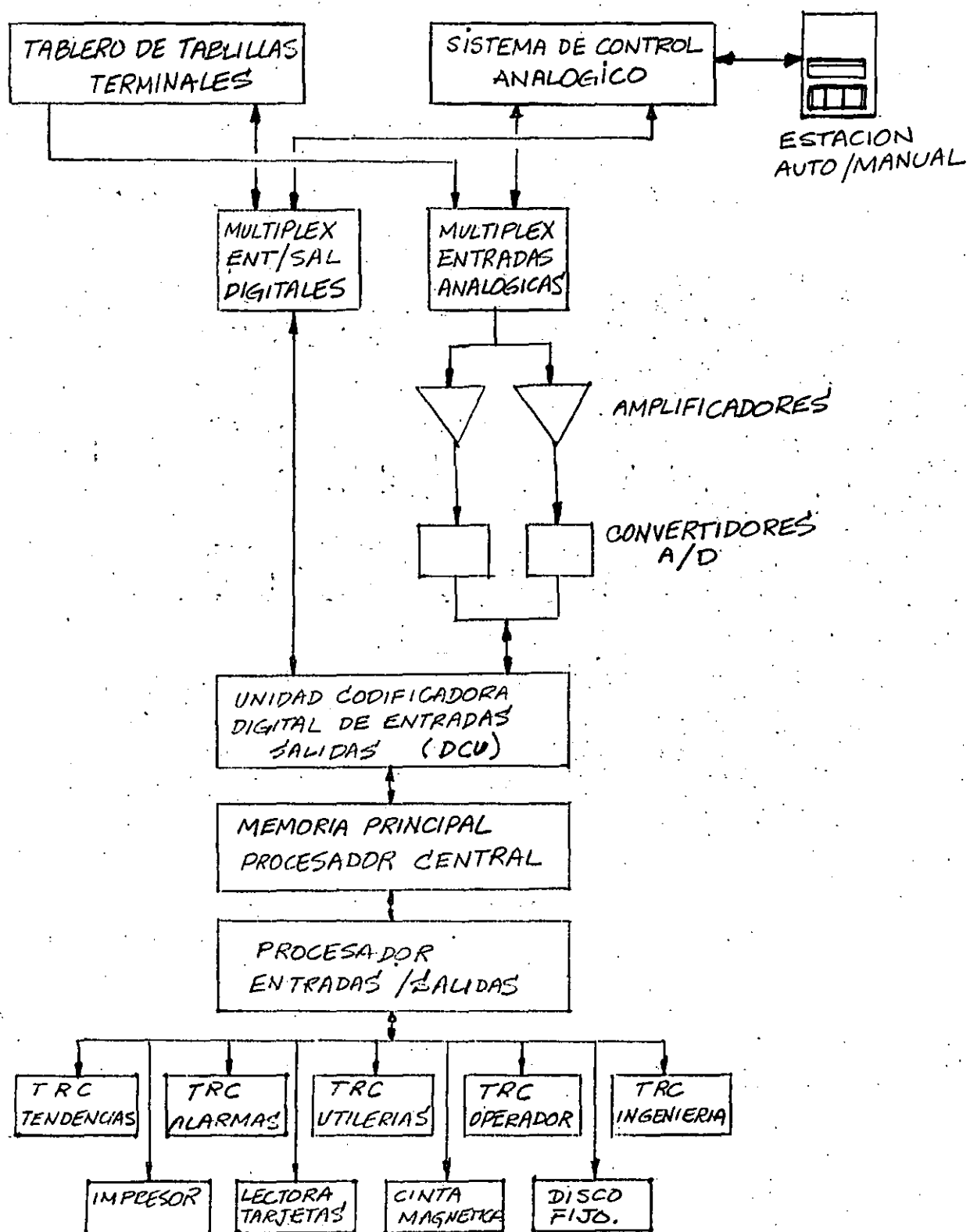


FIGURA 3

7.1.2 ALGUNOS INCONVENIENTES DEL CDD.

Los sistemas CDD funcionan en forma secuencial con un tiempo específico; sin embargo, la rutina de procesamiento normal, puede ser alterada en cualquier momento, por programas prioritarios, dando como resultados disturbios en la computación de control, debido a que si se inserta otro programa en la computación normal, existen retardos.

El Software de los primeros sistemas CDD con frecuencia era complejo y no se escribía en lenguajes de alto nivel. Los cambios en la estrategia de control, se hacían modificando o agregando programas. Los ingenieros de control de las plantas, generalmente no son programadores, lo cual dificultaba la operación.

Sistemas posteriores CDD ya permitían hacer cambios en línea, usando lenguajes de alto nivel como el Fortran.

Los sistemas CDD no tuvieron una gran aceptación, tal vez las siguientes sean razones principales:

- Una falla sencilla podía forzar el sistema total a manual
- Los programas prioritarios retrazaban las rutinas normales de procesamiento, incluyendo las funciones de control y actualización de pliegues.
- La complejidad del software incrementaba el tiempo de arranque, y muy difícil el realizar cambios.

El sistema de control Supervisor (SCS) es similar al CDD, con la diferencia que existen controladores o equipo analógico de tablero cuyos puntos de ajuste son calculados y provistos por la computadora. Este tipo de sistema tiene el inconveniente adicional del costo del computador, el equipo electrónico, y los problemas de alambrado.

A partir de este momento, aparentemente el desarrollo de los sistemas de control, sugería utilizar la capacidad de una computadora digital y la seguridad

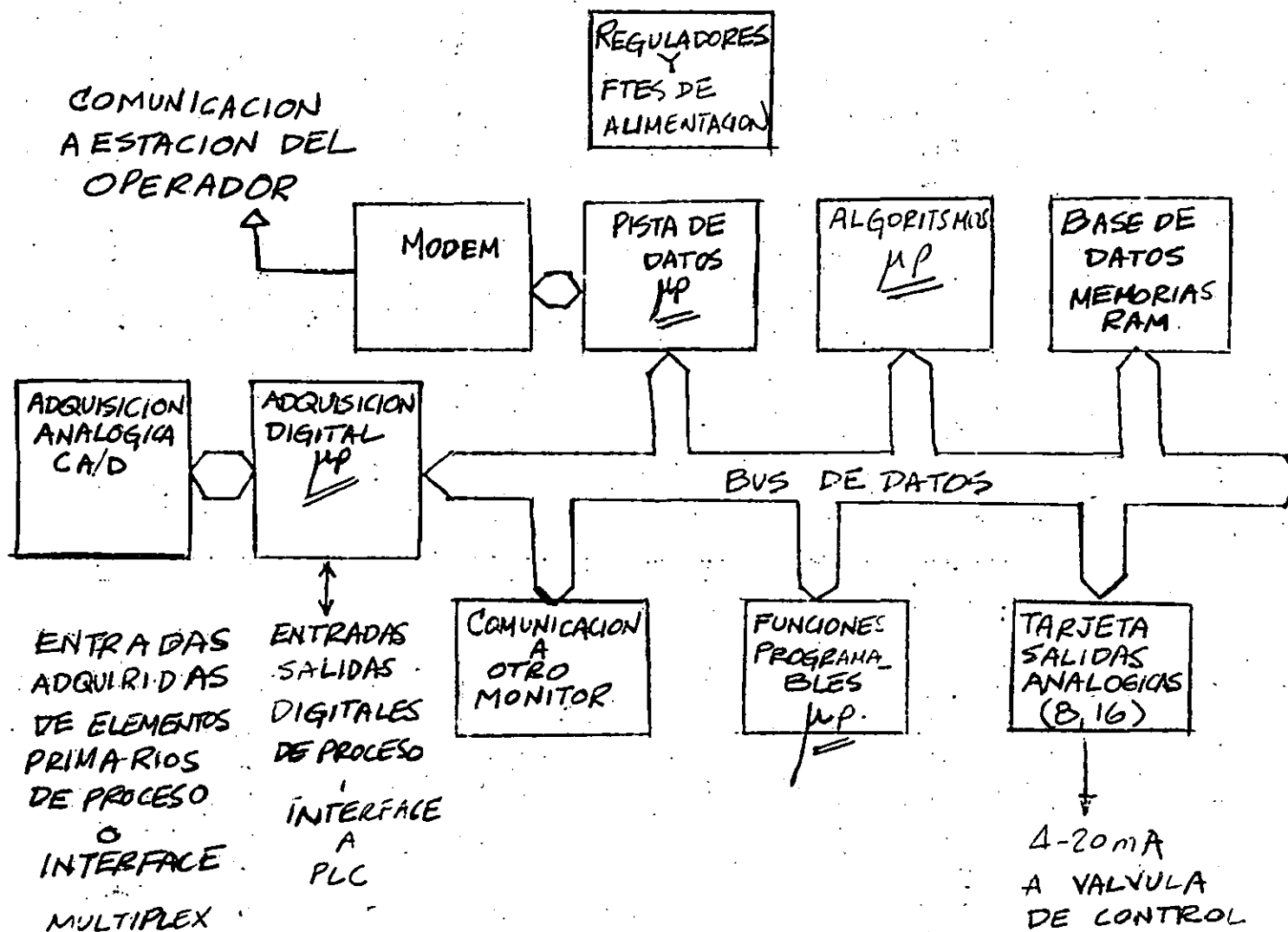


Fig #5

funcional de un sistema analógico, involucrando a su vez, el factor costo.

Esto fue posible a través del uso del microprocesador.

7.2 CONTROL DIGITAL DISTRIBUIDO.

En este tipo de sistemas de control, las funciones básicas se distribuyen entre varios microprocesadores, en lugar de estar centralizadas en un minicomputador. Los procesadores operan independientemente, de modo de una falla en alguno no afecta otras funciones. Ver la fig. #5

7.2.1 ARQUITECTURA DE UN S.C.D.

Existen tres elementos básicos. Los controladores, la estación del operador, y la pista de datos de comunicaciones.

La figura #6 muestra un sistema completo. Los tarjeteros de controladores están localizados estratégicamente a través de la planta, minimizando costos de instalación y alambrado.

7.2.1.1 CONTROLADOR: Fig. #7

Uno de los beneficios de C.D., es el hecho de que los controladores de la planta pueden ser distribuidos en localidades estratégicas, inclusive esto puede hacerse designando áreas de control particular dentro de la planta: calentadores, hornos, reactores, etc.

Todas las entradas de proceso y salidas de control del área en particular estarán conectadas directamente a la estación del controlador distribuido.

La estación de control asignada a una área, consiste de los gabinetes ne-

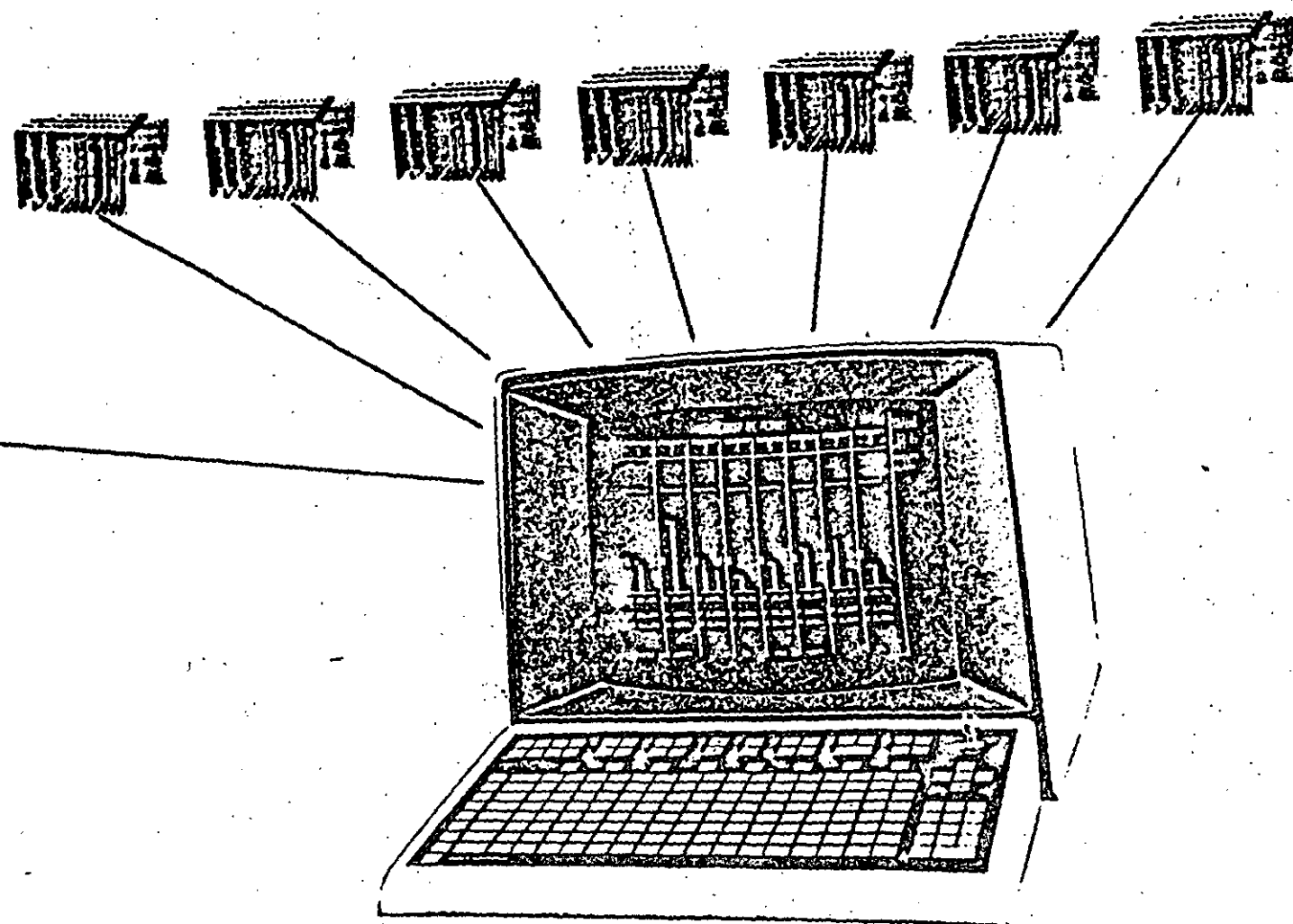
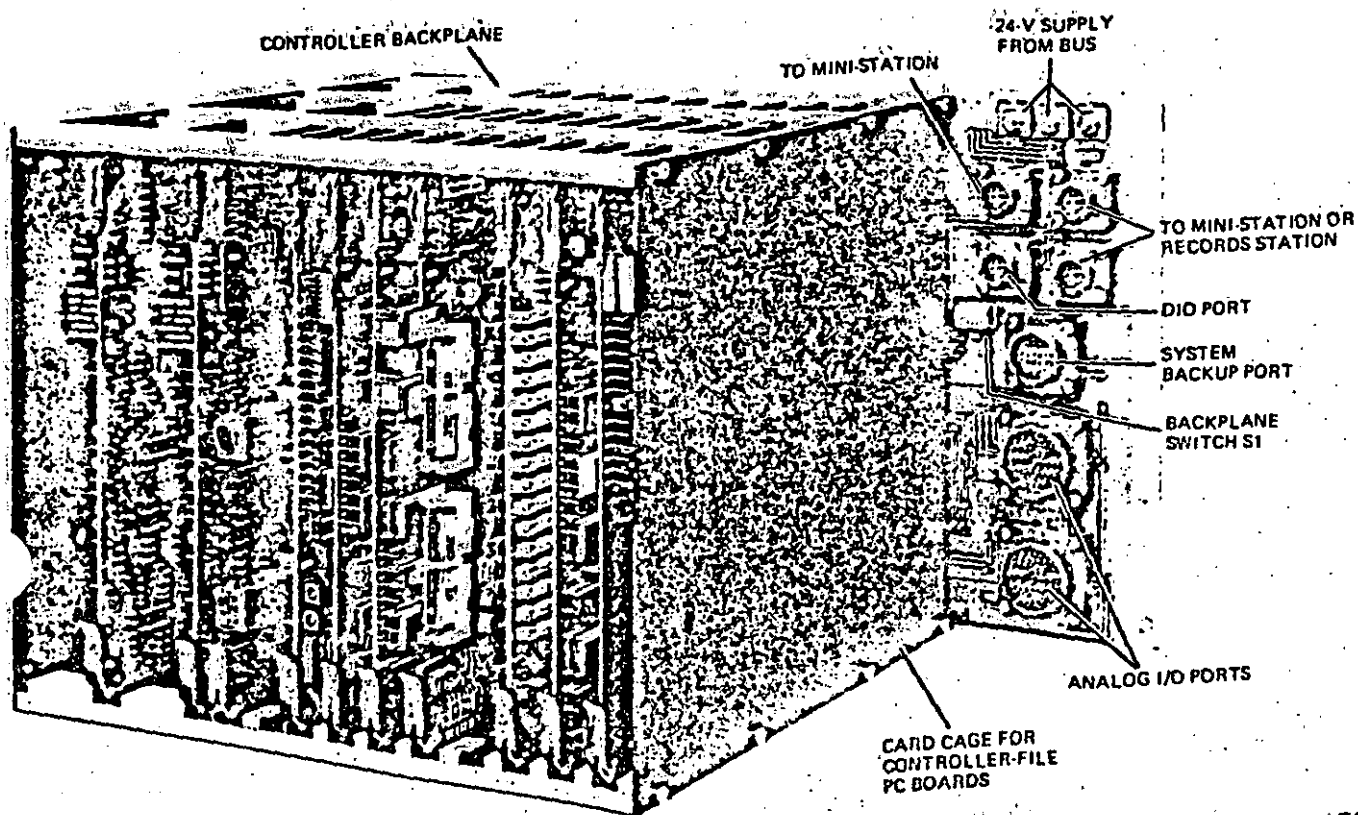


fig #6

RV/tag'



E8916

— Controller File's Card Cage with Backplane Switch S1.

Fig#7

cesarios, fuentes de alimentación, tablillas terminales, así como el número requerido de tarjeteros controladores, de acuerdo con los requerimientos de operación de la planta.

Los controladores distribuidos, son módulos multi-lazo, basados en micro-procesador.

Este módulo se compone de un juego de tarjetas de circuito impreso, diseñada para realizar una tarea específica.

La fig. # 8 muestra las distintas tarjetas, cada una con una función específica, que se comunican para realizar las funciones de control.

El controlador opera en una base de tiempo repetitiva. Sus tareas se realizan lógicamente, de acuerdo con su diseño interno estructural.

Existen controladores capaces de manejar 8 ó 16 lazos de control adicionalmente con una capacidad de manejo de 256 entradas/salidas digitales las cuales se dividen en base a 16 entradas, 16 salidas a 8 entradas y 8 salidas. Existe interfase para conexión directa a controladores lógicos programables.

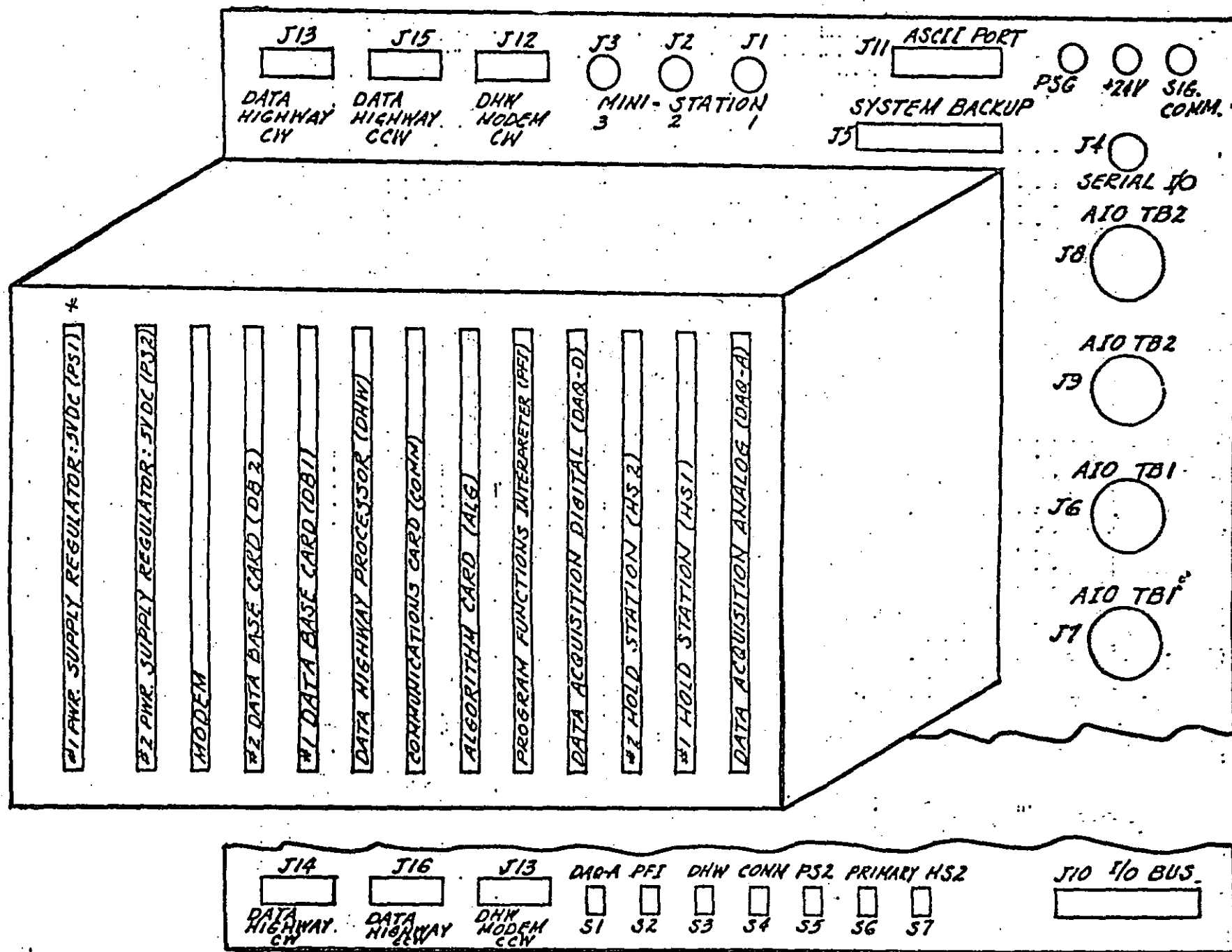
EJECUCION DE ALGORITSMOS.

Un algoritmo es un procedimiento paso por paso para resolver un problema y obtener un resultado deseado. Podríamos recordar momentaneamente cómo funciona una calculadora de mano.

La calculadora contiene algoritmos que realizan en forma repetitiva funciones "pre-programadas", tales como sumar, restar, multiplicar, sacar raíz cuadrada, funciones logarítmicas, etc.

En un controlador distribuido existe una tarjeta de algoritmos, que con-

fig #8



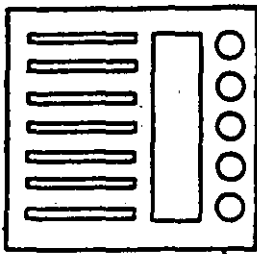
MAXI EXTENDED CONTROLLER FILE

MAX 1 FUNCTIONAL CIRCUIT CARDS

ABBREVIATION	NAME OF CARD	FUNCTION
ALG	Algorithm	a. Executes control algorithms. b. Determines output of controller time-slot. c. Provides serial link for controller back-up.
DB	Data Base	a. Stores information that must be accessible to more than one processor card (Battery back-up RAM) b. Resolves contention on the data bus. c. Self-correcting circuitry in 32-slot versions prevents loss of data even if a RAM chip fails.
DAQA	Data Acquisition Analog	Converts 30 analog inputs to digital form (DAQA is controlled by DAQD)
DAQD	Data Acquisition Digital	a. Collects appropriate data from terminals. b. Selects the input to be converted by DAQA, then linearizes the result. c. Communicates with Operator's Mini-Station.
DHW	Data Highway	Formats data for communication between the controller and the data highway. Two cards are used: one is the Processor, the other the Modem.
HS	Hold Station	Receives control output from ALG, provides an analog output and holds it until next control cycle.
MOP	Mini-Station Port	a. Communicates with second and third Mini-Stations. b. Communicates with Records Station.
PS	Power Supply Regulator	Converts 24 V d-c to a regulated 5 V d-c.
MODEM	Modem	Modulates and demodulates signals transmitted on the data highway.

fig #8

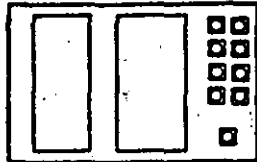
**CAT 560
ANALOG BOARD**



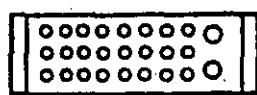
**CAT 561
DIO**



**CAT 562
PAT OUTPUT**



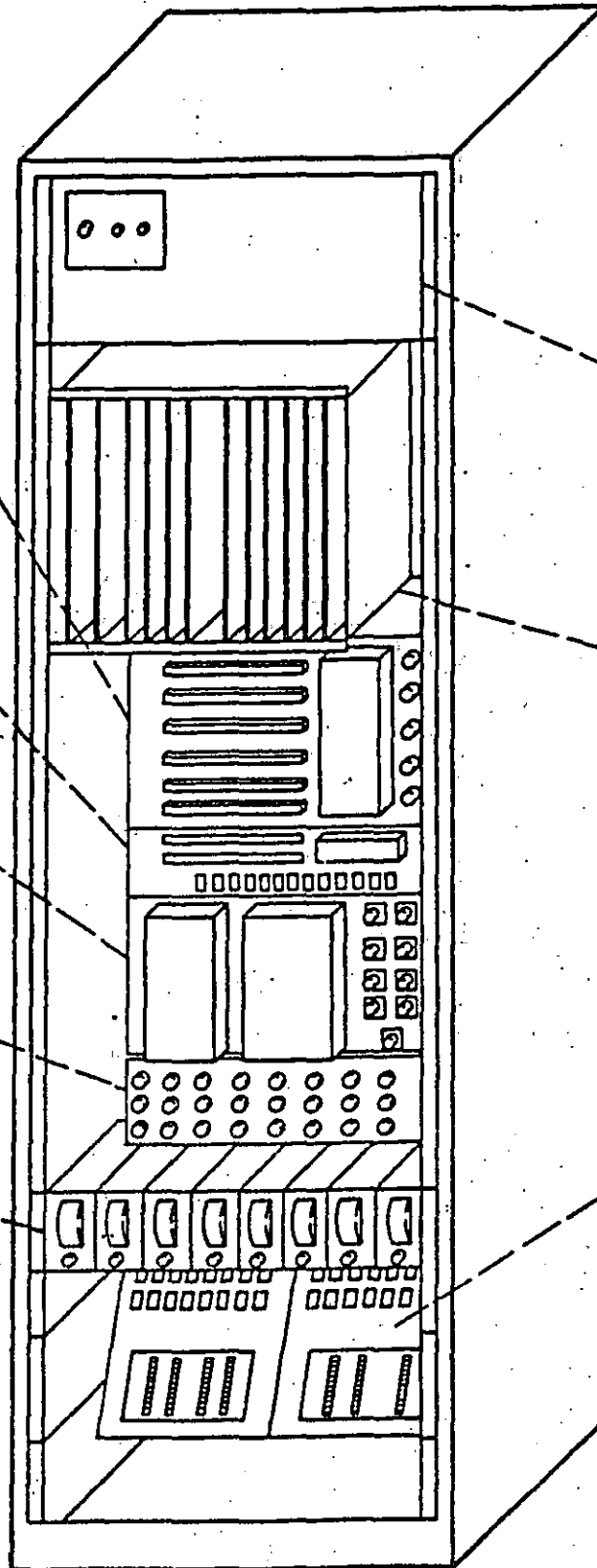
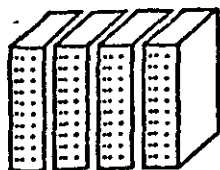
**CAT 568
MAN. STA. JN. PNL.**



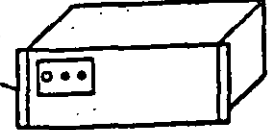
**CAT 567
MANUAL
STATION**



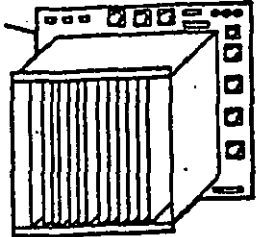
**CAT 564
I/O SYSTEM**



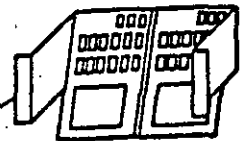
**CAT 594
POWER SUPPLY**



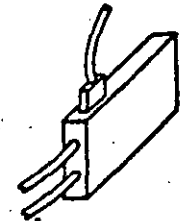
**CAT 552
CONTROLLER**



**CAT 563
LOW LEVEL
MPX.**



**CAT 578
OPTICAL INTERFACE**



tiene funciones como las que hemos descrito, más muchas otras diseñadas en forma específica para realizar control de procesos.

Los algoritmos son como "instrumentos" por sí mismos, desde el punto de vista de hardware, tales como controladores analógicos, computadores de flujo másico, procesadores de alarmas, estaciones de relación, etc. Un juego de algoritmos básico para el control de procesos puede ser de 40 algoritmos, llegando tal vez a 60 para el caso de algoritmos avanzados con aplicaciones específicas.

Ver anexo, hoja de datos SA-00 de L&N, mostrando un juego de algoritmos básicos.

Los controladores distribuidos se dividen en "Ranuras de Tiempo" funcionales. Pueden existir 8, 16 ó 32 ranuras por controlador, se especifican como primarias y auxiliares.

Las ranuras primarias se usan para desarrollar salidas de control (4-20 mA analógicas), o salidas de triac para actuadores de válvulas eléctricas.

Las ranuras auxiliares se usan para problemas computacionales, cascadas y desarrollo de salidas digitales externas.

Los microprocesadores internos, rastrean secuencialmente las ranuras, cada 1/2 segundo, y realizan cualquier operación que es requeridas en los datos, por la configuración específica de la ranura.

En síntesis un sistema de control multilazo se puede realizar enlazando ranuras. El enlace de las ranuras sería algo así como generar un programa en un calculador de mano (por ejemplo sumar dos números, multiplicar por una constante, y luego agregar un tercer valor)

El programa es un cálculo en cadena repetitivo. Cada vez que entra un

nuevo valor, una nueva respuesta es procesada, sin embargo, la misma ecuación se utiliza.

El rastero entre ranuras es similar.

En la Fig. #9 se encuentra una distribución funcional del tarjetero controlador.

7.2.1.2 ESTACION DEL OPERADOR.

El propósito de la estación del operador (Fig. #10), es proveer un medio confortable para que el operador controle la planta. Debe proveer las herramientas para desarrollar configuraciones de control, despliegues en pantalla, así como cargar y descargar varias versiones de la estrategia de control.

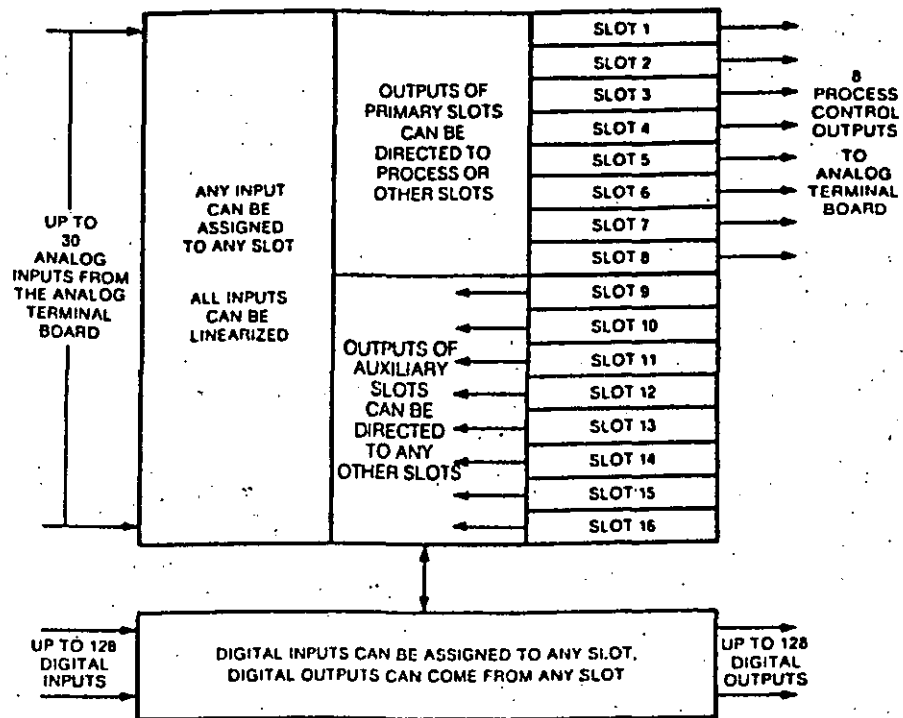
También debe contener un nivel razonable de rutinas de diagnóstico que auxilie en el soporte del sistema.

Para realizar sus tareas, la estación del operador contiene los paquetes con la electrónica necesaria para las conexiones de base de datos y pista de datos (Fig. #11), fuentes de alimentación, teclado, despliegues a color en Tubo de Rayos Catódicos, impulsores de disco flexible para soportar o modificar las estrategias de control. Algunas veces se usan cassettes.

Se pueden adaptar discos Winchester en otros dispositivos de almacenamiento.

Los teclados son de tipo funcional, para tener un acceso rápido y fácil al sistema (Fig. #12). Ir de un despliegue a otro debe hacerse con uno o dos toques del teclado. Además, en caso de teclear alguna función incorrecta, no debe de aceptar dicha entrada, invalidando el intento.

Se pueden ejecutar gráficas de desviación o gráficas interactivas. Vis-



MAX 1 Controller File. Each of the time slots is analogous to a separate piece of conventional instrumentation. A 32-slot version is available where more capacity is required.

fig# 9

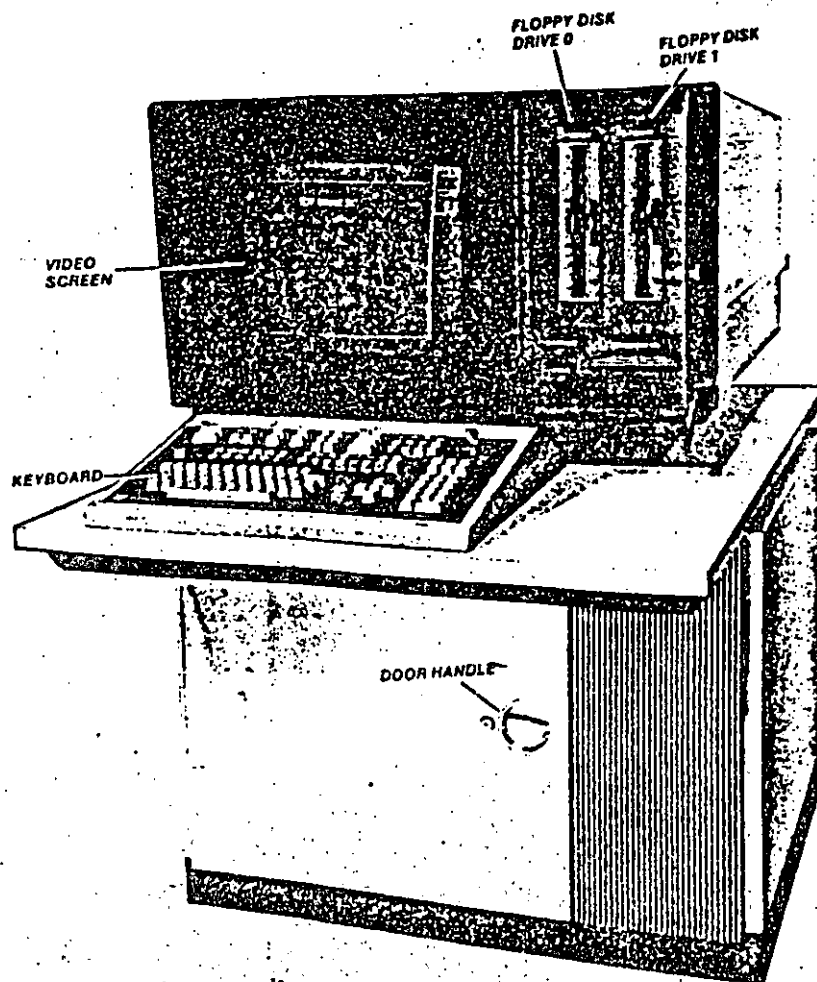
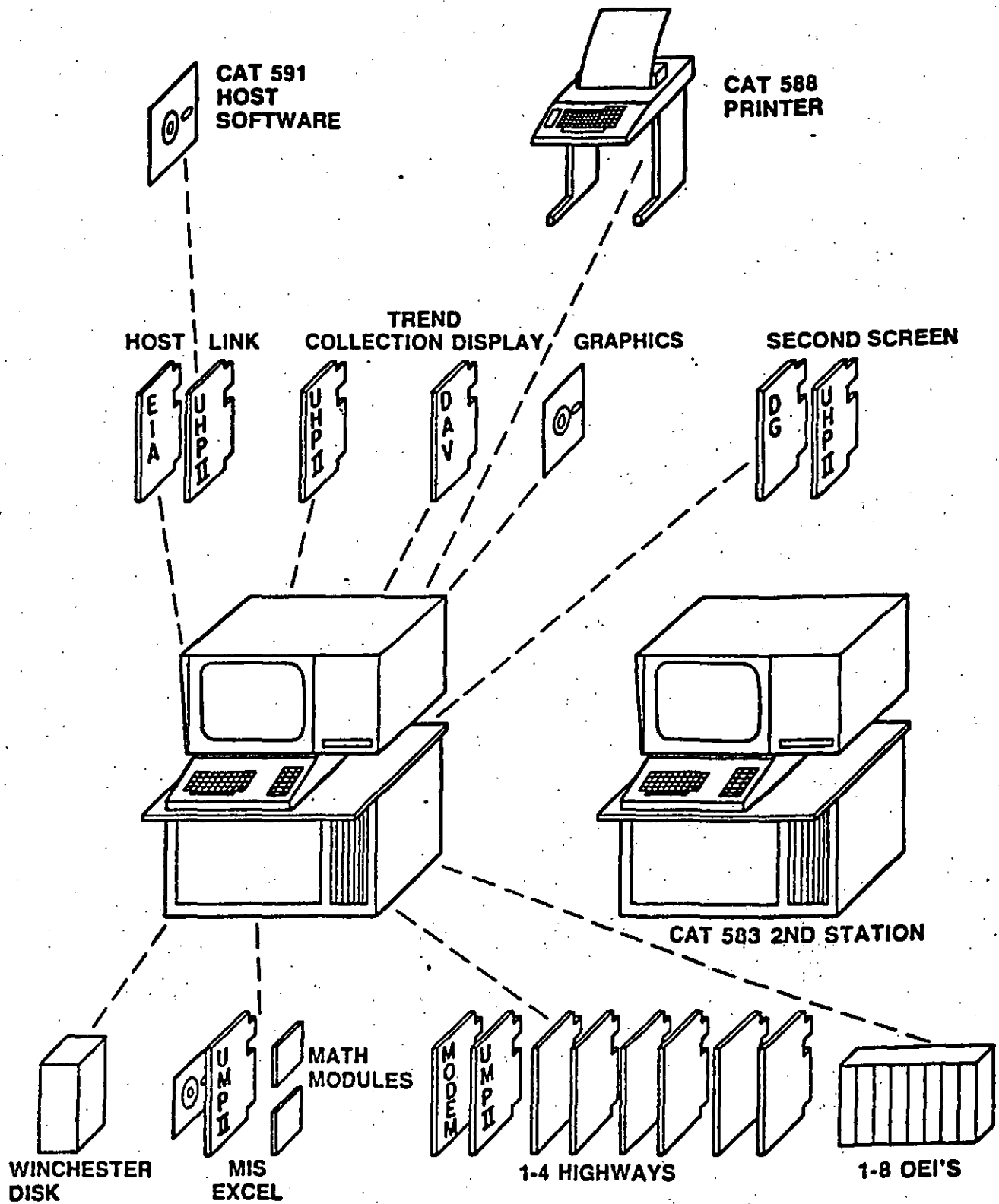


fig #10

CATALOG 582 OPERATOR STATION



fig#11

tas de planta, vistas de grupo, vistas de detalle a ranuras individuales. Los despliegues se actualizan en dos segundos.

Usando el teclado de la estación del operador, se puede tener acceso a las ranuras del controlador y encadenarlas por medio de "alambrado suave" o por programación. A esto se le llama configuración. De esta forma, partiendo de las tablillas terminales, se recogen los datos del proceso y se regresa la información necesaria para ejecutar el control requerido para el proceso. La información de salida es el resultado de resolver la ecuación para control tal como se estableció en la configuración.

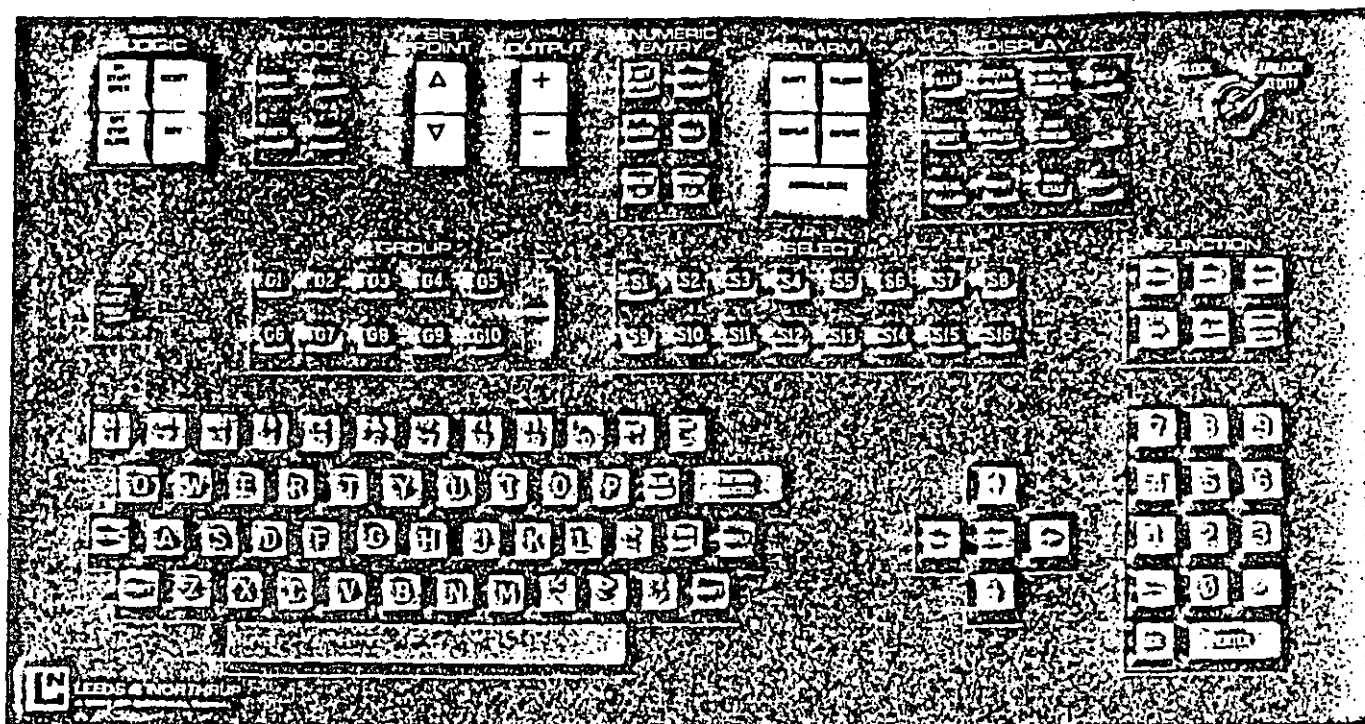
MEMORIAS.

La biblioteca de algoritmos, en la mayoría de los casos se localiza en memoria ROM no volátil. La configuración de el sistema, los resultados de cálculo, y la base de datos se mantienen en la memoria principal, la cual puede o no ser volátil. Se están usando memorias volátiles de estado sólido, debido a su alta velocidad de procesamiento. Se respaldan con baterías para mantener la base de datos y la configuración, en caso de pérdida de energía.

También se recomienda mantener la configuración en memoria no volátil, tal como cintas magnética o disco flexible. Si se tienen varias copias de la configuración del sistema, es fácil hacer cambios a la misma, o reinstalarla después de alguna falla.

7.2.1.3 PISTA DE DATOS

La pista de datos permite comunicar controladores, transmitiendo y recibiendo datos de la estación del operador. Originalmente se trataba de un par de alambres, los cuales se usaban en forma redundante, para una comunicación más segura de la información.



Data Input Keyboard

fig #12

Hace pocos años, se introdujeron las pistas de datos ópticas (Fig. #13). Se usa el mismo cable óptico que el usado por las compañías telefónicas.

Las pistas ópticas no son susceptibles a problemas de circuitos de tierra, interferencia eléctrica, o de radio, cortos eléctricos debido a herrumbre, u otros problemas encontrados en ambientes industriales.

En este sistema no se requiere un manejador de comunicaciones.

Todas las estaciones son el maestro de la pista en su turno; cualquier estación puede interrogar cualquier otra y recibir respuesta en su turno de muestra. Esto les sucede a los controladores por lo menos dos veces en un segundo.

SEGURIDAD

Un sistema de control distribuido debe ser seguro debido a que la producción, los equipos o la seguridad del personal pueden depender del SCD.

Se recomiendan fuentes de alimentación así como reguladores redundantes. Las baterías para soportar la información volátil deben ser redundantes.

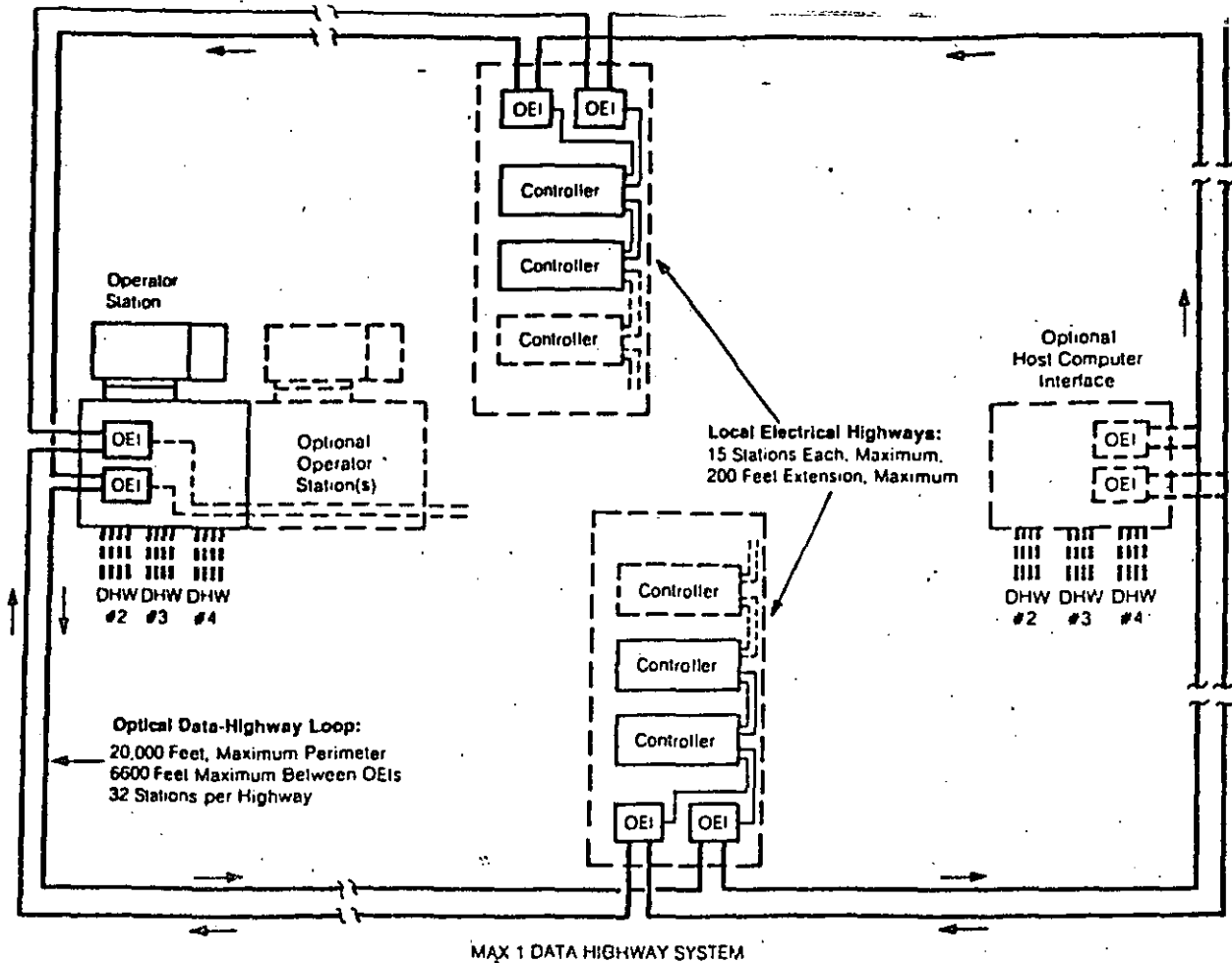
Continuamente se corren programas de diagnóstico:

De arranque, en línea, fuera de línea, con la finalidad de detectar fallas.

Los programas de diagnóstico residen en ROM y no requieren configuración o recarga durante el arranque de los sistemas.

En cuanto a la comunicación, se debe de contar con pistas de datos redundantes.

En el máximo nivel, cada controlador puede tener otro controlador que realice respaldo parcial o dedicado a uno a uno. Aún con la pérdida de toda la capa-



MAX 1 DATA HIGHWAY SYSTEM

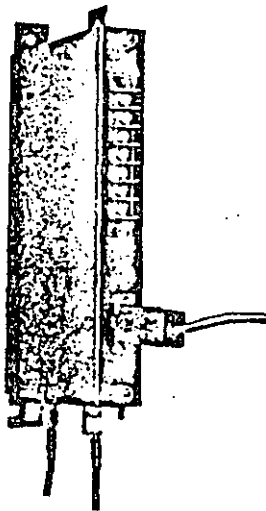


fig #13

cidad de los microprocesadores, las salidas de los controladores deben al menos mantenerse en su último valor, o dirigirse a valores predeterminados, hasta que el operador tome el control de los lazos con estaciones de respaldo manual.

Finalmente, en las siguientes doce hojas se hace un resumen de las características de operación y especificaciones de un sistema de control distribuido que se usa actualmente en el mercado.

LEEDS & NORTHRUP

SISTEMA DE CONTROL DISTRIBUIDO

M A X -I-

Highway System Overview

Data Highway.

Filosofía de Direccionamiento.

Estación del Operador

Descripción del UMP

Medio ambiente.

Tarjetas, Descripción y Hardware

Capacidad.

=====

CONTROL DISTRIBUIDO

1.- CARACTERISTICAS DE UN SISTEMA CON PISTA DE DATOS

En un sistema de C.D. con pista de Datos como el que se muestra en la figura, resaltan las siguientes características:

- ° Pista de Datos en Fibra Optica, la cual puede correr hasta 20,000 pies a través de la planta, inmune a interferencias eléctrica o magnética.
- ° Estación del operador versatil.
Con interfase para hasta 4 pistas de datos por separado, para supervisión y control de hasta 1600 lazos analógicos, incluyendo gráficas interactivas y tendencias.
- ° Capacidad de Interfase con una Computadora Anfitriona.
Para extender la jerarquía de control, o implementar un sistema de manejo de información en tiempo real.
Un sistema con 4 pistas de datos puede soportar hasta 128 estaciones, las cuales pueden ser, un controlador multilazo, una estación del operador o una Interfase para computadora. Si cada controlador, típicamente tiene una capacidad de 16 lazos, este sistema puede soportar hasta 1600 lazos analógicos, y más de 30,000 entradas-salidas digitales.
La velocidad de comunicación es de 500 Kbaud.
Los computadores anfitriones no son esenciales en el sistema, dado que la configuración de los controladores puede "cargarse" a través de la estación del operador, sin programación especial.

PISTAS DATOS.- Es una combinación optica-eléctrica dual o redundante, las interfases optoeléctricas (OEI), conectan la pista eléctrica con la pista óptica. La pista, eléctrica puede proveer conexiones en cadena para varias estaciones.

La malla óptica es inmune a interferencia eléctrica, intrínsecamente segura en áreas peligrosas y acepta un total de 32 estaciones, en cadena a la pista de datos eléctrica.

El perímetro máximo es de 20,000 pies.

Cada cadena de pista eléctrica, puede manejar hasta 15 estaciones y se puede extender en 200 pies, es redundante y puede operar como una pista de datos autónoma con una estación del operador, donde no sea esencial la pista de datos óptica.

No se requiere director de tráfico, el control maestro o "master ship" (acceso a la pista de datos por cualquier estación) se determina por una rutina "paso de estafeta" o "Tokenpassing", con reajuste automático del T.P. si ocurre alguna falla. La velocidad de los datos es de 500 K baud, usando FSK (modulación por "llaveo" de frecuencia).

Los datos se transfieren como bloques entre los controladores y la estación del operador, la transacción entre estaciones, toma milisegundos. El "Token" rota entre todas las estaciones del operador, interfases de computadora en una pista de datos aproximadamente 100 veces por segundo. Todas las estaciones en una pista de datos pueden comunicarse entre sí controladores con controladores, estaciones del operador con estaciones del operador.

Existe redundancia total, ambos cables ópticos están activos todo el tiempo, transmitiendo datos simultáneamente en direcciones opuestas alrededor del lazo, así una falla en un cable o un OEI, no interrumpe la transmisión, además de que es reportada en la estación del operador, como una alarma en el sistema.

Ambos cables ópticos pueden fallar o romperse en un punto específico, y aún se mantendrá comunicación global completa en el sistema, a través de los elementos intactos en el lazo.

CONTROLADOR

El controlador multilazo maneja hasta 16 salidas de control, (4-20 mA o triac), ranuras de tiempo para funciones adicionales, 30 entradas analógicas (linearizadas según se requieran), hasta 256 entradas-salidas digitales. Actualmente pueden manejar hasta 248 entradas de bajo nivel, así como interfase para controladores programables.

Una computadora "personal" residente, se puede agregar dentro de cualquier tarjetero de controlador, sin necesidad de interfase, equivalente a 12K (4000 elementos) de funciones programables, para cálculos, optimizaciones y reportes.

El controlador puede equiparse con una tarjeta Modem y un procesador de pista de datos, para comunicación a la pista de datos eléctrica y/o óptica. El controlador se puede comunicar con otros controladores sobre la pista de datos, transmitiendo o recibiendo información, con un tiempo de acceso a la pista de datos de 1/2 segundo garantizado.

ESTACION DEL OPERADOR

Generalmente, consta de un Tubo de rayos catódicos de 19" y electrónica basada en microprocesador. El despliegue es 8 colores para foreground y 8 colores back ground.

Contiene puertos de comunicación para hasta 4 pistas de datos, adicionalmente a 1.7 Mbytes de memoria RAM.

Cada estación tiene impulsores duales de discos flexibles de 8", para carga o copia de la base de datos o recetas.

Se tiene opción para Disco Winchester de 8 y 32 Megabytes, cuando se requiere almacenamiento masivo de información.

A través del teclado se puede operar en 8 modos distintos:

En línea; operación (o modo normal de corrida), Tendencias Gráficas, Sistemas de Manejo de Información (MIS), y carga/vaciado (Dump/Reload).

Fuera de línea, configuración, utilidad y funciones programables.

En operación, la estación puede proveer de hasta 40 vistas panorámicas (overview), cada una con hasta 192 puntos, 16 puntos de cada 12 grupos; hasta 245 grupos, cada uno manejando 16 puntos en formato analógico de barras (o mensajes para lógica); y despliegues de detalle para cada función de Control del Sistema.

En detalle, cada función de control PID, tiene tendencias en tiempo real, con ajuste del eje del tiempo de 45 minutos, 90 minutos, 24 horas ó 90 segundos; para un máximo de 115 puntos.

Hasta 34 puntos en alarma, se pueden desplegar continuamente, en la columna de la derecha de la pantalla, presentadas dependiendo de su orden de severidad.

Oprimiendo sólo un botón, el operador puede obtener, vistas de detalle, grupo o panorámicas (overview), relacionadas con el despliegue seleccionado, el operador puede modificar o cambiar cualquier parámetro del proceso, no restringido en la configuración inicial.

Modo de Tendencia/impresiones (TREND/LOG)

Cuando una estación tiene la opción de disco Winchester, se puede contar con tendencias históricas y generación de reportes.

Los despliegues pueden generar tendencia de 4 variables analógicas y 4 variables digitales simultáneamente, con bases de tiempo de 5 ó 10 min. 1, 10, 30 ó 178 horas.

Cada despliegue muestra 300 valores de cada variable sobre el eje x (esto es, intervalos de 1 segundo para 5 minutos, 6 minutos para escala de 30 horas).

Es posible con el auxilio del cursor regresar en el tiempo, para examinar lo ocurrido una semana antes, o bien se pueden guardar registros en el disco flexible.

Cualquier estación del operador puede desplegar tendencias residentes en cualquier otra estación del operador.

Gráficas: con esta opción el operador puede manipular variables control con un despliegue gráfico en pantalla; en la misma forma que con un despliegue de grupo.

Al seleccionar un punto en pantalla, este cambia de color, o bien, se encuentra en alarma, adquiere color rojo. En el disco Winchester se pueden almacenar unas 100 gráficas.

Sistema de información Gerencial (MIS)

A igual que en cada controlador, es posible, incluir una computadora "personal", para cálculos, optimización y reportes.

Para la programación se utiliza un lenguaje similar al Basic.

MODOS DE OPERACION

MODO DE CONFIGURACION: en este modo, el ingeniero instrumentista "diseña" originalmente el sistema de control, fuera de la línea, creando completamente la base de datos de una o más estaciones del operador; y por cada controlador. A través del Teclado, se hace la asignación de los algoritmos y parámetros asociados, los puntos son etiquetados, y los elementos son alambrados por programación "softwiring".

MODO DUMP RELOAD:

Después de que la interconexión en el sistema ha sido verificado en los despliegues, el modo "D/R" permite cargar los datos apropiados en las memorias de los microprocesadores de la estación del operador, y en cada controlador.

Este modo también permite "subir" datos a un disco flexible.

MODO DE UTILIDAD:

Este modo permite realizar operaciones fuera de línea que no se realizan convenientemente en otros modos, tal como diagnósticos fuera de línea, copia de discos, despliegues de convergencia ajuste de la estación.

REDUNDANCIA:

La redundancia y respaldo es esencial en un sistema de control distribuido. Por ejemplo en una pista de datos debe haber al menos dos estaciones del operador, para que una tome el respaldo de la otra, o viceversa, los controladores pueden ser respaldados totalmente en parte, por otros controladores en la pista de datos. Finalmente para máxima seguridad, existen las estaciones de control-automático-manual que pueden tomar el control de lazos críticos.

LOOP OPTICO:

La pista óptica es inmune a interferencia eléctrica, loops de tierra (aterrizamientos), intrínsecamente segura en áreas peligrosas y aceptando a través de conexiones a pista de datos eléctrica, hasta 32 estaciones. Puede tener un perímetro máximo de 6,100 mts.

Esta comprendido de dos cables de fibra óptica consistentes de núcleo de 100 micrones y protegido con aislamiento protector, la cubierta es retardante de flama y trabaja sobre un rango de - 20 a 85° C.

Los datos viajan en forma de pulsos luminosos, en direcciones opuestas (con las manecillas del reloj y contra las manecillas del reloj), entre pares secuenciales de acopladores (OEI's).

La máxima longitud entre acopladores es de 2010 mts., aproximadamente.

El acoplador se puede considerar como un nodo, ya que es el punto al cual se conectan las estaciones, ya sean del operador o controladores. Ver la figura anexa.

CIRCUITO ELECTRICO MULTICAIDA:

Los acopladores amplifican la señal óptica, pero además funcionan como convertidores, trasladando pulsos de datos digitales de señales ópticas a eléctricas viceversa.

En cualquier punto en el que una estación del operador, una interfase a computador, un controlador, se conectan a la pista de datos, se requiere un par de OEI's, o bien enlace en cadena (tipo margarita) o conexión serie. Se pueden enlazar hasta 15 estaciones en 61 mts.; sin embargo, la falla de una estación no afecta la transmisión de datos de las otras estaciones de la cadena.

COMUNICACION:

Cada estación del circuito local eléctrico, tiene una tarjeta de microprocesador, y un modem, para acceso a la pista de datos. Los datos se transmiten a una velocidad de 500 Kbaud, para modular se usa FSK (Frequency Shift Keying) a tres frecuencias 2 Mhz para el preámbulo, 1 Mhz para el "cero lógico" y 0.5 Mhz para el "1" lógico, para indicar el fin

de mensaje, al fin de los pulsos, se usan tres pulsos de 0.5 microsegundos, seguidos de 1.5 microsegundos de tiempo fuera. El modem selecciona los trenes de pulsos de información recibidos correctamente.

En la figura anexa puede verse la redundancia, en la pista de datos, aún cuando ambos cables se rompieran entre dos OEI'S consecutivas, se mantiene la comunicación en el sistema.

En la hoja siguiente se presentan las especificaciones del sistema global de comunicación óptica.

DIRECCIONAMIENTO DE ESTACIONES:

En la pista de datos, las estaciones hacen preguntas y las responden a otras estaciones, como sea requerido. Cada estación tiene una oportunidad de hacer preguntas y se convierte en "maestra" (master, en ese momento todas las otras estaciones pueden responder potencialmente.

Cuando una estación es maestra, tiene un intervalo de tiempo fijo, para hacer preguntas y recibir respuestas. Cuando la estación ha terminado transacciones o se ha terminado su tiempo, el mastership se pasa a otra estación en una secuencia predeterminada lógica. Esto continua hasta que todas las estaciones tienen acceso a la pista de datos. El intercambio del "mastership" es llamado "token-passing", y consiste en una serie de mensajes entre dos estaciones. El Token es un símbolo conceptual de mastership. Con este concepto, se tiene un uso eficiente de la pista de datos, aún en condiciones de alto tráfico de datos, en un gran sistema.

La pista de datos se divide lógicamente en tres espacios o direcciones: Un "loop" de alto tráfico y dos loops de bajo tráfico. Al alto tráfico se asignan los monitores, estaciones del operador y las interfases a computadoras, dado que estas estaciones generalmente requieren grandes cantidades de datos. El rango de direcciones es de 1 a 31.

Los controladores generalmente no manejan grandes cantidades de datos, pero requieren acceso a la pista de datos cada medio segundo, debido a que

sus algoritmos operan a una velocidad de 1/2 segundo (actualización). Aquí se asignan direcciones en uno de los loops de bajo tráfico, para balancear la carga de tráfico. Las direcciones del Loop A son 32 a 47 y en Loop B de 48 a 63.

La comunicación se inicia a través del sistema monitor, con la más pequeña de las direcciones en las estaciones. Esta tiene el "master". Cuando el master completa todas sus transacciones, o termina su tiempo pasa el mastership a la siguiente estación en línea, es decir, a la estación que tenga la siguiente dirección. Si la estación no está presente por alguna causa, la estación maestra trata las direcciones sucesivas en su loop, hasta que recibe respuesta y pasa el Token. Cambiando el "master" el Token rota de estación a estación en el loop de alto tráfico, hasta que ha transcurrido 1/4 de segundo. Entonces pasa a la estación presente con la mínima dirección, en alguno de los 2 loops de bajo tráfico, en secuencia de direcciones. La última estación en el loop de bajo tráfico, regresa el Token al loop alto a la siguiente estación (según el número de dirección), después de la que cedió el Token al loop bajo.

El Token continúa rotando en el loop alto por 1/4 de segundo y después pasa a la estación con el mínimo número de dirección en el otro loop de bajo tráfico.

En cada estación el Token se mantiene mientras tiene transacciones, si no tiene nada que responder, el Token pasa inmediatamente a la siguiente estación presente en línea.

Está garantizado que cada estación en el loop de bajo tráfico, tiene acceso al token cada 1/2 segundo.

Es conveniente hacer un balanceo de carga entre los dos loops de tráfico bajo, para hacer más eficiente la comunicación, es decir, asignar la mitad de controladores en el loop A a las direcciones 32 a 47 y el resto en el Loop B con direcciones 48 a 63.

ESTACION DEL OPERADOR:

A) Hardware. Ver figura anexa (Figura # 11, Hoja 7/20)

Los blocks funcionales son los siguientes:

Paquete MULTIBUS & MODERM: Es el archivo de la lógica central, todos los procesadores están contenidos en este paquete.

MONITOR CRT: Contiene el CRT y la circuitería analógica asociada además de las fuentes de poder.

TECLADO: Contiene el ensamble con interruptores de tecla y lógica decodificadora.

ALMACENAMIENTO MASIVO: Dos impulsores de disco flexible, con programas y datos, opcionalmente disco Winchester.

SUBSISTEMA DE POTENCIA: Generación de todos los voltajes DC, para el sistema, excepto CRT.

OEI'S: Interfases acopladoras para conectar la pista de datos optica.

El Multibus es el enlace de comunicación en el sistema, entre las tarjetas lógicas tales como los multiprocesadores, los generadores de despliegue, y el controlador de discos.

Las tarjetas multiprocesadoras están divididas en dos categorías, maestras y esclavas, controlan el bus del sistema y mantienen el comando de las líneas de direccionamiento.

La tarjeta generadora de despliegues es esclava, sólo puede ser direccionada por una tarjeta maestra.

El esquema de contención en el Bus es a través de prioridad paralela, con arbitrio determinado por el reloj del bus generado por la Tarjeta Ama de llaves (Housekeeping).

El Bus del sistema incluye las siguientes señales:

21 líneas de dirección, 16 líneas de datos bidireccionales, 8 líneas de

interrupción, líneas de comando del bus, líneas de requisición y prioridades. Se describen las tarjetas del multibus brevemente a continuación.

- Ama de Llave (Housekeeping): contiene el circuito de prioridad rotatoria paralela, el reloj de tiempo real, sensado de estado
- Controlador de Disco: es el acceso a los impulsores de disco, es una tarjeta basada en microprocesador, esclava, recibe instrucciones para acceso a discos de cualquier maestra. Para datos entre los impulsores de discos y cualquier memoria residente en el multibus.
- Display I, tarjeta que acepta comandos del Teclado para construir despliegues en la primer pantalla CRT.
- Alarm UMP: procesamiento de alarmas en el sistema y manejo el impresor de alarmas y contactos de alarma.
- HHUMP1, una de 4 tarjetas usadas para comunicación de hasta 4 pistas de datos y memoria común.
- Generador de Despliegues 1: maneja el primer CRT, contiene el refresco de memoria de la pantalla y la lógica y señales de tiempo al monitor.
- Videotrend de Direccionamiento por Puntos: provee la dirección por puntos de la memoria del primer CRT.

La tarjeta es esclava al primer generador de despliegues.

Los datos en su memoria se combinan con los datos del generador de despliegues para crear despliegues combinados de caracteres e imágenes con direccionamiento por puntos.

- Trend/Log (UMP): colecta datos de tendencia y los almacena en el disco Winchester.
- Modem de la Pista de Datos: permite a la tarjeta HH tener acceso a su pista de datos eléctrica (puede haber hasta 4 Modems en la estación).

- Display 2: (UMP) para construir despliegues en la 2a. CRT.
- Generador de Despliegues 2: maneja el 2o. monitor CRT.
- MIS (UMP). Un intérprete de lenguaje de alto nivel para programas de usuario.
- EIA: Interfase para computadora anfitriona con saludo (handshaking) para RS-232, RS-499.

Algorithms

Functional Description

MAX1

Introduction

A key to the versatility of MAX 1 Distributed Control is the wide range of functions available. In addition to the conventional analog-control functions, a complete set of motor-control and logic-control functions can be provided for programmable logic control operations normally associated with batching and safety interlocking. Functions specifically designed for data acquisition, and for use on the data highway, are also included. (All algorithms can be operated in a DDC mode from a host computer over the data highway.)

A summary of the algorithm selections is tabulated at right.

Algorithm Selection

Loop Control

PID
PID Supervisory
PID Ratio
PID Gap
Auto/Manual Bias
Adaptive Tuning
Participation
(Choice of Current
Output or Triac
Switching)

Loop Auxiliary

Summer
Multiplier
Divider
Calculator
Mass Flow
Integrator
Lead/Lag
Real Alarm
Override
Select

Logic Control

Logic Function
Sequencer
Digital Status
and Alarm
Time Delay
Valve Controller
Motor Controller
Positioner
Ramp Generator
Event Counter
Bit Receive

Dedicated Backup (Any Function)

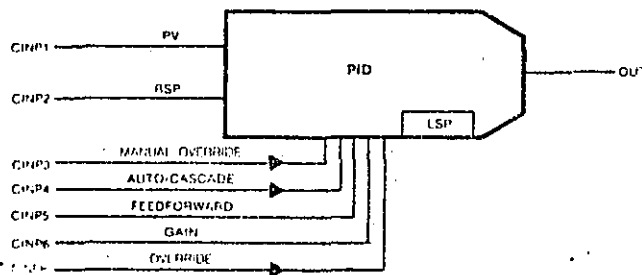
Control Algorithms

01 PID CONTROLLER

The PID Controller algorithm executes basic PID control (proportional, integral, derivative), with adjustable proportional, reset or rate values in any combination. The controller can provide bumpless transfer into and out of cascade mode (initialization capability). PV tracking, direct- and reverse-acting output, direct- and reverse-acting display, and set-point ramping (for smooth set-point change) can be specified.

By proper configuration, the PID Controller can be made to execute a weighted error-squared algorithm. The controller also has built-in process-variable and deviation-alarm capability, as well as output limiting.

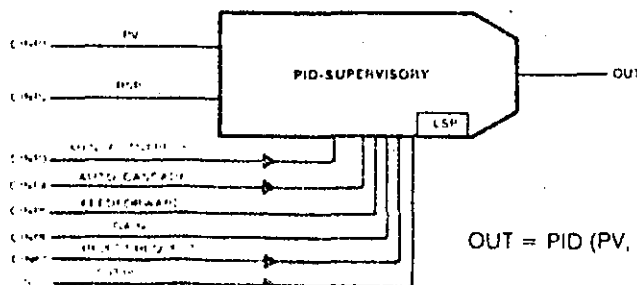
Manual override (automatic transfer relaying), set-point clamping, and automatic mode-switching on the basis of logic conditions within the MAX 1 Controller, plus feed-forward capability, are also provided.



$$OUT = PID(PV, SP) + Feedforward$$

05 PID SUPERVISORY CONTROLLER

The PID Supervisory Controller algorithm provides all the basic capabilities of the PID Controller, except that its computer-mode operation uses the computer transfer word as a working set point, rather than an output value.

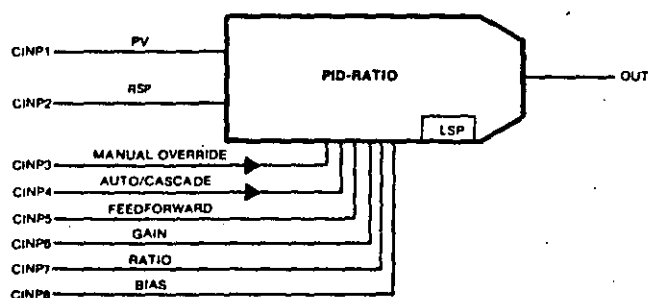


$$OUT = PID(PV, Computer Set Point) + Feedforward$$



Leeds & Northrup Systems
We put you in control.

02, 03, PID RATIO CONTROLLER 04



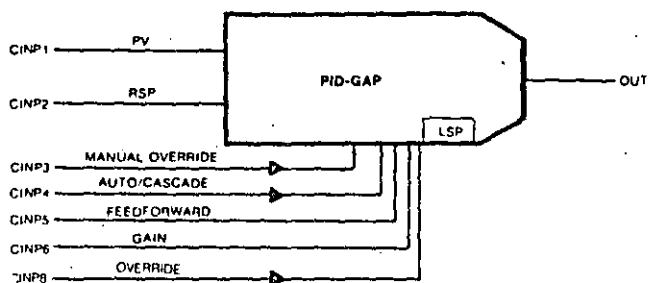
$$OUT = PID (PV, RSP \times Ratio + Bias) + Feedforward$$

The PID Ratio Controller algorithm executes basic PID control but, in the "cascade" mode, uses a working set point formed from the ratio times the remote set-point input (RSP), plus a bias term.

To provide automatic balancing of ratio loops, three initialization forms are provided. While in automatic mode (not using the remote set point) or manual mode the process-variable input can be back-calculated to provide bumpless transfer into, or out of, ratio control (02). Alternatively, either the ratio term (03) or the bias term (04) used to compute the working set point can be made to "float", so that the process-variable input, when executed through the ratio expression, equals the local set point currently used.

Each of these forms of initialization provides a different characteristic, but all lead to bumpless transfer to ratio control. In addition, the working set point can be biased from an external signal.

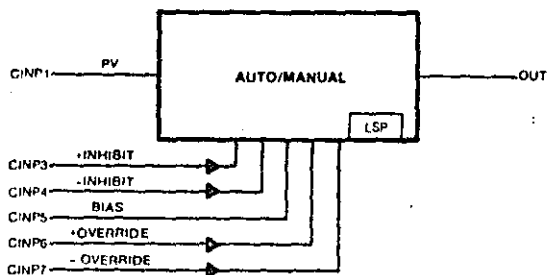
The Ratio Controller has all the optional capabilities of the basic PID controller.



$$OUT = PID (Modified Deviation) + Feedforward$$

06 PID GAP CONTROLLER

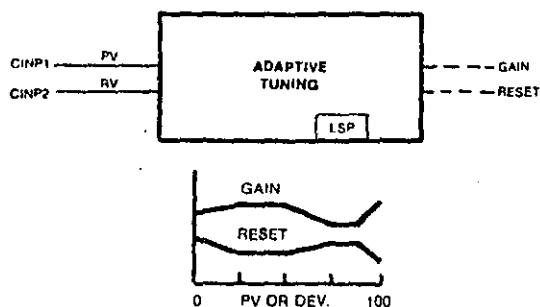
The PID Gap Controller algorithm provides the basic capabilities of the PID Controller, with the addition of a second gain (at an adjustable preset value) within a deviation zone around zero. This second gain can be set at zero value, if desired.



$$OUT = PV + Bias + External Bias$$

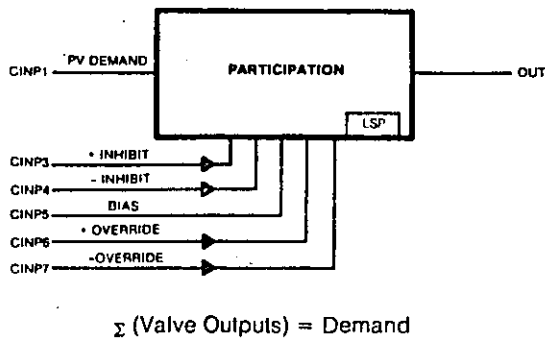
11 AUTO/MANUAL/BIAS

The Auto/Manual algorithm permits biasing the input signal in the automatic mode; in the manual mode, the output is under direct control of the operator. Explicit raise/lower inhibits and overrides are provided, to permit sophisticated interlocking control strategies.



31 ADAPTIVE TUNING

The Adaptive Tuning algorithm is a special form of function generator which—rather than producing an output—dynamically adjusts the tuning parameters of a specified PID controller algorithm. The two tuning parameters—gain and reset—are adjusted on the basis of piece-wise linearization, depending upon the value of the PV input, or its deviation from a target, to the Adaptive Tuning algorithm.

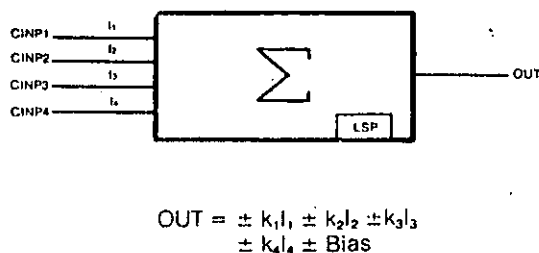


12 PARTICIPATION

The Participation algorithm permits the output of a single controller to operate up to eight valves, in a participation strategy, to maintain total demand. The outputs of the valves are maintained in a specified ratio and bias, until one valve reaches its hard end-point limit.

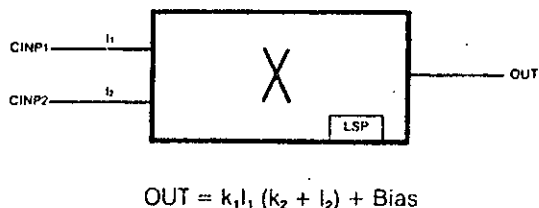
The Participation algorithm can be specified to maintain ratios and reduce demand at this point, or to maintain demand by failing to observe the strict ratio of the output channels. In addition, the Participation algorithm provides feedback to the primary controller (its input source) to prevent windup should all valves reach their limits.

Loop Auxilliary Algorithms



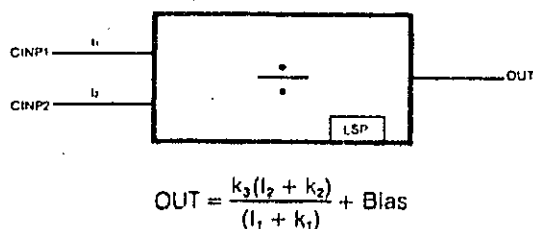
13 SUMMER

The Summer algorithm provides a conventional four-input weighted sum, with bias. It can also provide a non-conventional relative sum, in which the output represents a percent (the value of the sum divided by a specified limit). If initialization is specified, the Summer will back-calculate its Input 1 to maintain proper bumpless transfer.



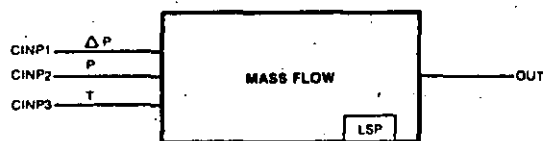
14 MULTIPLIER

The Multiplier algorithm forms the product of its two inputs, I_1 and biased I_2 , and adds a bias. If initialization is specified, Input 1 is back-calculated to maintain bumpless transfer.



15 DIVIDER

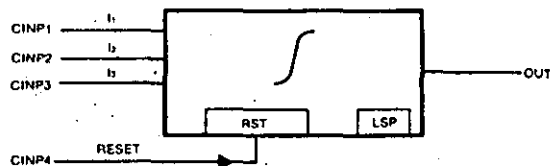
The Divider algorithm provides division of Input 2 by Input 1 and adds a bias. If initialization is specified, Input 1 will be back-calculated to maintain bumpless transfer of upstream controller algorithms.



$$OUT = k_1 \sqrt{\frac{I_1(I_2 + k_2)}{(I_3 + k_3)}}$$

16 MASS FLOW

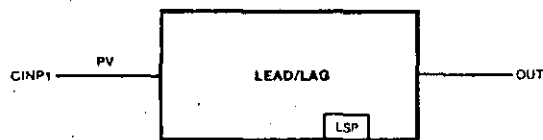
The Mass Flow algorithm computes the mass flow of a compressible fluid, using an expression based on the Gas Laws. Compensation for absolute temperature and pressure are included in the computation. Low-flow cutoff is available on Input 1.



$$OUT = \int_0^t (k_1 I_1 + k_2 I_2 + k_3 I_3) dt$$

17 INTEGRATOR

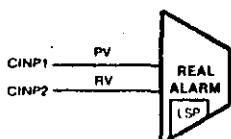
The Integrator algorithm provides the weighted time-integration of up to three inputs, and maintains the integrated value in a special holding register which can be read out at the CRT. In addition to the three analog inputs, it accepts a digital input which can reset the output to a preset value.



$$OUT(S) = \frac{(1 + T_{ld}S)}{(1 + T_{lg}S)} I(S)$$

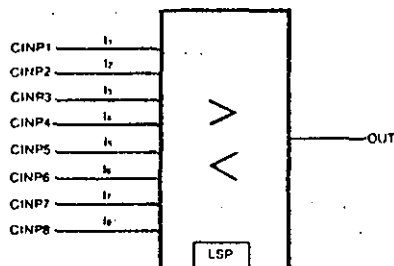
18 LEAD/LAG

The Lead/Lag algorithm provides conventional lead/lag action, with variable lead and lag time-constants.



20 REAL ALARM

The Real Alarm algorithm permits multiple-level alarming on process inputs or other variables. It provides not only high and low alarms, but also high-high, low-low and rate-of-change alarms. As with all algorithms, alarm-status condition bits can be channeled to the digital I/O drivers.

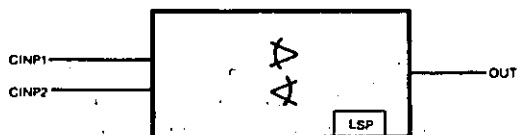


$$OUT_{Hi} = \text{Max Input}$$

$$OUT_{Lo} = \text{Min Input}$$

24, 25 OVERRIDE

The Override algorithm selects the minimum (25) or maximum (24) of up to eight inputs as its output. Non-selected inputs can be prevented from deviating from the value of the output by more than the override limit (a constant specified by the user), to prevent windup of upstream controllers.



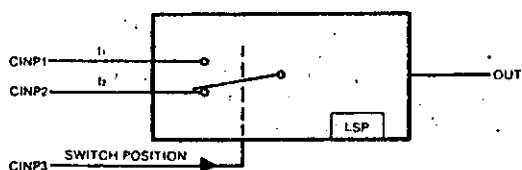
$$\text{OUT}_{\text{Upper}} = \text{Max} [I_1, I_2]$$

$$\text{OUT}_{\text{Lower}} = \text{Min} [I_1, I_2]$$

21, SELECT

22

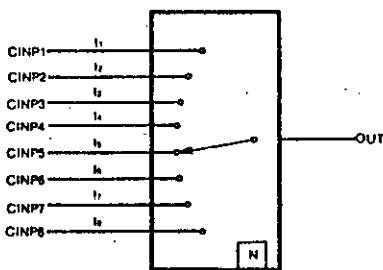
Like the Override, the Select algorithm selects maximum (21) or minimum (22) of its inputs, using weighted values of Input 1 and Input 2.



$$\text{OUT} = \text{Selected Input}$$

23 TWO-POSITION SWITCH

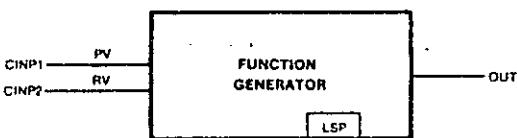
The Two-Position Switch algorithm selects as its output one of two weighted inputs, on the basis of the state of a digital input.



$$\text{OUT} = \text{Selected Input}$$

26 EIGHT-POSITION SWITCH

The Eight-Position Switch algorithm selects as its output one of up to eight inputs, on the basis of the Local Set Point, which must be an integer value of 1 through 8.



$$\text{OUT} = \text{Fn}(I_1, I_2)$$

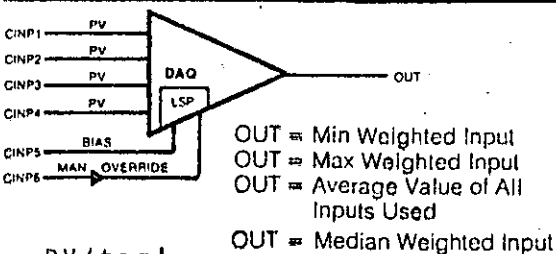
07,

08, FUNCTION GENERATORS

09,

10

Four Function Generator Algorithms provide a variety of function characterizations on the PV input, or on the deviation of the PV from a target value. These include an S-curve function (07), a four-segment function (08), a polynomial function (09) and an exponential function (10).



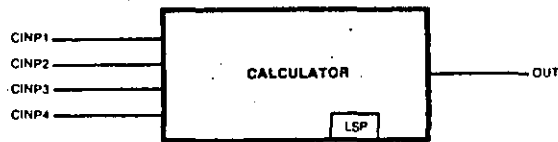
$$\text{RV/tag'}$$

27 DATA ACQUISITION

The Data Acquisition algorithm provides the means for maintaining conversion data and current values of up to 4 analog inputs, for indication at the Operator Station or other control purposes. Optional manual output capability is provided. Four functions are available, with weighting factors on the inputs.

7/42

Batch Logic Control Algorithms

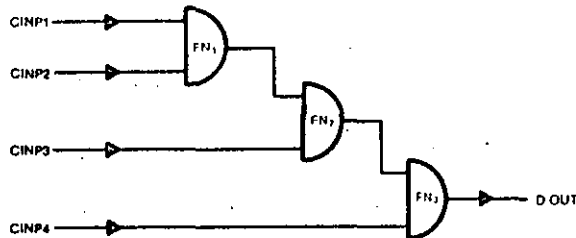


$$OUT = F_n(I_1, I_2, I_3, I_4)$$

28 CALCULATOR FUNCTION

A variety of preselected functions involving a choice of constants which can be used for creation of specific signal manipulation. One such example is

$$OUT = \frac{k_1(I_1 + k_2)(k_3 + k_4 I_2 + k_5 I_3)}{(k_6 + I_4)}$$

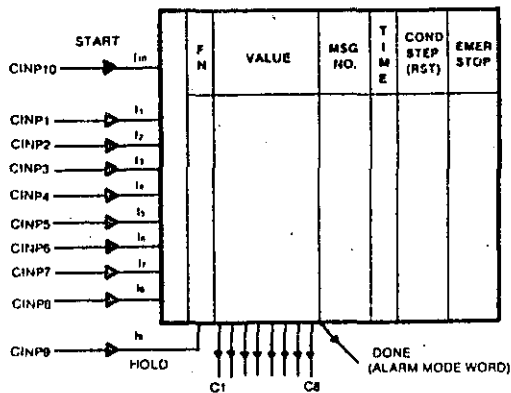


$$OUT = I_4 F_{n3}(I_3 F_{n2}(I_2 F_{n1}(I_1)))$$

$F_n = \text{AND, OR, EXOR}$

34 LOGIC FUNCTION (4-Channel)

The Logic Function algorithm provides four independent, four-input, hierarchical logic functions. Relatively complex logical functions may be simulated in each of the four channels of this algorithm. Each of the three gates making up a channel can be programmed to perform an AND, OR or EXCLUSIVE OR function.

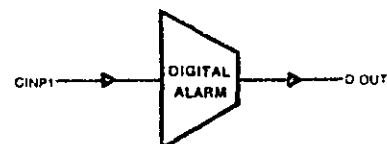


OUT = Logical State of 8 Discrete Outputs, C₁ Through C₈

38 SEQUENCER

The Sequencer (Sequence Generator) algorithm essentially simulates a drum programmer, through the use of digital firmware. It consists of eight steps of sequence, controlling eight status outputs. For each sequence step, the condition of the eight outputs, a message, a step-sequence time, and reset or emergency-stop jump conditions can be specified. Eight digital inputs may also be specified to operate independently, or in conjunction with step time, to indicate when the Sequencer should advance to the next sequence condition.

Unlike drum programmers, this algorithm provides a "conditional jump". During execution of a sequence step, a specific logical condition is monitored; if the condition occurs, the conditional jump will be made, outside the normal sequence. Larger sequence packages can be created by linking together multiple time slots with sequencers.



OUT = INPUT (AUTO)
OUT = Manual Control (MAN)

32 DIGITAL STATUS/ALARM (8-Channel)

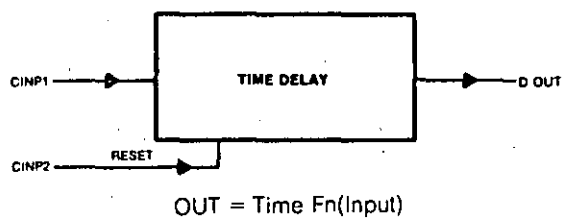
The Digital Status/Alarm algorithm provides eight independent channels of alarm, or status monitoring, of digital inputs.

Its three uses are:

To establish status messages on otherwise non-accessible digital signals, such as on/off conditions, or interlock conditions in a particular algorithm;

To establish alarm conditions on individual digital signals, including input signals from the Digital I/O Terminal Board; and

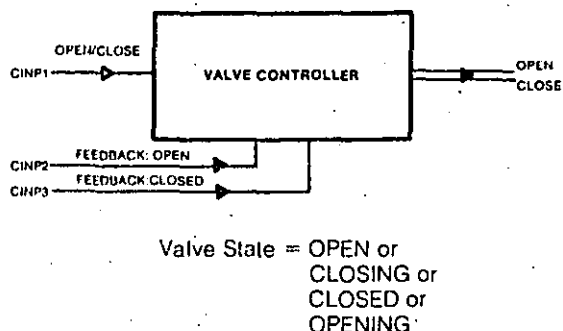
To create physical output signals at the Digital I/O Terminal Board.



33 TIME DELAY (4-Channel)

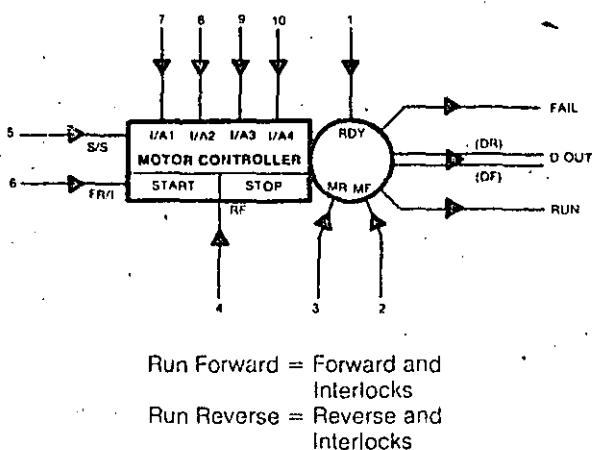
The Time Delay algorithm provides four essentially independent channels of time-delay-type functions on four digital inputs. Each of these delay functions may be specified as one of four types:

One-Shot, Retriggerable One-Shot, Condition Extend or Condition Delay.



35 VALVE CONTROLLER (4-Channel)

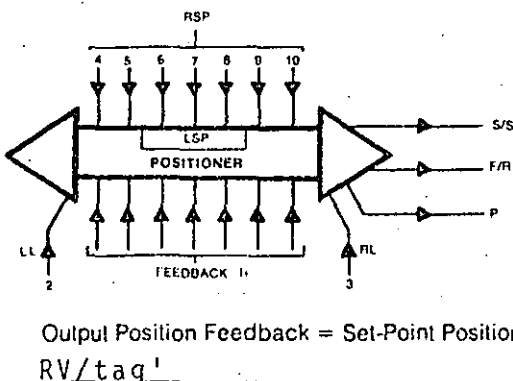
The Valve Controller algorithm provides four independent channels of valve control for solenoid-actuated (on/off) valves. Checks of position feedback and positioning time are made by the algorithm to detect failure conditions and initiate alarms.



36 MOTOR CONTROLLER (2-Channel)

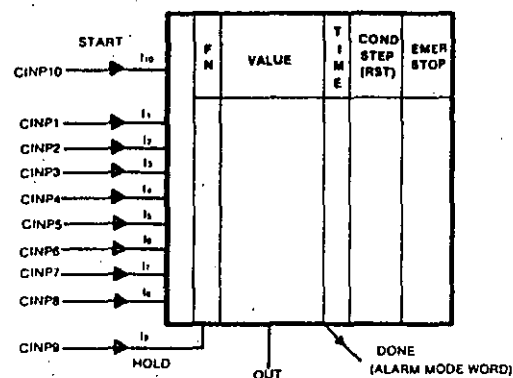
The Motor Controller algorithm provides two independent channels, each representing a motor-control mechanism equivalent to approximately 25 relays in a relay ladder diagram. It consists of 10 inputs; typically, 2 are control inputs, 3 are feedback inputs from motor contactors or motor-speed detection devices, 4 are interlock and alarm inputs, and the last is a "ready" signal. The algorithm produces both forward- and reverse-status bit outputs, and a control-channel output to a Digital Input/Output Terminal Board to drive a motor through interposing relays.

In manual mode, it responds only to "START/STOP REVERSE" from the Operator Station. In auto mode, it responds to the control signal inputs from within the loop or a motor-control device. In computer mode, it responds only to computer commands for start and stop.



37 POSITIONER (2-Channel)

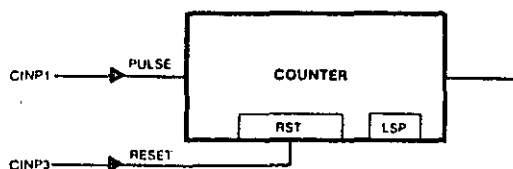
The Positioner algorithm is most commonly used to produce the control signals for motor controllers. In addition to the hard right- and left-limit inputs, which cause the Positioner to stop operation of a connected device, it has feedback and remote set-point inputs which can be routed to the Positioner algorithm from Digital Input/Output Terminal Boards. In the automatic mode, it provides a position set point through the Local Set Point of the slot in which the Positioner algorithm is configured.



OUT = Ramp- and Soak Profile Function

39 RAMP GENERATOR

The Ramp Generator algorithm, like the Sequence Generator, consists of eight sequential steps. In this algorithm, however, the output is a single analog value, which will frequently be used as the remote set point of a controller. For each step, the value of the "set point" can be specified as either a ramp value or a soak value. The conclusion of a sequence step can be a function of time and/or a function of a digital status input. The same conditional-step capability available in the Sequencer algorithm is provided, as are time specifications for each step. Larger programs can be created by linking together multiple time slots, each containing this algorithm.



OUT = $\sum (\text{Input Events})_k$

41 EVENT COUNTER

The Event Counter algorithm uses a discrete input and counts the number of positive transitions.

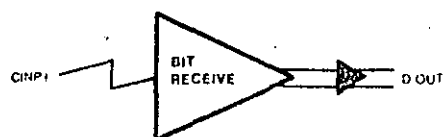
Communication Algorithms



OUT = Output of Remote Analog Point

19 ANALOG RECEIVE

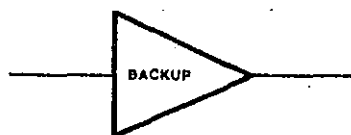
The Analog Receive algorithm permits acquiring values from another controller or other station on the data highway. These may be input values, output values of primary or auxiliary slots, or local set points. The user specifies the station and point number and the particular item of data required. This function can also be achieved in any of the 248 "data points" of a controller, as well as in any time slot.



OUT = Output of Remote Digital Point

40 BIT RECEIVE

The Bit Receive algorithm provides the means to acquire 16 bits (digital input, digital output, or alarm word) from another controller via the data highway, in a technique similar to that used for the Analog Receive algorithm. This function can also be achieved in any of the 248 "data points" of a controller, as well as in any time slot.



63 BACKUP

The Backup algorithm provides the means by which a controller can interrogate another controller data base to obtain dedicated backup of the entire controller file, or of selected slots.



LEEDS & NORTHRUP SYSTEMS Sumneytown Pike • North Wales, PA 19454
A UNIT OF GENERAL SIGNAL TELEPHONE: 215 643-2000 • CABLE ADDRESS "LEEDSNORTH"

We put you in control.

BIBLIOGRAFIA

Manual 277210 Rev D (PDS550)

Descripción Funcional Controlador Max 1 L&N

Manual 277254 Rev C (SL-06)

Descripción Funcional Sistema Pista de Datos Max 1 L&N

Manual 277253 Rev. C (PDS582)

Descripción Funcional Estación del Operador Max 1 L&N

Hoja de datos 277200 Rev F (SA-00)

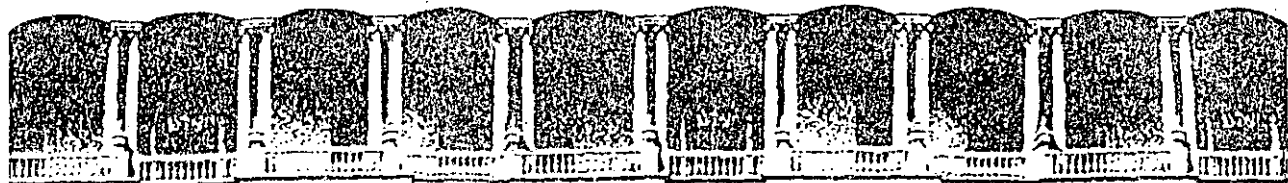
Descripción Funcional Algoritmos Max 1 L&N.

Notas del Curso Introducción al Control de Procesos Industriales
FI UNAM. Centro de Educación Continua, 1985

DISTRIBUTED DIGITAL SYSTEMS APPLIED TO UTILITY BOILER CONTROL
Roger A. Leimbach. Steam. Nuclear Power Systems
Leeds & Northrup Co. March 1982.

DISTRIBUTED CONTROL "A STEP BY STEP APPROACH FOR MODERNIZING CEMENT PLANT
CONTROL SYSTEMS
D.M. Steelman
Leeds & Northrup Co. 1985

APLICACIONES DE LOS SISTEMAS DE CONTROL DISTRIBUIDO
B. Paredes
Industrial World. Diciembre 1985.



FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA

INSTRUMENTACION ELECTRONICA DE PROCESOS INDUSTRIALES

CONTROL DISTRIBUIDO APLICACIONES
CONTROL DE CENTRALES TERMoeLECTRICAS

ING. ALEJANDRO GALVAN ESPINOSA.

CONTENIDO

- I. CONTROL DE CENTRALES TERMoeLECTRICAS
 - 1. INTRODUCCION
 - 2. BREVE DESCRIPCION DEL PROCESO
- II. FILOSOFIA DE CONTROL
 - 1. FUNCIONES DEL SISTEMA DE CONTROL
 - 2. OBJETIVOS DEL SISTEMA DE CONTROL
 - 3. DISTRIBUCION FUNCIONAL
 - 4. ESTRUCTURA JERARQUICA
- III. DESCRIPCION DE UN SISTEMA DE CONTROL DISTRIBUIDO APLICADO A CENTRALES TERMoeLECTRICAS

I. CONTROL DE CENTRALES TERMoeLECTRICAS

1. INTRODUCCION

EL CRECIMIENTO CONSTANTE EN LA DEMANDA DE ENERGIA ELECTRICA HA PROVOCADO QUE LA INDUSTRIA DE GENERACION AFRONTE LOS PROBLEMAS DERIVADOS DE ESTE CONSTRUYENDO CENTRALES CADA VEZ MAS GRANDES, LA TENDENCIA ACTUAL EN ESTE SENTIDO ES A CONSTRUIR CENTRALES TERMoeLECTRICAS CON CARACTERISTICAS NORMALIZADAS Y QUE UTILIZEN TECNOLOGIA AVANZADA PARA CUMPLIR CON EXIGENCIAS DE DISPONIBILIDAD Y SEGURIDAD.

LO ANTERIOR HA OCASIONADO QUE LAS CARACTERISTICAS DE LOS SISTEMAS DE CONTROL PARA ESTAS CENTRALES SE ADECUEN A LAS NECESIDADES DE ESTA INOVACION, REQUIRIENDOSE SISTEMAS MODERNOS, BASADOS EN MICROPROCESADORES Y DE GRAN ALCANCE.

LA OPERACION DE UNA CENTRAL TERMoeLECTRICA ES COMPLEJA Y REQUIERE DE PERSONAL ALTAMENTE CAPACITADO, A PESAR DE DISPONERSE DE EL, LOS ERRORES HUMANOS SON INEVITABLES Y LA CAPACIDAD DE LOS OPERADORES ES FINITA, POR LO QUE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMATICO QUE AYUDE A RESOLVER ESTOS PROBLEMAS ES INDISPENSABLE, ADEMAS EL USO DE SISTEMAS DE CONTROL INTEGRALES FACILITA EL FUNCIONAMIENTO OPTIMO DE LA PLANTA, AJUSTANDO AUTOMATICAMENTE LOS PARAMETROS DE OPERACION IMPORTANTES Y PROPORCIONANDO INFORMACION ACERCA DEL ESTADO DE LOS EQUIPOS, HACIENDO MAS SIMPLE LA LOCALIZACION DE FALLAS Y DISMINUYENDO LOS TIEMPOS DE REARRANQUE.

EL GRAN DESARROLLO DE LA ELECTRONICA DIGITAL EN LOS ULTIMOS TIEMPOS HA DESEMBOCADO EN SU APLICACION INDUSTRIAL SIENDO LA DE MAYOR ALCANCE LOS SISTEMAS DE CONTROL DISTRIBUIDO, ESTOS INTEGRAN TODAS LAS CAPACIDADES NECESARIAS PARA REALIZAR EL CONTROL DE UNA CENTRAL TERMoeLECTRICA Y SU USO EN LA ACTUALIDAD ES COMUN PARA ESTA APLICACION.

EN MEXICO EN LA ACTUALIDAD SE ENCUENTRAN EN LA FASE FINAL DE PROYECTO VARIAS CENTRALES AUTOMATIZADAS CON SISTEMAS DE CONTROL BASADOS EN MICROPROCESADORES Y LA TENDENCIA ES HA USAR ESTOS PARA PROYECTOS FUTUROS.

2. BREVE DESCRIPCION DEL PROCESO

UNA CENTRAL TERMoeLECTRICA MODERNA OPERA EN BASE AL CICLO RANKINE REGENERATIVO CON RECALENTAMIENTO, LO QUE IMPLICA LA OPERACION CONTINUA Y COORDINADA DE DOS EQUIPOS PRINCIPALES : UN GENERADOR DE VAPOR (CALDERA) Y UN TURBOGENERADOR (CONJUNTO DE TURBINA DE VAPOR Y GENERADOR ELECTRICO). LA COMPLEJIDAD Y EL TAMAÑO DE ESTOS SISTEMAS MECANICOS HACE NECESARIO EL USO DE MULTIPLES EQUIPOS AUXILIARES, INTERRELACIONADOS FUNCIONALMENTE Y DE MUY DIVERSOS TIPOS .

A GRANDES RASGOS EL PROCESO CONCISTE EN LLEVAR AGUA HASTA CONDICIONES DE VAPOR SOBRECALENTADO EN UNA CALDERA DE TUBOS DE AGUA, ESTE VAPOR SE HACE PASAR A TRAVEZ DE UNA TURBINA DE ALTA VELOCIDAD Y ACOPLADO AL EJE DE ESTA SE ENCUENTRA UN GENERADOR ELECTRICO. UNA VEZ QUE EL VAPOR EXHAUSTO A ESCAPADO DE LA TURBINA SE CONDENSA UTILIZANDO, EN UN INTERCAMBIADOR DE CALOR, AGUA DE ENFRIAMIENTO DE UN CIRCUITO ABIERTO. EL VAPOR CONDENSADO ES COLECTADO Y BOMBEADO A UN TANQUE DE DONDE SUCCIONAN LAS BOMBAS DE AGUA DE ALIMENTACION DE LA CALDERA, EN SU TRAYECTO ES CALENTADO UTILIZANDO VAPOR QUE SE EXTRAER DE PASOS INTERMEDIOS DE LA TURBINA.

PARA LA OPERACION DE LA CALDERA ADEMAS DEL AGUA DE ALIMENTACION SE REQUIERE DE GRANDES VOLUMENES DE AIRE QUE SE OBTIENE DE LA ATMOSFERA, UTILIZANDO UN GRUPO DE VENTILADORES PARA INTRODUCIRLO DENTRO DEL HOGAR, ADICIONALMENTE SE REQUIERE DE OTRO JUEGO DE VENTILADORES, EN LAS CALDERAS DE TIRO BALANCEADO, PARA EXTRAER LOS GASES PRODUCTO DE LA COMBUSTION Y CONducIRLOS A LA CHIMENEA. POR OTRO LADO EL COMBUSTIBLE NECESARIO ES BOMBEADO Y CALENTADO DESDE DEPOSITOS DE ALMACENAMIENTO HASTA UN SISTEMA DE QUEMADORES AUTOMATICOS.

LOS DISEÑOS A DETALLE DE LAS CENTRALES PUEDEN TENER MUCHAS VARIACIONES, REFIRIENDOSE A UNA PLANTA TIPICA DE 350 MW QUE UTILIZE COMO COMBUSTIBLE "BUNKER C" O COMBUSTOLEO, LOS PRINCIPALES SISTEMAS SON:

A) SISTEMA DE CONDENSADO. ESTE SISTEMA FORMA PARTE DEL CICLO TERMODINAMICO QUE SE REALIZA EN EL PROCESO DE LA CENTRAL, Y COMPRENDE DESDE EL ESCAPE DE LA TURBINA HASTA EL DEPOSITO DE SUCCION DE LAS BOMBAS DE AGUA DE ALIMENTACION (DESGASIFICADOR). EN ESTE SISTEMA EL VAPOR DE ESCAPE DE LA TURBINA SE HACE PASAR A TRAVES DE UN CONDENSADOR EN DONDE SE LLEVA A CABO EL CAMBIO DE FASE, ESTE CONCISTE EN UN HAZ DE TUBOS POR DONDE SE ENCUENTRA CIRCULANDO AGUA

A TEMPERATURA AMBIENTE, EL VAPOR PASA A TRAVES DE ESTOS POR EL EXTERIOR SEDIENDO SU CALOR LATENTE Y CONDENSANDOSE, FLUYE HASTA LA PARTE INFERIOR QUE CONSTITUYE UN DEPOSITO DE ALMACENAMIENTO (POZO CALIENTE) Y QUE SIRVE DE TANQUE DE SUCCION DE LAS BOMBAS DE CONDENSADO. GENERALMENTE SE CUENTA CON DOS BOMBAS DE 100 % DE CAPACIDAD, UNA EN OPERACION NORMAL Y UNA DE RESPALDO, ESTAS CUENTAN CON UNA LINEA DE RECIRCULACION CONTROLADA HACIA EL POZO CALIENTE CON EL FIN DE SOPORTAR LAS VARIACIONES EN LA DEMANDA DE FLUJO HACIA EL DESGASIFICADOR. EL FLUJO PRINCIPAL DE DESCARGA DE ESTAS BOMBAS SE HACE PASAR A TRAVES DE UN JUEGO DE INTERCAMBIADORES DE CALOR CARCAZA-TUBOS, EL CONDENSADO CIRCULA EN ESTOS POR EL LADO TUBOS Y POR EL LADO CARCAZA VAPOR PROVENIENTE DE UNA EXTRACCION DE UN PASO INTERMEDIO DE LA TURBINA, ESTO CONSTITUYE LA PARTE REGENERATIVA DEL CICLO TERMODINAMICO.

B) SISTEMA DE AGUA DE ALIMENTACION. ESTE SISTEMA COMPRENDE DESDE EL DESGASIFICADOR HASTA LA ENTRADA DE AGUA A LA CALDERA. EL DESGASIFICADOR ES BASICAMENTE UN DEPOSITO ELEVADO CON PRESION CONTROLADA, SU FUNCION ES ELIMINAR LOS GASES DISUELTOS EN EL AGUA DISMINUYENDO LA PRESION Y AUMENTANDO LA TEMPERATURA, PARA ESTO UTILIZA VAPOR PROVENIENTE DE UNA EXTRACCION DE LA TURBINA, POSEE ADEMÁS UN DEPOSITO QUE SIRVE DE SUCCION A LAS BOMBAS DE AGUA DE ALIMENTACION. SE CUENTA GENERALMENTE CON TRES DE ESTAS BOMBAS, DOS EN OPERACION NORMAL Y UNA DE RESPALDO, SON ACCIONADAS POR MOTOR ELECTRICO DE VELOCIDAD CONSTANTE Y POSEEN VARIADORES DE VELOCIDAD HIDRAULICOS, CON EL FIN DE CONTROLAR LA CANTIDAD DE AGUA QUE SE SUMINISTRA A LA CALDERA, CUENTAN ADEMÁS CON LINEAS DE RECIRCULACION CONTROLADA INDEPENDIENTES. EL AGUA DESCARGADA A ALTA PRESION POR ESTAS BOMBAS SE HACE PASAR A TRAVES DE UN SEGUNDO JUEGO DE INTERCAMBIADORES DE CALOR (CALENTADORES), SIMILARES A LOS DEL SISTEMA DE CONDENSADO, CON EL FIN DE INCREMENTAR SU TEMPERATURA Y FINALMENTE EL AGUA ES ENTREGADA A LA CALDERA.

C) SISTEMA DEL GENERADOR DE VAPOR LADO AIRE Y GASES. LAS CALDERAS UTILIZADAS EN NUESTRO PAIS PARA GENERACION TERMoeLECTRICA SON NORMALMENTE DE PAREDES DE AGUA CON DOMO SUPERIOR Y UTILIZAN COMBUSTIBLES FOSILES (COMBUSTOLEO O CARBON PRINCIPALMENTE), PARA LLEVAR A CABO EL PROCESO DE COMBUSTION EN EL INTERIOR (HOCAR) SE REQUIERE DE AIRE QUE ES IMPULSADO DESDE LA ATMOSFERA A POR UN JUEGO DE DOS VENTILADORES DE 50% DE CAPACIDAD CADA UNO, DENOMINADOS VENTILADORES DE TIRO FORZADO.

ANTES DE SU INGRESO AL HOGAR EL AIRE ES CALENTADO CON EL FIN DE INCREMENTAR LA EFICIENCIA DE LA COMBUSTION, ESTO SE LLEVA A CABO, EN UN PRIMER PASO, EN UN INTERCAMBIADOR DE CALOR QUE APROVECHA VAPOR DE UN PASO INTERMEDIO A LA SALIDA DE LA CALDERA (PRECALENTADORES), Y POSTERIORMENTE EN UN CALENTADOR REGENERATIVO DE AIRE QUE UTILIZA EL CALOR DE LOS GASES PRODUCTO DE LA COMBUSTION. ESTOS SON CONDUcidos HASTA LA CHIMENEA UTILIZANDO UN SEGUNDO JUEGO DE DOS VENTILADORES DE 50% DE CAPACIDAD CADA UNO, DENOMINADOS VENTILADORES DE TIRO INDUCIDO. NORMALMENTE EXISTE UN TERCER GRUPO DE DOS VENTILADORES DENOMINADOS DE RECIRCULACION DE GASES, ESTOS SUCCIONAN DE LA SALIDA DE GASES DEL HOGAR Y RECIRCULAN HACIA ESTE APROVECHANDO EL CALOR QUE TODAVIA POSEEN Y CON EL FIN DE CONTROLAR LA TEMPERATURA DEL VAPOR RECALENTADO QUE SALE DE LA CALDERA.

D) SISTEMA DE COMBUSTIBLE PARA EL GENERADOR DE VAPOR. ESTE SISTEMA COMPRENDE DESDE EL ALMACENAMIENTO DEL COMBUSTIBLE HASTA EL SISTEMA AUTOMATICO DE QUEMADORES. EL COMBUSTIBLE ES ALMACENADO EN GRANDES DEPOSITOS QUE CUENTAN CON SISTEMAS DE CALENTAMIENTO PARA EVITAR QUE SE SOLIDIFIQUE, DESDE ESTOS DEPOSITOS ES BOMBEADO HASTA UN TANQUE DE MENOR TAMAÑO (DENOMINADO TANQUE DE DIA) DE DONDE SUCCIONAN LAS BOMBAS DE ALIMENTACION A LA CALDERA, NORMALMENTE SE CUENTA CON TRES BOMBAS, DOS EN OPERACION NORMAL Y UNA DE RESERVA, ESTAS HACEN PASAR EL COMBUSTIBLE A TRAVES DE CALENTADORES, QUE UTILIZAN VAPOR SECUNDARIO DE LA CALDERA, PARA CONTROLAR SU TEMPERATURA Y ASI OBTENER UNA VISCOSIDAD ADECUADA PARA LOS QUEMADORES. LA COMPLEJIDAD DEL SISTEMA DE QUEMADORES DEPENDE DEL DISEÑO PARTICULAR DE LA CALDERA, SIN EMBARGO LOS MAS COMUNES CUENTAN CON UN ARREGLO DE ENTRE SEIS Y DOCE VALVULAS SOLENOIDES POR CADA QUEMADOR, CONSIDERANDO QUE UNA CALDERA DE 350 MW POSEE DOCE QUEMADORES Y QUE ESTOS DEBEN OPERAR EN UNA SECUENCIA PREESTABLECIDA Y CON LAS SEÑALES DE PROTECCION ADECUADAS, ESTE SISTEMA CONSTITUYE UNO DE LOS MAS GRANDES Y COMPLEJOS DE LA CENTRAL.

E) SISTEMA DEL GENERADOR DE VAPOR LADO AGUA Y VAPOR. ESTE SISTEMA COMPRENDE DESDE EL INGRESO DE AGUA A LA CALDERA HASTA LA SALIDA DE VAPOR SOBRECALENTADO Y RECALENTADO A LA TURBINA. LA FUNCION DE LA CALDERA ES CONVERTIR EL AGUA EN VAPOR A PRESION Y TEMPERATURA PREDETERMINADAS, PARA ELLO EL PROCESO SE INICIA CON EL INGRESO DE AGUA A LA CALDERA, LA TEMPERATURA DE ESTA ES ELEVADA EN UN BANCO DE TUBOS DENOMINADO ECONOMIZADOR, UTILIZANDO LOS GASES PRODUCTO DE LA COMBUSTION QUE ESCAPAN DEL

HOGAR DE LA CALDERA, POSTERIORMENTE ES INYECTADA EN EL DOMO DESDE DONDE DESCIENDE A TRAVES DE LOS TUBOS BAJANTES AL CABEZAL INFERIOR, DE AHI EL AGUA ASCIENDE A TRAVES DE LOS TUBOS DE LAS PAREDES DE AGUA INCREMENTANDO SU TEMPERATURA A TRAVES DEL CALOR QUE PROPORCIONA LA COMBUSTION Y POSTERIORMENTE INGRESA EN EL DOMO DONDE SUCEDER EL CAMBIO DE FASE, EL VAPOR QUE SALE DEL DOMO SE HACE PASAR A TRAVES DE BANCOS DE TUBOS QUE SE ENCUENTRAN EN LA PARTE SUPERIOR DE LA CALDERA CON EL FIN DE OBTENER VAPOR SOBRECALENTADO QUE SE HACE INGRESAR A LA TURBINA. DESPUES QUE EL VAPOR A TRABAJADO EN LA TURBINA DE ALTA PRESION SE REGRESA A LA CALDERA PARA PASAR A TRAVES DE OTRO BANCO DE TUBOS (RECALENTADOR), PARA FINALMENTE INGRESAR EN LA TURBINA DE ALTA PRESION. EN TODO ESTE SISTEMA SE CUENTA CON DIVERSA INSTRUMENTACION COMO VALVULAS SOLENOIDES DE ALIVIO Y MULTIPLES MEDICIONES DE PRESION Y TEMPERATURA QUE SIRVEN PARA MONITOREAR LA OPERACION GENERAL DEL GENERADOR DE VAPOR.

F) SISTEMA DE EXTRACCIONES DE LA TURBINA. PARA LA OPERACION EFICIENTE DEL CICLO TERMODINAMICO SE EXTRAHE VAPOR DE DIVERSOS PASOS DE LA TURBINA, CON EL FIN DE INCREMENTAR LA TEMPERATURA DEL AGUA DE ALIMENTACION, HACIENDO USO DE INTERCAMBIADORES DE CALOR QUE SE MENCIONAN EN LOS SISTEMAS DE CONDENSADO Y AGUA DE ALIMENTACION. CADA UNA DE ESTAS EXTRACCIONES CUENTA CON VALVULAS AUTOMATICAS PARA SU OPERACION Y SISTEMAS DE PROTECCION PARA EVITAR EL INGRESO DE AGUA A LA TURBINA.

G) SISTEMA DE LUBRICACION DE LA TURBINA. PARA PROPORCIONAR ADECUADA LUBRICACION A LAS CHUMACERAS DE LA TURBINA SE CUENTA CON UN JUEGO DE BOMBAS DE OPERACION AUTOMATICA, NORMALMENTE SON TRES Y CON UNA OPERACION QUE DEPENDE DEL DISEÑO DE LA TURBINA Y DE LAS CONDICIONES DE OPERACION DE LA MISMA, YA QUE GENERALMENTE CUENTA CON BOMBAS MECANICAS ACOPLADAS A SU EJE, Y ESTAS BOMBAS AUTOMATICAS OPERAN SOLO DURANTE EL PARO, EL ARRANQUE Y EN SITUACIONES DE EMERGENCIA.

H) SISTEMA DE FLUIDO DE CONTROL DE LA TURBINA. LAS VALVULAS QUE REGULAN EL INGRESO DE VAPOR A LA TURBINA OPERAN GENERALMENTE CON UN SISTEMA DE CONTROL HIDRAULICO INDEPENDIENTE, SIN EMBARGO SE REQUIERE DE UN CONTROL AUTOMATICO PARA LAS BOMBAS DE ESTE SISTEMA YA QUE SE CUENTA CON DOS BOMBAS, UNA EN OPERACION NORMAL Y UNA DE RESPALDO.

I) SISTEMA DE AGUA DE CIRCULACION. COMO SE DESCRIBIO EN EL SISTEMA DE CONDENSADO EL VAPOR DE ESCAPE DE LA TURBINA SE CONDENSA UTILIZANDO AGUA A TEMPERATURA AMBIENTE QUE SE TOMA DE UN CIRCUITO INDEPENDIENTE AL DEL CICLO TERMODINAMICO. EXISTEN DOS

DISEÑOS DIFERENTES PARA ESTE SISTEMA, DEPENDIENDO DE LA UBICACION GEOGRAFICA DE LA CENTRAL, SI ESTA SE ENCUENTRA EN LA COSTA EL AGUA NECESARIA PARA LA CONDENSACION SE TOMA DEL MAR A TRAVES DE GRANDES BOMBAS (USUALMENTE DOS DE 50 % DE CAPACIDAD CADA UNA) Y UN SISTEMA ESPECIAL DE FILTRADO, SI LA PLANTA SE UBICA TIERRA ADENTRO EL AGUA SE TOMA DE UN SISTEMA DE POZOS PROFUNDOS Y CONSTITUYE UN CICLO CERRADO EXISTIENDO UNA TORRE DE ENFRIAMIENTO PARA OBTENER UNA TEMPERATURA ADECUADA.

LOS SISTEMAS ANTES DESCRITOS CONSTITUYEN LOS PRINCIPALES PARA LA OPERACION DEL CICLO TERMODINAMICO Y SON LOS MAS COMPLICADOS DE LA CENTRAL, SIN EMBARGO EXISTEN MULTIPLES SISTEMAS AUXILIARES PARA HACER POSIBLE LA OPERACION DE LA CENTRAL, ALGUNOS DE ESTOS SON:

- + SISTEMA DE AGUA DE REPUESTO.
- + SISTEMA DE PULIDORES DE CONDENSADO.
- + SISTEMA DE AGUA DE ENFRIAMIENTO.
- + SISTEMA DE AGUA DE SERVICIOS.
- + SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO.
- + SISTEMA DE DOSIFICACION DE QUIMICOS.
- + SISTEMA DE ANALISIS Y MUESTREO.
- + SISTEMA DE VAPOR DE SELLOS.
- + SISTEMA DE VAPOR AUXILIAR.
- + SISTEMA DE AIRE DE SELLOS.

TODOS ESTOS SISTEMAS CUENTAN CON EQUIPO ESPECIAL Y MUCHOS DE ELLOS SON BASTANTE COMPLEJOS.

A PESAR DE NO MENCIONARSE, EN TODOS LOS SISTEMAS ANTES DESCRITOS EXISTEN MULTITUD DE CIRCUITOS DE CONTROL ANALOGICO QUE VAN DESDE LAZOS SIMPLES COMO PUEDE SER LA TEMPERATURA DEL COMBUSTIBLE QUE SE ALIMENTA A LA CALDERA, HASTA CIRCUITOS COMPLEJOS Y QUE INVOLUCREN VARIABLES DEL CICLO TERMODINAMICO COMO SON LA TEMPERATURA DE VAPOR RECALENTADO O EL CONTROL DE COMBUSTION DE LA CALDERA; ADEMÁS DE CIRCUITOS DE CONTROL BINARIO COMO EL CONTROL AUTOMATICO DE QUEMADORES O LOS SISTEMAS DE TRANSFERENCIA A EQUIPOS DE RESPALDO. PARA DAR UNA IDEA DEL TAMAÑO Y COMPLEJIDAD QUE TIENE UN SISTEMA DE CONTROL PARA ESTAS PLANTAS A CONTINUACION SE PROPORCIONAN ALGUNAS CIFRAS:

- + 500 EQUIPOS QUE CUENTAN CON CONTROL BINARIO
- + 40 LAZOS ANALOGICOS PRINCIPALES CON ELEMENTOS FINALES DE CONTROL.
- + 10 LAZOS ANALOGICOS QUE INVOLUCREN MULTIPLES VARIABLES Y QUE REALIZEN COORDINACION ENTRE LAZOS MAS SENCILLOS.
- + DURANTE UNA OPERACION DE ARRANQUE DE LA CENTRAL EXISTEN MOMENTOS EN QUE SE REQUIEREN HASTA MAS DE 50 COMANDOS POR MINUTO.

II. FILOSOFIA DE CONTROL

DE LO VISTO ANTERIORMENTE SE PUEDE CONCLUIR QUE EL PROCESO QUE SE LLEVA A CABO EN UNA CENTRAL TERMoeLECTRICA CONSTITUYE UN CASO ESPECIAL DENTRO DE LOS PROCESOS INDUSTRIALES, DEBIDO A VARIAS CARACTERISTICAS PARTICULARES :

+ SE TRATA DE UN PROCESO COMPLEJO POR INVOLUCRAR UN CICLO TERMODINAMICO CONTINUO.

+ EL NUMERO DE VARIABLES Y ELEMENTOS FISICOS A CONTROLAR ES CONSIDERABLE.

+ LA OPERACION DE LA CENTRAL DEBE SER TAL QUE MANTENGA UNA CONTINUIDAD DEL SERVICIO, ESTO ES, SE REQUIERE DE UNA ALTA DISPONIBILIDAD.

EL TRABAJO DE DISEÑAR UN SISTEMA DE CONTROL PARA UNA CENTRAL TERMoeLECTRICA ES COMPLICADO, REQUIERE DE PROFUNDOS CONOCIMIENTOS DEL PROCESO ASI COMO DE LA TECNOLOGIA DE CONTROL QUE HA DE UTILIZARSE, PARA PODER CONJUNTAR ESTAS CARACTERISTICAS DE MANERA ORDENADA ES NECESARIO GENERAR UN CONJUNTO DE CONCEPTOS PARA LA UTILIZACION DEL EQUIPO DE MANERA ORDENADA Y CONCISTENTE, ESTOS DEBEN COMPRENDER DESDE LAS FUNCIONES DEL SISTEMA, LOS OBJETIVOS, LA ESTRUCTURA DEL SISTEMA DE CONTROL, ASI COMO SOLUCIONES GENERALES ESTANDARIZADAS A PROBLEMAS DE INSTRUMENTACION Y CONTROL QUE SE PRESENTEN FRECUENTEMENTE.

1. FUNCIONES DEL SISTEMA DE CONTROL

LAS FUNCIONES DE UN SISTEMA DE CONTROL EN UNA CENTRAL TERMoeLECTRICA SON:

+COMANDAR EL ARRANQUE Y PARO DE LA PLANTA EN FORMA ORDENADA SEGURA Y ECONOMICA. EL SISTEMA DEBE SER CAPAZ DE PONER EN SERVICIO LOS DIFERENTES EQUIPOS DE LA PLANTA EN FORMA COORDINADA, MONITOREANDO Y TOMANDO DECISIONES CUANDO SEA NECESARIO, DE TAL FORMA QUE LA CENTRAL ALCANCE UNA CONDICION DE OPERACION ESTABLE Y SEGURA.

+MANTENER LA OPERACION DE LA PLANTA ESTABLE Y SEGURA EN TODO MOMENTO. EL SISTEMA DEBE CONTROLAR TODAS LAS VARIABLES DEL PROCESO, Y SUPERVISAR A TODOS Y CADA UNO DE LOS EQUIPOS CONTROLADOS, DETECTANDO MALOS FUNCIONAMIENTOS Y COORDINANDO EL ARRANQUE DE EQUIPOS DE RESPALDO.

+PROPORCIONAR INFORMACION AL OPERADOR DEL ESTADO QUE GUARDA EL PROCESO ASI COMO DE LAS PERTURBACIONES QUE SE PRESENTEN EN EL. DURANTE EL PROCESO DE ARRANQUE Y EN CUALQUIER CONDICION DE OPERACION EL SISTEMA DEBE ESTAR PRESENTANDO INFORMACION AL OPERADOR EN FORMA CLARA Y QUE SEA SUFICIENTE PARA DETERMINAR EL ESTADO QUE GUARDA EL PROCESO.

2.OBJETIVOS DEL SISTEMA DE CONTROL

LOS OBJETIVOS DE UN SISTEMA DE CONTROL EN UNA CENTRAL TERMoeLECTRICA SON:

+ SEGURIDAD. EVITANDO ERRORES DE OPERACION Y LLEVANDO A LA PLANTA A UNA CONDICION SEGURA EN CASO DE PRESENTARSE DISTURBIOS.

+ DISPONIBILIDAD. LLEVANDO A CABO OPERACIONES CORRECTIVAS QUE EVITEN EL PARO DE LA PLANTA EN CASO DE PRESENTARSE PERTURBACIONES.

+ OPERACION OPTIMA DE LA PLANTA. MONITOREANDO LAS VARIABLES CRITICAS Y REALIZANDO AJUSTES QUE PRODUSCAN UNA OPERACION EFICIENTE DE LA CENTRAL.

3.ESTRUCTURA DEL SISTEMA DE CONTROL

EL SISTEMA DE CONTROL DEBE CUMPLIR TAREAS TAN DIVERSAS Y DE TAN DIFERENTES GRADOS DE DIFICULTAD QUE HACE NECESARIA SU ORGANIZACION, EN LA ACTUALIDAD ESTA SE DA EN DOS DIRECCIONES DIFERENTES:

+DISTRIBUCION FUNCIONAL

+ESTRUCTURA JERARQUICA

3.DISTRIBUCION FUNCIONAL

DESDE EL PUNTO DE VISTA FUNCIONAL LA ORGANIZACION DEL SISTEMA DE CONTROL SE REALIZA DE ACUERDO AL PROCESO QUE SE ESTA MANEJANDO, LA CENTRAL ES DIVIDIDA EN "GRUPOS FUNCIONALES", ESTOS CONCISTEN EN CONJUNTOS DE EQUIPOS QUE REALIZAN UNA TAREA ESPECIFICA, FORMANDO UNIDADES INDEPENDIENTES DE OPERACION, POR EJEMPLO, EL SISTEMA DE AGUA DE ALIMENTACION ES UN CONJUNTO DE EQUIPOS QUE DEBEN OPERAR DE MANERA COORDINADA Y QUE PUEDEN FORMAR UN GRUPO FUNCIONAL, ESTA ORGANIZACION SE APLICA PARA TODA LA PLANTA Y OFRECE VENTAJAS NO SOLO DESDE EL

PUNTO DE VISTA DE DISEÑO MECÁNICO, SINO QUE FACILITA EL TRABAJO DE ESTRUCTURAR EL SISTEMA DE CONTROL POR LO SIGUIENTE:

+ CADA GRUPO FUNCIONAL DEL PROCESO CUENTA CON UNA INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL INDEPENDIENTE Y DESCENTRALIZADA. ESTO HACE POSIBLE QUE SE PUEDA PROCEDER POR ETAPAS EN EL DISEÑO, DECIDIENDO LIBREMENTE QUE Y COMO DEBE AUTOMATIZARSE EN CADA GRUPO FUNCIONAL.

+ LAS FALLAS SE PRESENTAN LOCALIZADAS EN UNA ZONA LIMITADA, ESTO AUNADO A UN DISEÑO ADECUADO BASADO EN DISTRIBUCIÓN DE FUNCIONES Y REDUNDANCIAS PUEDE MANTENER A LA CENTRAL EN OPERACIÓN EN CASO DE UN DISTURBIO.

4. ESTRUCTURA JERÁRQUICA

LA ORGANIZACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL EN ESTE SENTIDO DELIMITA FUNCIONES DE ACUERDO AL NIVEL DE AUTOMATIZACIÓN DE CADA GRUPO FUNCIONAL, ESTO ES, LAS FUNCIONES DE CONTROL SON CLASIFICADAS DE ACUERDO SU NIVEL DE AUTOMATIZACIÓN EN UNA ESTRUCTURA PIRAMIDAL, LO QUE PERMITE DAR UN ORDEN Y CLARIDAD AL DISEÑO Y A LA OPERACIÓN DE LA CENTRAL. EN EL CASO PARTICULAR DE UNA CENTRAL TERMoeLECTRICA SE DISTINGUEN SEIS NIVELES DE AUTOMATIZACIÓN:

- + INTERFASE CON EL PROCESO.
- + LÓGICAS DE PROTECCIÓN.
- + CONTROLES DE ENCLAVAMIENTO DESCONECTABLE.
- + CONTROLES DE SUBGRUPO.
- + CONTROLES DE GRUPO.
- + CONTROL DE UNIDAD.

4.1. INTERFASE CON EL PROCESO.

LOS EQUIPOS QUE CONSTITUYEN LA CENTRAL SON DE MUY DIFERENTES TIPOS Y TÁMENOS, SE PUEDEN ENCONTRAR DESDE VALVULAS SOLENOIDES DE 24 V Y UNOS CUANTOS WATTS, HASTA MOTORES DE VENTILADORES O BOMBAS DE 13 MW ALIMENTADOS CON 6.9 KV. POR OTRO LADO LAS SEÑALES QUE SE ADQUIEREN PUEDEN SER DESDE SIMPLES INTERRUPTORES DE PRESIÓN HASTA SEÑALES PROVENIENTES DE COMPLEJOS SISTEMAS DE MEDICIÓN ULTRASONICA DE NIVEL. MIENTRAS QUE EL SISTEMA DE CONTROL MANEJA SEÑALES DE MUY BAJA POTENCIA (mW) Y EN TENSIONES NORMALMENTE DE 24 V, POR LO QUE SE HACE NECESARIA UNA ETAPA INTERMEDIA DE ACOPLAMIENTO ENTRE ESTOS DOS NIVELES.

ESTA INTERFASE SE REALIZA BAJO UNA NORMALIZACIÓN QUE INDICA: SEÑALES BINARIAS DE 0 O +24 V, Y SEÑALES

ANALOGICAS DE 4 A 20 mA Y ADENAS SE DISTINGUEN DOS ESQUEMAS DE ACOPLAMIENTO DE ACUERDO AL FLUJO DE SEÑALES:

- + ACONDICIONAMIENTO DE SEÑALES. CUANDO SE TRATA DE SEÑALES DEL PROCESO ADQUIRIDAS POR EL SISTEMA DE CONTROL.

- + MANDO DE ACCIONAMIENTOS. CUANDO SE TRATA DE SEÑALES GENERADAS POR EL SISTEMA DE CONTROL HACIA EL PROCESO,

EL ACONDICIONAMIENTO DE SEÑALES DEBE CONTEMPLAR ETAPAS DE AISLAMIENTO PARA PROTEGER AL SISTEMA DE CONTROL CONTRA EVENTUALIDADES ELECTRICAS QUE SUCEдан EN EL CAMPO, Y ADENAS UN PROCESO DE VIGILANCIA SOBRE EL BUEN ESTADO DE LAS SEÑALES ASI COMO UNA MANERA DE DISTRIBUIRLAS A TODOS LOS POSIBLES RECEPTORES DENTRO DEL SISTEMA.

PARA LA ADQUISICION DE SEÑALES ANALOGICAS EL SISTEMA DE CONTROL DEBE CONTEMPLAR LOS SIGUIENTES ASPECTOS:

- + ALIMENTACION UNIFORME A LOS TRANSMISORES DE CAMPO, SUPERVISANDO ESTA Y GENERANDO SEÑALES DE ALARMA EN CASO DE FALLA.

- + SUPERVISION DE LOS NIVELES DE LA SEÑAL PARA DETECTAR FALLAS EN LOS TRANSMISORES Y GENERACION DE SEÑALES DE ALARMA EN CASO DE DETECTARSE ANORMALIDADES.

- + CAPACIDAD PARA DISTRIBUIR LA SEÑAL, TANTO A TRAVES DEL SISTEMA DE COMUNICACIONES COMO A TRAVES DE CABLE CONVENCIONAL.

- + POSIBILIDADES DE REALIZAR SIMULACIONES DE LAS SEÑALES ADQUIRIDAS.

EN LA ADQUISICION DE SEÑALES BINARIAS EL SISTEMA DEBE CONSIDERAR LAS SIGUIENTES FUNCIONES:

- + ALIMENTACION UNIFORME A LOS CONTACTOS DE CAMPO ASI COMO SUPERVISION Y ALARMA EN CASO DE FALLA DE ESTA.

- + SUPERVISION DE LA OPERACION DE LOS CONTACTOS, DETECTANDO "DOBLE 0" Y DOBLE 1" (ANTIVALENCIA) Y ALARMANDO EN CASO DE PRESENTARSE ESTA CONDICION.

- + SUPERVISION DE LA ROTURA DE CABLES DE LAS SEÑALES PROVENIENTES DE CAMPO ASI COMO GENERACION DE LA ALARMA CORRESPONDIENTE.

- + CAPACIDAD PARA DISTRIBUIR LAS SEÑALES ADQUIRIDAS, TANTO A TRAVES DEL SISTEMA DE COMUNICACIONES COMO A TRAVES DE CABLE CONVENCIONAL.

- + POSIBILIDAD DE SIMULAR LAS SEÑALES ADQUIRIDAS.

EL MANDO DE ACCIONAMIENTOS REALIZA EL ACOPLO DE LAS SEÑALES DE COMANDO GENERADAS POR EL OPERADOR O

POR EL SISTEMA DE CONTROL CON LOS PROPIOS ACCIONAMIENTOS CONTROLADOS, SEAN ESTOS MOTORES, VALVULAS MOTORIZADAS, VALVULAS SOLENOIDES, POSICIONADORES NEUMATICOS ETC, DEBIENDO REALIZARLO EN UN ESQUEMA UNIFORME. ES TAMBIEN FUNCION DEL MANDO DE ACCIONAMIENTOS REALIZAR LA VIGILANCIA DEL BUEN FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO CONTROLADO ASI COMO ASIGNAR PRIORIDADES A LAS DIFERENTES SEÑALES DE CONTROL DE ACUERDO A SU PROCEDENCIA Y JERARQUIA.

ESTAS FUNCIONES SE HARAN POSIBLES GRACIAS A UNA UNIFORMIDAD EN LAS LOGICAS DE INTERFASE CON LOS ACCIONAMIENTOS CONTROLADOS QUE CONSIDERE LOS SIGUIENTES ASPECTOS:

- + UNIFORMIDAD EN LAS SALIDAS HACIA ACCIONAMIENTOS BINARIOS QUE CONSIDERE RELEVADORES DE INTERFASE, ASI COMO CIRCUITOS DE CONTROL ELECTRICOS NORMALIZADOS.

- + ASIGNACION DE PRIORIDADES FIJA PARA LAS SEÑALES DE CONTROL CONSIDERANDO CUATRO NIVELES:

- SEÑALES DE PROTECCION

- COMANDOS MANUALES

- SEÑALES AUTOMATICAS

- SEÑALES DE PERMISIVOS

- + SUPERVISION DEL ESTADO ACTUAL DEL ACCIONAMIENTO, VIGILANDO QUE SU POSICION ACTUAL COINCIDA CON LA ULTIMA ORDEN RECIBIDA.

- + SUPERVISION DEL TIEMPO DE EJECUCION, VIGILANDO QUE LAS ORDENES SE EFECTUEN EN EL TIEMPO PREESTABLECIDO.

- + SUPERVISION DE ANTIVALENCIA DE LOS CONTACTOS DE RETROAVISO (CONTACTOS QUE INDICAN UN ESTADO DEFINIDO DEL ACCIONAMIENTO).

- + SUPERVISION DE LA TENSION DE ALIMENTACION PRINCIPAL DE LOS ACCIONAMIENTOS.

- + INDICACION TANTO AL OPERADOR DEL ESTADO QUE GUARDAN LOS ACCIONAMIENTOS ASI COMO DE SUS POSIBLES FALLAS.

4.2. LOGICAS DE PROTECCION

ESTE NIVEL DE AUTOMATIZACION ES EL ENCARGADO DE VIGILAR LA SEGURIDAD DE LA PLANTA, TIENE UNA PRIORIDAD SUPERIOR A CUALQUIER OTRO Y DEBE SER INACCESIBLE AL OPERADOR. SU FUNCION ES LA DE EVITAR QUE EL EQUIPO DE LA PLANTA CAIGA EN CONDICIONES DE OPERACION PELIGROSAS TANTO PARA EL PERSONAL COMO PARA LOS PROPIOS EQUIPOS, ESTA ORGANIZADO EN DOS NIVELES FUNCIONALES:

- + GENERACION DE SEÑALES PERMISIVAS DE OPERACION (PERMISIVOS).

- + GENERACION DE SEÑALES DE PROTECCION.

LOS PERMISIVOS SON SEÑALES PASIVAS, ESTO ES, NO PRODUCEN UNA ACCION SINO QUE CONDICIONAN LA

OPERACION DE LOS EQUIPOS, EVITANDO QUE TANTO LOS CONTROLES AUTOMATICOS COMO EL OPERADOR REALIZEN ACCIONES INCORRECTAS.

LAS SEÑALES DE PROTECCION SON, POR EL CONTRARIO, SEÑALES ACTIVAS QUE CAMBIAN EL ESTADO DE OPERACION DE LOS ACCIONAMIENTOS CUANDO SE DETECTA QUE LAS CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO SON INADECUADAS.

ESTE NIVEL ES REALIZADO A TRAVES DE FUNCIONES LOGICAS BASICAS, AUN EN EL CASO DE ACCIONAMIENTOS ANALOGICOS DONDE ORDENES DE DISPARO Y SEÑALES PERMISIVAS TIENEN PRIORIDAD SOBRE LAS SEÑALES DE CONTROL AUTOMATICO, Y DEBE ESTAR REALIZARSE NO SOLO EN EL NIVEL MAS BAJO DE AUTOMATIZACION COMPRENDIENDO INCLUSIVE LOS CONTROLES AUTOMATICOS DE MAYOR JERARQUIA EN LA PLANTA.

4.3. CONTROLES DE ENCLAVAMIENTO DESCONECTABLE.

EN ESTE NIVEL SE REALIZAN LAS FUNCIONES AUTOMATICAS ELEMENTALES, COMO CAMBIO DEL ESTADO DE UN ACCIONAMIENTO O GRUPO DE ACCIONAMIENTOS DE ACUERDO A CONDICIONES DEL PROCESO, TRANSFERENCIA A EQUIPOS DE RESPALDO QUE NO REQUIERAN UNA SECUENCIA, LAZOS ANALOGICOS SIMPLES, ETC. LA FUNCION PRINCIPAL DE ESTE NIVEL DE AUTOMATIZACION ES LA DE REALIZAR TAREAS AUTOMATICAS SENCILLAS QUE SEAN SUCEPTIBLES DE SER INHIBIDAS POR EL OPERADOR, Y QUE INVOLUCREN UN SOLO ACCIONAMIENTO O UN GRUPO PEQUEÑO DE ESTOS SIN NECESIDAD DE QUE OPEREN EN SECUENCIA.

4.4. CONTROLES DE SUBGRUPO.

LA FUNCION DE UN CONTROL A ESTE NIVEL DE AUTOMATIZACION ES LA COORDINAR A UN NUMERO CONSIDERABLE DE ACCIONAMIENTOS QUE OPEREN DE MANERA CONJUNTA, POR EJEMPLO EN UNA SECUENCIA PREESTABLECIDA. LA TAREA DE COMANDAR UN GRUPO DE ACCIONAMIENTOS DE MANERA COORDINADA ES UNA FUNCION COMPLEJA, QUE REQUIERE DE UNA CONSIDERABLE CANTIDAD DE INFORMACION Y DE UN PROCESAMIENTO ORGANIZADO DE ESTA, PARA CUBRIR ESTOS REQUERIMIENTOS EL SISTEMA DE CONTROL DEBE POSEER FUNCIONES DEDICADAS PARA ESTOS FINES. COMO PUEDE SER LA FACILIDAD DE CONFIGURAR PROGRAMAS DE CONTROL SECUENCIALES, QUE CONTEMPLAN SUPERVISION SOBRE LOS EQUIPOS CONTROLADOS Y QUE ADEMAS PROPORCIONEN INFORMACION SUFICIENTE AL OPERADOR. EN CENTRALES TERMoelectricas ESTOS CONTROLES SON GENERALMENTE USADOS PARA COMANDAR SECUENCIAS DE OPERACION DE EQUIPOS PRINCIPALES COMO PUEDEN SER EL ARRANQUE O PARO DE LA TURBINA, DE LAS BOMBAS DE AGUA DE ALIMENTACION Y LOS VENTILADORES DE AIRE Y GASES DE LA CALDERA ETC. Y ESTAN REALIZADOS DE TAL FORMA QUE PROPORCIONEN INFORMACION AL OPERADOR ACERCA DE SU FUNCIONAMIENTO, A

TRAVES DE INDICACIONES EN LA CONSOLA DE CONTROL DE LAS ACCIONES QUE SE ESTAN REALIZANDO AUTOMATICAMENTE, Y DE PERTURBACIONES EN ESTAS EN CASO DE QUE SE PRESENTEN.

4.5. CONTROLES DE GRUPO.

ESTOS CONTROLES TIENEN LA FUNCION DE COORDINAR LA OPERACION DE VARIOS CONTROLES DE SUBGRUPO, DE ACUERDO A LAS CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO GLOBALES DE LA PLANTA. SON CONTROLES CUYA PRINCIPAL CARACTERISTICA ES LA DE SER CAPACES DE TOMAR DECISIONES QUE CAMBIEN EL ESTADO DE OPERACION DE TODA LA PLANTA, GENERALMENTE SON USADOS PARA COORDINAR LA OPERACION DE TODO UN GRUPO FUNCIONAL DE LA CENTRAL, REALIZANDO EL CONTROL DE LA DEMANDA DE EQUIPOS DE RESPALDO COMO EN EL SISTEMA DE AGUA DE ALIMENTACION O COMANDANDO SECUENCIAS DE ARRANQUE Y PARO COMO EN LOS SISTEMAS DE AIRE Y GASES Y DEL TURBOGENERADOR. EN ESTE NIVEL PUEDEN CONSIDERARSE TAMBIEN LOS CIRCUITOS DE CONTROL ANALOGICO COMPLEJOS COMO EL DE COMBUSTION DE LA CALDERA, O EL DE PRESION DE VAPOR DE VAPOR PRINCIPAL. PARA ESTAS TAREAS EL SISTEMA DE CONTROL DEBE CONTAR CON FUNCIONES ESPECIALES QUE FACILITEN AL DISEÑADOR LA ESTRUCTURACION DE SISTEMAS DE CONTROL COMPLEJOS, COMO CONTROLES DE DEMANDA DE AUTOMATICA DE EQUIPOS, CONTROLES SECUENCIALES Y POSIBILIDADES DE INTERCONECTAR LAZOS ANALOGICOS ENTRE SI Y CON CONTROLES BINARIOS, ASI COMO LA REALIZACION DE FUNCIONES ANALOGICAS COMPLEJAS COMO LIMITADORES DE VELOCIDAD, FILTROS ESPECIALES ETC.

4.6. CONTROL DE UNIDAD.

ESTE ES EL NIVEL MAXIMO DE AUTOMATIZACION EN UNA PLANTA Y ES EL RESPONSABLE DE COORDINAR LA OPERACION DE TODOS LOS CONTROLES DE GRUPO, DE ACUERDO A LA DEMANDA DE ARRANQUE O PARO DE TODA LA CENTRAL.

III. DESCRIPCION DE UN SISTEMA DE CONTROL DISTRIBUIDO APLICADO A CENTRALES TERMoeLECTRICAS

EL SISTEMA DE CONTROL DISTRIBUIDO QUE SE DESCRIBE A CONTINUACION ES UN SISTEMA CONCEBIDO ESPECIALMENTE PARA SU APLICACION EN CENTRALES TERMoeLECTRICAS, Y CUMPLE CON TODOS Y CADA UNO DE LOS REQUERIMIENTOS MENCIONADOS EN LA FILOSOFIA DE CONTROL, DEBIDO A ESTAS CARACTERISTICAS ES UN SISTEMA CONCEPTUALMENTE DIFERENTE A LA MAYORIA DE LOS EXISTENTES.

EL SISTEMA CONCISTE BASICAMENTE DE MODULOS FUNCIONALES PROGRAMABLES AUTONOMOS, COMUNICADOS ENTRE SI A TRAVES DE UN BUS (BUS DE ENTRADAS/SALIDAS) QUE CUENTA CON UN CONTROLADOR DEDICADO Y AGRUPADOS EN PARES DE GABINETES QUE CONSTITUYEN UNA UNIDAD FUNCIONAL INDEPENDIENTE QUE SE DENOMINARA "UNIDAD DE AUTOMATIZACION", ESTA CUENTA ADEMÁS CON CAPACIDAD PARA CONECTARSE A UN SISTEMA DE COMUNICACIONES REDUNDANTE (BUS REMOTO).

LA ESTRUCTURA DEL SISTEMA ES MODULAR BASADA EN MODULOS FUNCIONALES CONFIGURABLES, SIN CONTAR CON UNA UNIDAD CENTRAL DE AUTOMATIZACION, LAS FUNCIONES DE ESTA SE ENCUENTRAN DISTRIBUIDAS EN CADA UNO DE LOS MODULOS, QUE POSEEN CARACTERISTICAS DEDICADAS HACIA FUNCIONES DE CONTROL ESPECIFICAS.

FISICAMENTE LA UNIDAD DE AUTOMATIZACION ESTA CONSTITUIDA POR UN PAR DE GABINETES, CADA UNO DE ELLOS CONTIENE CINCO PORTAMODULOS, UNO DE ELLOS DEDICADO A LA FUENTE DE ALIMENTACION. CADA PORTAMODULO TIENE CAPACIDAD PARA ALOJAR HASTA 14 MODULOS FUNCIONALES, Y ESTAN AGRUPADOS EN DOS SISTEMAS DE COMUNICACION (BUSES) INDEPENDIENTES DENOMINADOS BUS I Y BUS II, ESTOS BUSES INTERCONECTAN CUATRO PORTAMODULOS CADA UNO, DOS DE CADA GABINETE.

EN UNO DE LOS GABINETES DENOMINADO BASICO SE ENCUENTRAN UBICADOS LOS MODULOS RESPONSABLES DE LAS COMUNICACIONES, ESTOS SON DE TRES TIPOS:

- + MODULO CONTROLADOR DE BUS DE ENTRADAS/SALIDAS. ESTE MODULO REALIZA LA COORDINACION DE LAS COMUNICACIONES ENTRE LOS MODULOS FUNCIONALES, Y LA TRANSFERENCIA A MODULOS DE RESPALDO EN CASO DE TENERSE UNA ESTRUCTURA REDUNDANTE.

- + MODULO ACOPLADOR DE BUSES DE ENTRADAS/SALIDAS. ESTE MODULO REALIZA EL ACOPLAMIENTO ENTRE LOS DOS SISTEMAS DE BUSES DE LA UNIDAD DE AUTOMATIZACION.

+ MODULO CONVERTIDOR DE BUS DE E/S A BUS REMOTO. ESTE MODULO REALIZA LA COORDINACION DE LAS COMUNICACIONES ENTRE UNA UNIDAD DE AUTOMATIZACION Y LAS DEMAS QUE FORMEN EL SISTEMA.

LA COMUNICACION ENTRE LAS DIFERENTES UNIDADES DE AUTOMATIZACION OPERA A TRAVES DE LOS MODULOS CONVERTIDORES DE BUS DE E/S A BUS REMOTO, UTILIZANDO EL PRINCIPIO DE MAESTRO VOLADOR. ESTE PRINCIPIO BASICAMENTE CONCISTE EN ASIGNAR LA FUNCION DE CONTROLADOR DEL BUS REMOTO A TODOS Y CADA UNO DE LOS MODULOS CONVERTIDORES, DE MANERA SECUENCIAL Y BAJO UN SISTEMA DE PRIORIDADES Y REQUERIMIENTOS, LO QUE GARANTIZA EL INTERCAMBIO DE SEÑALES YA QUE NO EXISTE UN SOLO CONTROLADOR SINO QUE ESTA FUNCION RECAE SOBRE TODOS LOS PARTICIPANTES EN EL BUS REMOTO, POR LO QUE DISMINUYE DRASTICAMENTE LAS POSIBILIDADES DE FALLA.

LA UNIDAD DE AUTOMATIZACION ESTA DISEÑADA PARA CONSTITUIR LIBREMENTE SISTEMAS DE CONTROL REDUNDANTES O SIMPLES A LIBRE JUICIO DEL DISEÑADOR. EN EL PRIMER CASO LA REDUNDANCIA EXISTE DESDE EL BUS DE COMUNICACIONES, EL CONTROLADOR DE ESTE Y LOS MODULOS FUNCIONALES, HASTA LA ADQUISICION DE LAS SEÑALES Y LOS COMANDOS DE SALIDA. Y PUEDE CUBRIR CUALQUIER REQUERIMIENTO DE REDUNDANCIA PARCIAL O TOTAL DEL SISTEMA DE CONTROL.

LA REDUNDANCIA DE LAS FUNCIONES DE CONTROL DESEADAS SE OBTIENE UBICANDO DOS MODULOS CON LA MISMA FUNCION EN PORTAMODULOS ADYACENTES, Y QUE PERTENEZCAN A DIFERENTE BUS DE E/S, ESTOS MODULOS OPERAN BAJO UN PRINCIPIO 1 DE 2 CON RESPALDO CALIENTE, LO QUE SIGNIFICA QUE EN UN MOMENTO DADO DE OPERACION DEL SISTEMA, SOLO UNO DE LOS MODULOS ESTA PROPORCIONANDO SALIDAS, MIENTRAS QUE SU RESPALDO SOLO ESTA ACTUALIZANDO SUS ENTRADAS, LOS MODULOS SE ENCUENTRAN MONITOREANDOSE ENTRE SI Y ADEMAS SON SUPERVISADOS POR EL CONTROLADOR DE BUSES DE E/S. CUANDO UN MAL FUNCIONAMIENTO ES DETECTADO EL CONTROL ES TRANSFERIDO AUTOMATICAMENTE AL MODULO DE RESPALDO SIN INTERRUPTIRSE EL PROCESO DE CONTROL QUE SE ESTE REALIZANDO.

PARA FACILITAR UNA UNIFORMIDAD DE LAS SOLUCIONES DE CONTROL, Y EVITAR LA NECESIDAD DE DISPONER DE GRANDES CANTIDADES DE PARTES DE REPUESTO DIFERENTES, LOS MODULOS FUNCIONALES O MODULOS DE E/S CON QUE SE CUENTA PARA ESTRUCTURAR LAS FUNCIONES DE CONTROL SON SOLO DE SEIS TIPOS DIFERENTES:

+ MODULO DE ADQUISICION DE SEÑALES ANALOGICAS.

ESTE MODULO TIENE CAPACIDAD PARA MANEJAR HASTA 14 TRANSMISORES DE CORRIENTE (0/4 A 20 mA), REALIZANDO LAS SIGUIENTES FUNCIONES:

-ALIMENTACION ELECTRICA A LOS TRANSMISORES DE CAMPO.

-MONITOREO DE VALORES FUERA DE RANGO DE LA SEÑAL ADQUIRIDA.

-FILTRADO DE LAS SEÑALES ADQUIRIDAS.

-CAPACIDAD DE REALIZAR PROCESAMIENTO ANALOGICO DE LAS SEÑALES ADQUIRIDAS, COMO OBTENCION DE VALORES LIMITE Y CALCULO ANALOGICO EN GENERAL.

-DISTRIBUCION DE LAS SEÑALES VIA EL BUS DE E/S O VIA SALIDAS EN CORRIENTE Y/O VOLTAJE (0 A 10 V).

-CAPACIDAD DE SIMULAR SEÑALES ADQUIRIDAS, HACIENDO USO DE UNA UNIDAD DE OPERACION MANUAL.

+ MODULO DE ADQUISICION DE SEÑALES DE TEMPERATURA.

ESTE MODULO, JUNTO CON DOS MODULOS DE EXTENSION NO PROGRAMABLES, TIENE CAPACIDAD PARA MANEJAR HASTA 32 SEÑALES PROVENIENTES DE TERMOPARES O RTD's INDISTINTAMENTE, REALIZANDO LAS SIGUIENTES FUNCIONES:

-ADQUISICION DIRECTA DE TERMOPARES O RTD's.

-ALIMENTACION A LOS RTD's.

-MONITOREO DE ROTURA DE ALAMBRES DE CONEXION A CAMPO.

-MONITOREO DE VALORES EXTREMOS DE LA SEÑAL ADQUIRIDA.

-FILTRADO DE LAS SEÑALES ADQUIRIDAS.

-LINELIZACION DE CURVAS CARACTERISTICAS.

-CAPACIDAD DE REALIZAR PROCESAMIENTO ANALOGICO.

-DISTRIBUCION DE LAS SEÑALES VIA EL BUS DE E/S O CABLE CONVENCIONAL.

+ MODULO DE ADQUISICION DE SEÑALES BINARIAS.

EL MODULO DE ADQUISICION DE SEÑALES BINARIAS TIENE CAPACIDAD PARA MANEJAR HASTA 28 CONTACTOS O SENSORES DE PROXIMIDAD, REALIZANDO LAS SIGUIENTES FUNCIONES:

- ALIMENTACION A LOS CONTACTOS.
- MONITOREO DE ROTURA DE ALAMBRES, CORTO CIRCUITO Y ANTIVALENCIA DE DOBLE O.
- FILTRADO DE LAS SEÑALES.
- CAPACIDAD PARA REALIZAR CALCULO BINARIO SIMPLE.
- DISTRIBUCION DE LAS SEÑALES VIA EL BUS DE E/S O CABLE CONVENCIONAL.

+ MODULO DE CALCULO BINARIO.

ESTE MODULO ESTA DESTINADO PARA LA REALIZACION DE LOS NIVELES DE INTERFASE CON ACCIONAMIENTOS BINARIOS Y LOGICA DE PROTECCION, CUENTA CON CAPACIDAD PARA REALIZAR FUNCIONES LOGICAS SIMPLES Y ADEMAS POSEE BLOQUES FUNCIONALES PREPROGRAMADOS PARA REALIZAR LAS FUNCIONES COMPLEJAS DE INTERFASE CON LOS ACCIONAMIENTOS BINARIOS Y MANEJO DE LA INDICACION Y CONTROL DESDE LA CONSOLA CENTRAL. EN CONJUNTO CON UN MODULO DE EXTENSION NO INTELIGENTE ES CAPAZ DE REALIZAR EL CONTROL Y SUPERVISION DE HASTA CINCO ACCIONAMIENTOS BINARIOS, SEAN ESTOS VALVULAS MOTORIZADAS, MOTORES O VALVULAS SOLENOIDES.

+ MODULO FUNCIONAL DE CONTROL BINARIO.

ESTE MODULO ESTA DESTINADO A REALIZAR LAS FUNCIONES DE CONTROL DE MAYOR JERARQUIA, ESTO ES CONTROLES DE GRUPO Y SUBGRUPO, POSEE BLOQUES FUNCIONALES PREPROGRAMADOS PARA REALIZAR CONTROLES COMPLEJOS COMO SECUENCIAS CON BIFURCACIONES, CONTROLES DE DEMANDA DE EQUIPOS, ETC. Y CUENTA CON CAPACIDAD DE MANEJAR LA INTERFASE CON EL OPERADOR VIA LA CONSOLA CENTRAL DE CONTROL.

UN EJEMPLO TÍPICO, DE APLICACION EN NUESTRO PAIS,

CONSIDERADA AUN.
BAJO EN NUESTRO PAIS ESTA ALTERNATIVA NO HA SIDO
INCLUSO POSIBLE EL USO DE PLUMAS LUMINOSAS, SIN EM-
TEMAS DE CONTROL DISTRIBUIDO CONVENCIONALES, SIENDO
PRESENTACION DE MINUCOS, A LA MANERA DE LOS SIS-
DEDICADOS Y MONITORES DE ALTA RESOLUCION PARA LA
LA OPERACION VIA ESTACIONES DE CONTROL CON TECLADOS
PARA ESTE SISTEMA EXISTE LA OPCION DE REALIZAR

MOLECTRICAS EN NUESTRO PAIS.
MENTE LA ACEPTADA PARA EL MANEJO DE CENTRALES TER-
DE VALORES ANALOGICOS, ETC. ESTA TECNICA ES ACTUAL-
FALLAS QUE SE DETECTEN EN SU OPERACION, INDICACION
DE LOS ACCIONAMIENTOS CONTROLADOS, ASI COMO DE LAS
SEALIZACION DEL ESTADO ACTUAL DE TODOS Y CADA UNO
PRESADOS EN LA FILOSOFIA DE CONTROL, COMO SON LA
ESTAS FUNCIONES CUMPLEN CON LOS REQUERIMIENTOS EX-
TROL CONVENCIONAL, REALIZADA EN TECNICA DE MOSAICO,
FUNCIONES ESTANDAR PARA MANEJAR UNA CONSOLA DE CON-
DIVERSAS MANERAS. LOS MODULOS DE CONTROL POSEEN
LA OPERACION DE TODO EL SISTEMA ES POSIBLE DE MUY
CONTROLADOR DE DISCO FLEXIBLE.

REMOTO, UN TECLADO DE CONFIGURACION, MONITOR Y UN
LOS MODULOS DE CONTROL Y COMUNICACIONES CON EL BUS
ESTA UNIDAD CONSISTE DE UN BASTIDOR, PARA ALOJAR
AHI REALIZAR LA PROGRAMACION DE TODOS LOS MODULOS,
POSIBLE ACOPLAR AL BUS REMOTO DEL SISTEMA Y DESDE
CUENTA CON UNA UNIDAD DE ESTRUCTURACION QUE ES
PARA LA CONFIGURACION DEL SISTEMA DE CONTROL SE

MODULOS FUNCIONALES.
-COMUNICACION VIA BUS DE E/S CON EL RESTO DE LOS

MANUAL DE LOS ELEMENTOS FINALES DE CONTROL.
-MANEJO DE LA INTERFAZ CON EL OPERADOR VIA CONSOLA
DE CONTROL, PARA TRANSFERENCIAS AUTO/MAN Y MANEJO

-ADQUISICION DE SEÑALES PROVENIENTES DE TRANS-
MISORES (0/4 A 20 mA).

-PROCESAMIENTO DE SEÑALES TANTO ANALOGICAS COMO
BINARIAS.

-ALGORITMOS DE CONTROL P, PI, PD, O PID.

DE ELLOS LAS SIGUIENTES FUNCIONES:
MANERA INDEPENDIENTE, PUDIENDO REALIZAR EN CADA UNO
CAPACIDAD PARA MANEJAR DOS LAZOS DE CONTROL DE
EL MODULO DE CONTROL ANALOGICO CUENTA CON

+ MODULO DE CONTROL ANALOGICO.

DE UN SISTEMA COMO EL DESCRITO ANTERIORMENTE, APROVECHA LA INDEPENDENCIA DE LAS UNIDADES DE AUTOMATIZACION, PARA AGRUPAR LOS SISTEMAS MECANICOS DE LA CENTRAL EN "AREAS FUNCIONALES". ESTAS ESTAN CONSTITUIDAS POR CONJUNTOS DE SISTEMAS QUE TIENEN UNA RELACION ENTRE SI DE ACUERDO AL PROCESO TERMoeLECTRICO, ASI PUEDEN CONSTITUIRSE LAS SIGUIENTES AREAS FUNCIONALES:

- + AREA FUNCIONAL DE SISTEMAS DE AGUA Y VAPOR.
- + AREA FUNCIONAL DE CALDERA.
- + AREA FUNCIONAL DE SISTEMAS DE TURBINA.
- + AREA FUNCIONAL DE SISTEMAS ELECTRICOS Y AUXILIARES MECANICOS.

CADA UNA DE ESTAS AREAS ESTA CONSTITUIDA POR UN NUMERO DE UNIDADES DE AUTOMATIZACION VARIABLE, DE ACUERDO AL NUMERO DE ACCIONAMIENTOS CONTROLADOS Y AL GRADO DE AUTOMATIZACION ALCANZADO. DE ESTA MANERA SE OBTIENE UNA DISTRIBUCION FUNCIONAL. EN CADA UNIDAD DE AUTOMATIZACION SE ENCUENTRAN CONTENIDOS LOS MODULOS FUNCIONALES QUE REALIZAN LAS TAREAS DE CONTROL DE CADA UNO DE LOS SISTEMAS, CONSIDERANDOSE REDUNDANCIA SOLO PARA LOS LAZOS DE CONTROL ANALOGICO, Y REALIZANDO EL INTERCAMBIO DE SEÑALES DE PROTECCION VIA CABLE CONVENCIONAL, PARA NO DEPENDER DEL SISTEMA DE COMUNICACIONES.

EL GRADO DE AUTOMATIZACION LLEGA A ALCANZAR EL NIVEL DE CONTROLES DE GRUPO PARA LOS SISTEMAS DE CALDERA, COMO AGUA DE ALIMENTACION, SISTEMA DE AIRE Y GASES Y CONTROL AUTOMATICO DE QUEMADORES, EL RESTO DE LA PLANTA ALCANZA GENERALMENTE EL NIVEL DE CONTROLES DE ENCLAVAMIENTO DESCONECTABLE Y EN MUCHAS OCASIONES EL DE LOGICA DE PROTECCION.

LA APLICACION EN NUESTRO PAIS DE FILOSOFIAS Y SISTEMAS DE CONTROL COMO LOS AGUI DESCRITOS ES RECIENTE, POR LO QUE AUN NO SE CUENTA CON EXPERIENCIAS PARA REALIZAR UNA EVALUACION DE LOS RESULTADOS, SIN EMBARGO ES SEGURO QUE CUMPLAN CON SU FUNCION DE MEJORAR LA DISPONIBILIDAD, LA SEGURIDAD Y LA FACILIDAD DE MANEJO DE LAS CENTRALES TERMoeLECTRICAS DONDE SEAN INSTALADOS, COMO SE HA DEMOSTRADO EN OTROS PAISES.

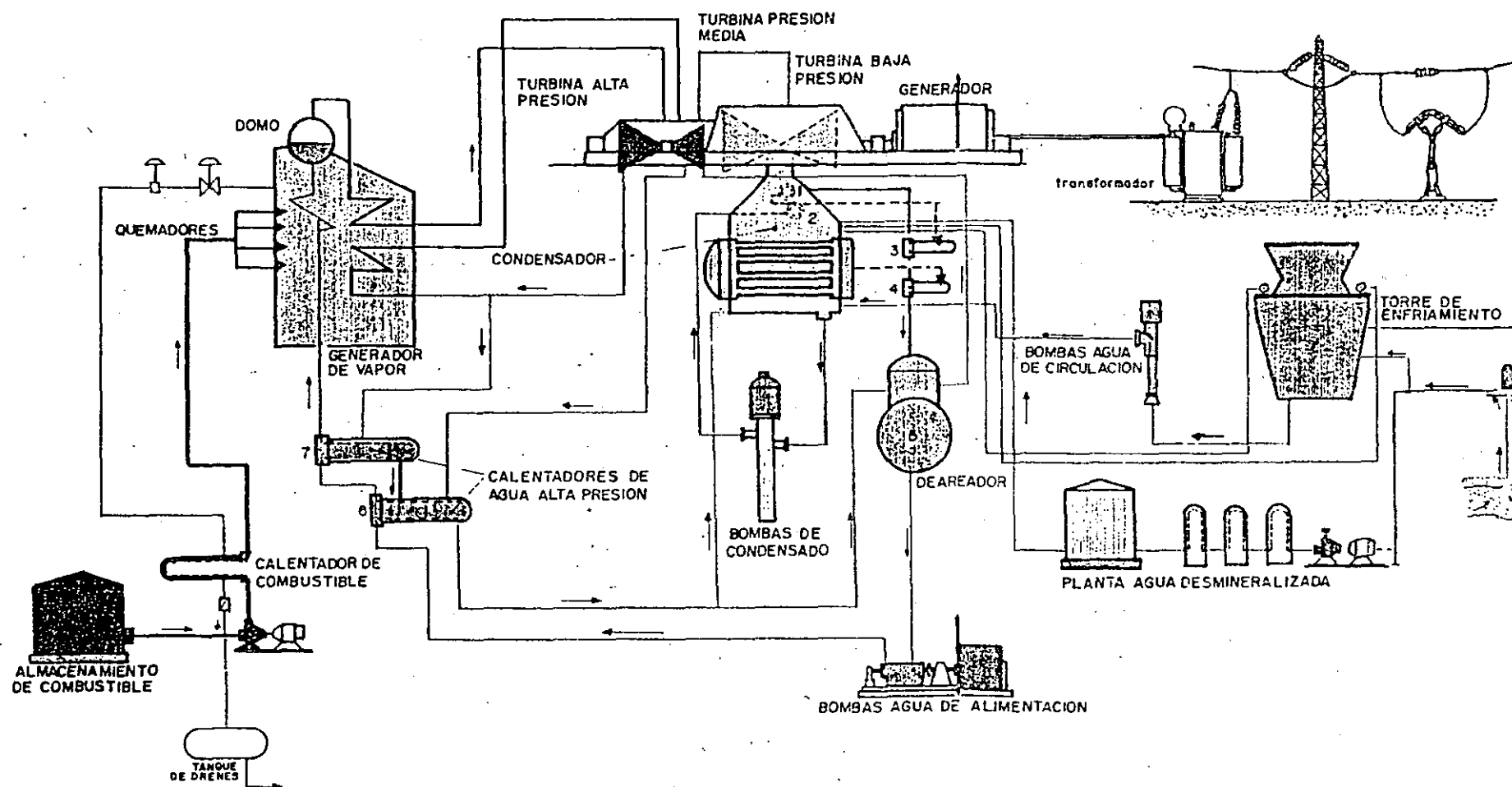


FIG. 1 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO

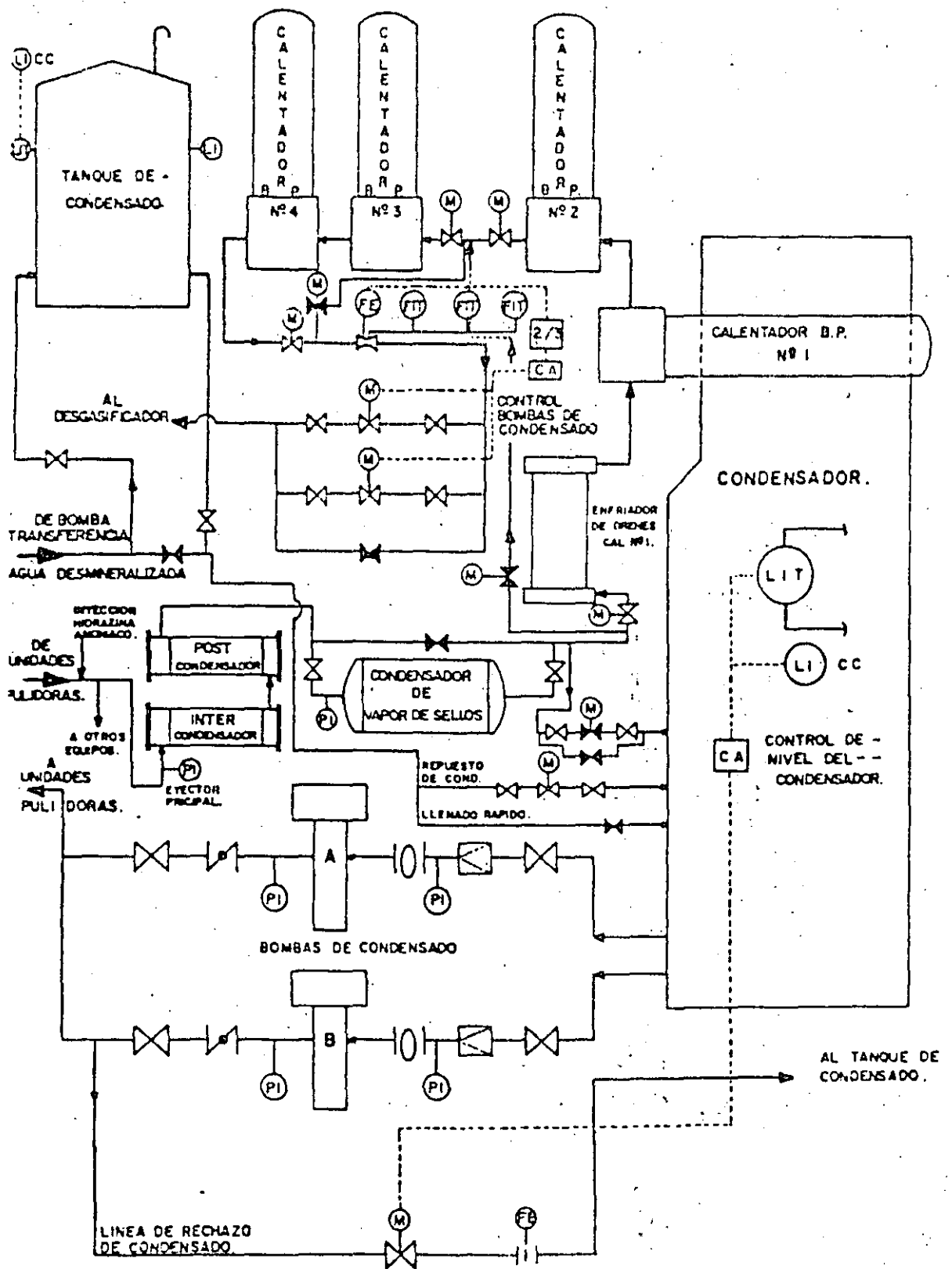


FIG. 2 SISTEMA DE CONDENSADO

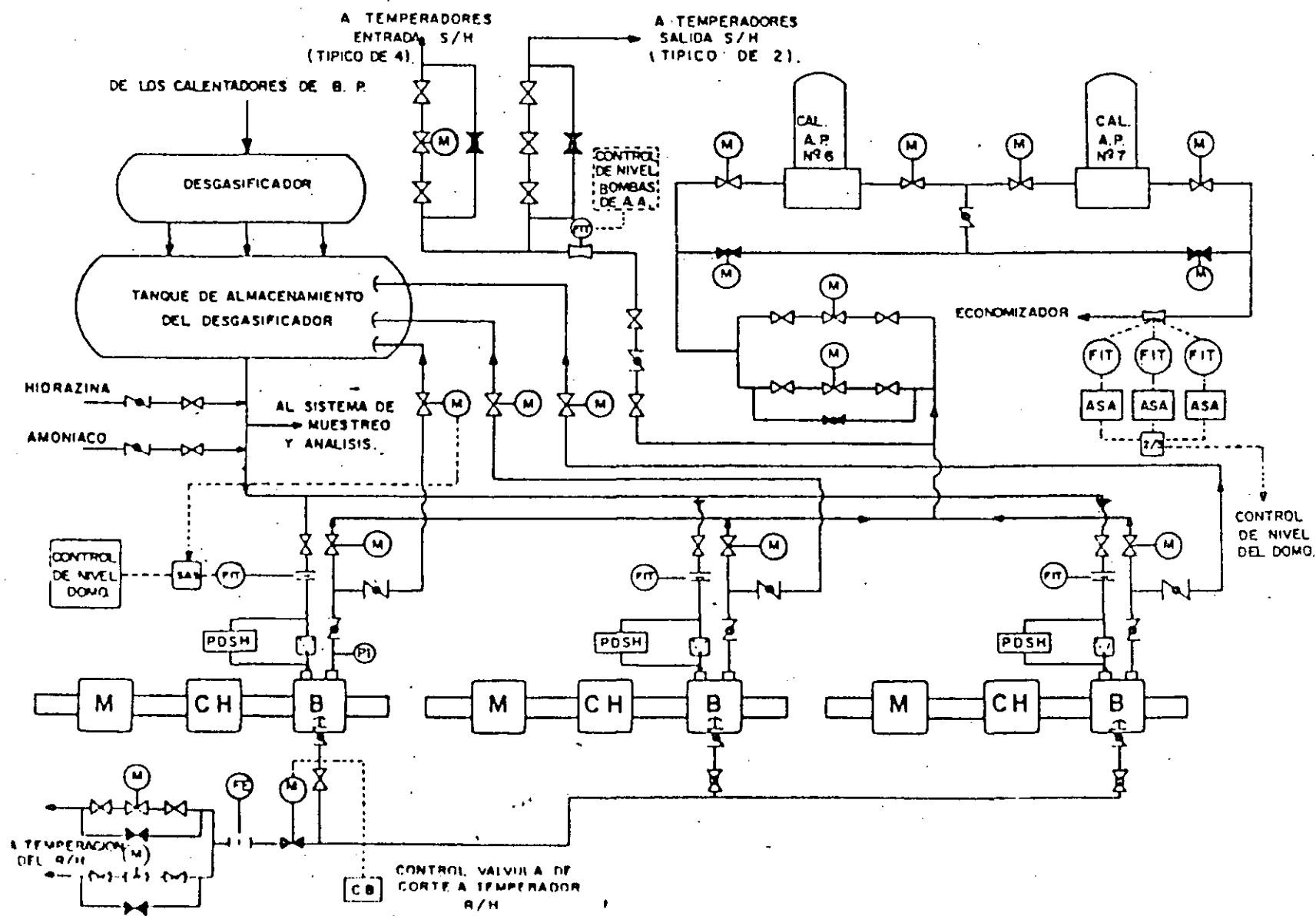


FIG. 3 SISTEMA DE AGUA DE ALIMENTACION

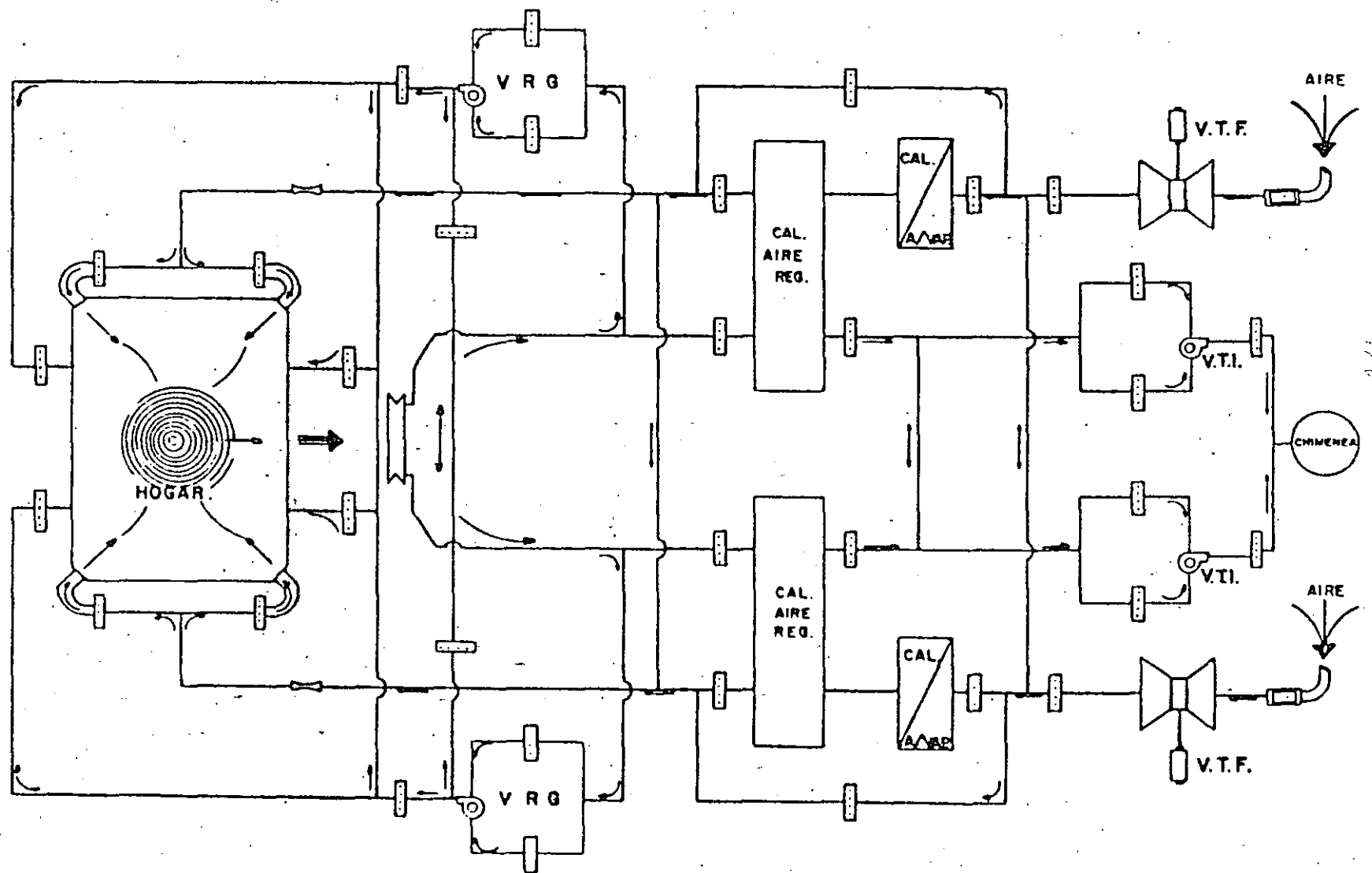


FIG. 4 SISTEMA DE AIRE Y GASES

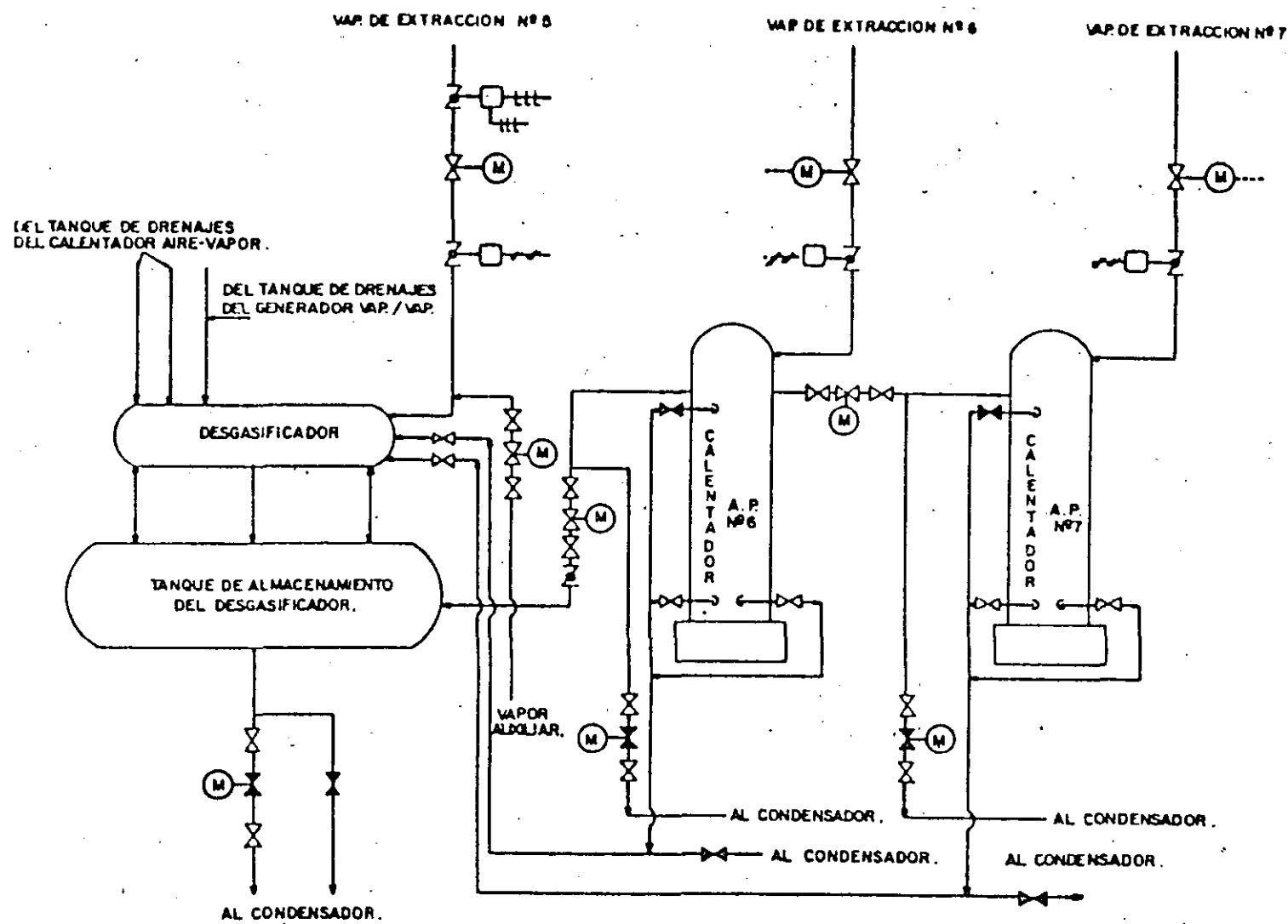


FIG. 5 SISTEMA DE EXTRACCIONES DE ALTA PRESION

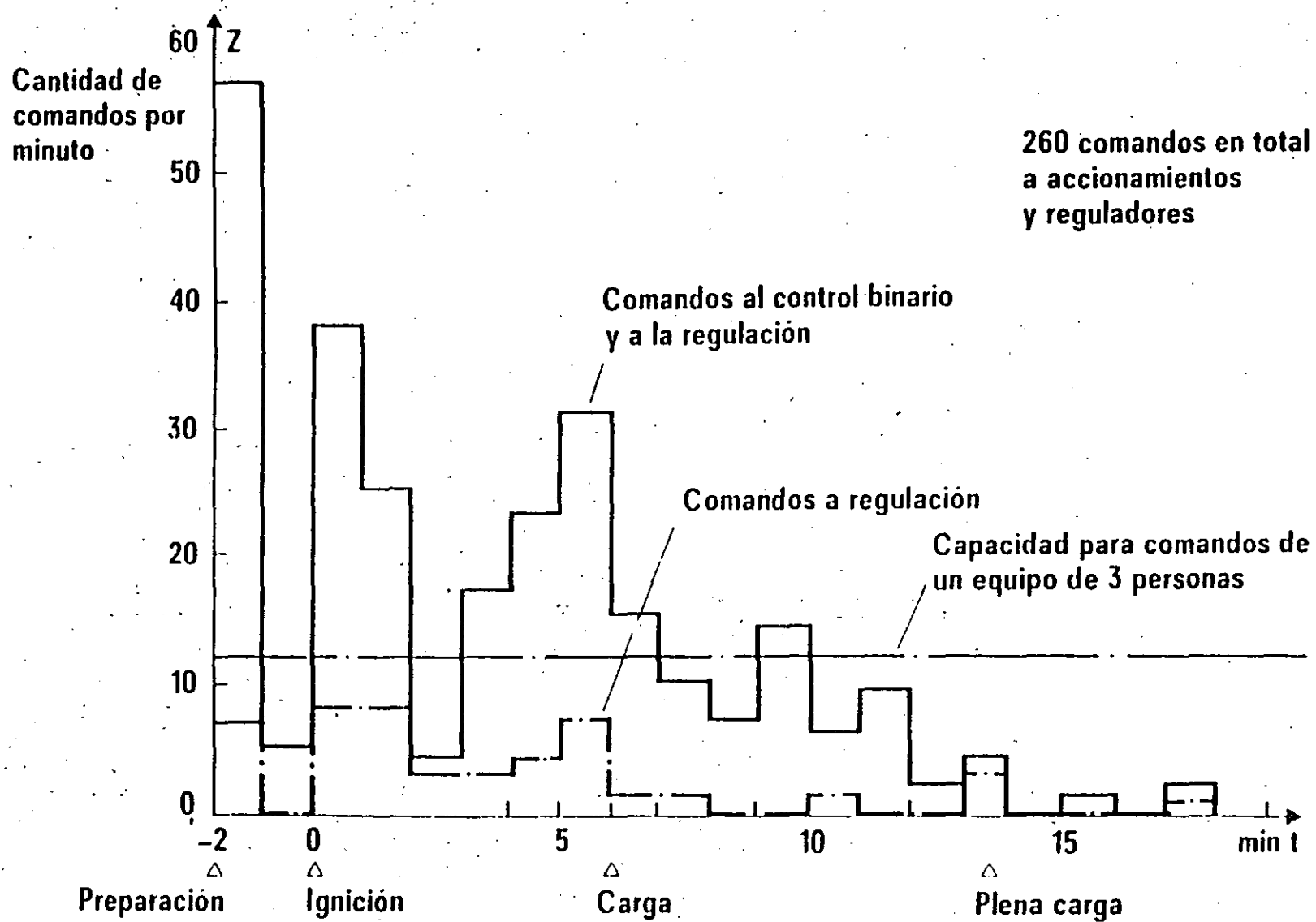


FIG. 6 CANTIDAD DE COMANDOS DURANTE UN ARRANQUE

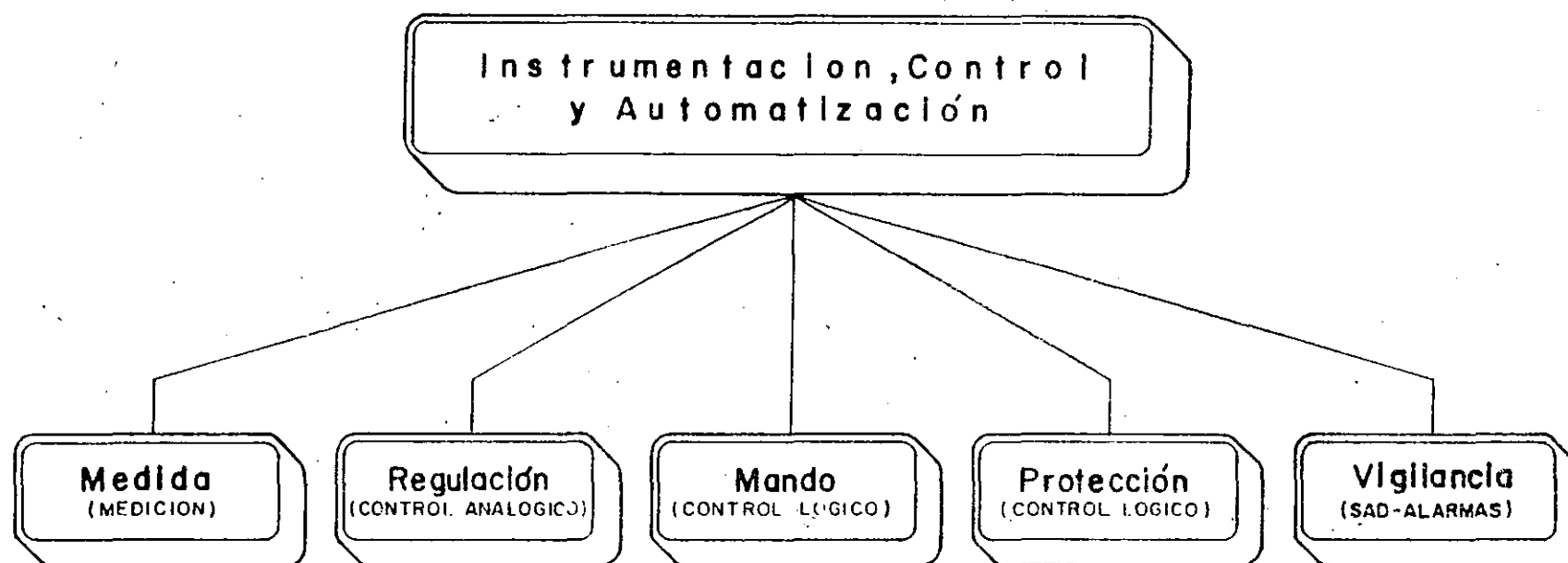


FIG. 7 FUNCIONES DEL SISTEMA DE CONTROL

SEGURIDAD, DISPONIBILIDAD, GUIADO OPTIMO DEL SERVICIO

- REACCION RAPIDA Y SEGURA EN CASO DE PERTURBACIONES .
- ANALISIS EXACTO DE LOS ESTADOS DE SERVICIO Y DE
PERTURBACIONES , PERCEPCION TEMPRANA DE PERTURBACIONES
INCIPIENTES .
- EVITAR ERRORES DE MANEJO .
- CENTRALIZAR LA INFORMACION Y EL MANEJO EN LA SALA DE CONTROL .

FIG. 8 OBJETIVOS DEL SISTEMA DE CONTROL

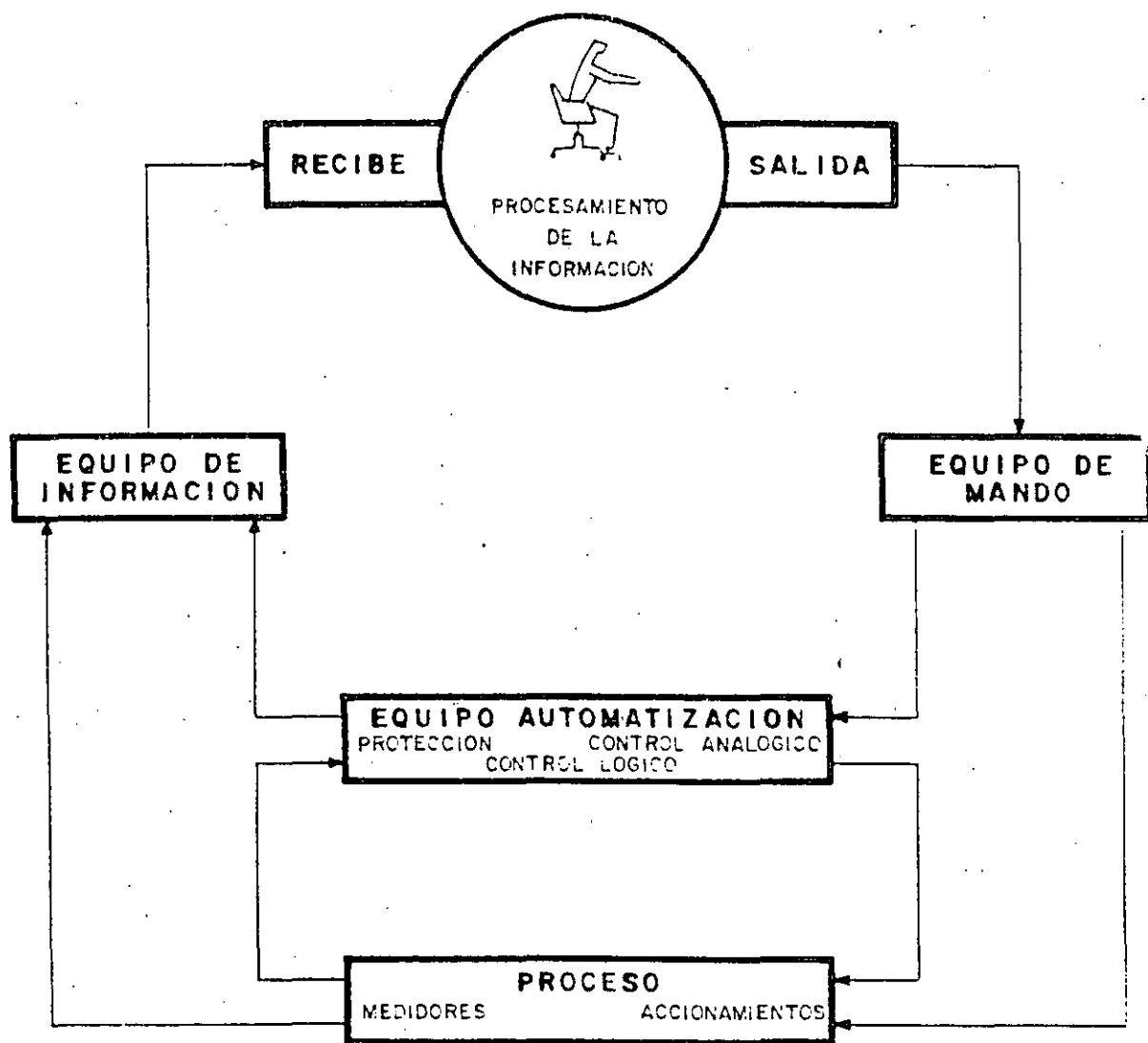


FIG. 9 ORGANIZACION DEL SISTEMA DE CONTROL

PARA LOGRAR UNIFORMIDAD EN LA AUTOMATIZACION
SE HAN NORMALIZADO :

- LAS TENSIONES DE MANDO (± 24 V) .
- LAS SEÑALES : BINARIA 24 V ; ANALOGICA
0/4 ... 20 mA , ± 10 V .
- EL PROCESAMIENTO ELECTRONICO.
- LA INSTRUMENTACION.

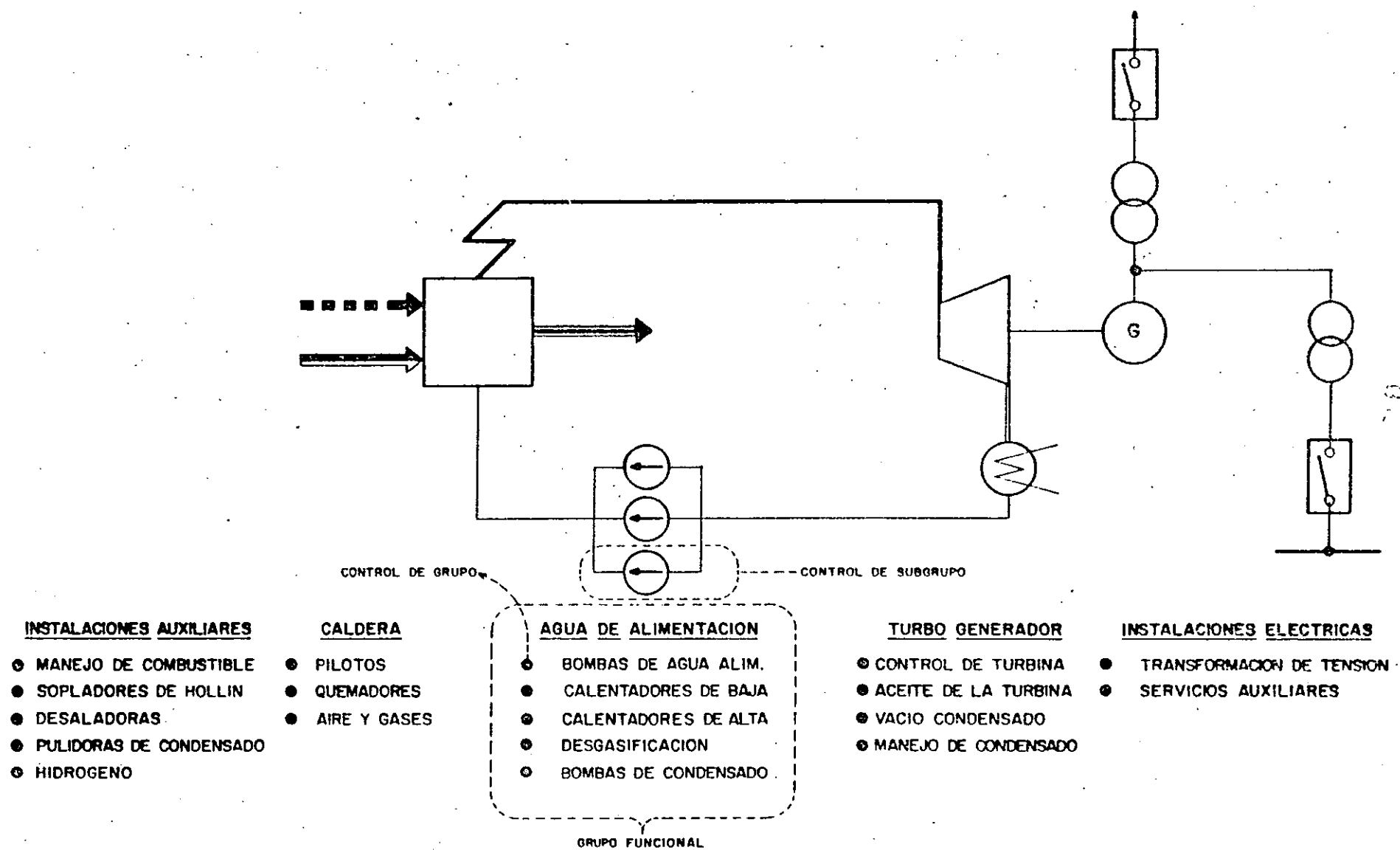


FIG. 10 DISTRIBUCION FUNCIONAL

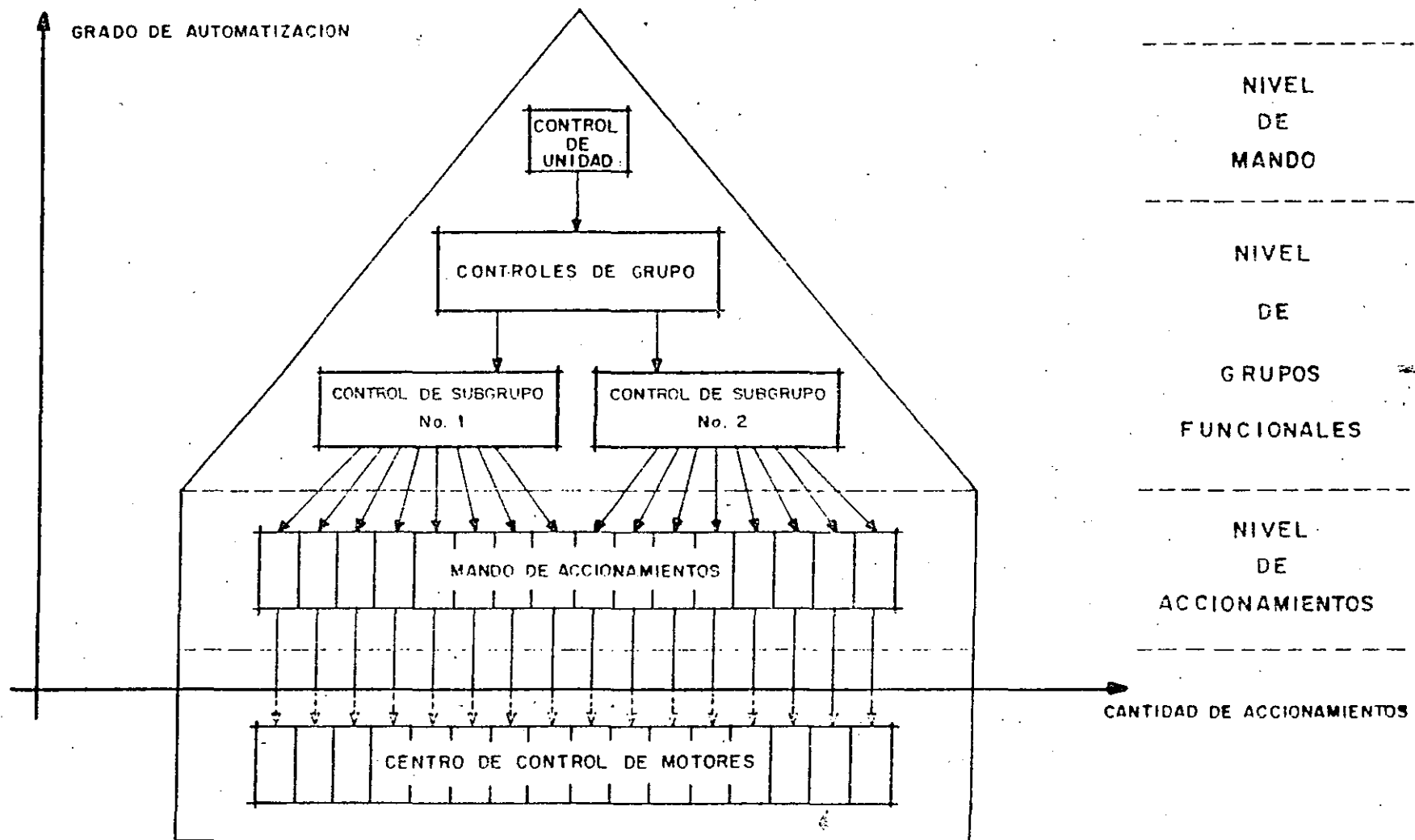


FIG. 11 ESTRUCTURA JERARQUICA

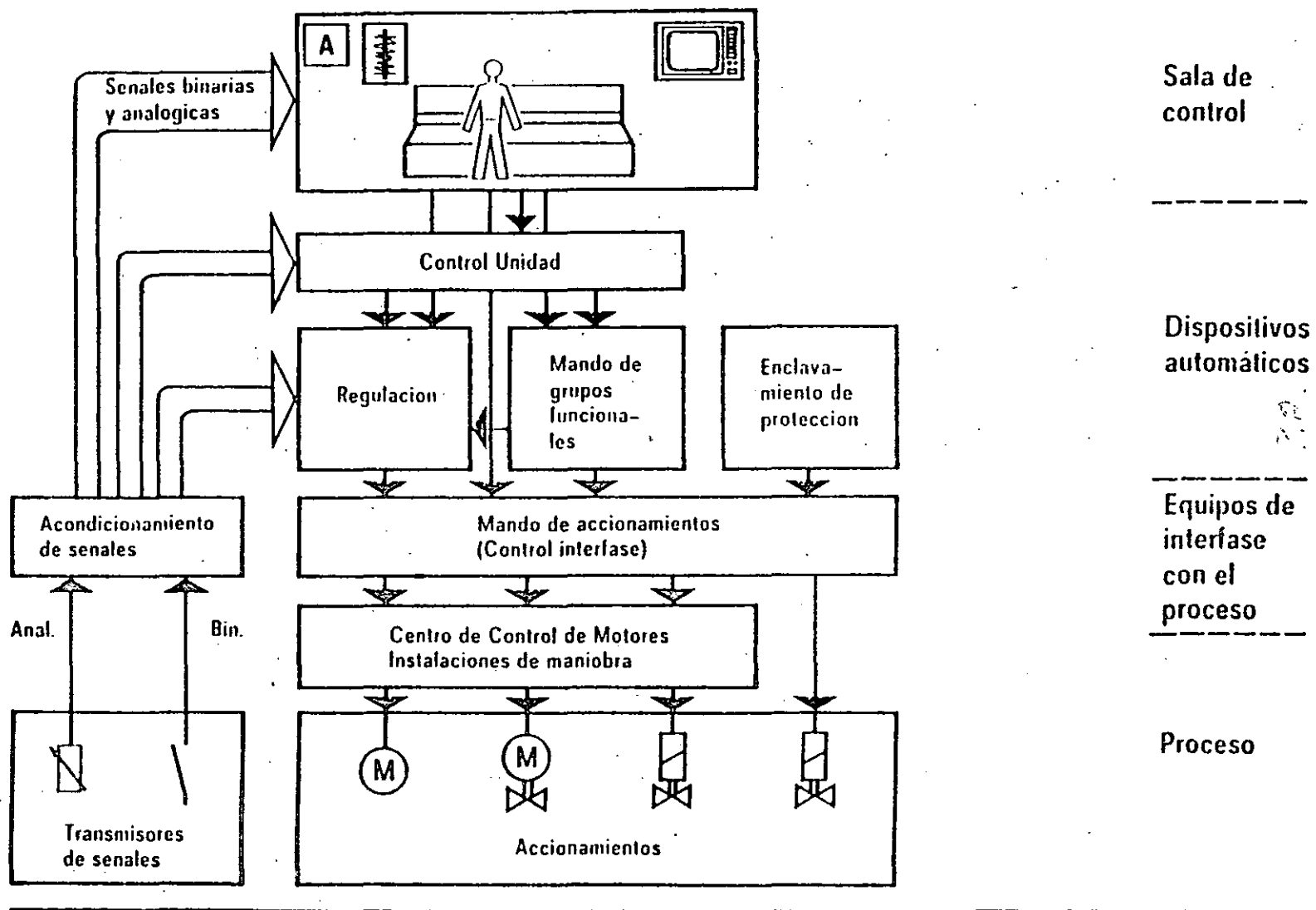


FIG. 12 CONCEPTO DEL SISTEMA DE CONTROL

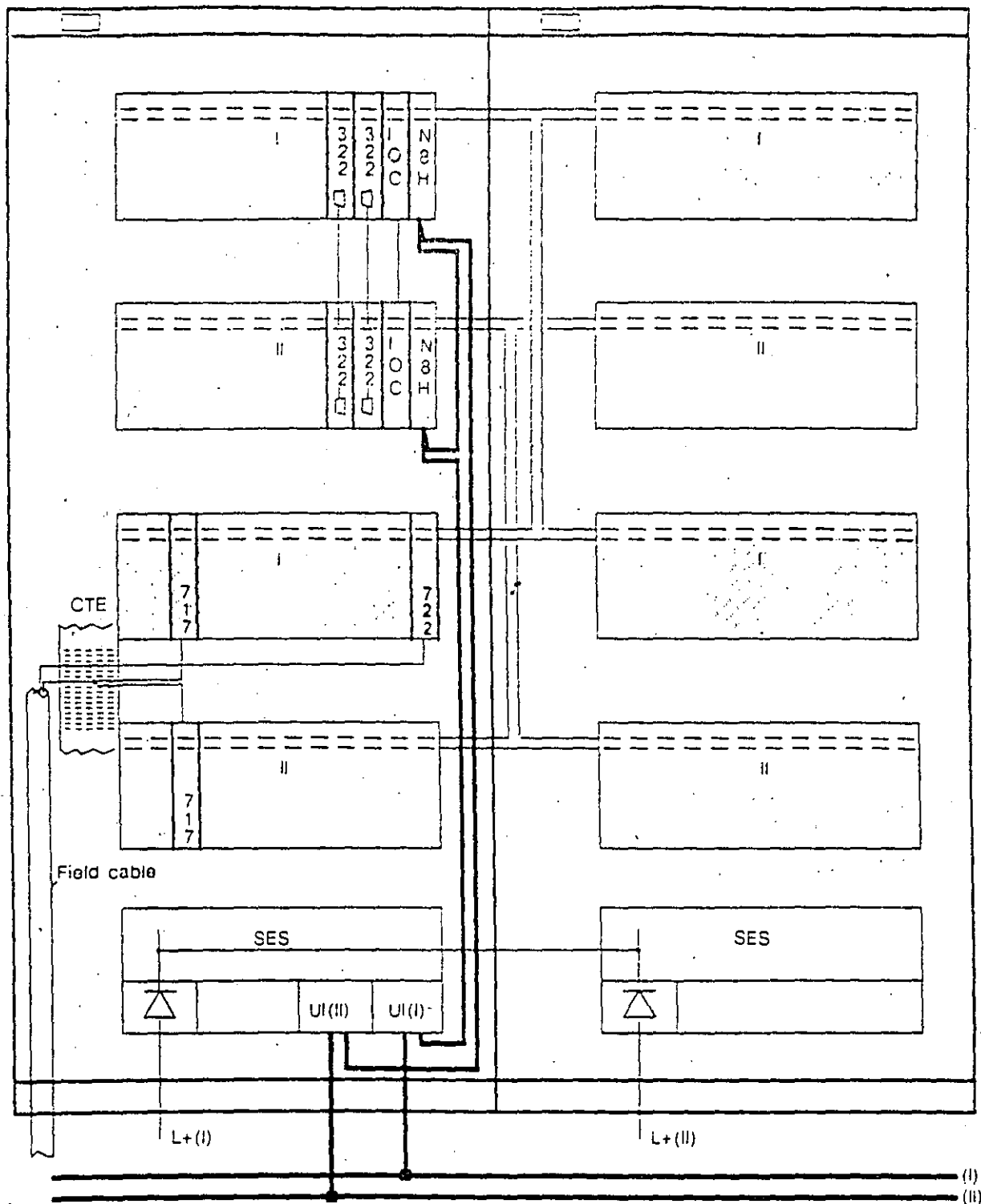


FIG. 13 ESTRUCTURA FISICA DEL SISTEMA DE CONTROL

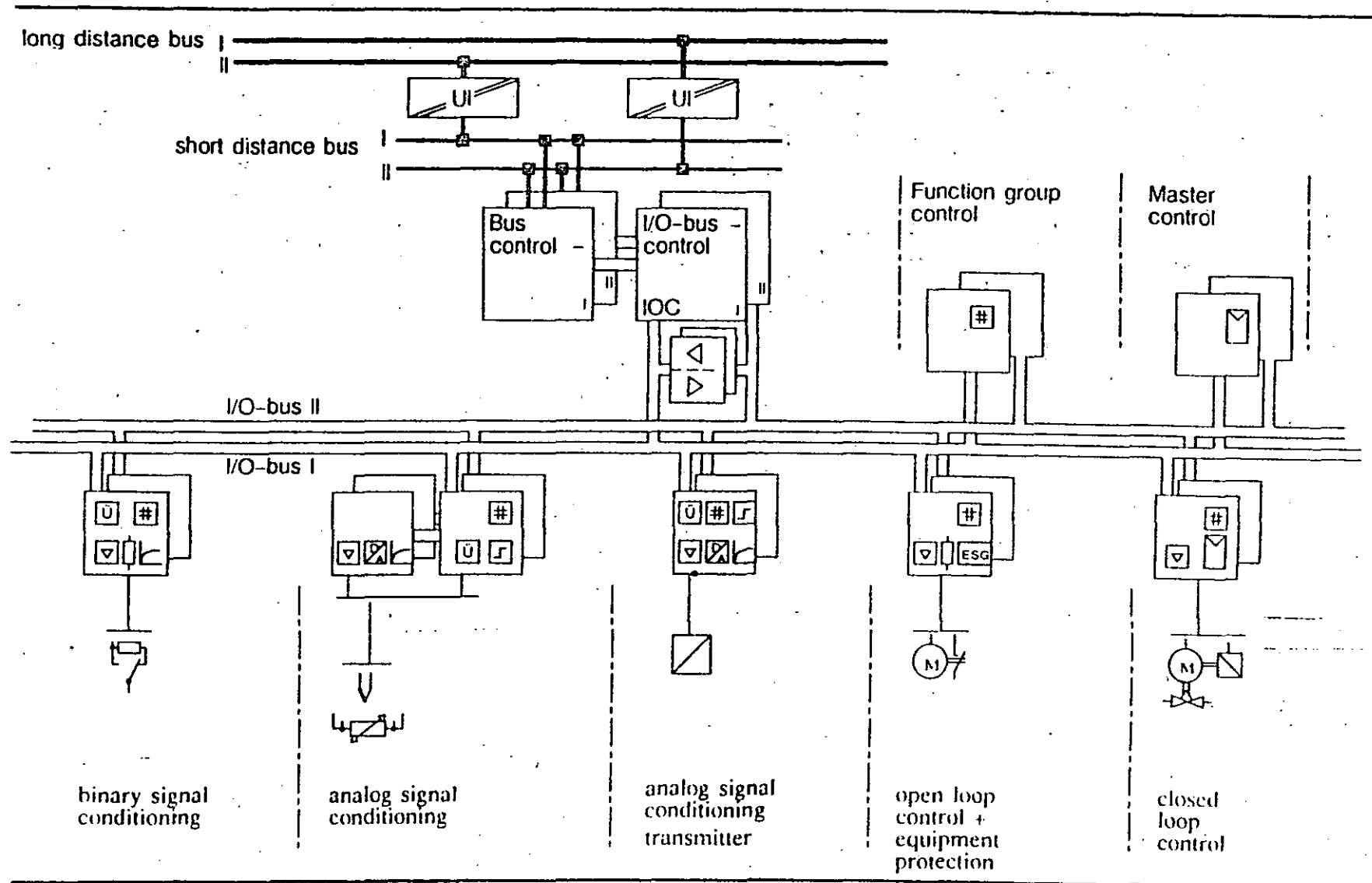


FIG. 14 ESTRUCTURA FUNCIONAL DEL SISTEMA DE CONTROL



FIG. 15 REDUNDANCIA PARCIAL

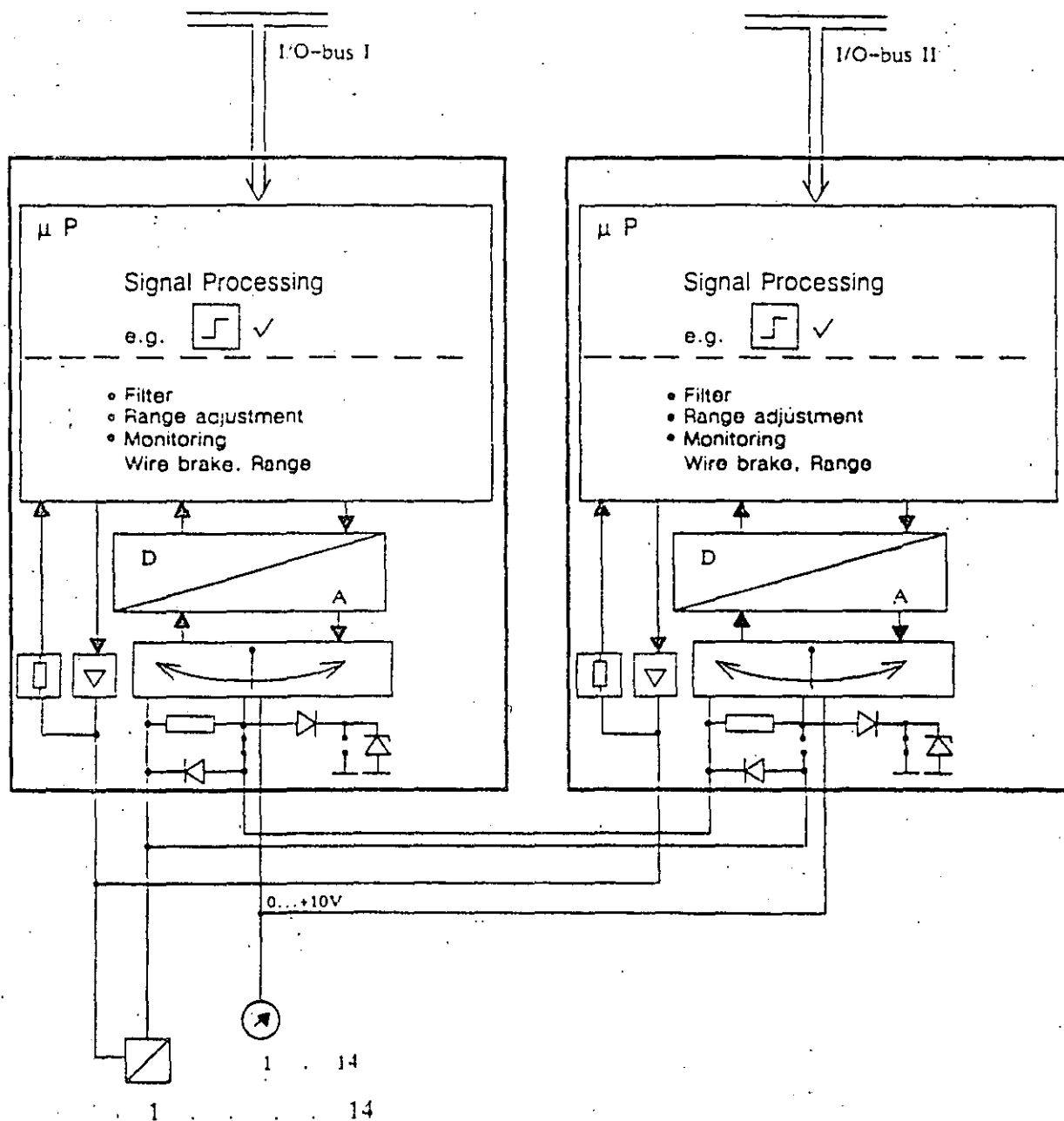
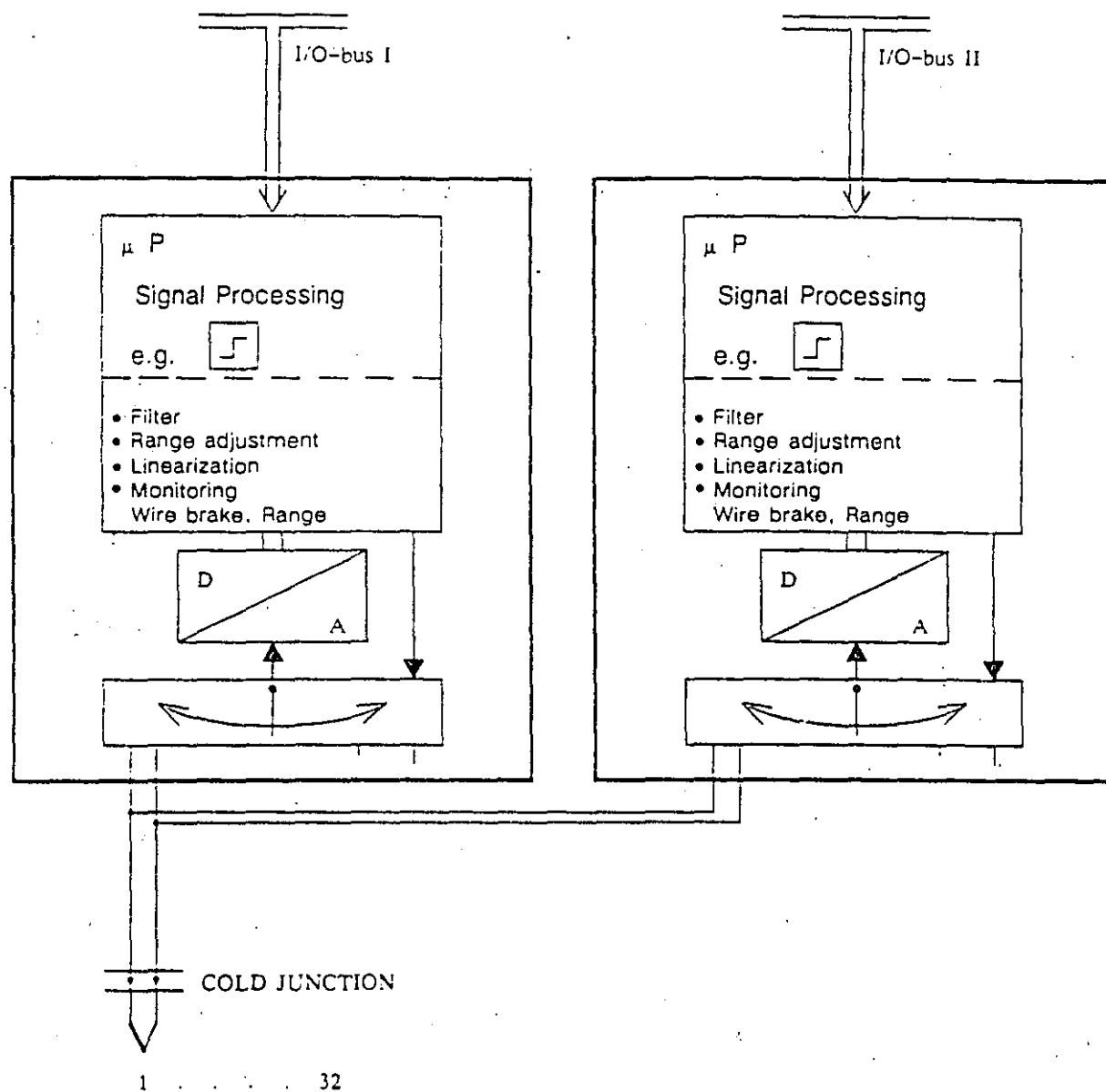


FIG. 16 MODULO DE ADQUISICION DE SEÑALES ANALOGICAS



37

FIG. 17 MODULO DE ADQUISICION DE SEÑALES DE TEMPERATURA (I)

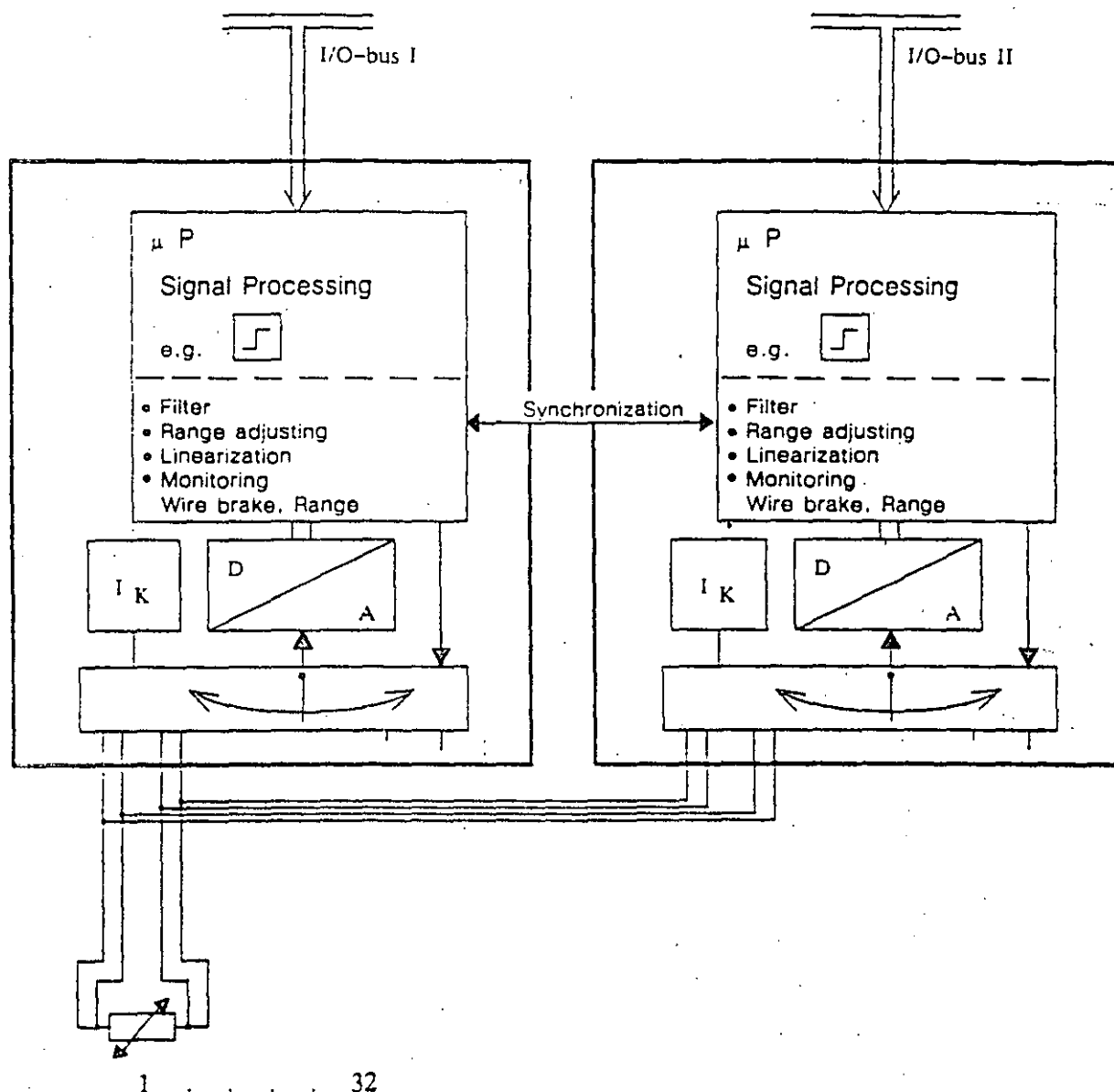


FIG. 18 MODULO DE ADQUISICION DE SEÑALES DE TEMPERATURA (II)

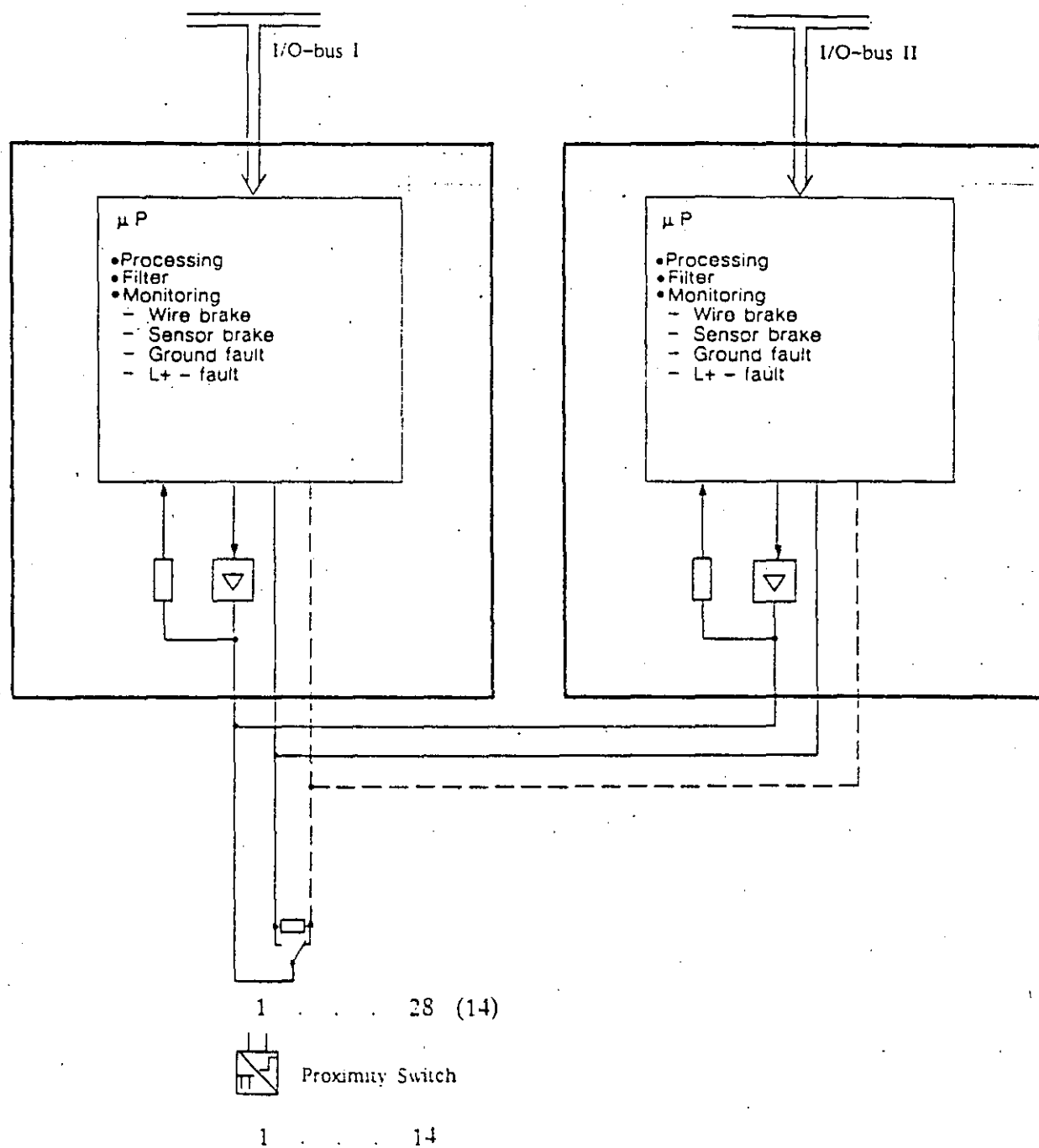


FIG. 19 MODULO DE ADQUISICION DE SEÑALES BINARIAS

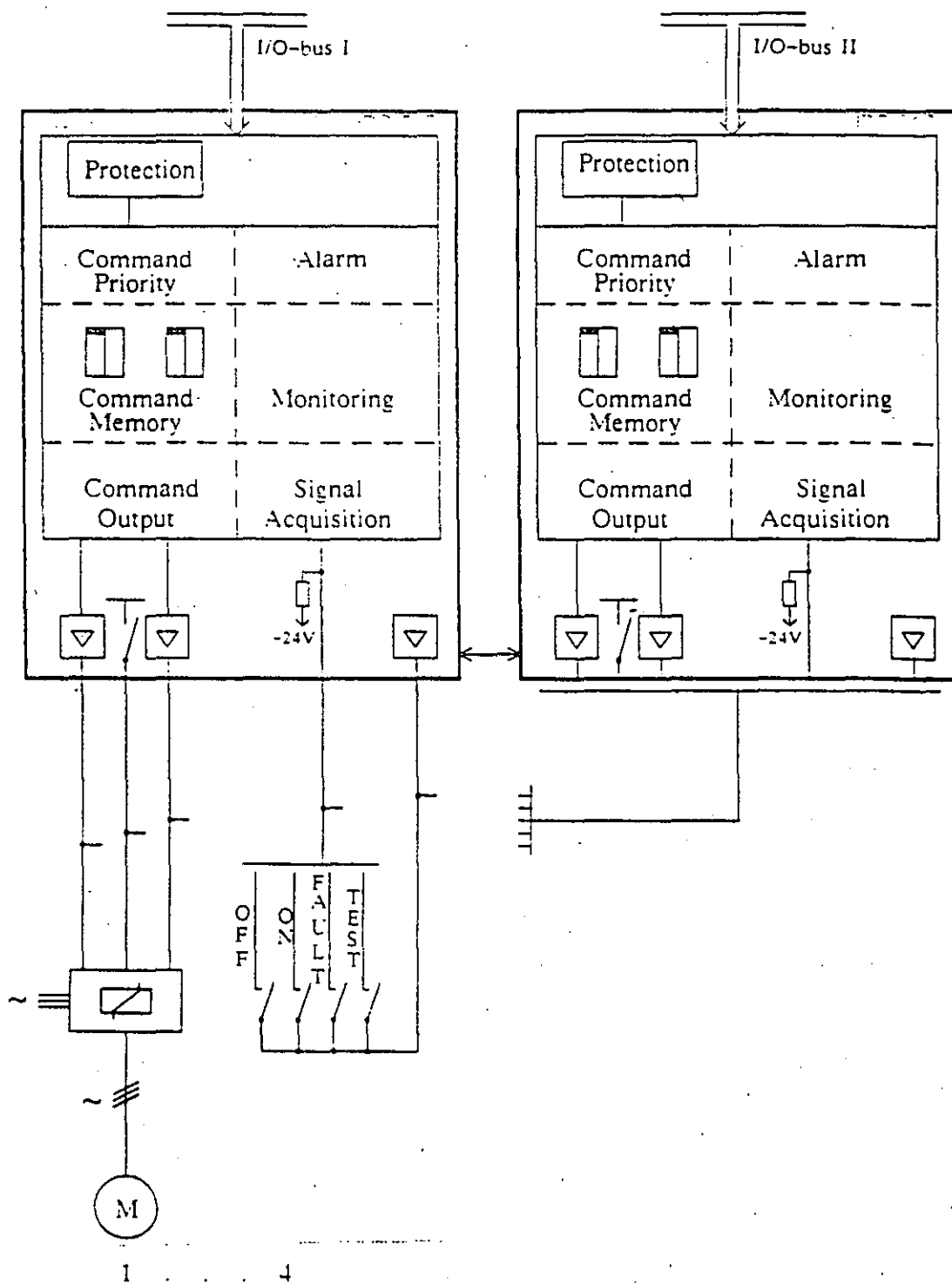


FIG. 20 MODULO DE CALCULO BINARIO

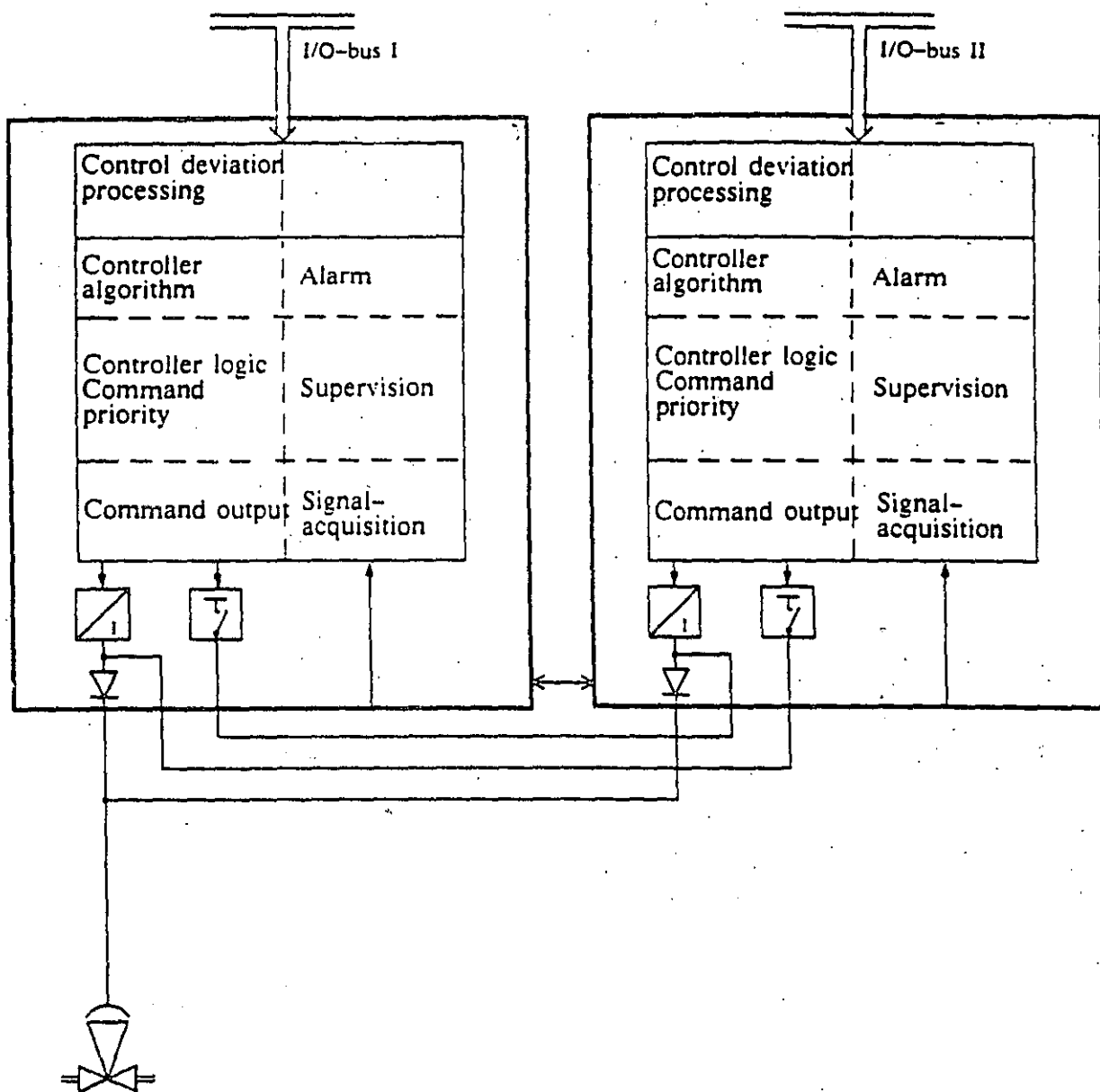
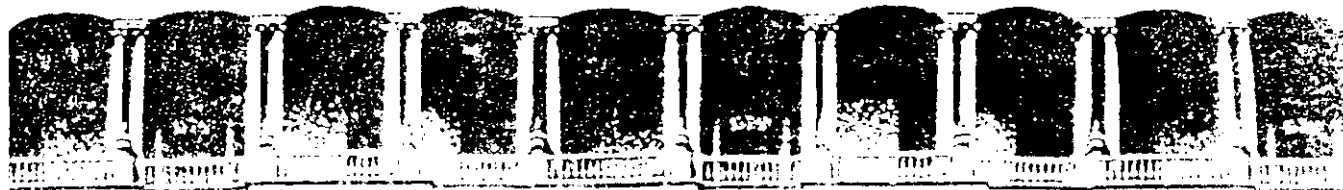


FIG. 21. MODULO DE CONTROL ANALOGICO



FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA

INSTRUMENTACION ELECTRONICA DE PROCESOS INDUSTRIALES

SISTEMAS DE ADQUISICION DE DATOS Y REGISTROS DE EVENTOS

ING. ADRIANA ESCOBAR R.

Sistemas de Adquisición de Datos y Registro de Eventos

1. Introducción

El conocimiento profundo de un proceso, y su dinámica de comportamiento permiten la operación correcta del mismo.

Con el fin de que un operador conozca la evolución que sufre un proceso, requiere información de las variables involucradas de manera rápida y organizada.

La mezcla del conocimiento del proceso y la información de su estado actual, se conjugan a través del operador de una planta en elementos para el mejor control del proceso, además que refuerzan su conocimiento.

Después de instrumentar un proceso a nivel de señalización, es necesario concentrar esta información para uso del operador. Historicamente se ubican 3 etapas en las que esta concentración se ha realizado de manera diferente :

- a) Etapa Inicial : Normalmente la información se obtenía de lecturas realizadas en campo.
- b) Etapa Intermedia : Las variables importantes del proceso para la operación, se llevan a un cuarto de control, y se despliegan con instrumentos tales como registradores analógicos, indicadores digitales y en el caso de estados con indicadores luminosos.
- c) Etapa Actual : Se mantiene el cuarto de control, pero ahora la información es recibida por una computadora, procesada y presentada en TRC's, impresoras, indicadores digitales y registradores analógicos.

En las etapas a) y b) el uso de la información está limitada por el espacio y número de instrumentos, y la capacidad de los operadores para procesar información del proceso. Normalmente la única ayuda automatizada para el operador son los tableros de alarma. Sin embargo también tienen serias restricciones de espacio y atención por parte del usuario.

Evidentemente el operador requiere en los casos a) y b) discriminar demasiada información, que normalmente no está representada de la mejor manera. A que decir cuando en un proceso se presentan ' disparos ' por protección que pueden suspender la operación, y que a posteriori es necesario analizar las causas de tales fallas de operación.

El operador en las etapas a) y b) no tiene posibilidad de obtener, por ejemplo, la secuencia de eventos que se originaron antes, y después de un disparo.

En la etapa c) se utiliza la capacidad de las computadoras para adquirir la información del proceso en forma periódica y automática, así como organizarla de manera útil al operador. La computadora es capaz de analizar la información y detectar condiciones anormales del proceso notificándolas al operador. Otro tipo de tratamiento útil es el estadístico, el cual ofrece una visión en períodos de tiempo largos concentrada y resaltando elementos de información relevantes a la operación de la planta.

Con lo expuesto se trata de resaltar la importancia de Sistemas de Adquisición de Datos y Registro de Eventos (SADRE) en la operación y mantenimiento de una planta.

2. Elementos de un SADRE

Un SADRE está constituido en la parte de equipo por los siguientes subsistemas :

- Unidades de Entrada / Salida
- Equipo de Cómputo
- Equipo Periférico

2.1 Unidades de Entrada / Salida

Este equipo es la interfaz entre las señales recibidas del campo y el equipo de cómputo que hace uso de ellas.

Por su capacidad de funciones las unidades de E/S se clasifican en : Inteligentes y No-Inteligentes.

Las unidades de E/S cuentan con una serie de módulos para recibir las señales de campo, de acuerdo al tipo de señales se encuentran comunmente los sigtes. tipos :

2.1.1 Módulos de Entrada

- Entradas Analógicas -

- * Lazo de corriente 4-20 mA.
- * Lazo de corriente -1 a +1 mA.
- * Entrada de voltaje unipolar 1 - 5 V.
- * Entrada de voltaje bipolar -10 - + 10 V.
- * RTD's
- * Termopares

- Entradas Binarias -

- * 0-24 VCD (Contacto Húmedo)
- * 0-48 VCD (Contacto Húmedo)
- * 0-127 VCA(Contacto Húmedo)
- * Contactos Secos

- Contadores de Pulso -

El sistema debe ser capaz de generar salidas analógicas y binarias con el fin de controlar registradores analógicos o indicadores digitales.

2.1.2 Módulos de Salida

- Salidas Analógicas -

- * Lazos de corriente 4-20, -1 a +1 mA.
- * Voltaje 1-5, -10 - + 10 V.

- Salidas Binarias -

- * 0-24, 0-48 VCD
- * 0-127 VCA
- * Colector Abierto
- * Relevador Reed o Mercurio

2.1.3 Unidades de E/S no-inteligentes

Se utiliza un bus o medio de enlace entre los módulos de E/S y el equipo de cómputo. Los módulos son interrogados periódicamente por la computadora con el fin de obtener los valores medidos, y su función es únicamente permitir la lectura de información de campo y su transferencia a la computadora.

Cuentan con un módulo de comunicaciones para enlace con la computadora.

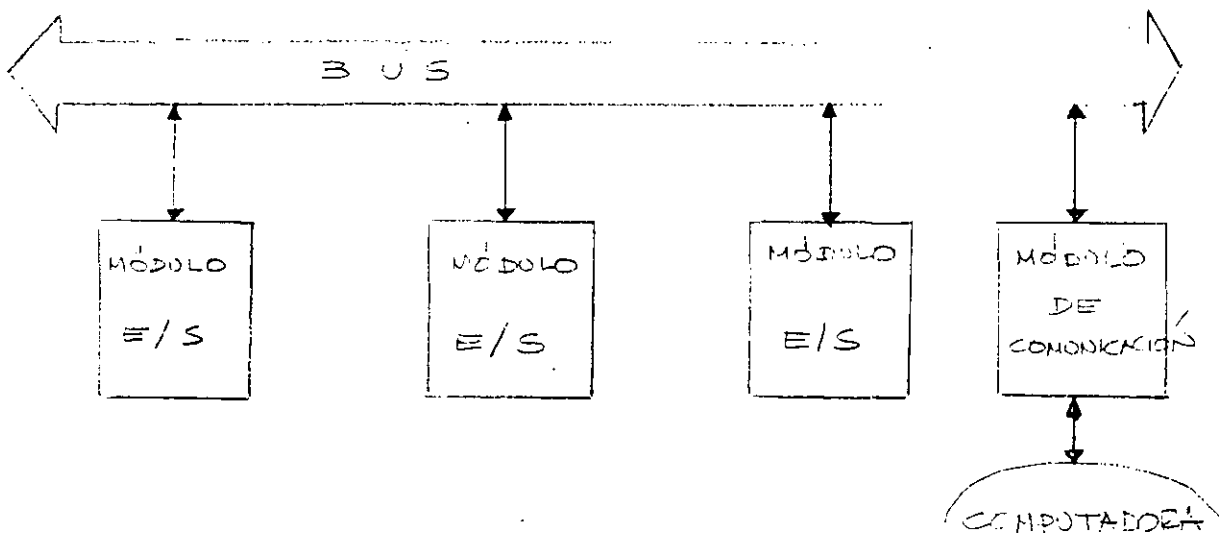


Fig. 1 Unidad de E/S no-inteligente

2.1.4 Unidades de E/S Inteligentes

A diferencia de las unidades no-inteligentes, cada unidad tiene un procesador local que periódicamente obtiene las entradas de cada uno de los módulos de E/S asociados, los valida y mantiene en memoria local a la unidad. Además verifica límites de señal eléctrica, y en algunos casos convierte a unidades de ingeniería. A sí mismo cuentan con un módulo de comunicaciones para enlace con la computadora.

Comunmente estas unidades de E/S reportan a la computadora SOLO señales que han cambiado, lo que se conoce como Transmisión por excepción. El criterio de cambio de una señal viene dado por :

Binarias : El estado actual es el complemento del estado anterior.

Analógicas : El valor actual difiere del valor anterior en un margen dado por un porcentaje de la escala completa de la señal.

Las unidades de E/S inteligentes optimizan el uso de los canales de comunicación con la computadora, así como realizan parte del proceso de información de un SACS con lo que la computadora queda libre para realizar otro tipo de actividades, tales como la interacción del usuario con el sistema.

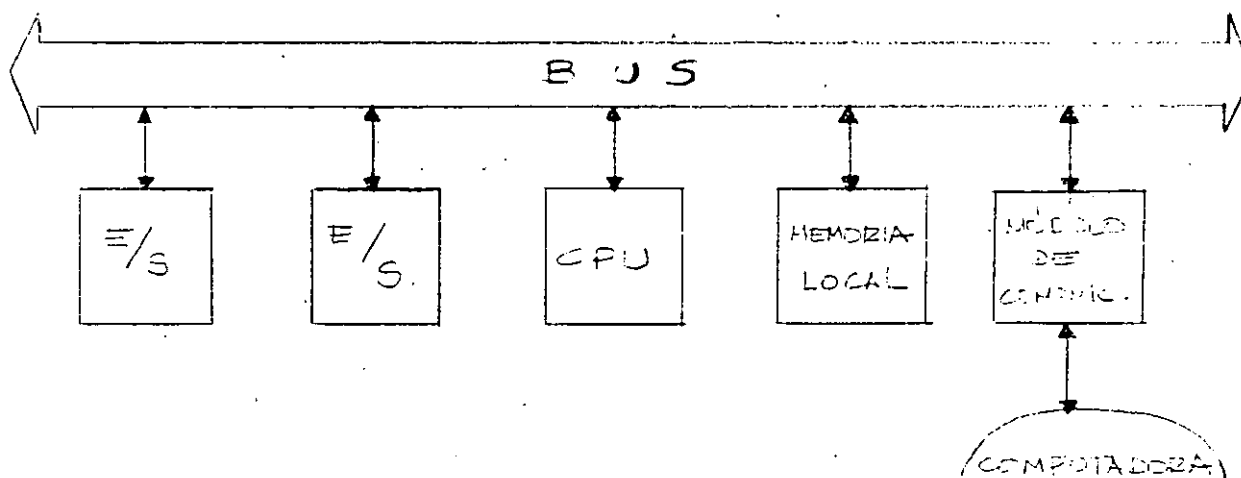


Fig. 2 Unidad de E/S Inteligente

2.1.5 Módulos de Comunicación

Con el fin de establecer comunicación con el equipo de cómputo, las unidades de E/S requieren módulos dedicados.

Comunmente el enlace se realiza a través de canales serie convencionales o redes locales de alta velocidad. Las velocidades de los canales varían entre cientos de b.p.s. a m.b.p.s.

En algunos casos las unidades se encuentran localizadas en áreas geográficas lejanas al equipo de cómputo, por lo cual se utiliza enlace vía modems con velocidades típicas de 300 a 1200 b.p.s.

A continuación se listan los enlace típicos :

- Canal serie EIA RS 232C (decenas de metros)
- Canal serie EIA RS 422A (hasta 1.5 Kms.)
- Red Local Ethernet
- Pistas de Datos (Data Highway) de proveedores de equipo de control.

2.1.6 Otros esquemas

Actualmente la tendencia de los sistemas de adquisición de datos es ligarse a redes de control distribuido, utilizando la información de los controladores programables en estaciones de trabajo, que realizan las funciones de un SADRE, sin requerir de unidades de E/S dedicadas.

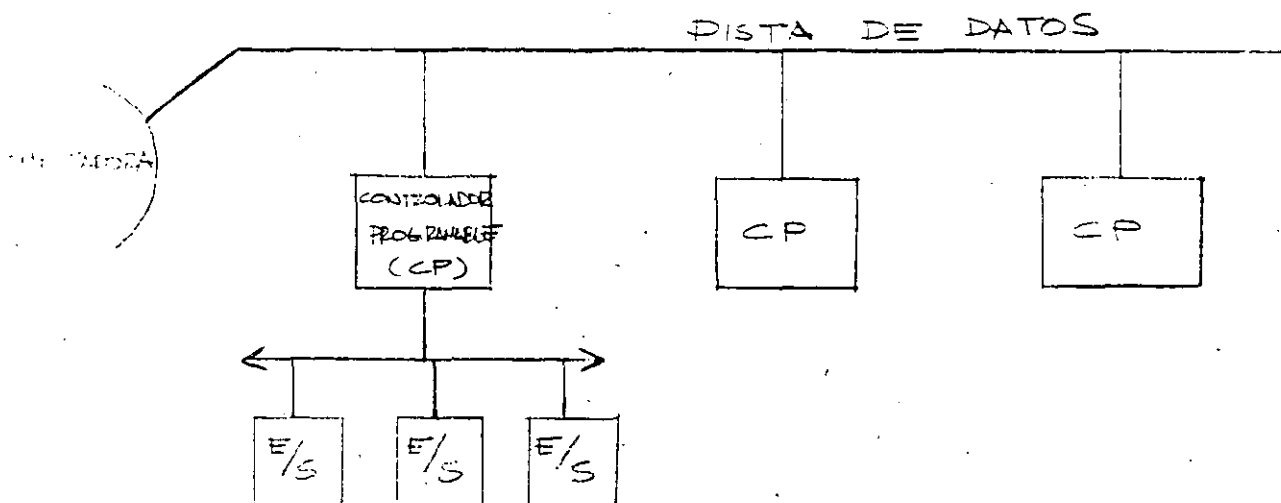


Fig. 3 SADRE enlazado a una red de control distribuido

2.2 Equipo de Cómputo

El equipo de cómputo de un SADRE esta formado por :

- CPU
- Memoria
- Unidades de Disco
- Controladores de Equipo Periférico
- Controladores de Comunicaciones (Front-End)

La capacidad del sistema de cómputo dependerá del volumen de información a manejar, las restricciones de tiempo real impuestas por la dinámica del proceso, las funciones requeridas, el número de terminales que el sistema debe atender y el tiempo de respuesta requerido por el usuario (Ver capítulo 3).

En el mercado existen SADRES con una computadora personal y un terminal, hasta superminicomputadoras que atienden hasta 8 terminales y procesan una gran cantidad de información.

2.3 Equipo Periférico

El usuario interactúa a través del equipo periférico con el sistema. básicamente el equipo típico de un SADRE consiste en :

- Monitores
- Teclados
- Lápiz de Luz
- Ratón (Mouse)
- Impresoras
- Registradores Analógicos en Papel
- Indicadores Digitales

El usuario cuenta normalmente con una o mas consolas de operación, las cuales están formadas por un Monitor, Teclado e Impresora. Desde esta consola, se tiene acceso a la información mantenida por el sistema.

Normalmente en sistemas grandes se dedican Monitores e Impresoras para el reporte de alarmas de proceso en forma exclusiva.

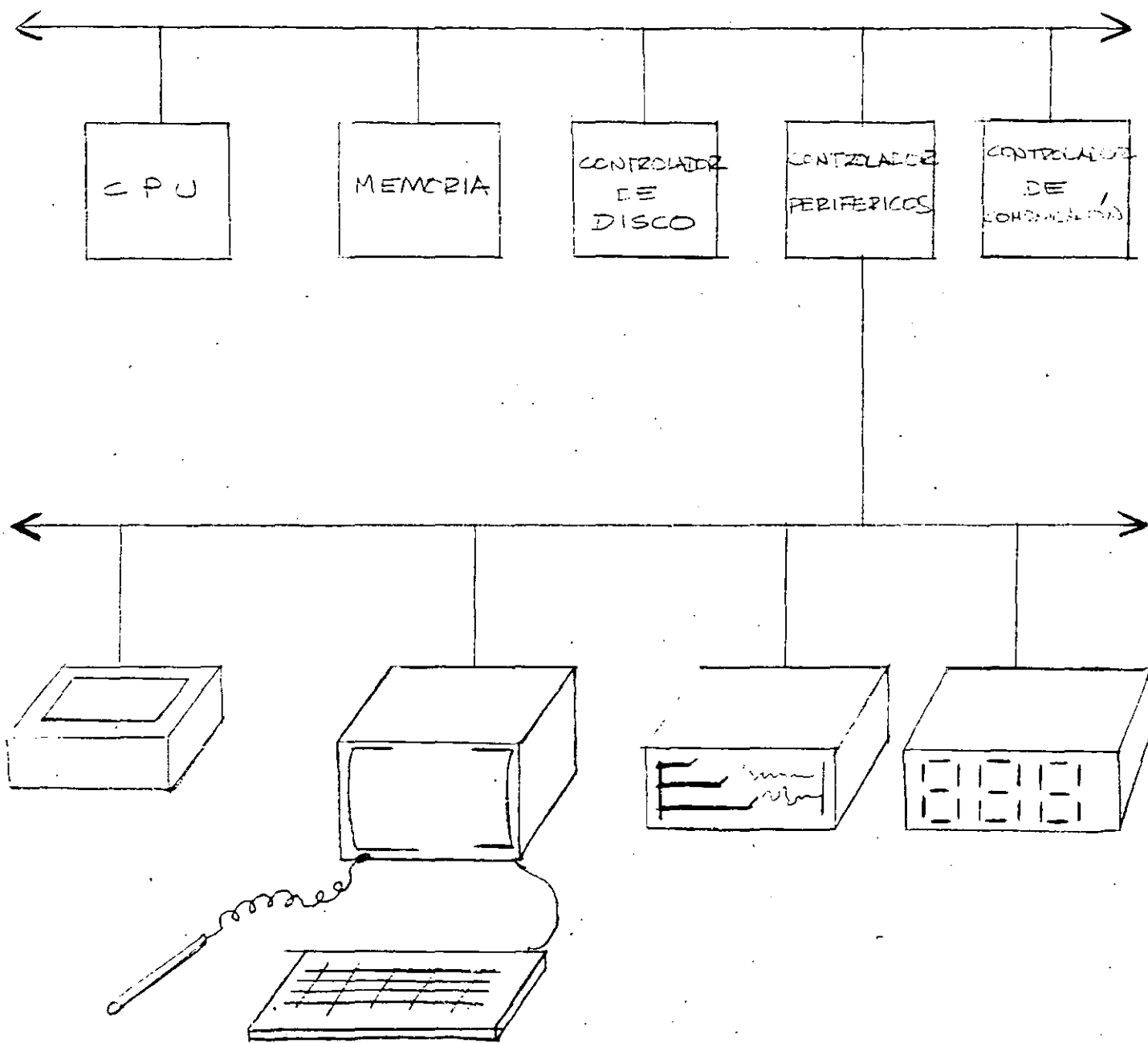


Fig. 4 Equipo de Cómputo y Periféricos típicos de un SADRE

3. Capacidad de un SADRE

Como se mencionó en el capítulo anterior, un SADRE se dimensiona con base en requerimientos y restricciones tales como : número de señales a adquirir, período de adquisición, número de usuarios del sistema, funciones requeridas y tiempo de respuesta al usuario.

Podríamos clasificar los sistemas en tres tipos :

Pequeños

- Capacidad de manejar hasta 500 puntos de E/S
- Periodos de muestreo mínimo de 5 segundos
- Mono-Usuario

Medianos

- Capacidad de hasta 1000 puntos de E/S
- Periodos de muestreo mínimo de 1 segundo
- 2 o 3 Usuarios

Grandes

- Capacidad de hasta 4000 puntos de E/S
- Períodos de muestreo de 1 segundo o menos
- 4 a 8 Usuarios

En la escala de los pequeños, en la actualidad, la mayoría de ellos utilizan computadoras personales (PC's). Los medianos usan minicomputadoras o PC's en paralelo, mientras que los grandes utilizan super minicomputadoras orientadas a procesamiento en tiempo real.

4. Organización de Funciones en un SADRE

El software que forma a un SADRE se encuentra dividido en las siguientes partes :

4.1 Adquisición y Acondicionamiento de Información

Su función es obtener el estado actual de las variables del proceso a través de las unidades de E/S. Una vez adquiridas, las señales son validadas, transformadas a unidades de ingeniería(si se requiere) o a locuciones de estado (binarias), así como se analiza si las variables no han rebasado algún límite de alarma definido. Una vez acondicionados, los valores de las señales se depositan en la base de datos del sistema.

4.2 Manejador de Base de Datos.

Permite a todas las funciones del SADRE acceder/modificar la información contenida en la base de datos de manera controlada, evitando el acceso directo y conocimiento de las estructuras básicas de información.

4.3 Cargador de Base de Datos

En la mayoría de los sistemas, la base de datos, o casi toda, reside en la memoria principal de la computadora, por lo que al iniciarse el sistema se requiere transportar la base de datos en disco a memoria.

La ventaja de una base de datos en memoria residente en memoria es la velocidad de acceso a la información.

4.4 Interprete de Teclado

Permite validar los comandos indicados por el usuario a través de un teclado, ratón, etc. La validación es sintáctica y semántica y depende del contexto de operación en el que se halle el sistema.

4.5 Interfaz Hombre-Máquina

Su función es proporcionar los medios de interacción entre el usuario y las funciones disponibles del sistema.

La Interfaz Hombre-Máquina (IHM) utiliza ampliamente despliegues en pantalla tales como Menús, Guías, ventanas, etc. con un enfoque que trata de ser ergonómico.

Actualmente la tendencia en IHM es el amplio uso de ventanas y 'ICONS ', junto con ratones, trackball, lápiz de luz y teclado.

Normalmente el acceso al sistema se realiza descendiendo a través de arboles funcionales.

4.6 Editor de Base de datos

Una característica importante de cualquier sistema es su capacidad de reconfigurarlo y expandirlo a manejar mayor información, así como la libertad de organizar la información de manera útil al usuario.

Los SADRES cuentan con un programa que permite agregar, modificar o eliminar entidades de información tales como unidades de E/S, variables de proceso, así como organizar variables bajo criterios específicos.

Existe dos tipos de editores : En Línea, los cambios se realizan sin suspender la operación del sistema; Fuera de Línea, los cambios se realizan con el sistema fuera de operación y para tener los cambios en línea hay que reiniciar el sistema.

Normalmente el esquema para introducir información en estos editores es utilizando el esquema de ' Llenar espacios ' (fill-in-the-blanks), el cual consiste en presentar una plantilla de captura con espacios reservados para la captura de información.

4.7 Programas de Aplicación

De acuerdo a la funcionalidad requerida del sistema se cuenta con una serie de programas que realizan actividades específicas dentro del sistema, tales como Monitoreo de secuencia de eventos, historia de variables, etc. (ver capítulo 6).

litor V2.0 Octubre 1987

SIMEX S.A. de C.V.

Cam_Baj Analógicos

d.Punto : _____

Id. Canasto:

let : [1..15]

Canal : [0..7]

anencia : [1,2,5,10,20,50,100,200]

Cod.Par.Ucr: [1..3]

EU : [1..30]

Unid.Tng. :

ed. Balan.: [1- Acumulado 2- Fraccionado]

ecc. Largo:

ecc. Corta:

is.Cri.Sup:

Lim.Cri.Inf:

im.Pre.Sup:

Lim.Pre-Inf:

0 = Terminar captura de identificador, ESC = Regresar Nivel

Editor V2.0, Octubre 1987

STIMEX S.A. de C.V.

Cam_Baj Analógicas

Id. Punto :TI-1

Id. Canasta:CAN1

Slot :9 E 1..15 I

Canal :0 E 0..7 I

Denuncia :20 E 1,2,5,10,20,50,100,200 I

Cod.Per.Var:1 E 1..3 I

SEV :6 E 1..30 I

Unid.Ing. :Grad C.

Cod. Polon.:1 E 1- Acumulado 2- Promediado I

Sec. Larga:TEMPERATURA GAS ENTRADA

Sec. Corta:TEMP. GAS ENTR.

Lim.Cri.Sup: 0.000

Lim.Cri.Inf: -199.000

Lim.Pre.Sup: -20.000

Lim.Pre.Inf: -180.000

Unid. Analógicas: Maja, Ciesbio, Otra pantalla, Reg. Nivel?

5. Organización de Información en un SADRE

En este capítulo explicaremos la forma en que la información del proceso se organiza en un SADRE, así como los tipos de entidades de información que se manejan.

5.1 Entidades de Información

5.1.1 Variables Analógicas

Se definen con los siguientes atributos :

- Nombre (Tag)
- Descripción
- Valor Actual
- Unidades de Ingeniería
- Estado Operativo :
 - Adquirida
 - Asignada
 - Calculada
 - Fuera de Servicio
- Estado Funcional
 - Normal
 - Precrítico (Alto y Bajo)
 - Crítico (Alto y Bajo)
 - Fuera de Servicio
- Expresión de Cálculo

5.1.2 Variables Binarias

Tiene los siguientes atributos :

- Nombre (tag)
- Descripción
- Estado Actual
- Estado Operativo
 - En servicio
 - Adquirida
 - Asignada
 - Calculada
 - Fuera de Servicio p/ Falla
 - Fuera de Servicio p/ Mantenimiento
- Estado Funcional
 - Normal
 - Alarma
- Locuciones de Estado
- Tipo de Tratamiento
 - Alarma
 - Evento
 - Estado
- Expresión de cálculo

5.1.3. Salidas Analógicas

- Nombre
- Descripción
- Valor Actual
- Unidades de Ingeniería
- Expresión de Cálculo
- Etc.

5.1.4 Salidas Binarias

- Nombre
- Descripción
- Valor Actual
- Unidades de Ingeniería
- Expresión de Cálculo
- Etc.

5.2 Organización de la Información

La organización de información en un SADRE, como en cualquier sistema de manejo de información, viene dada por la organización de su base de datos.

La forma de conceptualizar una base de datos, comunmente relacional, es a través de ' Visiones ' de sus ' Entidades ' y las ' Relaciones ' que existen entre ellas.

Basicamente en todo SADRE existen dos Visiones de información : Física y Lógica.

la visión física consiste en la descripción de cada una de las unidades de E/S asociadas al sistema, así como las variables asociadas a cada unidad.

La visión lógica depende de la aplicación, comunmente consiste de un conjunto de ' Funciones ', cada una de las cuales tiene asociados un conjunto de ' Grupos ' de ' Variables '. La asociación de variables a un grupo se realiza libremente por parte del usuario. La visión lógica permite organizar la información básica de manera mas acorde al proceso. P.ej.: Variables específicas de un subsistema del proceso asociadas a un Grupo en la base de datos.

Normalmente la información está disponible por niveles de acceso, esto es, habrá información del Jefe de Turno que el Operador no pueda acceder, etc.

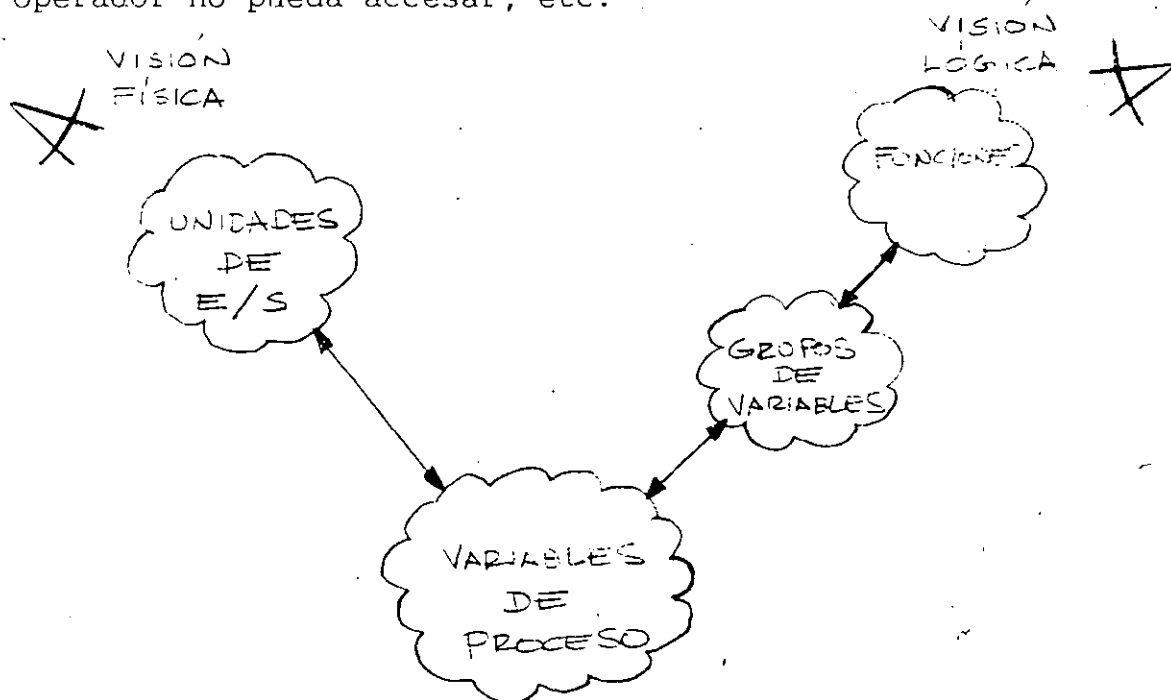


Fig. 5 Organización de Información en un SADRE

6. Funciones de un SADRE

En este capítulo se revisan las funciones comunmente ofrecidas en Sistemas de Adquisición de datos y Registro de Eventos. Cabe hacer notar que se expone un enfoque general, aún cuando estas funciones pueden no estar contenidas totalmente en un sistema específico.

6.1 Lista de Variables

Su propósito es mostrar los valores de variables del proceso junto con sus atributos mas importantes en forma tabular. las variables se organizan comunmente por Grupos.

Los atributos de variable que se despliegan normalmente en esta función son los siguientes :

- Identificador de Variable (tag)
- Descripción
- Valor actual de la variable
- Unidades de ingeniería
- Límites críticos y precríticos
- Estado Funcional, se indica por color :
 - Azul (normal), Amarillo(Precrítico y Rojo(Crítico)

6.2 Detección y Reporte de Alarmas

Un SADRE detectará automaticamente cuando las variables de proceso alcanzan un nivel (analógicas) o estado (binarias) de alarma y registran estas condiciones.

A través de funciones de alarma, el usuario observa todas y cada una de las variables del proceso que se encuentran en alguna condición de alarma.

Se presenta la fecha y hora de ocurrencia, valor o estado y límite sobrepasado. Además se permite reconocer y reponer alarmas de manera análoga a un cuadro convencional de alarmas.

Comunmente cada condición de alarma es tambien registrada en papel por medio de impresoras, asi como el sistema activa un alarma audible mientras existan variables en alarma no reconocidas por el usuario.

-200-1007

VARIABLES DE:

EXPANSOR-COMPRESOR

16:32:20

ID	DESCRIPCION	VALOR	UNIDADES	LIM SUP	LIM INF
AF-7	NIVEL BAJO EN FA-7	NORMAL			
BF-7	NIVEL ALTO EN FA-7	ALTO			
TI-8	TEMP. SALIDA COMPRESOR GB-1	*****	CENTIGRADO	350	-300
TI-16	TEMP. SALIDA EXPANSOR GC-1	*****	CENTIGRADO	350	-300
TI-17	TEMP. ENTRADA LIQ. A FA-8	58	CENTIGRADO	350	-300

3-NOV-1987

DIALOGO GLOBAL DE ALARMAS

16:33:02

HORA	ID	DESCRIPCION	VALOR	UNIDADES	LIN REF	GUIA
16:26:50	TI-9	T.ENT.ENF. EA-3	24.3	CENTIGRADO		!
16:29:30	TI-1	TEMP. GAS ENTR.	-159	Grad C.		6001!
16:30:42	TI-17	T.ENTR.LIQ.FA-8	58	CENTIGRADO		!
16:10:55	TI-16	T.SAL.EXP. GC-1	*****	CENTIGRADO	350	!
16:09:47	TI-5	T.SAL.DES.FA-2B	*****	CENTIGRADO	350	!
16:07:41	TI-9	T.SAL.COMP.GB-1	*****	CENTIGRADO	350	!
16:07:41	TI-23	T.E/S EA-5/EA-7	*****	CENTIGRADO	350	!
16:07:41	TI-19	T. SAL.LIQ.EA-8	*****	CENTIGRADO	350	!

NOV-1987

DIALOGO DE EVENTOS

16:34:00

HORA	ID	DESCRIPCION	VALOR	CODIGO
16:34:15	NFA4	NIVEL ALTO DE ACEITE EN FA-4	BAJO	
16:34:12	NFA4	NIVEL ALTO DE ACEITE EN FA-4	ALTO	
16:33:55	NFA4	NIVEL ALTO DE ACEITE EN FA-4	BAJO	
16:33:55	GA-3A	BOMBA ENCENDIDA		

6.3 Detección y Presentación de Eventos

Se define un evento como el cambio de estado de una señal binaria, de manera que cualquier transición de estado genera un evento.

A través de un SADRE es posible, y en forma automática detectar y registrar eventos generados en el proceso. La resolución de detección de eventos depende del sistema, siendo la mayor del orden de 1 ms. en sistemas con módulos de E/S especializados.

Existe comúnmente una función en el sistema que presenta la historia de eventos, organizados en orden cronológico descendente, en monitor o impresora.

Esta presentación muestra la 'secuencia' en que los eventos han ocurrido, siendo esta última útil para detectar condiciones de disparo de protecciones en una planta, p.ej.

La capacidad de registro histórico de eventos varía de acuerdo al sistema, desde 512 eventos hasta miles.

6.4 Historia de Variables

Existe la capacidad de almacenar información histórica de un cierto número de variables del proceso.

Para cada variable que se desea registrar se definen su Identificador, así como el período de registro asociado (desde 1 Seg. hasta Dias). Cada vez que se registra una variable se almacena su valor instantáneo, estados funcional y operativo así como fecha y hora de registro.

El registro histórico se realiza automáticamente, manteniéndose en archivos en disco que pueden ser procesados a posteriori por medio de otras funciones.

6.5 Diagrama de Barras

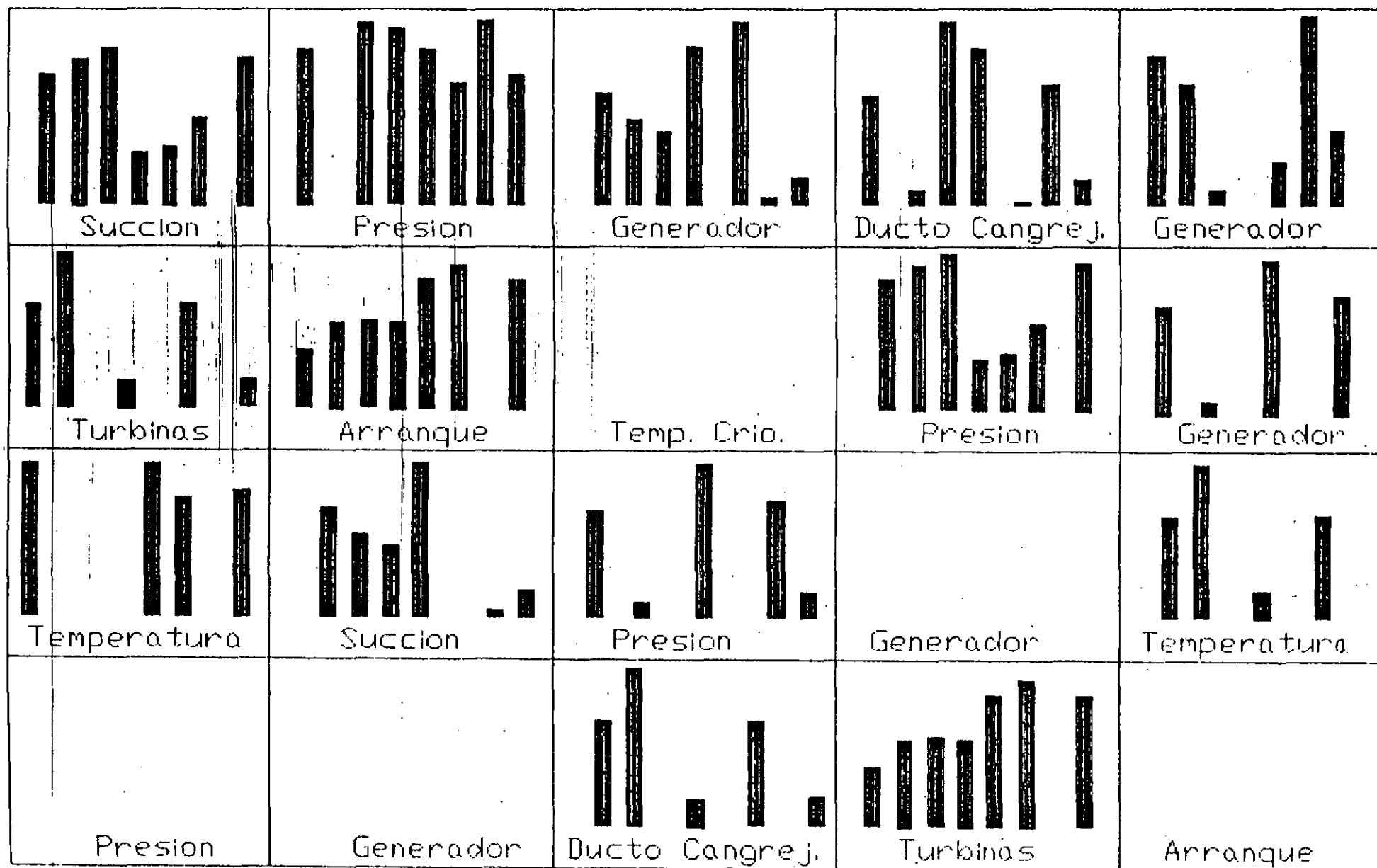
El objetivo de esta función es presentar al operador información de variables importantes del proceso en una forma fácil de asimilar y al mismo tiempo con suficiente detalle para permitirle tomar decisiones en condiciones críticas.

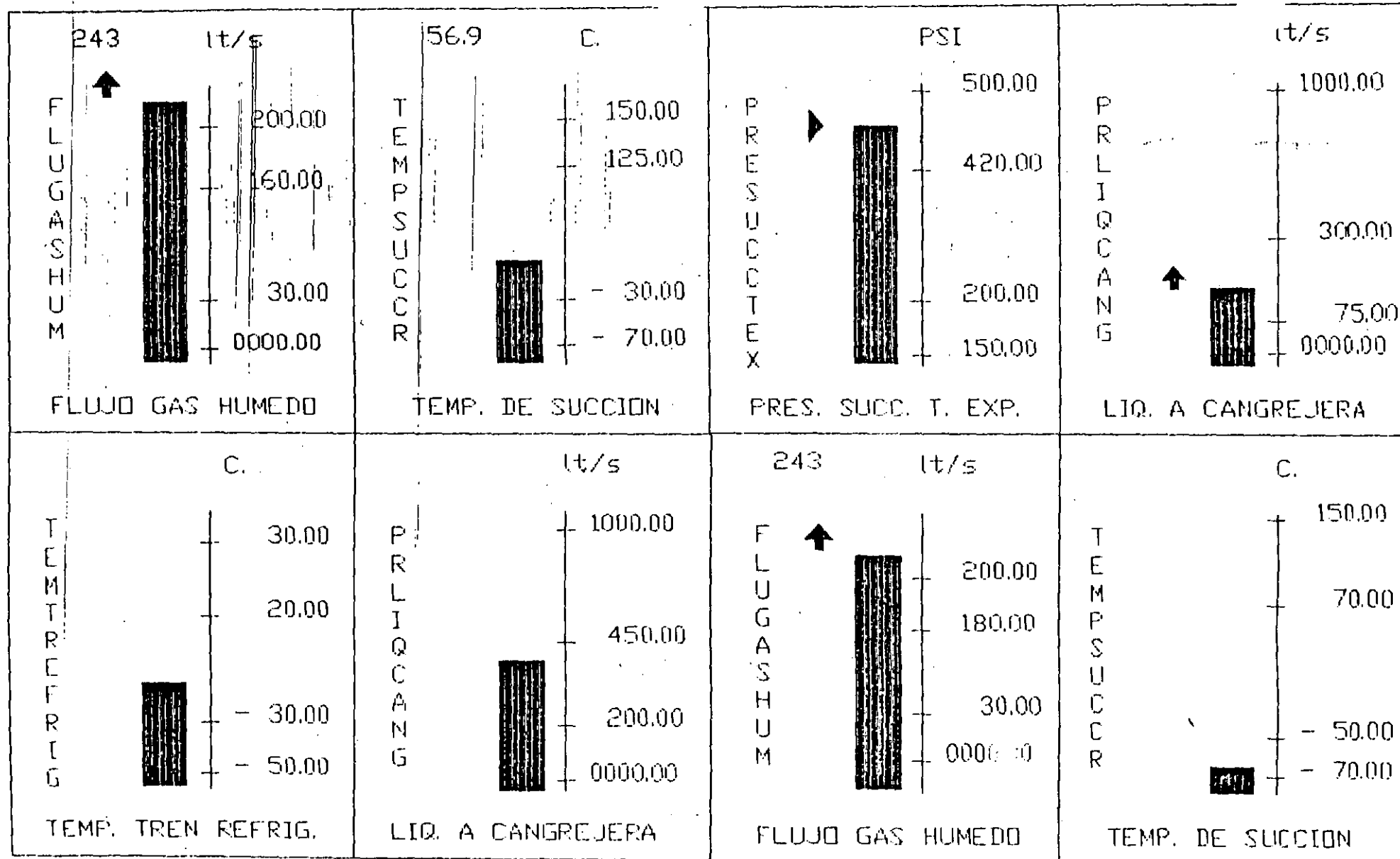
Existen dos modos de presentación : Vista General y Vista de Grupo. En la presentación de vista general se presentan todos los grupos de variables configurados, cada uno en una celda en la pantalla. Dentro de cada celda aparecen en forma de barra cada variable con el valor representado proporcionalmente en la altura de la barra y el estado funcional codificado en el color de la misma.

26-Junio-1987

DIAGRAMA DE BARRAS

10:22:15





En la vista de grupo por cada variable aparece : identificador, valor actual presentado numericamente, unidades de ingeniería, límites precríticos y críticos, el valor de la variable representado proporcionalmente en la altura de una barra y el estado funcional codificado en el color de la barra.

El formato de la vista de grupo se presenta emplenado varios colores, de tal manera que la imagen resulte agradable a la vista y de facil lectura y comprensión.

6.6 Diagramas de Flujo o Proceso (Mímicos)

Se representa por medio de gráficas diferentes subsistemas del proceso, donde aparecen válvulas, motores, bombas, interruptores, depósitos, etc. Esta representación es útil al operador, además de que en estas gráficas se pueden presentar valores de variables importantes relacionadas con el subsistema .

La presentación de valores puede ser numericamente o en el caso de estados binarios se puede asociar colores a objetos que representen su estado, p.ej.: una bomba aparece en rojo si está apagada o en verde si encendida.

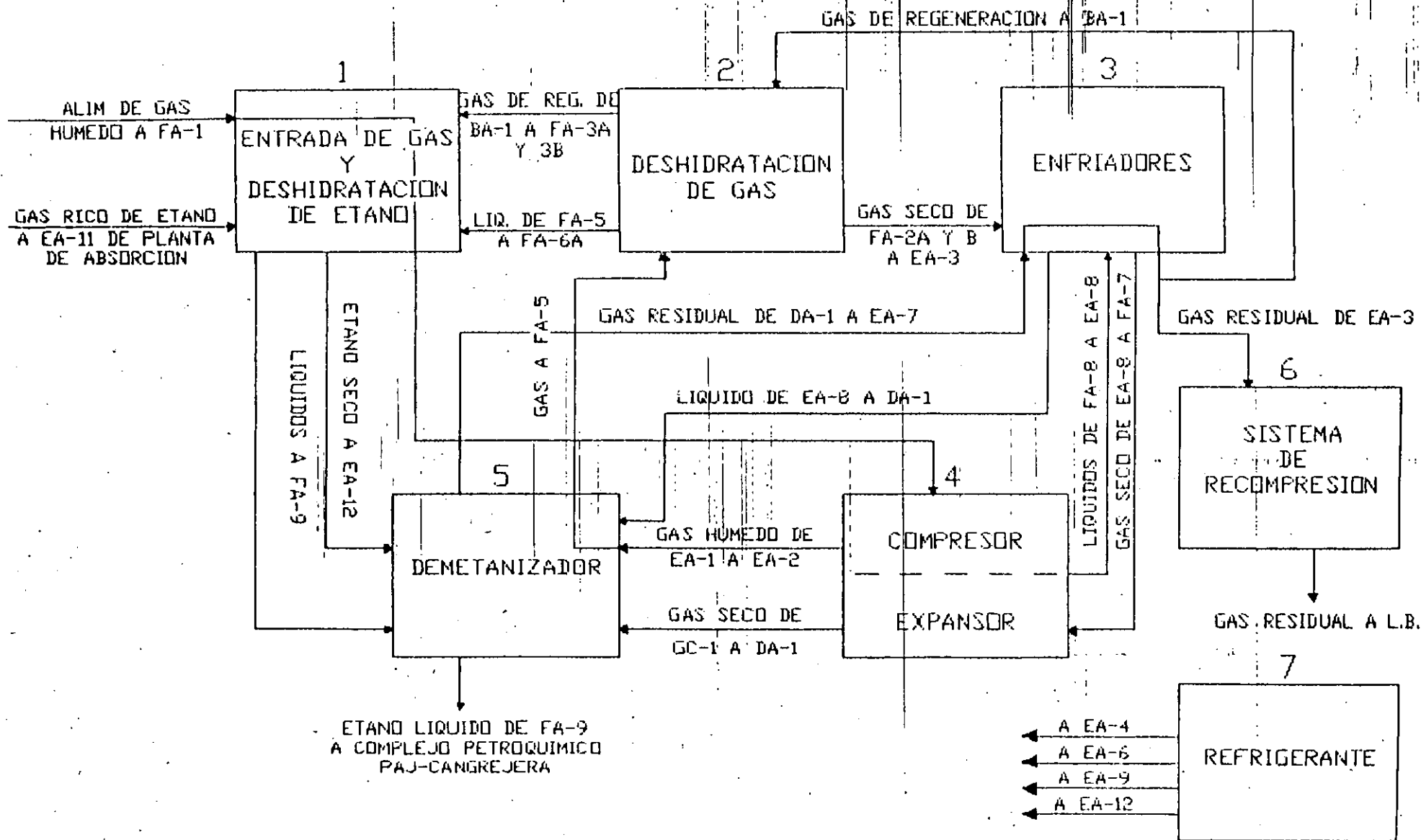
El usuario tiene además una vista general del proceso completo con las variables mas representativas, desde la cual puede solicitar la presentación de cualquier subsistema.

6.7 Diagramas de tendencia Analógica

El objetivo de esta función es presentar en pantalla de manera gráfica los valores actuales e históricos de grupos de variables.

Cada grupo consta de un cierto número de variables analógicas. Al seleccionar un grupo se presenta al operador la evolución de las variables del grupo contra el tiempo, de manera que es facil visualizar variaciones, caidas, etc. Aparte de esto al presentarse varias variables se facilita su correlación de una manera visual.

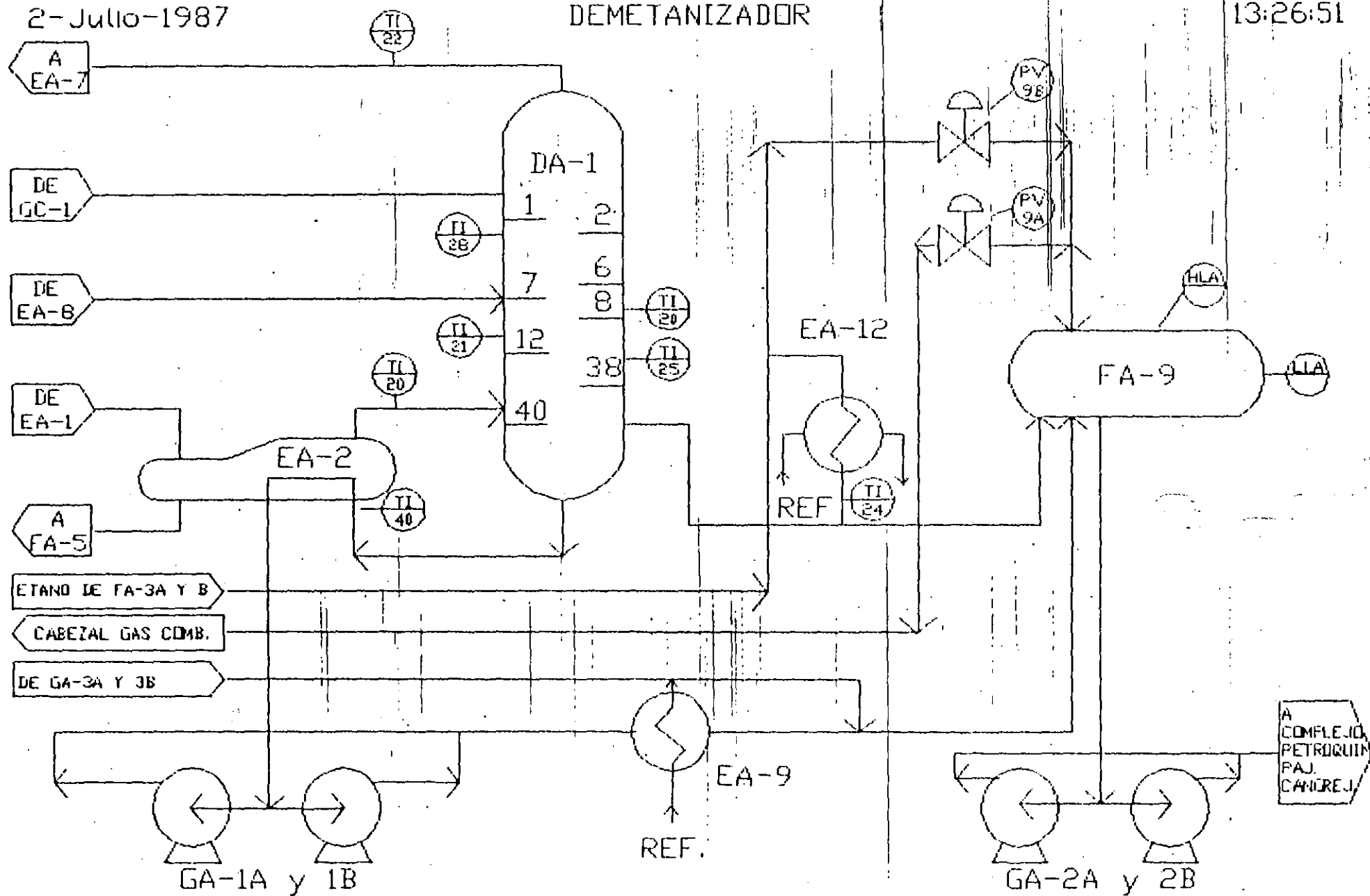
VISTA GENERAL



2-Julio-1987

DEMETANIZADOR

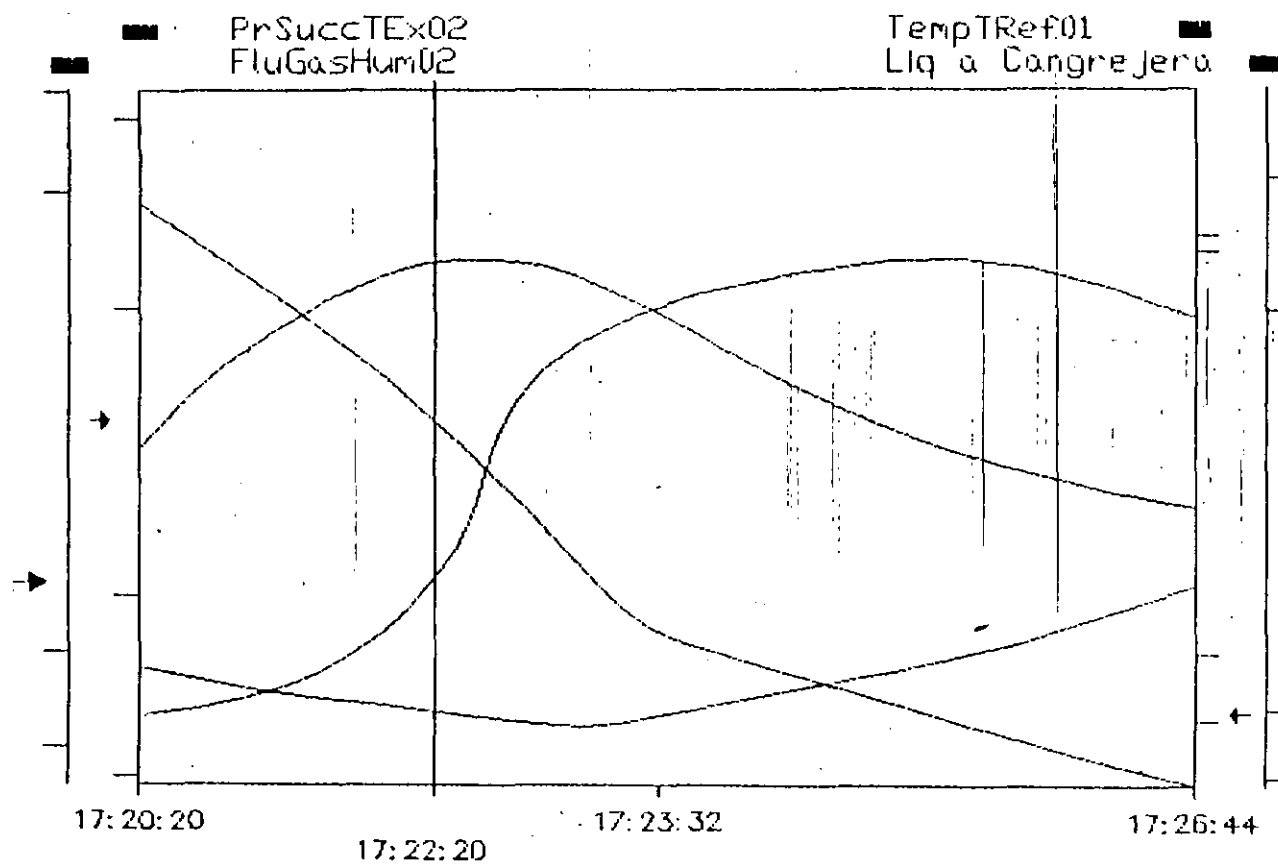
13:26:51



22-Junio-1987

DIALOGO DE TENDENCIAS

17:26:44



100.00 m3/s	-20.00 C
300.00 psi	250.00 m3

6.8 Calculadora

Esta función permite generar variables que no existen de manera directa en el proceso. Esto se realiza definiendo expresiones de cálculo que utilizan variables del proceso y constantes definidas en la expresión. Variables calculadas típicas podrían ser : eficiencias, potencia generada, consumo de combustible, etc.

6.9 Reportes Impresos

Su objetivo es ofrecer al operador la posibilidad de solicitar la impresión de información tratada por el sistema. Los reportes que ofrece un SADRE son variados, y en algunos casos desarrollados específicamente para un proceso en particular, sin embargo aquí se describen los mas generales. Es importante resaltar que una vez adquirida la información y registrada, casi cualquier forma de reporte es posible en el sistema.

Los reportes mas comunes son :

- Variables en Alarma
- Puntos Fuera de Muestreo
- Horario
- Balances Diario y Mensual
- Valores Analógicos Actuales
- Estado de Variables Binarias
- Horas de Operación de Equipo
- Cronológico de Alarmas y Eventos
- PostDisparo y Revisión Histórica de Eventos

6.10 Graficación en Papel

El usuario puede dirigir cualquier variable del proceso hacia registradores analógicos de plumas, con el fin de obtener la evolución de una variable en un registro en papel.

Al dirigir una variable se indica el periodo de graficación, así como el registrador al que se desea enviar.

6.11 Despliegue en Indicadores Digitales

De igual manera que en la función anterior, cualquier variable del proceso puede ser dirigida a un indicador digital con el fin de desplegar su valor en todo instante de tiempo.

6.12 Editor de Diagramas de Flujo

Por medio de esta función el usuario puede crear cualquier diagrama de flujo, utilizando una serie de 'objetos' previamente definidos y de una manera muy simple y rápida. Además el usuario asocia libremente las variables que desea ver en el diagrama durante la operación en línea.

6.13 Funciones Estadísticas

Permiten analizar la información histórica que almacena el sistema. Normalmente estos paquetes permiten analizar tendencias, correlacionar variables, obtener desviaciones, medias, acumulados, promediados, etc. de la información.

6.14 Guías de Operación

Esta función resulta bastante útil para la operación del sistema. Consiste en una serie de acciones a realizar para obtener un procedimiento específico en el proceso, Arrancar un bomba, sincronizar un generador, etc. Hay dos tipos de guías: No-asistidas, las cuales son únicamente un texto con las acciones a realizar para diferentes procedimientos. Asistidas, las cuales para cada paso de el procedimiento verifican que las condiciones del proceso se han modificado, monitoreando las variables correspondientes. Si la condición no se ha cumplido la guía lo notifica al operador e impide continuar con las acciones.

7. Conclusiones

En resumen un SADRE centraliza una gran cantidad de información del proceso, y permite manipularla de manera óptima al usuario, hecho que no ocurre con los esquemas tradicionales de instrumentación.

Además ofrece una serie de automatismos en cuanto a proceso de información no presentes en un cuarto de control convencional.

Tiene una gran capacidad de crecimiento, y las posibilidades de tratamiento de información son fácilmente adaptables a las necesidades del usuario. La relación rendimiento/costo de este tipo de equipo es muy alta y justifica plenamente su uso.

SISTEMAS DE CONTROL SUPERVISORIO Y ADQUISICION DE DATOS (SCADA'S)

1. GENERALIDADES

Un Sistema de Control Supervisorio y Adquisición de Datos es un medio de control remoto y monitoreo del estado de los elementos de un sistema. Comprende las funciones de adquisición de datos, monitoreo, control, procesamiento y presentación de la información.

Los primeros sistemas de control supervisorio fueron instalados en los años 20's para operar remotamente vía relevadores electromecánicos. Hasta la introducción de equipo de estado sólido, muy pocas modificaciones fueron realizadas. En los años 60's los sistemas supervisorios modernos de estado sólido transformaron la función del control.

Actualmente estos sistemas basan su funcionamiento en computadoras, lo que permite una mayor rapidez y una mayor precisión.

El diseño jerárquico de control supervisorio es un concepto avanzado que organiza la capacidad de procesamiento distribuido para una solución integrada a los requisitos funcionales del mismo.

2. OBJETIVOS DEL CONTROL SUPERVISORIO

1. Operar el sistema en forma confiable y segura
 - Adquisición de datos y control remoto en tiempo real
 - Funciones del control automático
2. Mantener la continuidad de servicio
 - Localización y aislación de fallas
 - Desconexión y reconexión de equipo
3. Optimizar la eficiencia del sistema
 - Administración del proceso
 - Reconfiguración del proceso
4. Almacenamiento y proceso de información histórica
 - Estudios de carga

- Análisis estadísticos
- Análisis de fallas
- Coordinación de protecciones

3. FUNCIONES DEL CONTROL SUPERVISORIO

1. Monitoreo y control del sistema o proceso por medio de un enlace entre el sistema y el operador. Permite una interacción rápida, de fácil comprensión y flexible con los elementos del proceso.
2. Mantener un archivo de datos estructurados según las necesidades.
3. Adquisición y organización de datos para la actualización constante del proceso con la información captada por medio de estaciones remotas.
4. Comparar los datos contra límites establecidos y ejecutar cálculos de ingeniería predefinidos.
5. Proveer diagramas del proceso, gráficas de sus variables y tablas con los datos clasificados necesarios para el monitoreo y control de proceso.
6. Generación de reportes bajo criterios preestablecidos de eventos, de acciones, del estado de los equipos, de medidas de variables, etc.
7. Generar mensajes de asistencia al operador y proveer la posibilidad de imprimir mensajes importantes para otros operadores, o como histórico.

Los sistemas SCADA son empleados en telemetría y telecontrol, constan de una computadora maestra que está en comunicación permanente con un grupo de terminales situadas en puntos lejanos denominados Unidades Terminales Remotas (UTR's), teniendo entre si un lenguaje común. El conjunto de estas unidades forman el sistema automático de control jerárquico, encargado de mantener el sistema en un punto de operación óptimo requiriendo datos de toda la red. Las UTR's se encargan de la adquisición de la información y su posterior transmisión al computador maestro.

Dada la lejanía de las UTR's, estas deben comunicarse con la estación maestra por medio de pares de hilos (cable telefónico, coaxial, etc.) u otro medio (microondas, satélite, radio, etc.), pero definitivamente en forma confiable. Esto se logra, generalmente con una comunicación digital tipo serie en la que agregan códigos de error, así como redundancia en la transmisión y cualquier otro medio que reduzca al mínimo la comunicación incorrecta. Debido al costo asociado a la telecomunicación, es común que varias UTR's compartan el mismo canal, por lo que el protocolo de comunicación debe incluir información extra que le permita a una UTR discriminar la información es para ella o no.

Las funciones de control de los sistemas supervisorios son inherentemente seguras y la posibilidad de que un interruptor o switch opere por error es reducida. Esta seguridad es derivada del chequeo de paridad dentro del mismo

mensaje y por el requisito de las estaciones remotas de retransmitir los mensajes idénticos a las unidades maestras antes que la acción de control se ejecute. Si cualquier distorsión ocurre en un mensaje, la secuencia será abortada y deberá ser iniciada nuevamente.

4. ADQUISICION DE DATOS Y CONTROL REMOTO

La adquisición de datos del proceso para un sistema de control supervisorio puede ser cualquiera de los siguientes tipos:

Digital.- Es la información proporcionada a las unidades terminales remotas por el cierre o apertura de contactos de relevadores de interposición de los equipos de la subestación, sensando los estados y/o alarmas de los mismos.

Esta información puede ser:

- Estandar de 1 bit.- Sin memoria y sensando el estado del contacto en el momento de la exploración. El contacto podrá ser normalmente abierto (NA) o normalmente cerrado (NC).
- Detección momentánea con estado retardado de 1 bit. Con memoria para registrar una posible transición del contacto entre una exploración y otra, o su estado permanente. El contacto podrá ser NA o NC, en cuyo caso las transiciones que se detectarán serán abierto/cerrado/abierto ó cerrado/abierto/cerrado, respectivamente.

Analógico.- Es la información proporcionada a las unidades terminales remotas por medio de transductores, transformándolos a señal digital mediante un convertidor analógico/digital.

Acumuladores.- Es la información proporcionada a las UTR's mediante contactos tipo C transductores, los cuales son empleados como contadores de valores de puntos del proceso, pudiendo ser registros de 16 bits.

Los dispositivos del proceso podrán comandarse a control remoto teniendo en cuenta los siguientes puntos:

- Operación mediante la función de verificación antes de operar
- Comando de abrir/cerrar
- Verificación del proceso completo de la selección, ejecución del comando y complementación del mismo.
- Verificación de imposibilidad de la realización del comando por bandera de punto en licencia, punto no disponible por estar en proceso su comando, operación redundante, etc.

5. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACION

Cuando la estación maestra adquiera información digital deberá compararla con los datos previos que guarda en su memoria y notificarle apropiadamente al operador la eventual ocurrencia de alguna alarma, si está habilitado su procesa-

miento, o bien la complementación de algún comando que él haya iniciado. Deberá además actualizar la imagen de los puntos con la nueva información.

6. NOTIFICACION DE ALARMAS

Los eventos siguientes se procesan como alarmas:

1. Un cambio de estado de un punto digital no comandado por el operador
2. Falla de equipos de la estación maestra (impresora, terminal de operación, equipo de comunicaciones, etc.).
3. Pérdidas de exploración identificando los posibles problemas por: errores de transmisión de datos, sin respuesta, etc.

Si la alarma esta habilitada, el procesamiento implica lo siguiente:

1. Notificación en el tablero mímico de alarmas, encendiendo la lámpara de la subestación y activando la alarma acústica.
2. Notificación a través de una indicación de la terminal de video
3. Registro del evento en el resumen de alarmas
4. Registro del evento en el relatorio
5. Impresión del evento en la impresora

7. ELEMENTOS DE UN SISTEMA SCADA

a). Estación Maestra

Es un equipo estructurado en base a tecnología de microprocesadores y arquitectura de multiprocesamiento a base de módulos del tipo "computadora en una sola tarjeta", tanto para el procesador central como para módulos de manejo de periféricos y de extensión de memoria.

Funciones:

- Recepción de información sobre el estado de la red eléctrica (estados, mediciones y reportes de fallas).
- Reconocimiento e identificación de cambios

- Comandos de operación para configurar la red, señalar fallas y comandos a elementos de la subestación.
- Actualización dinámica de la base de datos
- Almacenamiento horario de alarmas, mediciones y estado de la red de comunicaciones.
- Enlace con el sistema de procesamiento, análisis y simulación
- Control de Interfaz Hombre-Máquina Auxiliar
- Envío de controles a las UTR's para que sean ejecutados sobre puntos específicos del proceso.
- Presentación de datos relevantes en forma clara y completa para la toma de decisiones.

b) Interfaz Hombre-Máquina

En este subsistema residen las funciones de presentación gráfica de información del proceso, presentación de resultados y generación de reportes de tipo administrativo, estadístico o de planeación

Funciones:

- Despliegue del proceso con capacidad de selección a diversos niveles de detalle.
- Entrada de comandos de control
- Cambios de parámetros límites de operación del sistema

A través de este subsistema el operador puede acceder información y enviar comandos al sistema.

La introducción de datos y comandos se realiza por medio de:

- Teclados alfanuméricos y con teclas especializadas para comandos
- Consolas de teclados dedicados
- Teclados Termiflex
- Lápiz de luz (Light pen)
- Ratón (Mouse)

La información del proceso se muestra al operador a través de:

- Monitores
- Impresoras
- Registradores Analógicos en Papel
- Indicadores Digitales

c) Interfaz Hombre-Máquina Auxiliar

Tiene por objeto el presentar información simplificada del estado del sistema de distribución al operador, así como servir de medio para inserción y envío de comandos a los equipos de campo (UTR's y microUTR's). Normalmente está compuesta por una terminal de video con teclado, impresora y tablero mímico. En los videos se generan imágenes visuales del proceso, que incluyen los equipos a ser controlados mostrando su estado actuante. Se indican también voltajes, corrientes, potencias, etc. que se tienen en un momento determinado. Por medio del teclado el operador ejecuta los comandos para el control del sistema.

d) Controlador de comunicaciones. Funciones

- Mantener comunicación continua con las unidades terminales remotas
- Reportar a la maestra la presencia de alarmas
- Controlar, evaluar y reportar los canales de comunicación a la maestra
- Mantener base de datos de exploración periódica
- Proveer medios de enlace alternativos para mantener la integridad del sistema

e) Unidades Terminales Remotas

Son equipos electrónicos operados a base de microprocesadores para trabajar bajo la supervisión de la estación maestra. Sus principales funciones son:

- La comunicación del estado de las variables de interés a la estación maestra
- Adquisición de datos sobre variables eléctricas y elementos del proceso así como el procesamiento de los mismos.
- Almacenamiento de información adquirida y actualizada de su base de datos
- Ejecución de acciones de control por comandos cuando la maestra lo ordene
- Detección de cambios e identificación de puntos

- Reacción automática (automatismos locales)
- Capacidad para ejecutar programas de aplicación especiales
- Actuar como submaestra para el control de microterminales remotas
- Capacidad de recepción y transmisión de datos de acuerdo a un protocolo de comunicaciones.

f) Micro Terminales Remotas

Están basadas en microprocesadores para trabajar bajo la supervisión de una submaestra. Son UTR's de menor capacidad usadas para intemperie. Sus funciones principales son:

- Adquisición del estado de elementos de actuación dentro del proceso. Son de tipo digital o analógico
- Comando de elementos de actuación de elementos del proceso para reconfiguración.
- Capacidad de comunicación con alguna UTR vía un protocolo de comunicación
- Ejecución de acciones de control cuando la UTR lo ordene.

8. TENDENCIAS DE LOS SISTEMAS DE ADQUISICION DE DATOS Y CONTROL SUPERVISORIO

Los Sistemas de Adquisición de Datos y Control Supervisorio (SCADA's) constituyen una tecnología en constante evolución dirigida especialmente a las áreas de manejo de datos. Específicamente la funcionalidad de los sistemas SCADA, implica la medición, control y supervisión del flujo de sistemas de suministro de bienes a largas distancias, tales como oleoductos, acueductos, gaseoductos; sistemas de transmisión y distribución de energía eléctrica, etc.

Actualmente los sistemas SCADA están pasando por una etapa de crecimiento rápido, mucho del cual es en función de mejor interpretación y coordinación de sistemas más grandes, pero con mayor flexibilidad en el control; y ésto se debe en gran parte a la implantación de controladores lógicos programables (PLC's).

No hace mucho tiempo los sistemas SCADA consistían de una computadora supervisora, la cual se comunicaba vía radio o líneas telefónicas dedicadas, a unidades terminales remotas (UTR's). Repartidas en grandes distancias, las UTR's eran dispositivos de adquisición de datos basados en microprocesadores, que a diferencia de los PLC's realizaban funciones mínimas de control o no las realizaban. Sus funciones primarias consistían en la adquisición y transmisión de datos tanto binarios como analógicos (rangos de flujos, temperaturas, presiones, posiciones de válvulas, etc.) Ocasionalmente podían implantar un control muy

limitado vía comandos desde la computadora, sin embargo normalmente la computadora debía muestrear continuamente a las UTR's y generar los reportes consecuentes.

La funcionalidad de estas UTR's satisfacía, en ese momento, los requerimientos básicos; tales como el conocimiento en cualquier momento de las condiciones existentes sobre un oleoducto muy largo. Aunque estas capacidades fuesen limitadas, proveían un medio rápido y relativamente económico de notificar una falla o ruptura de la línea.

Las principales ventajas de las UTR's tradicionales, eran que permitían al administrador del proceso recolectar información en forma centralizada a la vez que podía controlar algunas salidas desde una estación central. Esto permitía a la computadora hacer cálculos sobre rangos de flujo y después cuantificar el gasto del producto utilizando únicamente los datos más actuales. Dicho procedimiento era más rápido y eficiente que cualquier método anterior. Finalmente sus características ambientales y de comunicación también les permitía estar localizados en áreas tan remotas como el desierto, la tundra ártica, etc.

Sin embargo, por numerosas razones, las UTR's tradicionales están perdiendo popularidad debido a:

- * Muestran rangos de fallas muy altos. Actualmente no es raro encontrar usuarios de sistemas SCADA reportando un 20% de UTR's no funcionales.
- * El mantenimiento y servicio de las UTR's tradicionales es difícil de realizar. Al ser unidades autocontenidas, no modulares, el darles servicio implica el cambio de tarjetas completas.
- * Requieren programación de alto nivel muy costosa. Esto se traduce en mínima versatilidad porque generalmente el usuario no está capacitado para realizar cambios de programación de entrada/salida o de aumentar o disminuir las características del sistema.
- * Finalmente, la cantidad de control que puede ejecutarse está limitada por la comunicación de la computadora central. Por lo tanto el sistema es vulnerable si dicha computadora falla. Este sistema centralizado requiere de muchas computadoras supervisorias con una programación extensa, de tal manera que no pueden realizar tareas de control complejas debido a las limitaciones de comunicación.

Controladores programables como solución a SCADA's

En los últimos 10 o 15 años la funcionalidad de los PLC's ha evolucionado a pasos agigantados. Su potencial para utilizarse como UTR's ha sido reconocido. Sus ventajas principales en tal aplicación son múltiples, por ejemplo:

- * Poseen un gran rango de tamaños, desde unidades pequeñas con poca capacidad de memoria y, de adquisición y control, hasta unidades muy grandes.
- * Existe una extensa gama de módulos de entrada/salida disponibles que pueden configurarse dependiendo de las necesidades del cliente.
- * Pueden ser programados con lógica escalonada en sitios remotos, y pueden realizar estrategias de control complejo para responder a condiciones que requieran de una acción de emergencia (independientemente del maestro, si así se desea).

Resumiendo, estas razones hacen a los controladores programables ideales para utilizarlos en sistemas SCADA. Por definición los controladores programables son utilizados en ambientes difíciles. A diferencia de muchas UTR's, los controladores programables son dispositivos modulares. Esta modularidad da al usuario facilidad de cambiar la configuración del sistema y variar la entrada y salida con un simple cambio de tarjeta. Así mismo, contribuye al fácil mantenimiento del sistema.

Debido a que son dispositivos más inteligentes que las UTR's, pueden realizar más tareas utilizando su propia inteligencia. Esto es la base de la inteligencia distribuida con los siguientes beneficios:

- * Se necesita de una computadora menor
- * Requiere menor programación debido a que más funciones son realizadas en las áreas remotas y por lo tanto requiere menor comunicación con la computadora.
- * Poseen mayor inteligencia distribuida que representa mayor tolerancia a fallas. Esto es, si una unidad falla, no afecta a las demás.

Por otro lado, ningún proceso o sistema de control distribuido era considerado apropiado para tales operaciones.

Sus unidades remotas, o distribuidas, fueron diseñadas para realizar tareas complejas de control de procesos y no podían compararse con el bajo costo de una UTR. Más aún, éstas se podían únicamente comunicar a través de la red, la cual muy pocas veces podía extenderse a más de un par de millas. Finalmente éstos sistemas fueron diseñados para utilizar sus propias unidades centrales supervisorias y no contaban con el software necesario para aplicaciones SCADA.

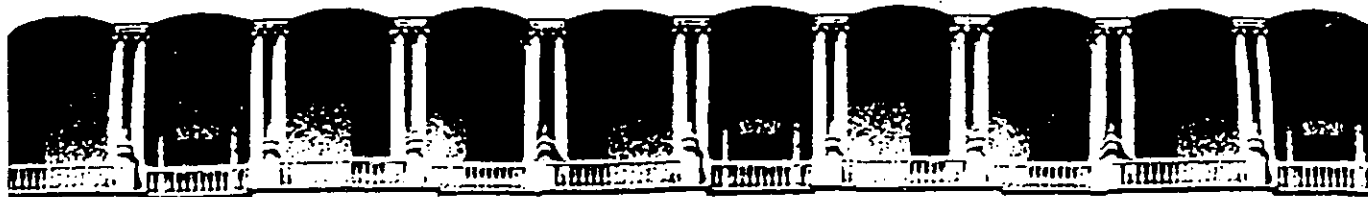
¿Porqué ha pasado ésto recientemente?

Los fabricantes de controladores programables están viendo la creciente oportunidad de maximizar las ventajas de sus productos para utilizarlos en sistemas SCADA.

Algunos productos para el mercado de SCADA incluyen:

- * Chequeo de error CRC opcional para proveer la integridad de los datos requeridos en una comunicación a larga distancia.
- * módulos de comunicación que emulan el protocolo de una UTR para aplicaciones de retroalimentación.
- * Módulos de comunicación que implementan al maestro de un protocolo de comunicación half duplex.

Obviamente, usando controladores programables como UTR's crean nuevas oportunidades para el usuario. El usuario trabaja hacia un sistema totalmente integrado en el cual todos los controladores se comunican entre sí. La dificultad de implementar esto se reduce si los mismos controladores se usan en más de un área.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**INSTRUMENTACION ELECTRONICA DE PROCESOS
INDUSTRIALES**

**I N S T R U M E N T A C I O N
A M B I E N T A L E N A I R E**

ING. RAFAEL RAMOS VILLEGAS

ING. JOSE ZARAGOZA AVILA

NOVIEMBRE, 1992

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5 Primer piso Deleg. Cuauhtémoc 06000 México, D.F. Tel.: 521-40-20 Apdo. Postal M-2285

EQUIPOS DE MONITOREO CONTINUO DE EMISIONES

1. INTRODUCCION

LOS EQUIPOS DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE SE DIVIDEN EN DOS GRANDES GRUPOS: (1) AMBIENTALES Y (2) PARA FUENTE DE EMISION. LOS PRIMEROS SE UTILIZAN PARA DETERMINAR LA CALIDAD DEL AIRE QUE RESPIRAMOS. LOS SEGUNDOS SE UTILIZAN PARA DETERMINAR LAS CONCENTRACIONES DE CONTAMINANTES EN EL SITIO DONDE SE ORIGINAN (CHIMENEAS). AMBOS GRUPOS SE SUBDIVIDEN, SEGUN SU GRADO DE AUTOMATIZACION EN MUESTREADORES, MONITORES Y ANALIZADORES.

LOS MUESTREADORES FUERON LOS PRIMEROS EQUIPOS UTILIZADOS PARA DETERMINAR LA CALIDAD DEL AIRE. SON EQUIPOS QUE TOMAN UNA MUESTRA DE AIRE PARA SU POSTERIOR ANALISIS EN LABORATORIO. LOS MONITORES SON EQUIPOS QUE DETERMINAN LAS CONCENTRACIONES DE CONTAMINANTES DE MANERA CONTINUA Y PROVEEN UN REGISTRO LOCAL (EN TIRAS CONTINUAS DE PAPEL, POR EJEMPLO) PARA SU POSTERIOR ESTUDIO. LOS ANALIZADORES DETERMINAN LAS CONCENTRACIONES DE CONTAMINANTES Y PROVEEN UNA SEÑAL (VOLTAGE, CORRIENTE O SEÑAL DIGITAL) CONTINUA PROPORCIONAL A LA CONCENTRACION MEDIDA. ESTOS ULTIMOS EQUIPOS SON LOS MAS VERSATILES YA QUE SE PUEDEN UTILIZAR EN CONJUNTO CON UN SISTEMA DE ADQUISICION DE DATOS (DATA LOGGER) PARA EL PREPROCESAMIENTO, ALMACENAMIENTO Y TRANSMISION REMOTA DE LAS SEÑALES. LOS ANALIZADORES PARA EL MONITOREO CONTINUO DE FUENTES CONTAMINANTES SON EL OBJETO DE LA PRESENTE EXPOSICION.

2. CONTAMINANTES DE CRITERIO

LA MAYOR ATENCION SOBRE MONITOREO DE EMISIONES, CONCENTRACIONES DE CONTAMINANTES Y EFECTOS DE LA CONTAMINACION SE HA PUESTO EN LOS LLAMADOS CONTAMINANTES DE CRITERIO. LA LISTA DE CONTAMINANTES DE CRITERIO ES CONSTANTEMENTE REVISADA PARA AJUSTAR LOS ESTANDARES DE

EMISION EN FUNCION DE LA ULTIMA INFORMACION CIENTIFICA Y TECNOLÓGICA. AL PRESENTE, LOS CONTAMINANTES DE CRITERIO SON:

1. MONOXIDO DE CARBONO
2. PLOMO
3. BIOXIDO DE NITROGENO
4. OZONO
5. BIOXIDO DE AZUFRE Y
6. PARTICULAS CON DIAMETRO AEREODINAMICO MENOR O IGUAL A 10µm (PM-10)

PARA EL CASO DE CONTAMINACION AMBIENTAL EXISTEN LOS ESTANDARES DE CONTAMINACION MOSTRADOS EN LA TABLA 1 EMITIDOS POR LA AGENCIA DE PROTECCION AMBIENTAL (E.P.A.) DE LOS E.U.A. OTROS ORGANISMOS DE PROTECCION AMBIENTAL PUEDEN FIJAR ESTANDARES DIFERENTES SOBRE UN NUMERO DISTINTO DE CONTAMINANTES.

TABLA 1 INDICES ESTANDAR DE CONTAMINACION AMBIENTAL (E.P.A.)

INDICE	1hr O3 µg/m3	8hr CO mg/m3	24hr TSP µg/m3	24hr SO2 µg/m3	TSPxSO2 (µg/m3)1000	1hr NO2 µg/m3
0	0	0	0	0	---	---
50	118	5	75	80	---	---
100	235	10	260	365	---	---
200	400	17	375	800	65	1130
300	800	34	625	1600	261	2260

ESTANDARES DE EMISIONES

LOS PARAMETROS DE INTERES EN MONITOREO DE EMISIONES SON: OPACIDAD DE LA FUENTE, BIOXIDO DE AZUFRE, ACIDO CLORHIDRICO, OXIDOS DE NITROGENO, MONOXIDO Y BIOXIDO DE CARBONO, OXIGENO, TEMPERATURA E INDICE DE COMBUSTION. EXISTEN ESTANDARES DE EMISION DE CONTAMINANTES PARA DISTINTOS TIPOS DE INDUSTRIA. ASI, HAY ESTANDARES DIFERENTES PARA PLANTAS GENERADORAS DE ENERGIA, INCINERADORES, PLANTAS DE CEMENTO, REFINERIAS, ETC. LA TABLA 2 MUESTRA COMO EJEMPLO LOS ESTANDARES DE EMISION PARA PLANTAS DE GENERACION ELECTRICA EMITIDAS POR LA MISMA E.P.A.

TABLA 2 ESTANDARES DE EMISION PARA PLANTAS DE GENERACION ELECTRICA

Partículas 0.03 lb/10⁶ Btu de unidad calorífica de entrada

Oxidos de Nitrógeno

- Plantas de gas 0.20 lb/10⁶ Btu de unidad calorífica de entrada
- Plantas de petróleo 0.30 lb/10⁶ Btu de unidad calorífica de entrada
- Plantas de carbón 0.60 lb/10⁶ Btu de unidad calorífica de entrada

Bióxido de Azufre

- Plantas de gas 0.20 lb/10⁶ Btu de unidad calorífica de entrada
- Plantas de petróleo Diferentes estándares de emisión existen, dependiendo del contenido azufre y valor calorífico del combustible

3. METODOS DE MEDICION DE CONTAMINANTES

LA E.P.A. Y OTROS ORGANISMOS DE PROTECCION AMBIENTAL HAN DETERMINADO CUALES SON LOS METODOS DE DETECCION DE CONTAMINANTES APROBADOS BAJO LOS CONCEPTOS DE METODOS DE REFERENCIA O METODOS EQUIVALENTES. EL METODO DE REFERENCIA SE APLICA A UN PROCEDIMIENTO DE MEDICION DE CONTAMINANTE BASADO EN PRINCIPIOS FISICO-QUIMICOS QUE DAN POR RESULTADO UNA MEDICION CONFIABLE EN UN RANGO DE CONCENTRACION DETERMINADO. UN METODO EQUIVALENTE ES AQUEL QUE POR OTROS PROCEDIMIENTOS A LOS SEÑALADOS EN EL METODO DE REFERENCIA PROPORCIONA IGUALES RESULTADOS QUE ESTE. LA E.P.A OTORGA A LOS FABRICANTES DE EQUIPOS NUMEROS DE DESIGNACION A LOS EQUIPOS QUE SATISFACEN LAS NORMAS DE UNO U OTRO METODO, SEGUN SEA EL CASO.

4. PRINCIPIOS DE MEDICION DE CONTAMINACION EN FUENTE

EN ESTA SECCION SE HARA MENCION A LOS PRINCIPIOS DE MEDICION DE LOS EQUIPOS DE MONITOREO PARA FUENTE FIJA.

LOS METODOS A TRATAR SON LOS SIGUIENTES:

- METODO DE REFERENCIA DE QUIMIOLUMINISCENCIA PARA LA DETECCION DE OXIDOS DE NITROGENO
- METODO EQUIVALENTE DE PULSOFLUORESCENCIA PARA LA DETERMINACION DE BIOXIDO DE AZUFRE
- METODO DE REFERENCIA DE CORRELACION DE FILTRO GASEOSO PARA LA DETERMINACION DE MONOXIDO DE CARBONO

DEBE HACERSE NOTAR QUE LOS MISMOS PRINCIPIOS APLICAN, POR LO REGULAR, PARA LOS EQUIPOS DE MONITOREO AMBIENTAL, SOLO QUE LOS RANGOS DE MEDICION DE UNOS Y OTROS DIFIERE.

4.1 METODO DE QUIMIOLUMINISCENCIA PARA DETECCION DE OXIDOS DE NITROGENO.

LA REACCION EN FASE GASEOSA DE OXIDO NITRICO (NO) Y OZONO (O3) PRODUCE UNA LUMINISCENCIA CARACTERISTICA CUYA INTENSIDAD ES LINEALMENTE PROPORCIONAL A LA CONCENTRACION DE OXIDO NITRICO. ESPECIFICAMENTE:

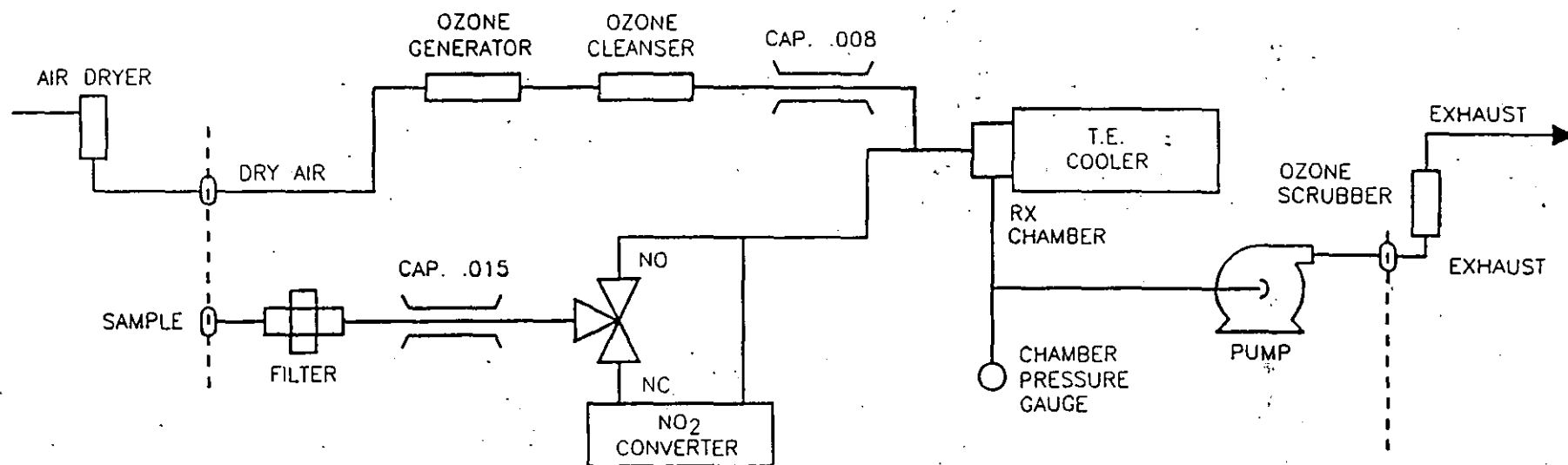


LA EMISION DE LUZ SE PRODUCE CUANDO LAS MOLECULAS EXITADAS DE NO2 DECAEN HACIA ESTADOS DE MENOR ENERGIA.

PARA HACER LA MEDICION DE BIOXIDO DE NITROGENO (NO2) MEDIANTE EL METODO DE QUIMIOLUMINISCENCIA, EL NO2 DEBE CONVERTIRSE PRIMERAMENTE EN OXIDO NITRICO (NO). PARA ESTE EFECTO SE UTILIZA UNA CAMARA DE CONVERSION DE MOLIBDENO A UNOS 325 °C EN DONDE TIENE LUGAR LA REACCION:



Flow Schematic of Model 42



Chemiluminescent NO/NO_x Analyzer

Model 10 For Continuous Source Gas Monitoring

Thermo Environmental Instrument's Model 10 NO/NO_x Analyzer is based on the chemiluminescent reaction between nitric oxide (NO) and ozone (O₃) according to the reaction:

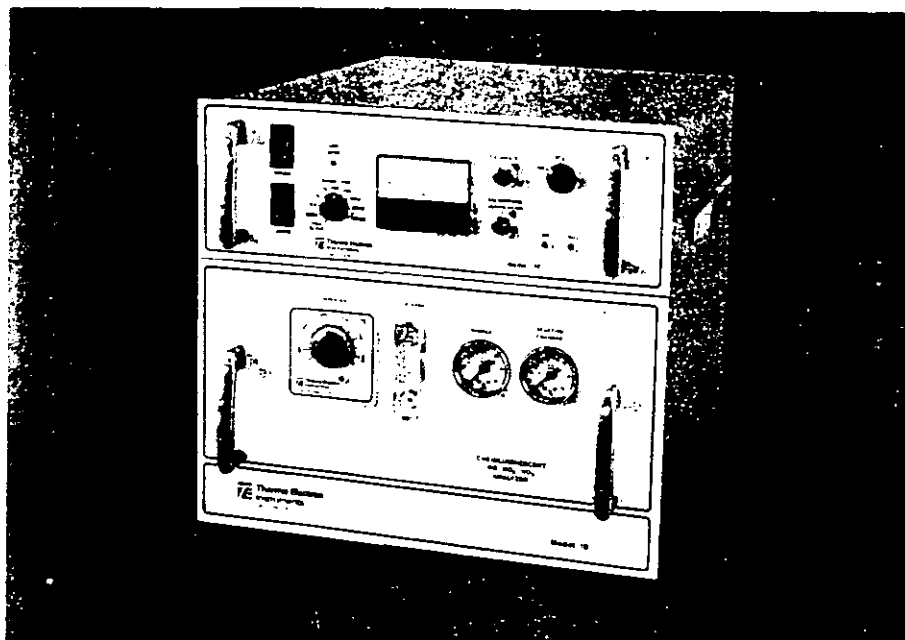


Light emission results when the electronically excited NO₂ molecules revert to their ground state.

A front panel mode switch provides for either a direct readout of the NO concentration in the sample being analyzed ("NO" mode) or the total NO_x concentration ("NO_x" mode). When the Model 10 is placed in the "NO_x" mode, the sample stream passes through a NO₂-to-NO converter prior to entering the reaction chamber for subsequent analysis.

Key Features

- Selective detection of NO or NO_x
- Eight ranges, from 2.5 to 10,000 ppm FS
- Continuous monitoring with rapid response
- Linear on all ranges
- Field proven reliability
- Insensitive to changes in sample flow



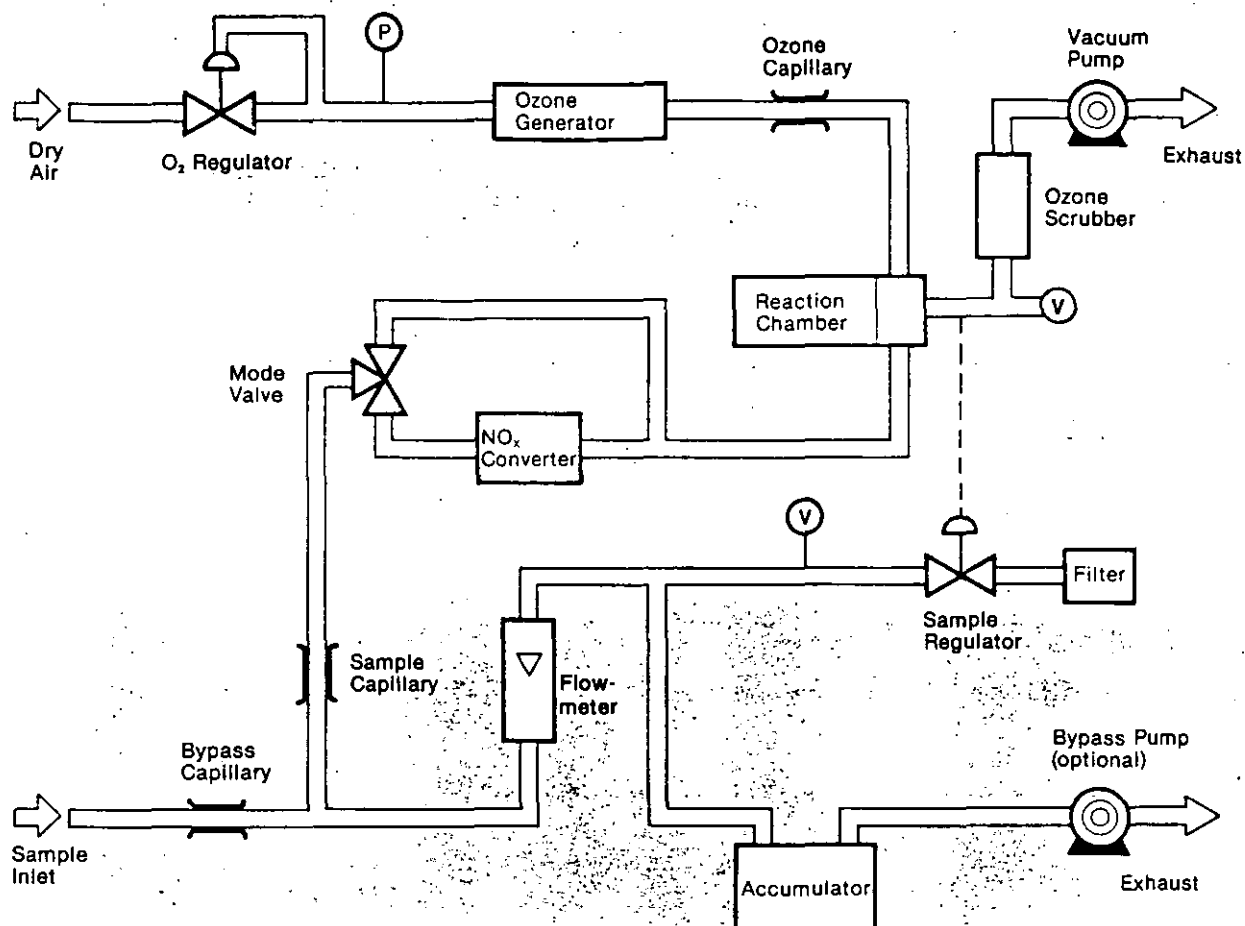
Model 10 Specifications*

Ranges	0-2.5 ppm 0-10 ppm 0-25 ppm 0-100 ppm	0-250 ppm 0-1000 ppm 0-2500 ppm 0-10,000 ppm
Minimum Detectable Concentration	.05 ppm	
Noise	Less than 1% of FS	
Reproducibility	1% of FS	
Operating Temperature Extremes	0-40°C	
Response Time (0-90%)	~ 1.5 second NO mode ~ 1.7 second NO _x mode	
Zero Stability	± 1 ppm in 24 hours	
Span Stability	± 1% in 24 hours	
Linearity	± 1% from 0.05 to 10,000 ppm**	
Power Requirements	1000 watts, 115 ± 10 volts, 60 Hz standard. Also available in 115V 50 Hz, and 210 ± 15 volts, 50 Hz versions	
Physical Dimensions	19" wide × 17" high × 20" deep	
Instrument Weight	75 lbs. (including pump)	
Outputs	Two standard outputs supplied: 1) 0-10V; 2) Field selectable from 0-10V, 5V, 1V, 100mV or 10mV. (ma options available.)	

*Specifications are typical and subject to change without notice.

**With O₂ Feed: With dry air, linearity to 2000 ppm.

Model 10 Flow Scheme



As illustrated in the above diagram, sample gas enters the Model 10, flows through the bypass capillary, and divides. Most of the sample flows through the flowmeter, accumulator, bypass pump, and exhausts. Only a small amount of sample flows through the sample capillary for analysis. The bypass pump in conjunction with the sample regulator maintain a constant pressure differential across the sample capillary, thus maintaining constant sample flow for analysis. This plumbing network makes the analyzer insensitive to pressure fluctuation in the sample inlet.

From the sample capillary, the sample to be analyzed is either directed through the NO_x to NO converter or around it, depending on the choice of the operator. In the reaction chamber the sample reacts with ozone to produce the light emission and is exhausted. The ozone is produced internally from dry air entering through the oxygen regulator and ozonator. The light emission is sensed by the photomultiplier tube and amplified.

Options

- 10-001** Bypass pump assembly includes pump, shock tray, accumulator, tubing, and fittings.

Accessory Instruments

- Model 700 Heated Capillary Module
- Model 800 Sample Gas Conditioner
- Model 900 Sample Gas Conditioner

**Thermo Environmental
Instruments Inc.**

8 West Forge Parkway
Franklin, MA 02038

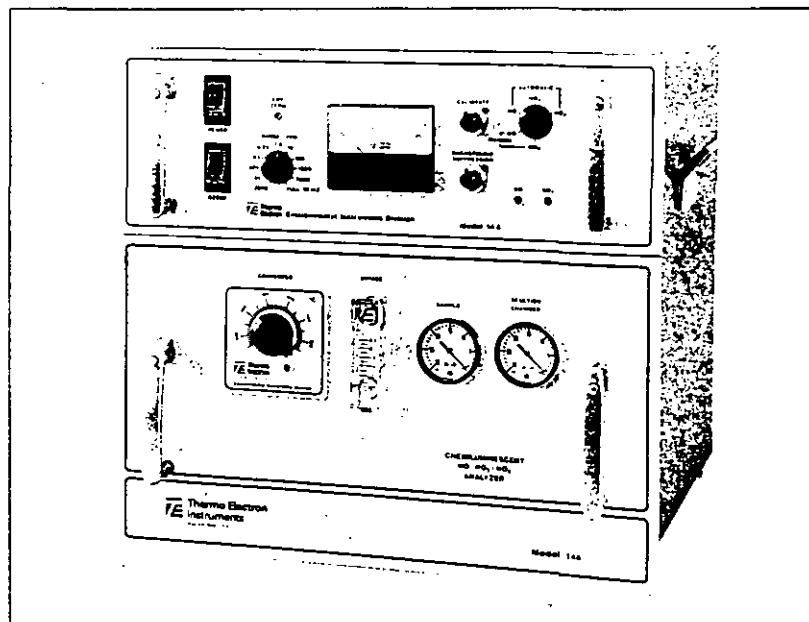
(508) 520-0430
Telex: 200205 THMO UR

FAX: (508) 520-1460

Printed in U.S.A. - 8/91 5M

MODEL 14A

GENERAL PURPOSE CHEMILUMINESCENT NO/NO₂/NO_x ANALYZER

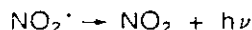
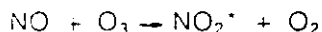


**Thermo Environmental
Instruments Inc.**

MODEL 14A

Model 14A NO/NO₂/NO_x Analyzer Operating Principle

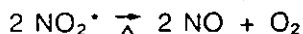
The Thermo Environmental Model 14A chemiluminescent NO-NO₂-NO_x analyzer is based upon the phenomenon that oxidized NO molecules give off a luminescence. The reaction with ozone in the Model 14A is:



* = excited molecule

The gas-phase reaction of nitric oxide (NO) and ozone (O₃) produces a characteristic luminescence with an intensity linearly proportional to the concentration of nitric oxide. Light emission results when the excited electrons of the NO₂* molecules decay to their normal energy states.

The concentration of NO_x (NO + NO₂) in a gas sample is measured using the same physical principle. Nitrogen dioxide (NO₂) must first be transformed into nitric oxide (NO) before it can be measured using the chemiluminescent reaction. Model 14A employs a catalytic stainless steel converter operated at 650°C. NO₂ to NO conversion efficiency 99%



The sample gas enters the Model 14A through a single flow control capillary and is directed to a solenoid valve. The solenoid valve directs the sample either through the NO_x to NO converter (NO_x mode) or around the converter (NO mode). When flowing through the converter the chemiluminescence measured with the reaction chamber represents the NO_x concentration. Bypassing the converter allows measurement of the NO level only. An analog output signal is continuously generated for NO, NO₂ and NO_x.

The Model 14A has nine linear full scale ranges, and can be used to measure pollutant levels from a few ppb to 2,500 parts per million. The Model 14A utilizes a single high sensitivity photomultiplier tube and a single reaction chamber which are time-multiplexed for NO and NO_x measurements.

Important features of the Model 14A include:

- ...Single reaction chamber
- ...Single high sensitivity photomultiplier tube
- ...Continuous signal output for NO, NO₂ and NO_x
- ...Nine linear ranges from 0.01 to 2,500 ppm full scale
- ...Ease of maintenance
- ...Simplicity of operation

Model 14A Analyzer Sub-Assembly

Thermo Electron's Model 14A chemiluminescent gas analyzer is housed in an attractive cabinet suitable for a workbench, tabletop or 19-inch rack mount. The control and analyzer units are on chassis slides to provide easy access to internal components.

The analyzer unit contains such key components as the reaction chamber, the thermoelectric cooler (housing the photomultiplier), the ozonator, the ozonator power supply, the NO_x to NO converter, the temperature controller and the solenoid valve for selection between NO and NO_x modes of operation.

The sample is introduced through a 1/4-inch bulkhead fitting at the rear of the analyzer. The sample flows through the mode valve and NO_x to NO converter, to the reaction chamber or, bypassing the converter, directly to the reaction chamber. Here the sample reacts with ozone, producing excited NO₂ which in turn decays giving off infrared light (luminescence). Reacted gas (NO₂) is drawn from the chamber through an external pump, exhausting through a charcoal trap where the NO₂ and any residual ozone is removed.

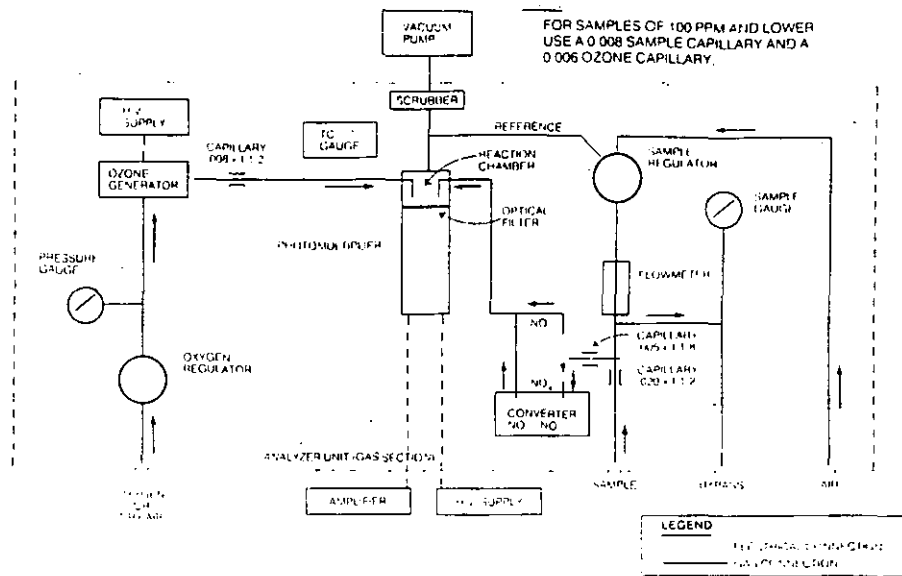
Model 14A Control Unit Sub-Assembly

The control unit front panel contains a range selection switch for choice of sensitivity from nine available full scale ranges and a triple scale meter graduated in parts per million (PPM). A 10-turn helipot is provided to calibrate the instrument against standard gases. A background suppression potentiometer is available for zero suppression.

The front panel of the control unit also contains two pushbutton switches:

1. The main "POWER" switch (the converter, the cooling fan, the photomultiplier high voltage supply and the thermoelectric cooler)
2. The switch labeled "OZONE" (power to the ozone generator)

The mode switch also on the front panel, when set in any of the "AUTOMATIC" positions allows a timer to control the mode valve and connects the panel meter circuit to the selected buffered output (i.e., NO, NO₂ or NO_x). In the "MANUAL" positions, the switch interrupts the control of the timer over the valve and freezes it in the selected mode (NO or NO_x).



Flow Diagram

Specifications

Ranges: Nine (9) user selectable, linear ranges;
0-0.01 ppm
0-0.025 ppm
0-0.1 ppm
0-0.25 ppm
0-1.0 ppm
0-10 ppm
0-100 ppm
0-1000 ppm
0-2500 ppm

Linearity: $\pm 1\%$ of full scale

Accuracy: Derived from the NO or NO₂ calibration gas $\pm 1\%$ of full scale, $\pm 3\%$ in the 0 to 0.01 ppm range.

Response time*: (0 to 90% at the output of the electronic amplifier)	Range	Time (seconds)
		NO - NO _x mode
	2500	0.7 - 1.0
	1000	0.7 - 1.0
	100	0.7 - 1.0
	10	0.7 - 1.0
	1.0	2.0 - 3.0
	0.25	5.0 - 7.0
	0.10	5.0 - 7.0
	0.025	25.0 - 30.0
	0.01	25.0 - 30.0

*Model 14A is equipped with automatic mode valve (NO to NO_x) switching and sample/hold memories analyzer response time for recorder outputs would include approximately 60 seconds addition time for memory switching and sample purge.

Zero Drift: $\pm 2\%$ in 8 hours

Outputs: NO, NO₂, NO_x continuous 0-10 VDC standard. Also available 0-5 V, 0-1 V, 0-100 MV, 0-10 MV.

Power Requirements: 115 VAC ± 10 VAC; 60Hz, 1500 watts (220 VAC/50 Hz)

Reaction Chamber Vacuum: -29 to -30" Hg standard (at sea level)

Sample Vacuum: -5 ± 1 " Hg

Flow control: Reaction chamber vacuum pump and bypass pump, regulated glass capillaries.

Ozone Generator: By silent discharge ozonator operating off dry room air, air cylinder, or oxygen cylinder.

NO₂ to NO Converter: Catalytic stainless steel converter operated at 650°C. NO₂ to NO conversion efficiency 99%.

Specificity: Selective detection of NO with negligible interference from water vapor, carbon and sulfur compounds.

Photomultiplier: Thermo-electrically (Peltier) cooled for low background.

Physical Specifications: Completely packaged ready for either rack mounting in a standard 19" wide instrument rack, or operation on a laboratory work table or desk.

Consisting of a control module and an analyzer module each mounted on internal rack slides for ease of operator accessibility for calibration, maintenance and repair when necessary.

Size: 19" W x 17" H x 20" D

Weight: Approximately 75 lbs., excluding pumps.

LA MUESTRA DE AIRE ENTRA AL ANALIZADOR PASANDO POR UN CAPILAR DE CONTROL DE FLUJO Y ES DIRIGIDA HACIA UNA VALVULA SOLENOIDE (VER FIGURA ANEXA). LA SOLENOIDE DIRIGE EL AIRE HACIA LA CAMARA DE CONVERSION DE NO_2 A NO O BIEN HACIENDO UN BYPASS DE LA MISMA. CUANDO LA MUESTRA PASA A TRAVES DE LA CAMARA DE CONVERSION, LA QUIMIOLUMINISCENCIA MEDIDA EN LA CAMARA DE REACCION REPRESENTA EL VALOR DE LOS OXIDOS DE NITROGENO NO_x (DE MODO GENERAL, PUEDE CONSIDERARSE LA EXPRESION $\text{NO} + \text{NO}_2 \sim \text{NO}_x$). AL HACER PASAR LA MUESTRA RODEANDO LA CAMARA DE CONVERSION SE HACE LA MEDICION DE NO EXCLUSIVAMENTE. DE MODO QUE LA DIFERENCIA DE LOS VALORES MEDIDOS DA LUGAR AL VALOR DE NO_2 EN LA MUESTRA. EN GENERAL, LOS ANALIZADORES DE OXIDOS DE NITROGENO ENTREGAN DE MANERA CONTINUA SEÑALES DE SALIDA CON LOS VALORES DE NO , NO_2 Y NO_x EN CANALES INDEPENDIENTES.

4.2 METODO EQUIVALENTE DE PULSOFLUORESCENCIA PARA LA DETERMINACION DE BIOXIDO DE AZUFRE

EL PRINCIPIO DE MEDICION DE BIOXIDO DE AZUFRE POR EL METODO DE PULSOFLUORESCENCIA PUEDE SER MEJOR ENTENDIDO HACIENDO REFERENCIA A LA FIGURA ANEXA. UN HAZ DE LUZ ULTRAVIOLETA ES FILTRADO (PASOBANDA) Y ENFOCADO HACIA UNA CAMARA DE FLUORESCENCIA, EN DONDE LAS MOLECULAS DE SO_2 PRESENTES SON EXITADAS A NIVELES SUPERIORES DE ENERGIA. CUANDO LOS ESTADOS DE EXITACION DE DICHAS MOLECULAS DECAEN EMITEN UNA RADIACION CARACTERISTICA. UN SEGUNDO FILTRADO PERMITE QUE ESTA RADIACION SEA ENFOCADA SOBRE UN TUBO MULTIPLICADOR, QUE CONVIERTE DICHA RADIACION EN UNA SEÑAL ELECTRICA. ESTA SEÑAL ES FILTRADA Y AMPLIFICADA A UN NIVEL DETECTABLE. EL FENOMENO DE PULSOFLUORESCENCIA, LA LINEALIDAD DEL TUBO MULTIPLICADOR Y UN ADECUADO DISEÑO PUEDEN ASEGURAR QUE LA SEÑAL DE SALIDA SEA LINEALMENTE PROPORCIONAL A LA CONCENTRACION DE SO_2 DE LA MUESTRA.

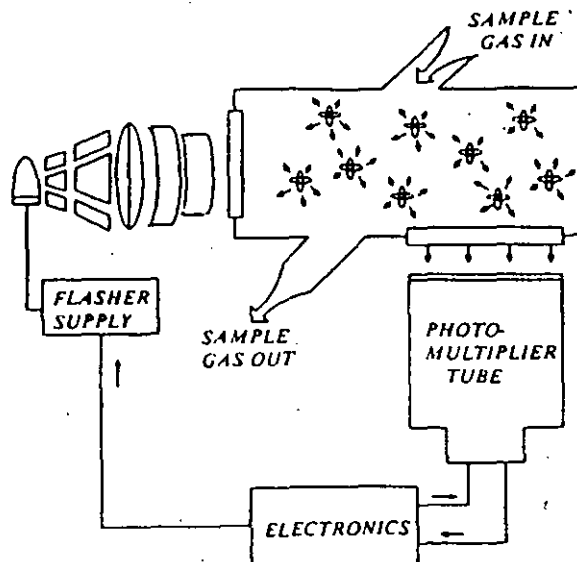


Figure 4 — Principles of Operation

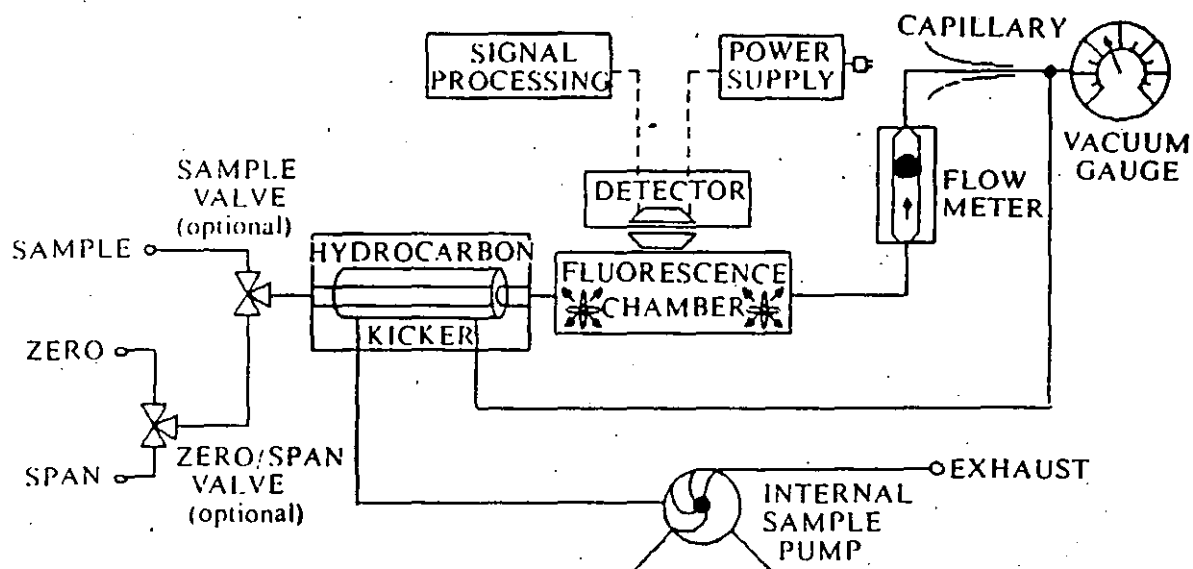


Figure 5 — Gas Flow Schematic

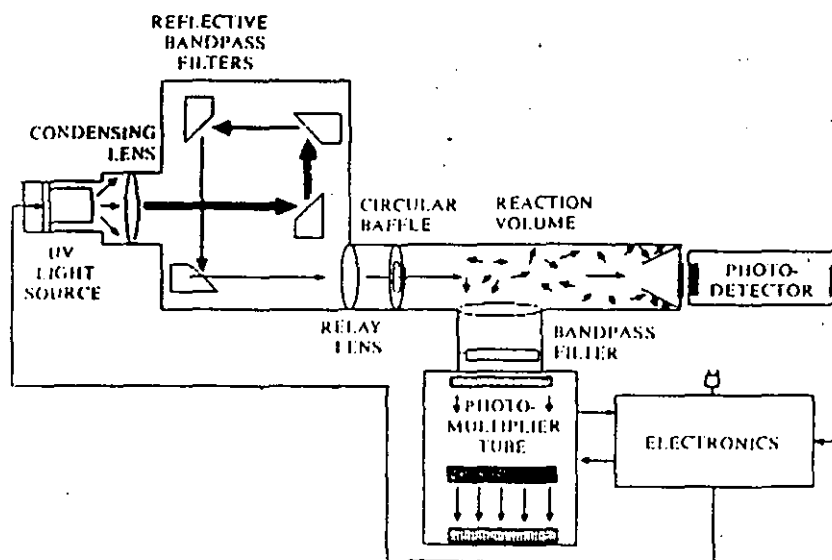
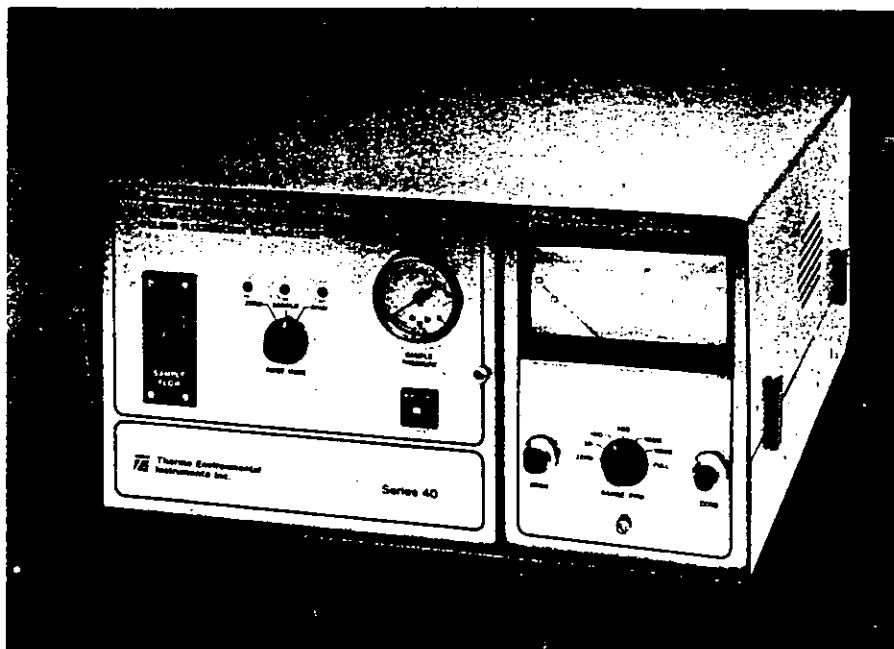


Figure 6 — Optics System Schematic 12

Pulsed Fluorescent SO₂ Analyzer

Model 40 For Continuous Source Gas Monitoring

Thermo Environmental's Model 40 Pulsed Fluorescence Source SO₂ Analyzer provides simple operation, good reliability and precision measurements for SO₂ in combustion emissions and other gases. This patented, field-proven technique offers advantages for monitoring SO₂ concentrations by minimizing the need for time-consuming maintenance and replacement of consumables.



Key Features

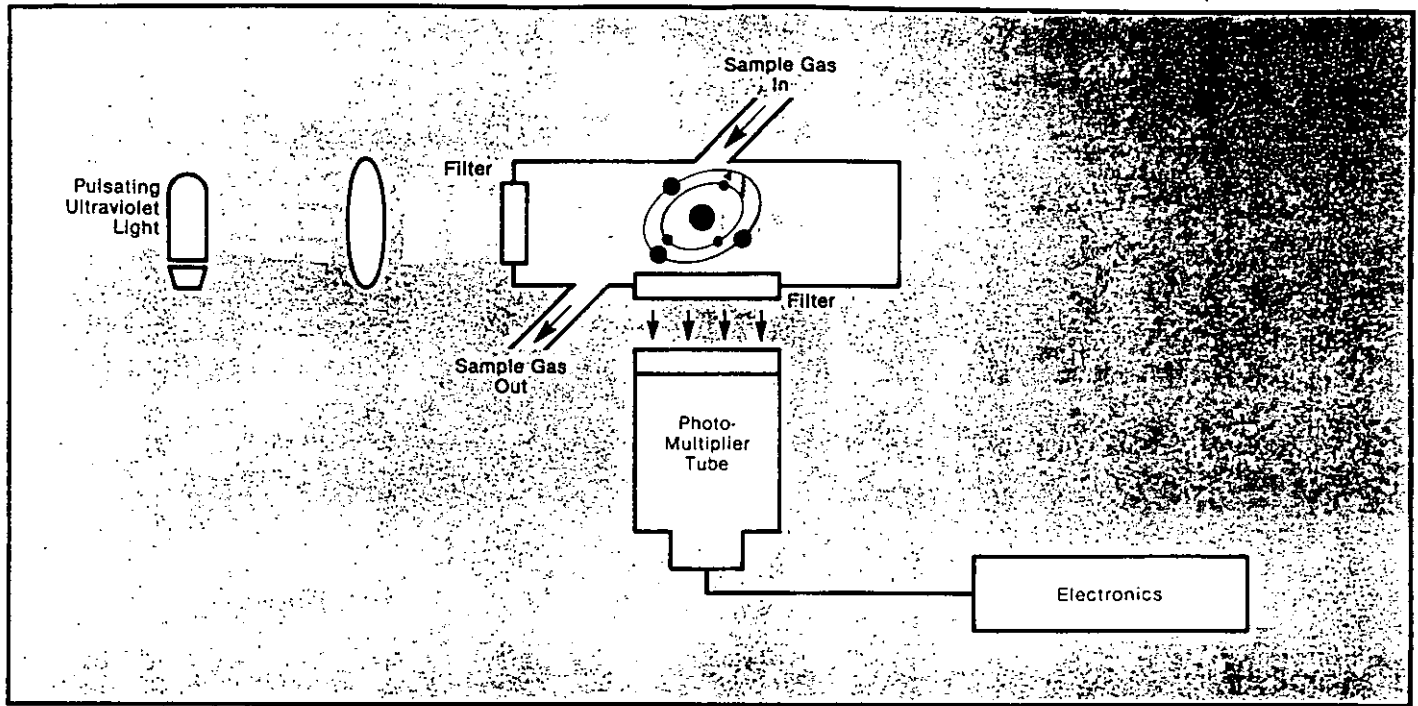
- No consumable gases or chemicals required
- Long-term zero and span stability
- Long-life lamp
- Field-proven reliability
- Insensitive to changes in sample flow
- Specific to SO₂*
- Totally self-contained
- 19" rack mountable on chassis slides
- Internal/Operator-controlled span and zero valves

Model 40 Specifications (typical)

Ranges	0-50 ppm 0-100 ppm 0-500 ppm	0-1000 ppm 0-5000 ppm
Lower Detectable Limit	1.0 ppm (on 0-50 ppm range and high filter position)	
Noise	± 0.5 ppm (on 0-50 ppm range and high filter position)	
Zero Drift: 2 hours 24 hours	± 1% of FS ± 2% of FS	
Span Drift: 2 hours 24 hours	± 1% of FS ± 2% of FS	
Response Time (0-90%)	30 seconds (low filter position)	
Lag Time	2 seconds	
Accuracy	Derived from calibration gas (precision of span setting ± 0.5%)	
Interferences	None for normal flue gas*	
Sample flow	2-10 SCFH	
Power Requirements	200 watts; 115V AC / 60 Hz; 220V AC / 50 Hz (includes optional pump)	
Output	0-10V standard. Also available: 0-5V, 0-1V, 0-100mV, or 0-10mV (field selectable)	
Physical Dimensions	17" wide x 9" high x 23" deep	
Instrument Weight	45 lbs (50 lbs with optional pump)	

Specifications are typical and subject to change without notice.

*Emissions produced from a typical combustion process do not normally contain gaseous compounds which fluoresce in the Model 40. However, the measurement of SO₂ by fluorescence may vary if certain mole percent background gaseous components change. This effect is commonly known as quenching. Proper calibration or the use of the Model 40 with the Model 900, Sample Conditioner, relieves the user of possible corrections. Consult the Model 900 data sheet or the factory for additional information.

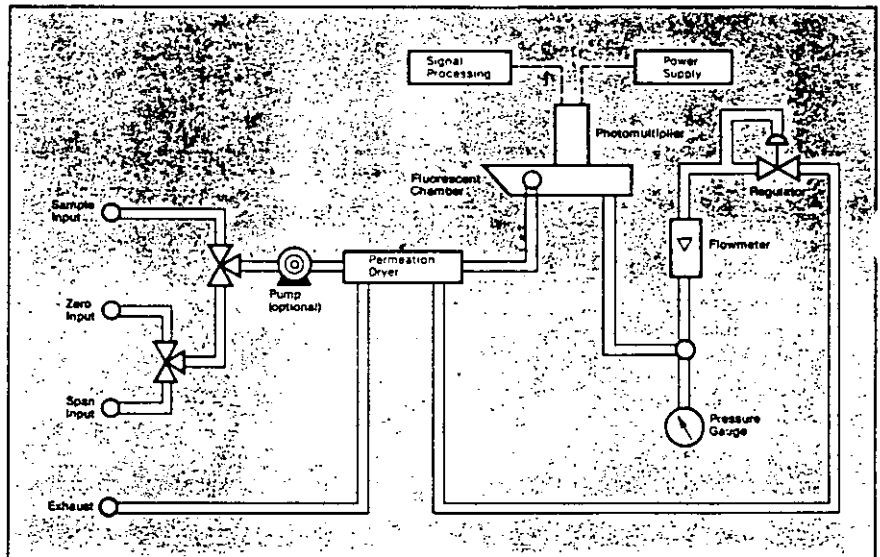


Principle of Operation

As illustrated in the diagrams, pulsed ultraviolet light passes through a narrow bandpass filter to a measurement chamber where it excites SO_2 molecules. As these molecules return to the ground state, they emit a characteristic fluorescence with intensity proportional to the concentration of SO_2 molecules in the sample. The fluoresced light then passes through a second filter to illuminate the sensitive surface of a photomultiplier tube. Electronic amplification of the output of the photomultiplier tube provides a meter reading and an electronic analog signal for recorder output.

Options

- 40-001 Sample Pump
- 40-002 19" Rack Mounts



Flow Diagram

Thermo Environmental
Instruments Inc.

8 West Forge Parkway
Franklin, MA 02038

(508) 520-0430
Telex: 200205 THEMO UR

FAX: (508) 520-1460

4.3 METODO DE REFERENCIA DE CORRELACION DE FILTRO GASEOSO PARA LA DETERMINACION DE MONOXIDO DE CARBONO

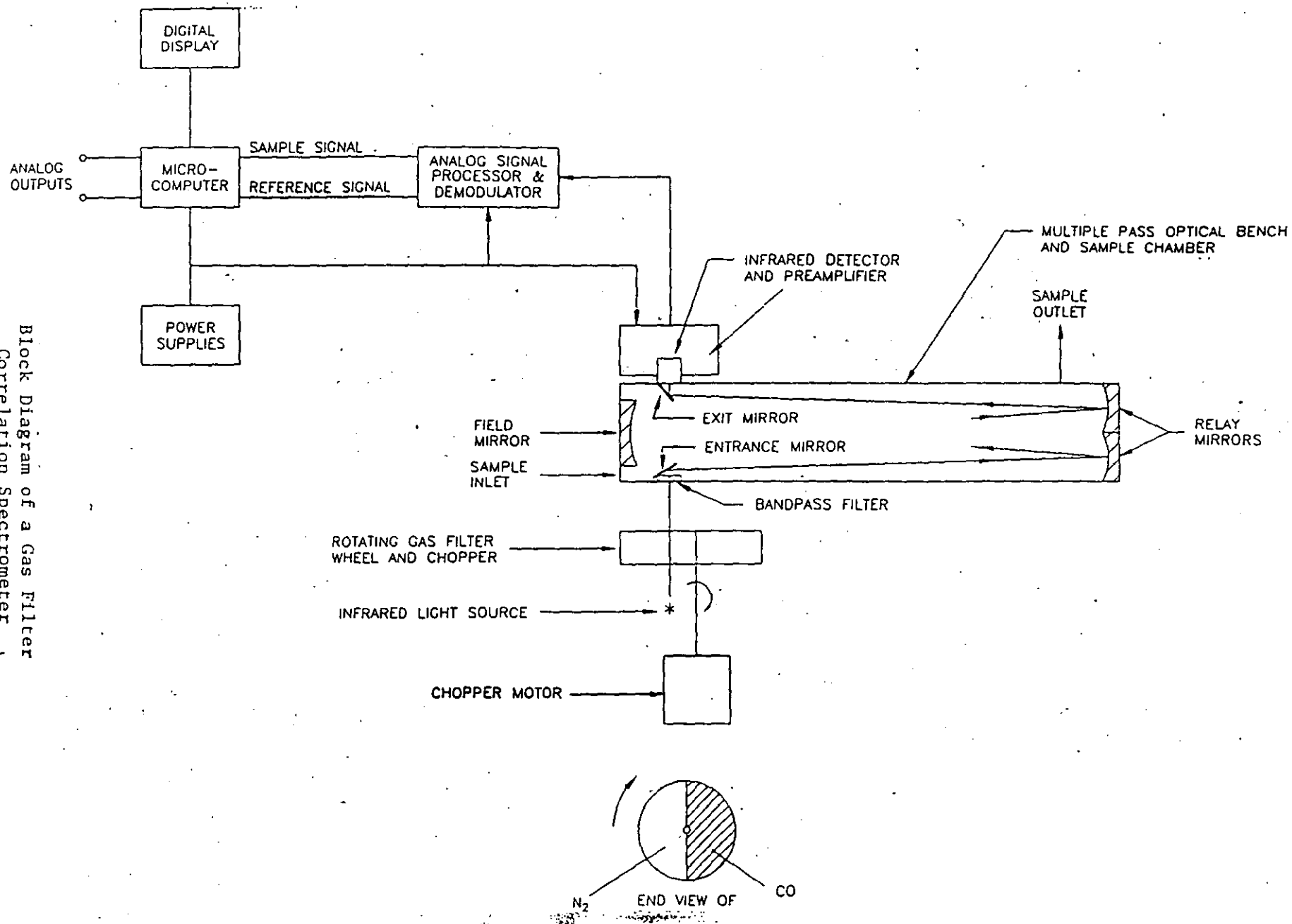
LA ESPECTROGRAFIA DE CORRELACION DE FILTRO GASEOSO SE BASA EN LA COMPARACION DE ESTRUCCION DETALLADA DEL ESPECTRO DE ABSORCION INFRARROJA DEL GAS ANALIZADO CON RESPECTO A OTRO GAS TAMBIEN PRESENTE EN LA MISMA MUESTRA. LA TECNICA SE IMPLEMENTA USANDO UNA CONCENTRACION ALTA DE GAS TESTIGO, POR EJEMPLO MONOXIDO DE CARBONO (CO) COMO UN FILTRO PARA LA RADIACION INFRARROJA TRANSMITIDA POR EL ANALIZADOR.

LOS COMPONENTES BASICOS DE UN ESPECTROMETRO DE CORRELACION DE FILTRO GASEOSO SE MUESTRAN EN LA FIGURA ANEXA. EL HAZ DE RADIACION DE UNA FUENTE EMISORA ES SEGMENTADO Y HECHO PASAR A TRAVES DE UN FILTRO DE GAS ROTATORIO ALTERNANDO VENTANAS DE CO Y N₂. LA RADIACION CONTINUA SU PASO A TRAVES DE UN ESTRECHO FILTRO DE INTERFERENCIA PASOBANDA Y ENTRA A UNA CELDA MULTIPLICADORA DONDE OCURRE LA ABSORCION DE ENERGIA POR EL GAS PRESENTE EN LA MISMA. LA RADIACION SALE DE LA CELDA Y ES ENFOCADA EN UN DETECTOR DE ENERGIA INFRARROJA.

EL FILTRO DE GAS CO ACTUA PARA PRODUCIR UN HAZ DE REFERENCIA QUE NO PUEDE SER ATENUADO AUN MAS EN LA CELDA DE ABSORCION. EL FILTRO DE GAS N₂ ES TRANSPARENTE PARA LA RADIACION INFRARROJA Y POR TANTO PRODUCE UN HAZ DE MEDICION QUE PUEDE SER ATENUADO POR LA PRESENCIA DE CO EN LA CELDA DE ABSORCION. LA SEÑAL SEGMENTADA ES MODULADA POR LA ROTACION DEL FILTRO GASEOSO CON UNA AMPLITUD RELACIONADA A LA CONCENTRACION DE CO EN LA CELDA DE ABSORCION. LA PRESENCIA DE OTROS GASES EN LA CELDA DE ABSORCION NO CAUSAN MODULACION EN LA SEÑAL DETECTADA YA QUE ABSORBEN POR IGUAL LOS HACES DE REFERENCIA Y DE MEDICION POR IGUAL. POR TANTO, EL SISTEMA DE CORRELACION DE FILTRO GASEOSO RESPONDE SOLAMENTE A LA CONCENTRACION DE CO EN LA MUESTRA.

CON LAS MEJORAS EN EL RECHAZO DE INTERFERENCIAS ES POSIBLE INCREMENTAR LA SENSITIVIDAD DEL ANALIZADOR. ESTO SE LOGRA EXTENDIENDO LA LONGITUD DE TRAYECTORIA DEL HAZ DE RADIACION POR MEDIO DE ESPEJOS MULTIPLES DENTRO DE LA

Block Diagram of a Gas Filter
Correlation Spectrometer



Gas Filter Correlation CO Analyzer

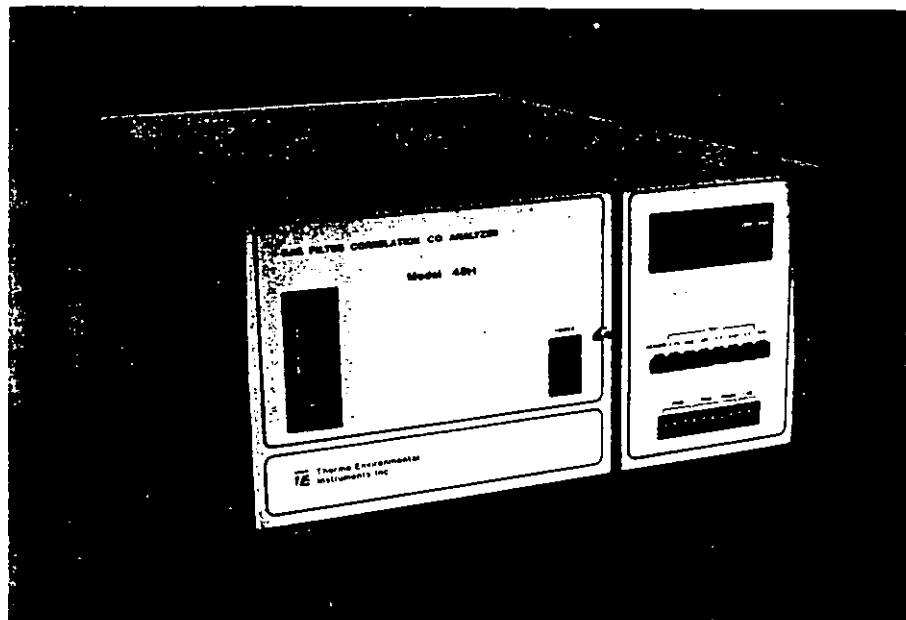
Model 48H

For Continuous Monitoring

Thermo Environmental's Microprocessor Based Model 48H CO Analyzer provides unequaled ease of operation, reliability, precision and specificity. The unique Gas Filter Correlation principle of operation offers the significant advantages of unequaled specificity and sensitivity and increased resistance to shock and vibration.

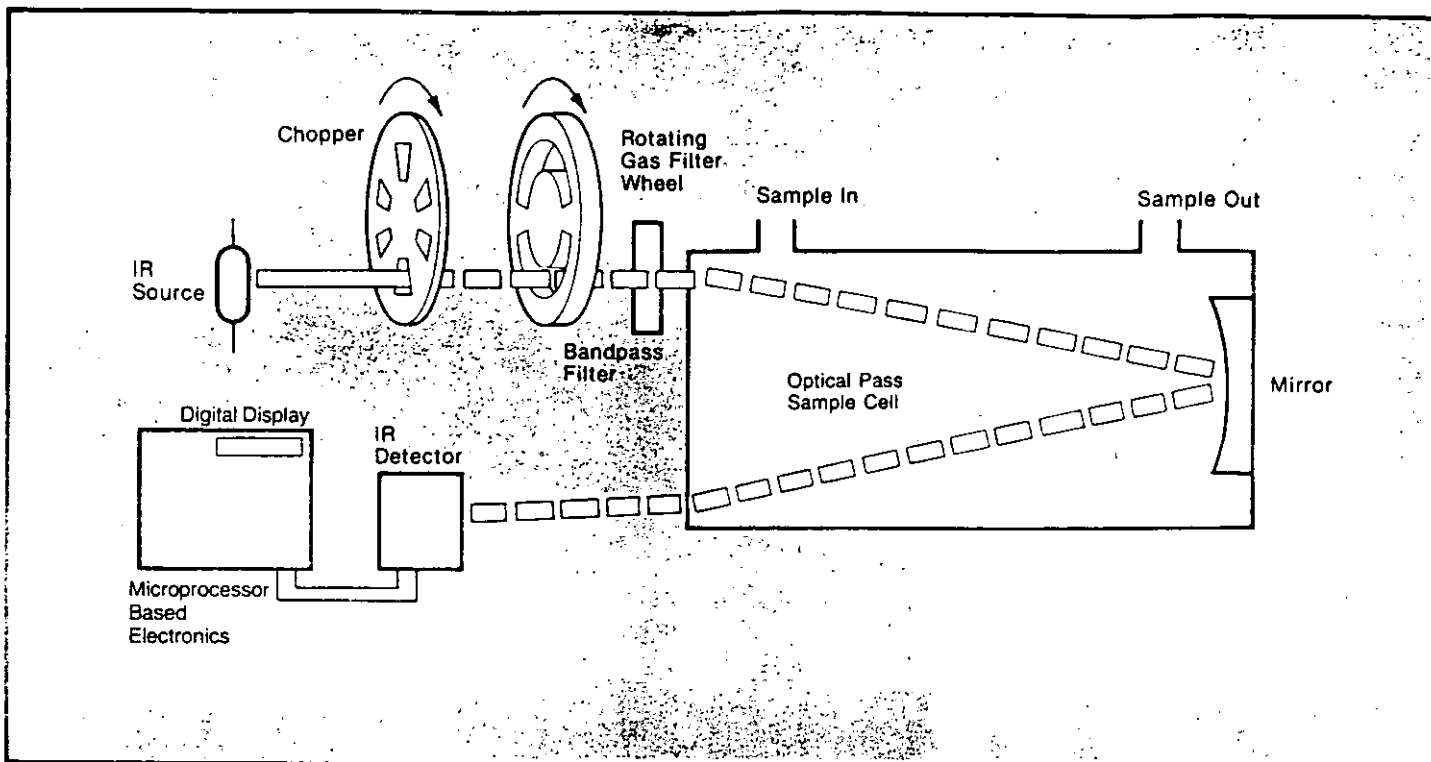
Key Features

- Microprocessor Based
- Automatic pressure and temperature correction
- Dual fully independent outputs standard
- Hourly average output standard
- Wide dynamic range
- Highly specific to CO
- Long term zero and span stability
- Vibration and shock resistant
- Powerful diagnostics made possible by microprocessor
- Linear through all ranges
- Unaffected by changes in flow
- Self-aligning optics



Model 48H Specifications

Ranges	0-50; 100; 200; 500; 1,000; 2,000; 5,000; 10,000; 20,000 ppm
Zero Noise	2.0 ppm RMS With time constant = 10 seconds
Minimum Detectable Limit	4.0 ppm
Zero Drift, 24 Hours	± 4.0 ppm
Span Drift, 24 Hours	± 2% Full Scale
Rise/Fall Times (0-90%) (at 1.5 lpm flow, 10 second integration time)	30 seconds
Precision	± 2.0 ppm or ± 1% of Full Scale
Linearity	± 2% of Full Scale
Flow Rate	1.5 lpm standard
Rejection Ratio	CO ₂ — 50,000:1 H ₂ O — 200,000:1
Operating Temperature	Performance specifications maintained over the range 15-35° C (may be operated safely over the range 5-45° C)
Power Requirements	100 Watts; 105-125 VAC, 60Hz; 220-240VAC 50Hz
Physical Dimensions	17" wide x 8¾" high x 23" deep
Weight	45 lbs.
Dual Outputs (standard)	Selectable to 0-10mV, 0-100mV 0-1V, 0-5V, 0-10V; digital display; 1 hour integrated value. Other outputs available upon request (4-20ma, RS232)



Principle of Operation

The basic components of a Gas Correlation System are illustrated in the above diagram. Radiation from an infrared source is chopped and then passed through a gas filter which alternates between CO and N₂ due to Rotation of the filter wheel. The radiation then passes through a narrow band-pass filter and an optical pass sample cell where absorption by the sample gas occurs. The IR radiation exits the sample cell and falls on a solid state IR detector.

The CO gas filter acts to produce a reference beam which cannot be

further affected by CO in the sample chamber. The N₂ side of the filter wheel is transparent to IR radiation and therefore produces a measure beam which can be absorbed by CO. The chopped detector signal is modulated by the alternation between the two gas filters with an amplitude proportional to the concentration of CO in the sample chamber. Other gases do not cause modulation of the detector signal since they absorb the reference and measure beams equally. Thus, the Gas Filter Correlation System responds solely to CO.

Options

- 48-001** — Particulate Filter
- 48-002** — Rack Mounts
- 48-003** — Remote activation of zero and span solenoids
- 48-006** — Isolated 4-20 ma current output
- 48-007** — zero/span solenoid valves

Thermo Environmental
Instruments Inc.

8 West Forge Parkway
Franklin, MA 02038

(508) 520-0430
Telex: 200205 THEMO UR

FAX: (508) 520-1460

CAMARA DE ABSORCION. ASI ES POSIBLE OBTENER UNA SENSITIVIDAD A PLENA ESCALA DE 1 PARTE POR MILLON (PPM) CON UN LIMITE INFERIOR DETECTABLE DE 0.02 PPM.

EL METODO DE CORRELACION DE FILTRO GASEOSO PUEDE UTILIZARSE TAMBIEN PARA LA DETERMINACION DE CONCENTRACIONES DE OTROS CONTAMINANTES COMO SON EL ACIDO CLORHIDRICO Y EL BIOXIDO DE CARBONO.

5. SISTEMA DE MONITOREO CONTINUO EN CHIMENEA

EN ESTA SECCION SE DISCUTIRAN DOS CASOS PRACTICOS DE SISTEMAS DE MONITOREO DE CONTAMINANTES EN CHIMENEA. LOS EJEMPLOS SERAN ILUSTRADOS CON LAS FIGURAS ANEXAS.

EN PRIMER LUGAR SE HARA REFERENCIA A UN SISTEMA DE MONITOREO CONTINUO DE EMISIONES QUE TOMA UNA MUESTRA DE LA FUENTE DE EMISION Y LA CONDUCE POR MEDIO DE UNA LINEA CALIENTE A UN ACONDICIONADOR PARA SU DILUCION Y POSTERIORMENTE LLEVADA A LOS ANALIZADORES.

EL SEGUNDO CASO ILUSTRA UN SISTEMA DE MONITOREO CONTINUO BASADO EN UNA PROBETA CON CAPACIDAD DE DILUCION, UNA LINEA NO CALINETE Y UN CONTROLADOR DE FLUJO PARA LOS ANALIZADORES.

Heated Sample Gas Conditioner

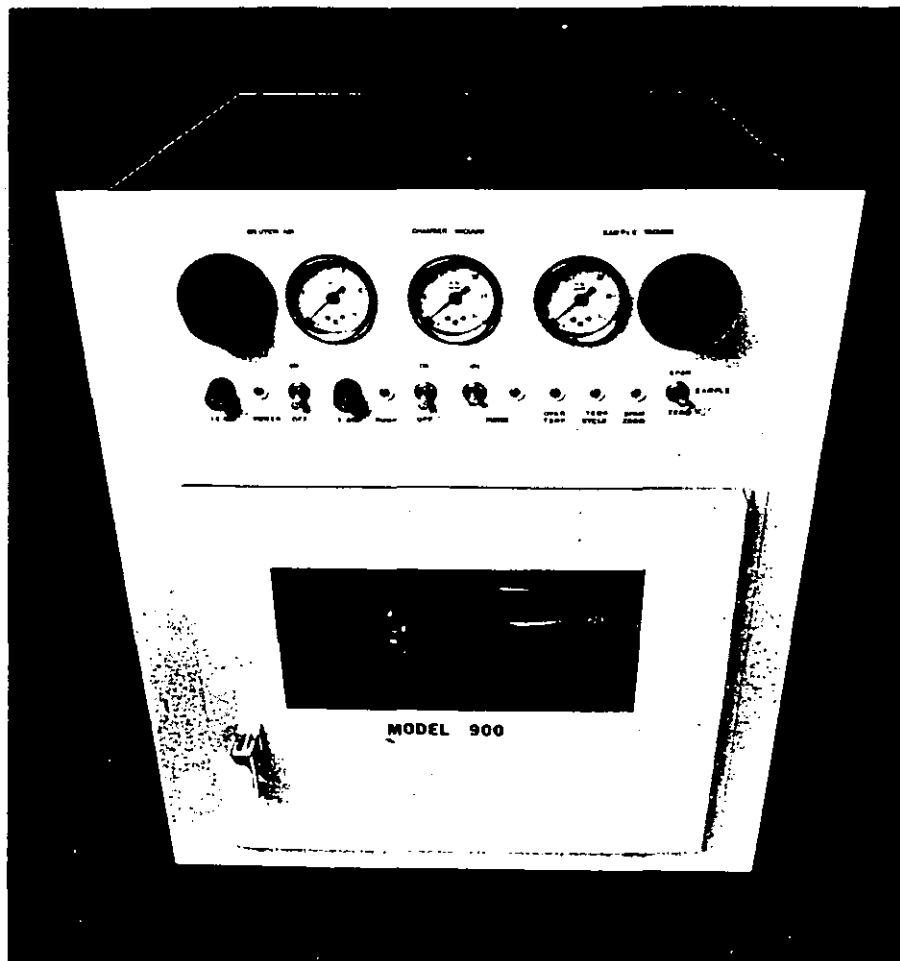
Model 900

For Conditioning Source Gas Samples

The Model 900 Heated Sample Gas Conditioner draws a raw stack sample through heated tubing and delivers a clean, dry measurement sample to several instruments. The Model 900 contains a large particulate filter and a stable flow blending network in a heated chamber. Within the heated chamber the raw sample is first filtered and then blended with clean dry air. This blending reduces the dew point temperature of the raw sample to below room ambient. Thus, when the sample exits the Model 900, the particles have been removed and the measurement sample is dry and is in a consistent air background. The formation of condensates or their removal is eliminated; therefore, the composition and ratio of the pollutants (NO, NO₂, SO₂, CO, and CO₂) are not altered.

Key Features

- Large visible particulate filter
- Safety features prevent condensate-laden sample from entering instruments
- Can be expanded to accept up to three separate continuous samples, with automatic sequencing.
- Bench top or rack mountable
- Designed for easy maintenance
- Designed for longterm unattended operation
- Blend ratios selectable
- Field proven reliability
- No corrosive condensates formed to absorb sample gas
- Provides conditioned sample for multiple analyzers

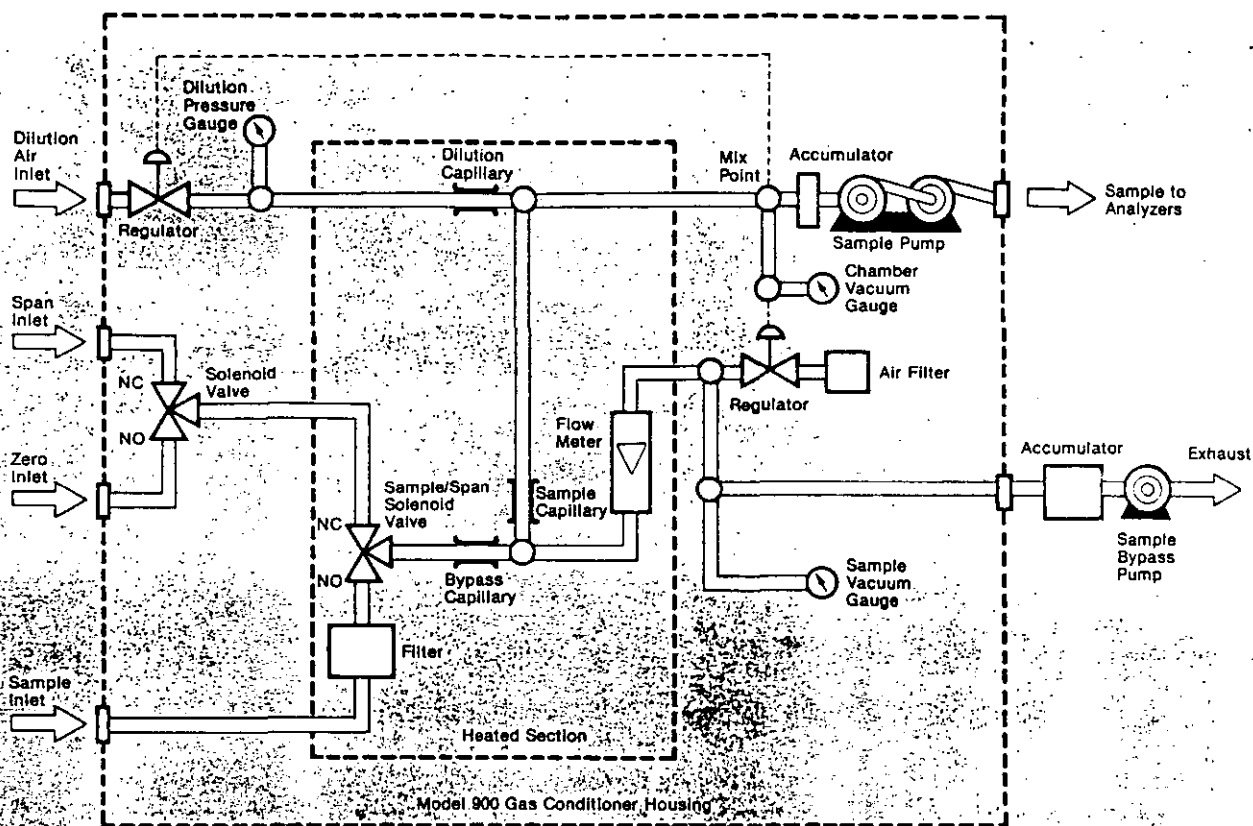


Model 900 Specifications*

Raw Sample Inlet Temperature	250°F (maximum)
Raw Sample Inlet Dew Point Temperature	150°F (maximum)
Sample Delivery Pressure	8 PSIG
Sample Flow (Blended Output)	3 l/min standard (larger flows available)
Raw Sample Flow (Input)	1 l/min (approximately)
Chamber Temperature	165 ± 10°F
Operating Temperature	60 to 100°F
Power Requirements	750 watts; 115V AC / 60 Hz; 220V AC / 50 Hz
Physical Dimensions	19" wide x 22 1/4" high x 15 1/2" deep
Instrument Weight	72 lbs. (includes pumps)
Back Flush (optional)	20 cfm @ 100 PSIG for 20 seconds

*Specifications are typical and are subject to change without notice.

Model 900 Flow Scheme



The sample enters via a heated sample line to the heated section of the Model 900. Sample passes through a sample filter to the Sample/Span solenoid valve. The sample then passes through the bypass capillary and is divided: a small sample portion passes through the sample capillary, while the larger sample flow goes to the flow meter, through an accumulator (flow capacitor) to the sample pump and then to exhaust.

The sample regulator maintains the differential pressure across the sample capillary, thus maintaining constant flow.

The dilution air, regulated to 10 PSIG, passes through the dilution capillary and flows to the sample/air mix point, blending with the sample. The blended sample is pumped to the analyzers for analysis.

Options

900-004 Sample Probe Backflush

Includes valving, plumbing and internal timers which automatically control the timing and sequencing of the backflush operation on an hourly basis.

**Thermo
Electron**
CORPORATION

Environmental Instruments Division

108 South Street
Hopkinton, MA 01748
Telephone (617) 435-5321
Telex 948325

MODEL 1400 EXTRACTIVE STACK GAS ANALYSIS SYSTEM



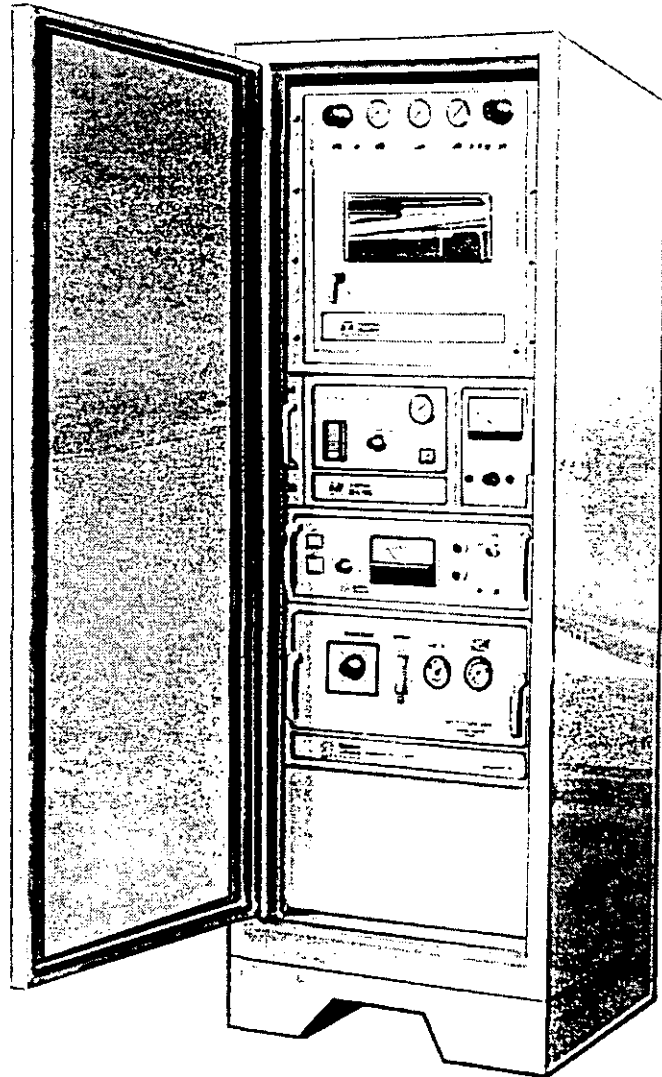
 **Thermo Environmental**
Instruments Inc.

MODEL 1400 NO/NO_x-SO₂-O₂-CO-CO₂-OPACITY EXTRACTIVE STACK GAS ANALYSIS SYSTEM

The Model 1400 Emission Monitor is a completely self-contained, pretested package for reliable and continuous monitoring of stack emissions. The detectors within the monitor use the most current analytical methods of gas analysis available. This assures accurate, specific measurement free from the problems of infrared and ultraviolet absorption methods such as interference, corrosion and misalignment of critical optical components, sensitivity to temperature, and mechanical vibration.

The location of the Model 1400 is not critical; unlike other monitors which require mounting of sensitive components on breechings on platforms high above ground level. The monitor mounts conveniently on a concrete pad, which can be easily accessible by plant personnel.

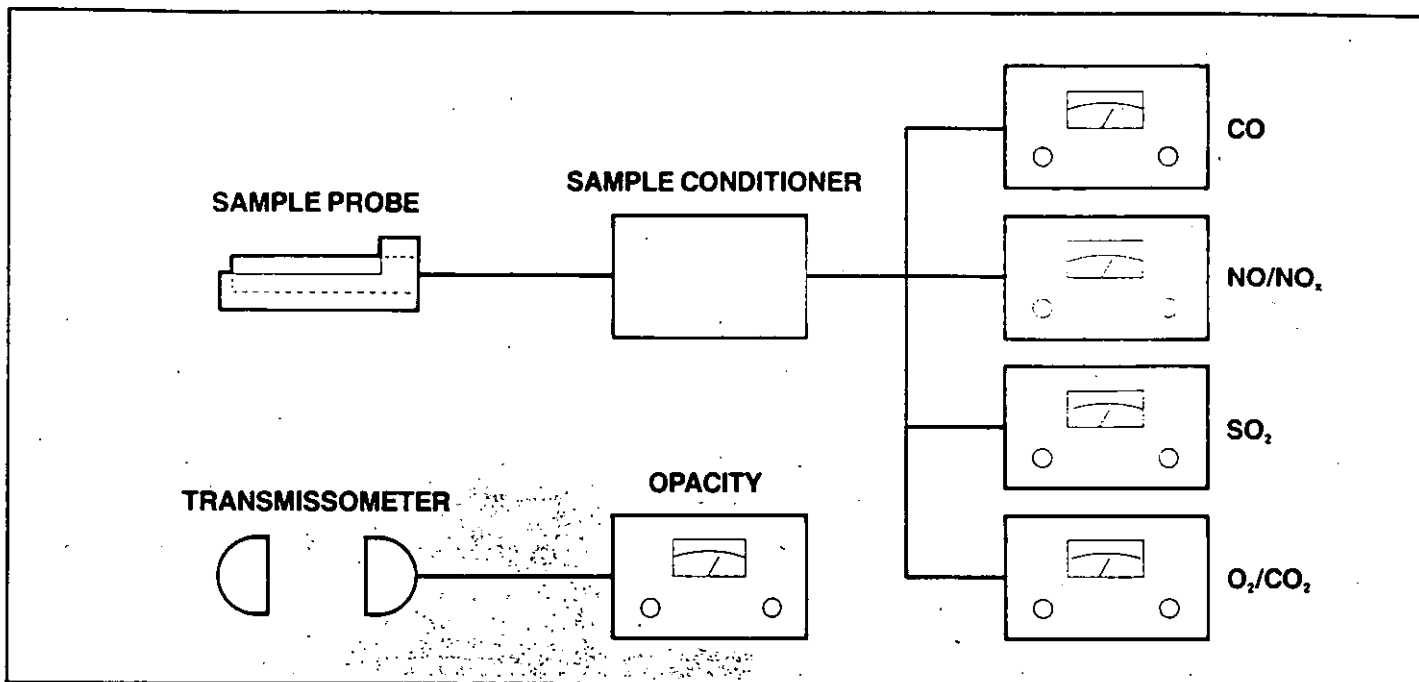
The electrical controls and solid state signal processing is designed with the user in mind. The unit requires minimum maintenance that can be provided by regular plant personnel — no special technical skills above those normally present at power or petrochemical facilities are required.



THERMO ELECTRON INSTRUMENT SYSTEM CAPABILITY CHECKLIST

- ✓ TOTAL SYSTEM DESIGN AND ENGINEERING THROUGH PLANNING AND PREPARATION OF REQUIREMENTS
- ✓ DETAILED DRAWINGS OF DESIGN
- ✓ SYSTEM FABRICATION AND TESTING
- ✓ SYSTEM INSTALLATION AND START UP
- ✓ POST INSTALLATION SUPPORT THROUGH SERVICE AND TRAINING

TECHNICAL DESCRIPTION



BLOCK DIAGRAM

A representative sample is extracted from the stack or duct by the probe assembly and carried to the detectors via an electrically heated Teflon sample tube. After the sample is filtered and dried, it is routed to the detectors for analysis. The Optional Opacity Detector is a transmissometer, mounted on the stack or duct, which projects a light beam through the gas media. Analog signal outputs are connected to recorders or Data Acquisition System.

FEATURES

- Low installation and maintenance cost
- High reliability — field proven performance
- Meets or exceeds all Federal EPA performance requirements for emission monitoring
- Monitor calibration traceable to NBS and can be independently verified by customer
- Simplicity of operation — no critical alignments
- Operation independent of fuel burned or particulate loading
- Analog output to recorders
Data Acquisition System

OPTIONS

- Opacity Monitor for Federal EPA compliance
- Automatic controls for calibration
- Failure alarm network
- Data processing for oxygen/CO₂ correction satisfying EPA reporting requirements
- Converts into engineering units — lb/million Btu or lb/hr
- Co or CO₂ analysis
- Various mechanical packages available
- Current or voltage outputs
- Broad range availability

SPECIFICATIONS

ANALYZERS:

Gas Method	NO/NO ₂ Chemiluminescence	SO ₂ Pulsed Flourescence	O ₂ Zirc Oxide	CO Gas Filter Correlation	CO ₂ NDIR	Opacity Dual Pass (Selectable)
Range	0-500 ppm 0-1000 ppm 0-5000 ppm	0-500 ppm 0-1000 ppm 0-5000 ppm	0-5% 0-10% 0-25%	0-100 ppm 0-500 ppm 0-1000 ppm 0-5000 ppm	0-1% 0-5% 0-10% 0-25%	20% 40% 80% 100% Corrected To Stack Exit, 0-100% at Measuring Location
Accuracy	0.5% F.S.	1% F.S.	1% F.S.	1% F.S.	1% F.S.	± 2% F.S.

TEMPERATURE:

Ambient: 0°C-40° C(32°F-104°F)

Stack Gas: 593°C (1100°F) — Maximum with Standard Probe
— for higher temperature, consult factory

POWER REQUIREMENTS:

Enclosure	1200 watts 115 V/60 Hz
Sample Tubing (Heated)	10 watts/ft, 208 V/60 Hz

AIR REQUIREMENT:

Probe Purge Air = 80-100 psig clean/dry air
20 cfm for 20 seconds
Clean/Dry Air = 6 cfm at 10 psig

CONSTRUCTION:

NEMA 12 or 4
#10 Gauge cold rolled steel
Primed and painted

NOTES:

1. Other methods can be specified.
2. Ranges shown are typical — other ranges available.

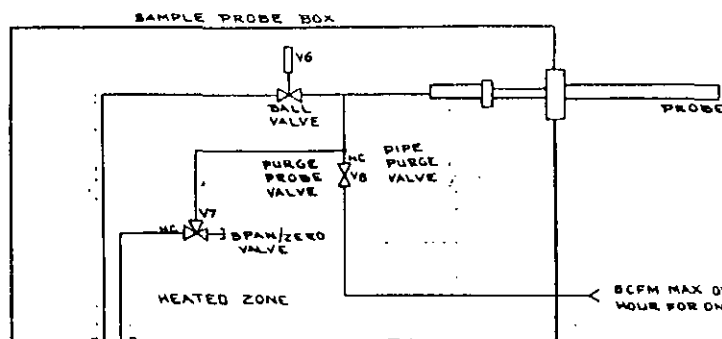


8 West Forge Parkway
Franklin, MA 02038

(508) 520-0430
Telex: 200205 THERMO UR

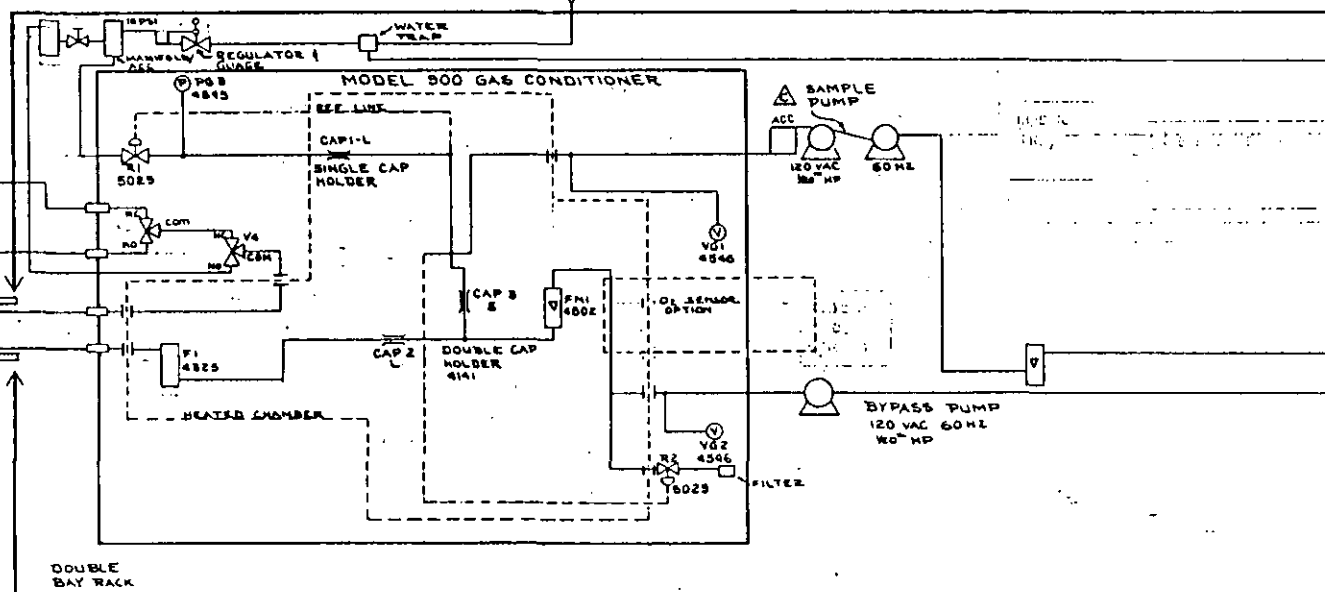
FAX: (508) 520-1460

△ PROBE BOX POWER REQUIREMENT: 120V 60 HZ 10 AMP



USER SUPPLIED INSTRUMENT GRADE AIR 80-100 PSIG 20 CFH

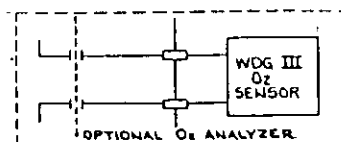
DUAL TUBE HEATED SAMPLE LINE



DOUBLE BAY RACK

LEGEND

- - FLOWMETER
- ⊗ - NEEDLE VALVE
- ⊗ - 3WAY SOLENOID VALVE
- ⊗ - 2WAY SOLENOID VALVE
- ⊗ - MOTORIZED BALL VALVE



Thermo Electron CORPORATION ENVIRONMENTAL INSTRUMENTS DIVISION 100 South Street Waltham, Massachusetts 01980		TITLE PLUMBING SCHEMATIC EXTRACTIVE SYSTEM MOD. 500 & MOD 603 WITH DUAL SPAN	
SCALE 1/2" = 1'-0"		DATE 10/1/77	
DRAWN BY J. J. J.		CHECKED BY J. J. J.	
DESIGNED BY J. J. J.		APPROVED BY J. J. J.	
DO NOT SCALE DRAWING		REV. 1 98P826	

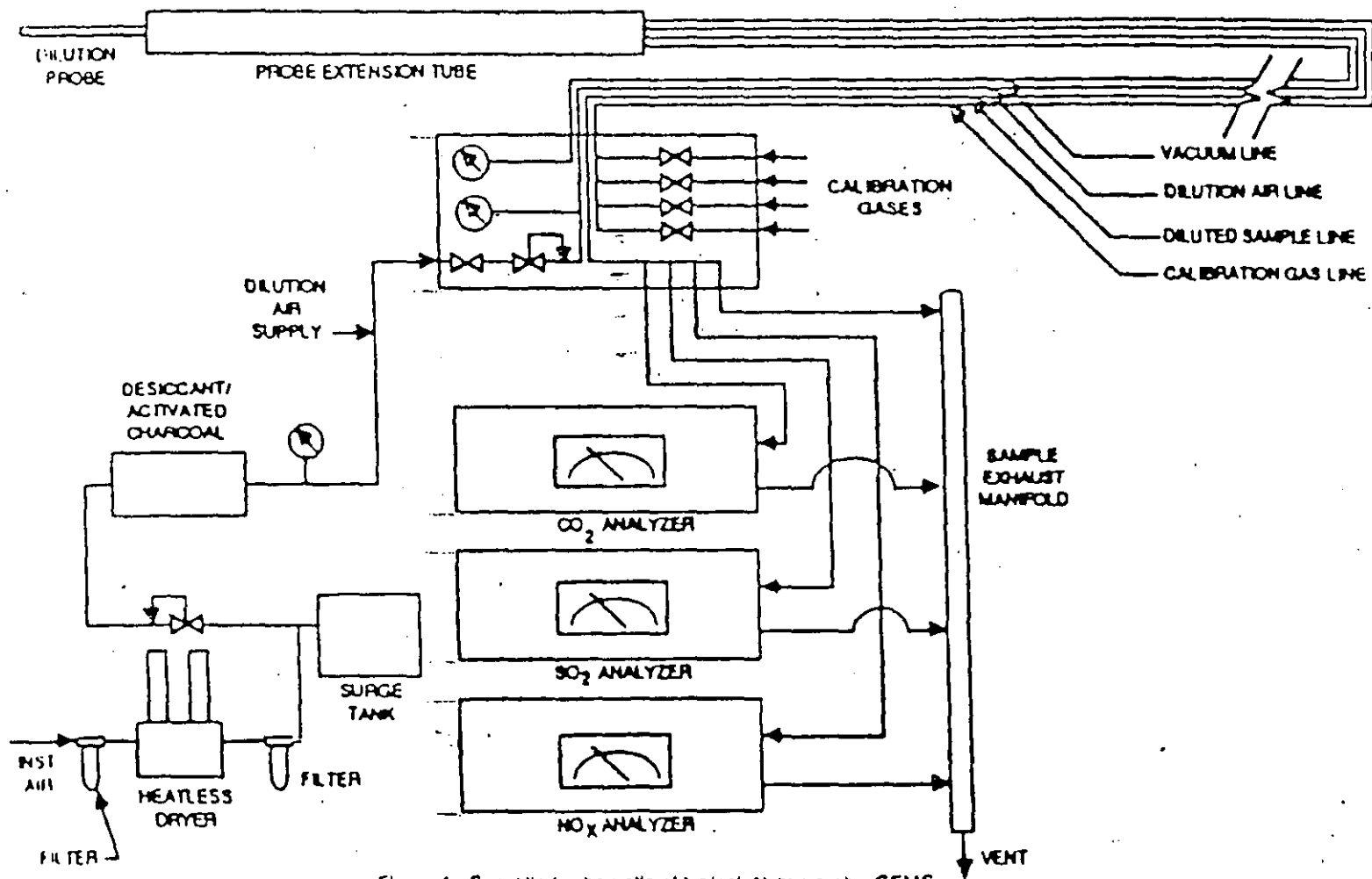
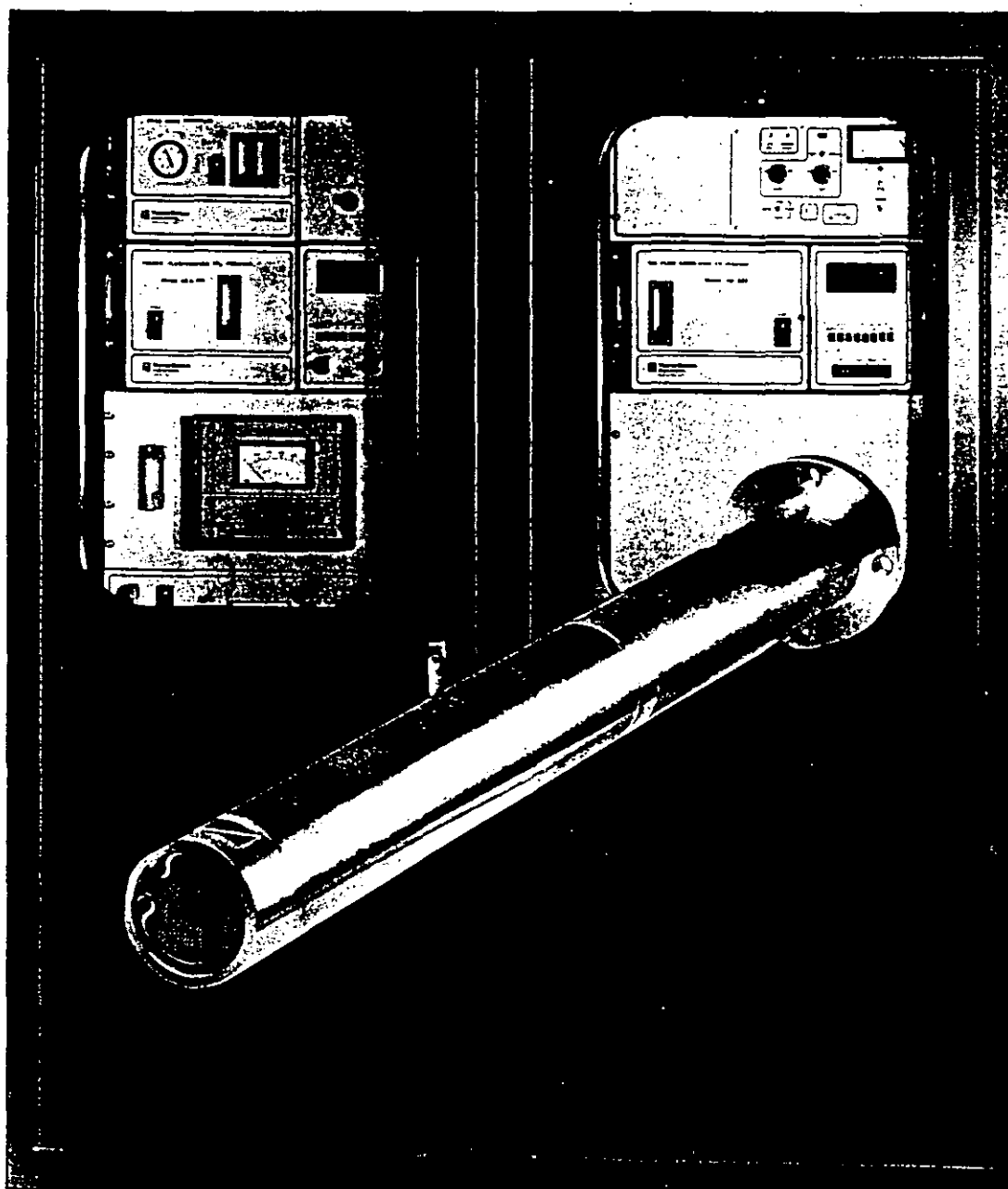


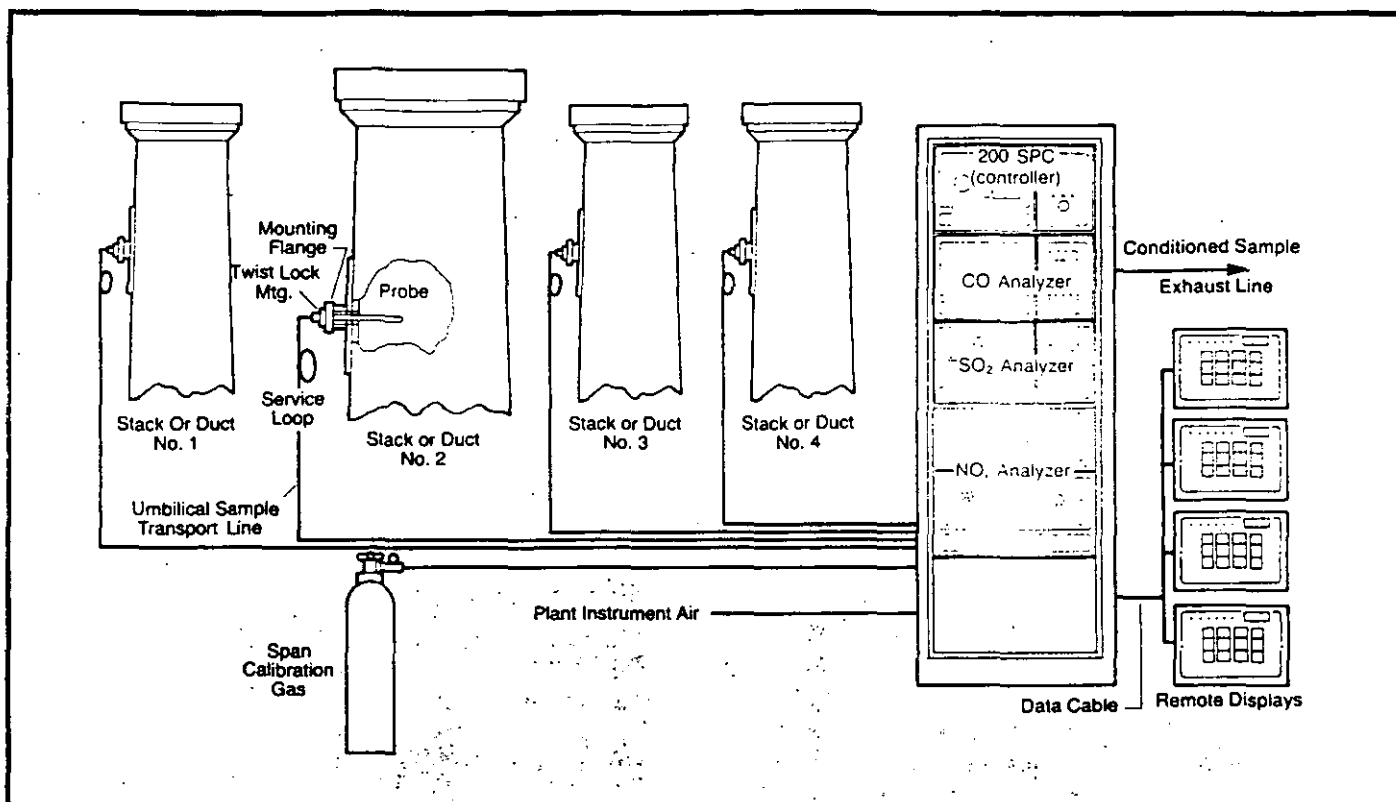
Figure 1 Simplified schematic of typical dilution probe CEMS.

MODEL 200 GAS ANALYSIS SYSTEM



TE Thermo Environmental
Instruments Inc.

MODEL 200 GAS ANALYSIS SYSTEM



FEATURES

- In-Situ Sample Conditioning.
- Diluted Sampling Eliminates Condensate Problems and Heat Traced Sample Lines.
- Sample Line Is Under Positive Pressure Preventing Errors Caused by Leakage.
- Analyzers Are Based Upon Approved EPA Equivalent Method Ambient Monitors.
- Multiple Point Sampling Is Standard.
- Sample Is Measured "Wet"...the EPA Preferred Method.
- Automatic Calibration Check Performed with Certified Gases Injected at the Probe Tip.
- Routine Maintenance Can Be Performed by Non-Technical Personnel.
- No Electrical Utilities Required at Probe.
- Low Cost Installation.
- Complete Line of Control Room Instruments for Interface and EPA Reporting.

INTRODUCTION

The Thermo Electron Instruments Model 200 Gas Analysis System is ideally suited for measuring gas concentrations in applications with high temperatures (up to 1100°F) or very high opacity (up to 100%). Multiple ducts or stacks can be sampled economically by simply using several probes and sample lines sequenced into a single gas analyzer. Gases such as TRS (Total Reduced Sulfur), SO₂, NO, CO₂, and other exotic or dangerous gases can be easily and safely monitored with the Model 200 system. The Model 200 is guaranteed by Thermo Electron Instruments to meet or exceed all U.S. EPA specifications contained in the October, 1975 Federal Register including all current addendums.

IN-SITU SAMPLE CONDITIONING

The Model 200 is a unique extractive gas monitor with in-situ sample conditioning performed at the probe tip by diluting a sample of the filtered stack gases drawn through a sonic orifice with dry instrument air. This unique method of sample conditioning in the probe tip lowers the dew point of the sample to a temperature below the extreme ambient temperature at the installation, thereby eliminating condensation in the sample line. This eliminates the need for heat-traced sample lines and many of the problems associated with other extractive monitors. Since moisture has not been removed from the sample, the measurement is on a wet basis — the EPA preferred method.

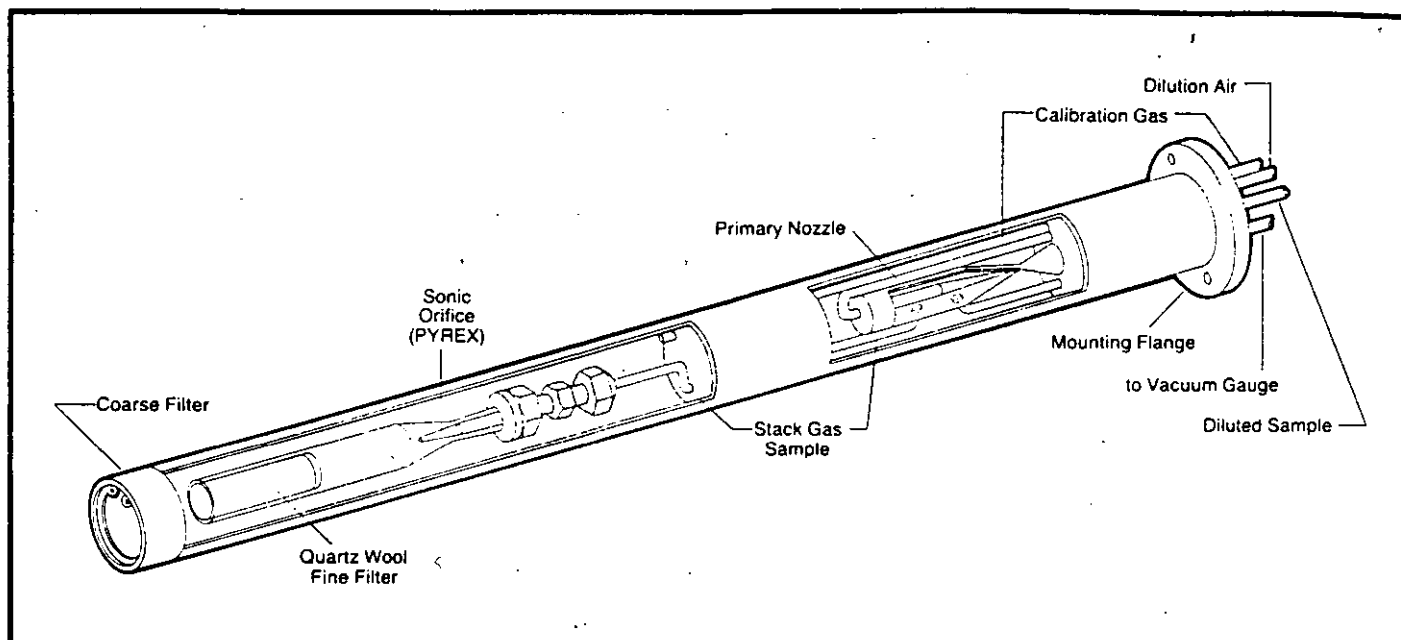
IN-SITU SAMPLE PROBE

All probe parts exposed to the flue gases are constructed of Inconel 600, Hastelloy C276, 304 stainless steel, and Pyrex glass; these materials have been carefully selected to eliminate corrosion due to the flue gases.

Typical installations extract stack gas at a rate of 1 to 3 cubic inches per minute which is equivalent to extracting one cubic yard of stack gas in 11 to 33 days. This small sampling rate minimizes the maintenance requirement (changing the quartz wool filter) of the probe. Since the stack gas is diluted with dry air and pressurized, the sample is rapidly transported to the analyzer (transport time for 100 feet is approximately 10 seconds).

UNCOMPLICATED SAMPLE LINE

The sample line which connects the probe to the analyzer is unheated; heat tracing is not required due to the low dew point of the diluted sample. The sample line consists of two Teflon lines and two polyethylene lines all encased in a fire retardant polyethylene jacket. The Teflon lines transport the diluted stack gas sample and the calibration gas. The polyethylene lines transport the dry instrument air to the probe.



and monitor the vacuum generated by the aspirator in the probe tip. All of the sample lines, except the vacuum line, are pressurized to eliminate errors caused by leakage of gas.

EPA APPROVE MONITORS

Diluting the stack gas sample by up to 350 to 1 reduces gas concentrations to a low enough level to use proven ambient monitors. These monitors have provided millions of hours of EPA certified data. With this type of monitor a large selection of gas types, such as H_2S , SO_2 , NO , CO_2 , CO , and other exotic or dangerous gases, can be measured with a wide range of full scale concentrations.

NEMA CABINET

The gas analyzers and probe controller are mounted in a conveniently located NEMA cabinet. All gas connection fittings in the cabinet are stainless steel and all internal plumbing uses Teflon lines. The cabinet is available in a NEMA 1 configuration for use in an air conditioned environment (60° to $80^\circ F$) or in a NEMA 12 enclosure with internal heaters and air conditioning for more severe applications.

DYNAMIC AUTOMATIC CALIBRATION

The Model 200 automatically, at preset intervals, or manually calibrates both zero and span levels. Calibration is accomplished by flooding the probe tip with the calibration gas and checking all elements of the system including the probe filters. Site furnished dry instrument air is used for the zero calibration and cylinder gas is used for the span calibration. The optional Model 200R Remote Display Panel compares the calibration data to specific values to verify instrument accuracy.

EASY AND LOW COST INSTALLATION

The probe is mounted to the stack or duct using $3\frac{1}{2}$ inch or larger, pipe nipple. A unique clamping flange, provided by Thermo Electron, permits probe removal in less than 1 minute. No utilities (electric or gas) are required at the probe mounting location.

The unheated sample line is the only connection between the in-situ probe and the analyzer cabinet. All that is required to install the cabinet is plant instrument air, 115-volt AC power, and a cylinder of calibration gas. The optional Model 200R is a compact ($7"H \times 11"W \times 22"D$) remote display panel which can be mounted in a minimum of control room panel space and only requires 115-volt AC power.

MINIMAL MAINTENANCE

Because of the unique design, which results in a very low sampling rate, probe cleaning and filter replacement are only required quarterly or less, depending on your process and can be carried out efficiently by non-technical personnel.

Maintenance of the analyzer is simplified because of its readily accessible location, normally ground level. Repair of the sample line between the probe and the analyzer has been virtually eliminated because heat tracing of this line has been eliminated.

CONTROL ROOM EQUIPMENT

Thermo Electron offers a complete line of control room equipment for display and reporting including remote display panels that interface directly to the Model 200 Gas Monitor and the Model 900 Data Acquisition System, which automatically prints periodic reports which can be submitted directly to the EPA for compliance reporting.

The Model 200R Remote Display Panel is a microprocessor based instrument which provides a digital display of the measured gases in PPM or percent. Using this data and EPA specified formulas the Model 200R calculates and displays SO_2 and NO_x in pounds/MBTU's (1-hour and 3-hour averages). This panel provides 4-20 ma outputs, alarm relays and lights for level detection display, malfunction indicator light and relay, automatic and manual calibration controls, and calibration level verification display.

SPECIFICATIONS

PARAMETER	SPECIFICATIONS
Flue Gas Temperature	Up to 750 °F (optional to 1100 °F)
Ambient Temperature Analyzer Cabinet	60 to 80 ° in NEMA 1 enclosure; - 25 to 125 °F in optional NEMA 12 enclosure
Probe length	Standard - 6 feet Optional - greater than 6 feet
Utilities at Analyzer Cabinet Electrical Instrument Air	117/230 volts $\pm$ 10%, single-phase, 60 Hz, 15 amps 0.2 SCF/Mprobe instrument air: -40 °F dewpoint at 60 PSIG, free from chemical contaminants
Utilities at Probe	None
Data Interface Analog Output Discrete Signals	4-20 ma for each gas measured Normal/Service status, probe in service indicator, zero cal indicator, span cal indicator.
Calibration Error*	Less than 5% of reading
Response Time	3 to 5 minutes typical
Drifts*, 2 and 24 hours for zero and span	Less than 2% of full scale
Relative Accuracy*	Less than 20%
Weight and Size Probe Assembly External to Stack or Duct Probe Body Analyzer Cabinet Sample Line	30 pounds total (dependent on length) 7-inch diameter $\times$ 3.5 feet including stress relief 2-inch diameter $\times$ length required 600 to 700 pounds (depending on analyzers included) 25 "W $\times$ 32 "D $\times$ 72 "H 0.88-inch diameter 328 feet maximum length
Probe Materials	Hastelloy C2376 Inconel 600, Pyrex glass, 304 stainless steel

*Expressed as the sum of the absolute mean value plus 95% confidence interval of a series of tests
(see CFR Title 40, Appendix B)

TE **Thermo Environmental**
Instruments Inc.

8 West Forge Parkway
Franklin, MA 02038

(508) 520-0430
Telex: 200205 THERMO UR

FAX: (508) 520-1460

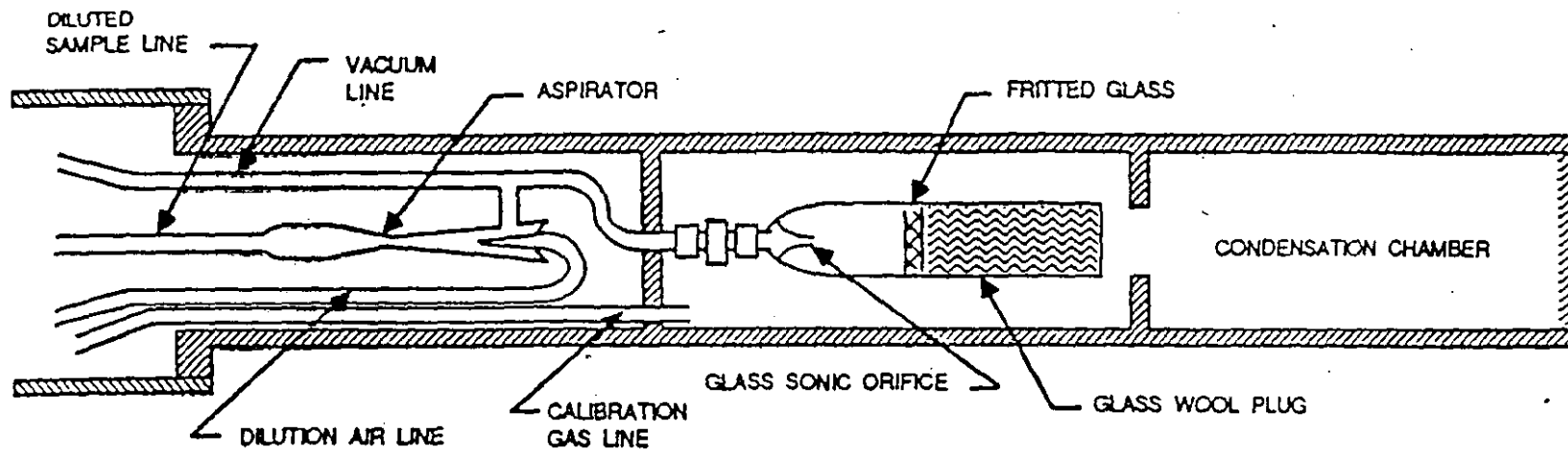


Figure 2 Simplified representation of dilution probe.

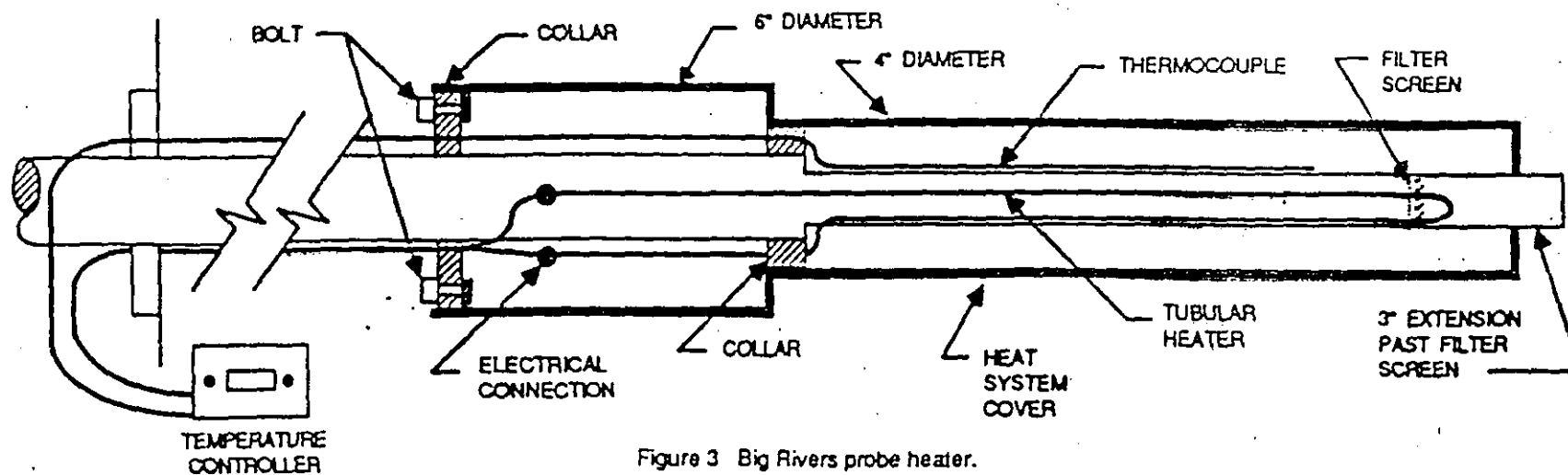
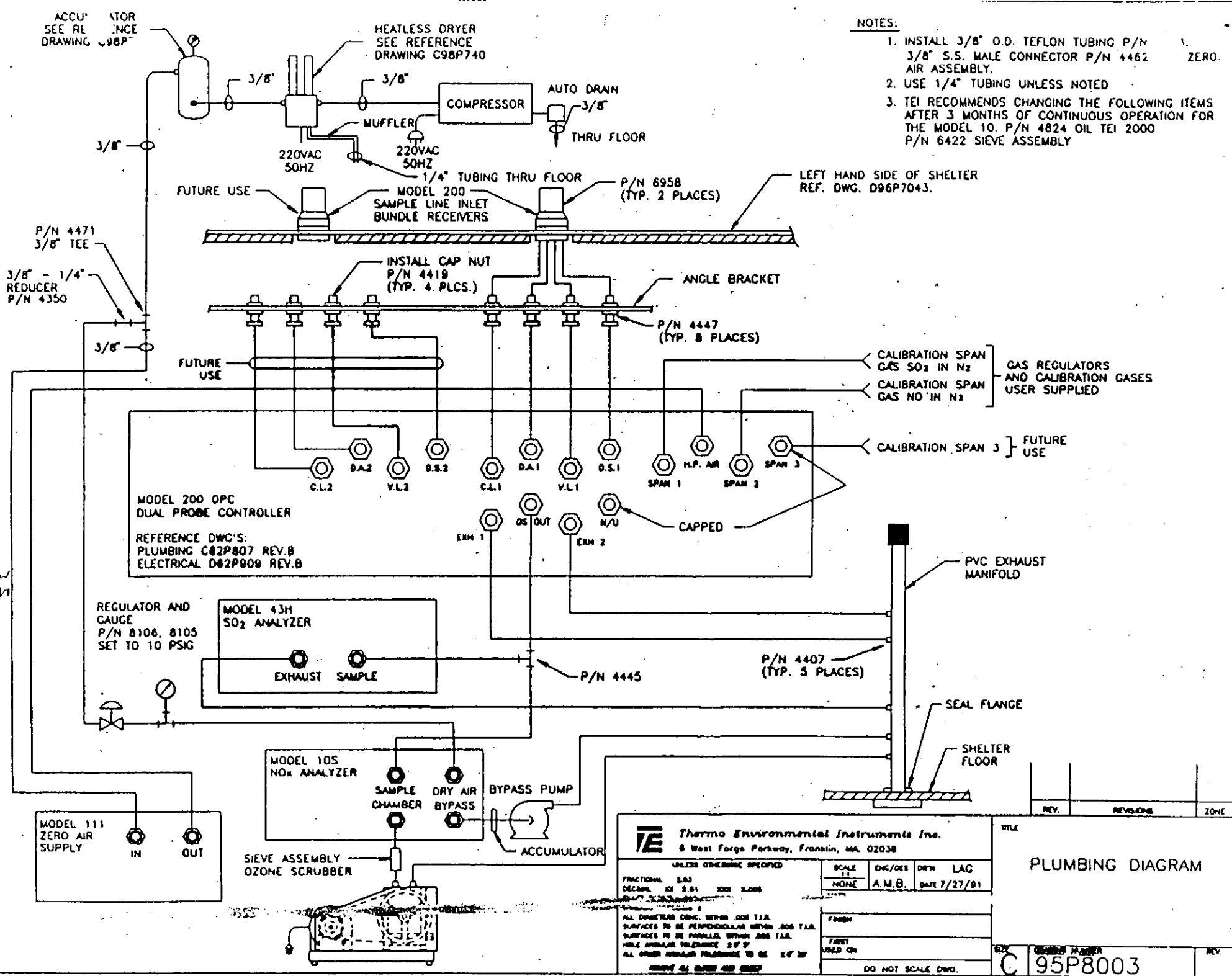


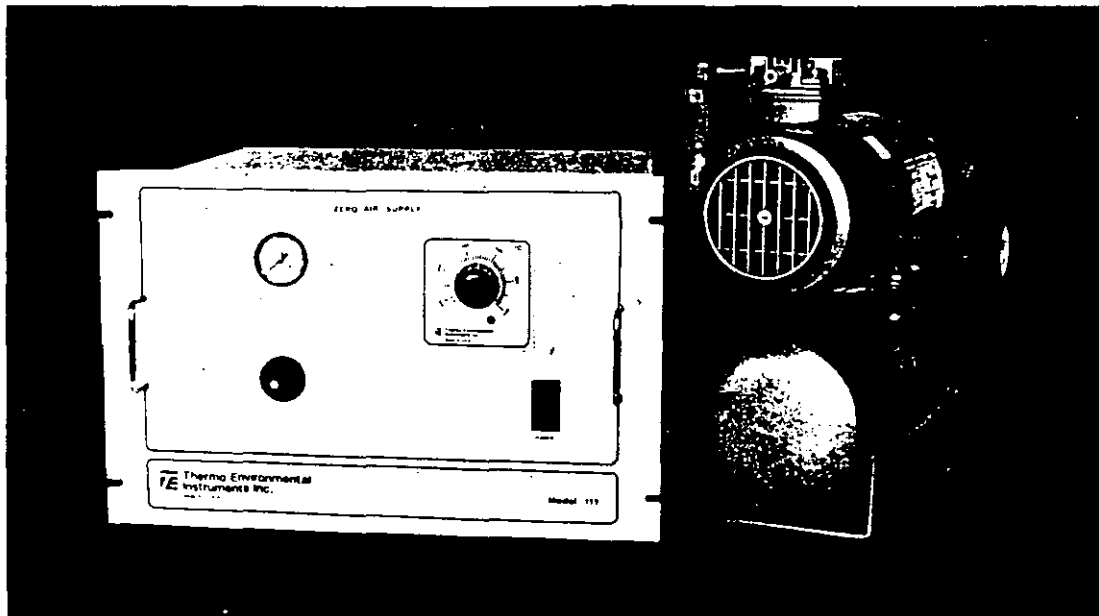
Figure 3 Big Rivers probe heater.





MODEL 111

ZERO AIR SUPPLY



The Thermo Environmental Model 111 Zero Air Supply is a convenient system for the generation of pollutant free "zero" gas for $\text{NO-NO}_x\text{-O}_3\text{-SO}_2\text{-CO}$ and hydrocarbon requirements. The Model 111 uses an external compressor; the pressure regulators, chemical scrubbers, reactor and temperature controller are all contained in a single convenient case.

The Model 111 has been designed for any application where pollutant free levels of $\text{NO-NO}_x\text{-O}_3\text{-SO}_2\text{-CO}$ and hydrocarbons are required, with flows up to *20 liters per minute at pressures of 30 psi.

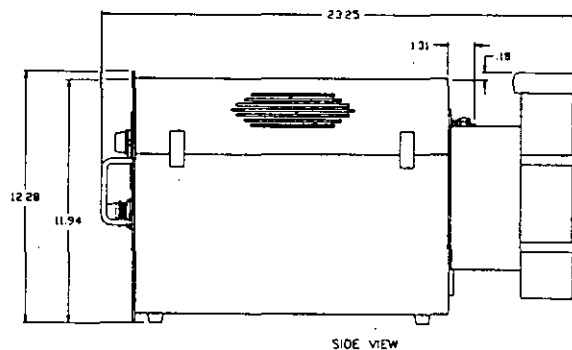
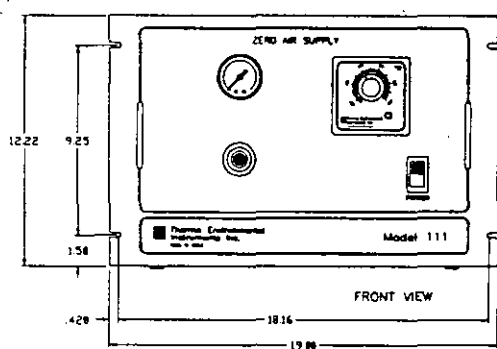
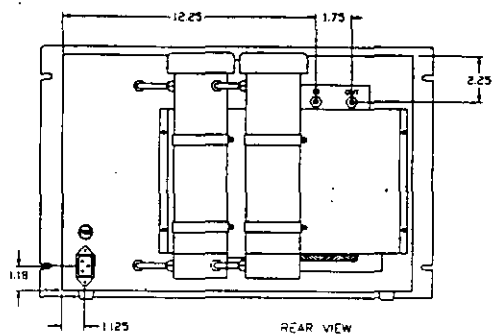
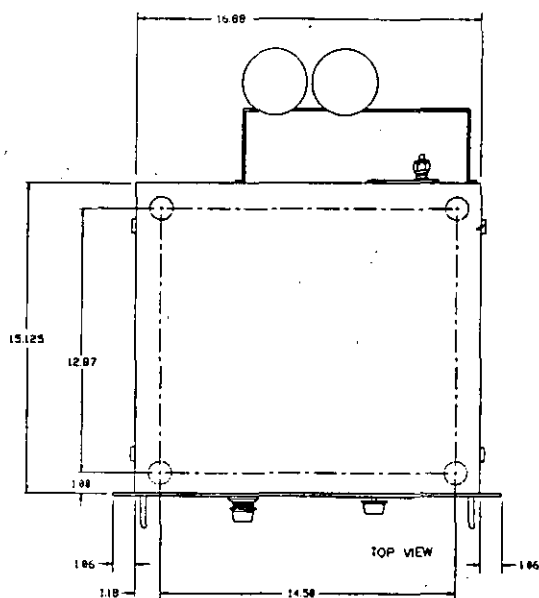
SPECIFICATIONS

Pressure:	10-30 PSI
Standard Flow Rate:	0 - 10 l/min.
Water Vapor:	0°C Dew Point
Dimensions:	12.2"H x 19"W x 15.5"D Rack Mounting Standard
Weight:	20 lbs.
Compressor Unit/Dimensions:	17"H x 12"W x 20"D (separate)
Weight:	40 lbs.
*Flow Rate:	0 - 10 LPM STD 0 - 20 LPM Optional

Model 111 Zero Air Supply

OPTIONS

- 001 CO-REACTOR
- 002 RACK MOUNT SLIDES
- 005 20 LPM COMPRESSOR



DIMENSIONAL OUTLINE DRAWING

 **Thermo Environmental
Instruments Inc.**

8 West Forge Parkway
Franklin, MA 02038

Tel: (508) 520-0430
Telex: 200205 THEMO UR

FAX: (508) 520-1460

Printed in the U.S.A.

6. SISTEMAS DE ADQUISICION DE DATOS PARA MONITOREO CONTINUO DE EMISIONES

UN COMPLEMENTO INDISPENSABLE DE LOS MODERNOS SISTEMAS CONTINUOS DE MONITOREO DE EMISIONES LO CONSTITUYE EL SISTEMA DE ADQUISICION DE DATOS (DATA LOGGER).

EXISTEN SISTEMAS DE ADQUISICION DE DATOS DEDICADOS AL MONITOREO CONTINUO DE EMISIONES. ES DECIR, QUE EL HARDWARE Y SOFTWARE HAN SIDO DISEÑADOS Y CONSTRUIDOS CON ESTA APLICACION ESPECIFICA.

EL SISTEMA DE ADQUISICION DE DATOS INTERACTUA CON LOS ANALIZADORES DE EMISIONES PARA PROVEER UN MEDIO DE ADQUISICION DE ENTRADAS ANALOGICAS Y BINARIAS, CONTROL DE AUTOCALIBRACION Y PARAMETROS DE MUESTREO, ANALISIS DE DATOS, ALMACENAMIENTO DE INFORMACION, IMPRESION DE LISTADOS, ANUNCIACION DE ALARMAS, VALIDACION DE ENTRADAS, CALCULO DE VARIABLES Y SALIDAS DE CONTROL ANALOGICAS Y DIGITALES, ENTRE OTRAS FUNCIONES.

2.0 Data Acquisition Hardware Specification

Odessa's Model DSM 3260 and DSM 3260 Plus data acquisition and control units, with solid state, removable cartridge storage media, are ideally suited to a large number of data recording and control tasks. They have wide application in the measurement of industrial and environmental parameters related to emissions, process characteristics, weather, air pollution, and water pollution.

The typical DSM 3260/CEM unit(s) that will be provided is described below along with notations of any special considerations/modifications. Figures 4 and 5 show the front and rear panel features of the DSM 3260/CEM. The DSM is commonly provided with a computer or terminal for an operator interface. Odessa also provides an auxiliary control panel for use with the DSM. This panel provides manual control functions and lighted switches for indicating system status and alarms. If the DSM 3260/CEM Plus unit is used, it can provide the functions of both the terminal and control unit in one convenient package. Please refer to Attachment 1 for additional information on the DSM 3260 Plus unit.

The DSM 3260/CEM, configured for continuous emissions monitoring applications, incorporates the following features:

- . Single board, high reliability CMOS design
- . Extensive system protection on all I/O
- . 64K internal, battery backed-up memory; 32K EEPROM configuration memory; and 128K ROM program memory
- . Clock/calendar
- . Five day battery backup for clock and memory
- . Auto restart of data collection and control functions
- . Sixteen (16) analog voltage or optional isolated 4-20ma inputs
- . Twenty-four (24) digital "status" inputs (expands to 40)
- . Twenty-four (24) digital control outputs (transistor closure to ground)
- . Eight (8) 115 vac control relays with independent power supply (expands to 24)
- . Optional analog voltage or isolated 4-20 ma outputs (max 16)
- . Three-way serial port and parallel port
- . Single 5-1/4" high, 19" wide industrial rack mount
- . Forms averages and stores data, data status, digital status input conditions, calibration results and events such as power failures in internal memory and in Odessa's nonvolatile, removable solid state memory cartridge. Information may be sent to a computer or terminal.
- . Provides timed and event based control sequences
- . Calculates emissions in lb/hr and lb/MMBtu
- . Corrects gas concentrations for O₂ or CO₂ diluent
- . Calculates rolling averages for 1 to 60 periods
- . Performs math functions
- . Detects and annunciates analog (level) and digital (event) alarms

- Automatic and manual control/recording of zero and/or span calibrations
- 60 HZ/115 VAC or 12 VDC power; operating environment 0-70 degrees C, 0 - 95% noncondensing
- Alternate 50 HZ/220 VAC operation

The DSM units will collect data from the analog and status inputs, average the analog data, and store the averaged data in internal memory and in the removable solid state cartridge. Samples may be invalidated based on the state of the status inputs or control outputs. Thus a monitor fault input to the DSM will invalidate the data from that monitor. Data samples may also be invalidated by "downing" a data channel using a command from a terminal or computer. Data during calibration sequences is excluded from the data averages.

Analog to digital conversion will be performed in the DSM with a 12 bit A/D, yielding an accuracy of 0.05 percent of full scale. For CEM data, the accuracy required is only to the nearest whole percent for opacity. For NO_x and SO₂, the accuracy is to the nearest one tenth of a pound per million Btu. Thus, the A/D substantially exceeds requirements.

Sampled values and averages formed by the DSM will be stored in internal memory. A 64K memory will be provided with the DSM's proposed. A DSM creates three averages, 1-minute, interim (5 or 6 minute) and final (15, 30 or 60 minute). In internal memory, the unit stores 168 periods of final data (e.g., seven (7) days for 60 minute averages), and three (3) hours of both interim averaged data and one minute data. Upon command, memory-resident data will be transmitted to the computer. Data will be transferred over an RS-232 line. Transmission rates up to 4800 baud are supported. If a DSM 3260/CEM Plus unit is used, these memory capabilities can be greatly expanded and baud rates up to 19.2K baud can be used.

Periodically (for example, every hour or every six minutes) one type of averaged data, data status, input status information and events (alarms, operator messages, etc.) may be written to a removable, reusable cartridge containing nonvolatile memory chips. The data stored on these chips does not need system power to be retained. Only a special electrical erasure procedure will alter the data. Such a storage media is far more reliable and convenient than any magnetic storage media because it will not be subject to mechanical failure or malfunctions due to adverse temperature and humidity conditions.

The cartridge is inserted into a slot in the face of the DSM. For CEM applications, a 128K byte SRAM data cartridge is recommended, allowing storage of up to 64,000 values. A 256K cartridge is available. When inserted, the cartridges will be labeled and the memory chips checked. Error codes will identify problems. The system will be configured to write over the oldest data when full.

The DSM 3260 will either accept contact closures as an indication of calibration status (passive cals) or will control calibrations (active

cals). The DSM will exclude samples during calibrations from the averages.

For some applications, the DSM's firmware will calculate emissions on the basis of lb/MMBtu or lb/hour values. To accomplish this, the user can utilize the math function capability and enter the required values for the specific installation. Wet, dry or combined basis calculations may be used. Either a fuel (heat) or a stack volumetric flow analog input may be used for the lb/hr calculation. The DSM can also calculate rolling averages, storing these values as it would any analog input channel.

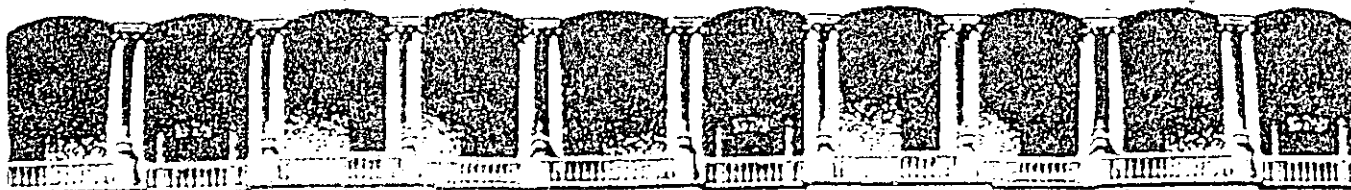
The DSM also supports correcting the concentrations of SO₂, NO_x or CO to a specific concentration of diluent (O₂ or CO₂) in the stack gas. If local alarms are needed at the DSM location, both analog (high and low level) and digital (event) alarms are included.

Though not required for all applications, a DSM can be optionally configured to output 0-1 volt or 4-20 mA isolated analog signals representing averaged and/or computed values. Up to 16 outputs can be included in a DSM 3260 unit. These analog outputs can be fed to the facility's distributed control system and/or strip chart recorders. Also as an option, signal inputs to the DSM can be linearized. This linearization will allow the DSM to accept a direct input of optical density. Thus, the DSM can be used as a remote control unit and combiner for opacity systems.

The standard DSM analog inputs are 1, 5 or 10 volts. An option is available for isolated 4-20ma inputs. Other options commonly included in the DSM 3260 configuration include expanding to forty (40) digital status inputs and twenty-four (24) control relays. Maximum capacities for a DSM are sixteen (16) analog (physical and calculated) inputs and outputs, forty (40) digital inputs and twenty-four (24) digital outputs.

Hard copy and terminal displays of data, alarms, calibrations and other events are supported by the DSM 3260/CEM unit. Automatic printouts may be enabled or reports can be requested on demand. Exceedance reports, reports for weekly, monthly or quarterly periods and editing are not supported by the DSM alone. Odessa's Environmental Aide™ software, described in the next section of this proposal, must be added to accomplish these tasks.

Some further expansion of the DSM capabilities are possible with the Plus version. These could include serial interfaces to plant computers using standard protocols such as MODBUS ASCII, or logging of serial data from analyzers or computers.



FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA

INSTRUMENTACION ELECTRONICA DE PROCESOS INDUSTRIALES

CONTROLADORES LOGICOS PROGRAMABLES

Definición y Configuración Básica

ING. LUIS ROBERTO VEGA GONZALEZ

" SISTEMAS DE CONTROL DISTRIBUIDO "

I.- Antecedentes, concepto y elementos de un S. de C. D.	 1
II.- Ejemplos de S.C.D.	 47
III.- Evolución de S.C.D. (estudio de caso)	 53
IV.- Conclusiones	 59

Ing. Luis Roberto Vega Gonzalez

SISTEMAS DE CONTROL DISTRIBUIDO

7.1 INTRODUCCION. ANTECEDENTES, CONCEPTO Y ELEMENTOS DE UN S. DE C.D.

Hasta fines de los años 50's, los controles neumáticos se usaban en la mayoría de las plantas. Posteriormente se introdujeron los sistemas de control basados en electrónica analógica, los cuales ganaron terreno para posteriormente, a mediados de los sesentas, dar paso a los controladores con electrónica de estado sólido llamada de arquitectura dividida.

Los últimos 20 años han permitido el mejoramiento de los sistemas de control analógico y el desarrollo de la computadora digital como una herramienta.

Actualmente con el advenimiento del microprocesador, contamos con sistemas de control avanzados de tipo distribuido.

El hecho de implementar controles cada vez mejores y más avanzados, se basa en la necesidad de optimizar recursos. Especialmente en México, sabemos que vivimos en una economía sensitiva a los costos de energía. Adicionalmente, el manejo de la planta requiere maximizar la disponibilidad del equipo y la confiabilidad en la operación del control.

También existe la necesidad de reducir los costos de instalación del sistema a través de diseños que minimicen los costos de mano de obra en campo.

Los sistemas actuales deben ser flexibles, cualquier cambio debe requerir el mínimo de alambrados, y practicamente muy poca programación.

Además, la comunicación debe ser simple y de bajo costo, entre los sistemas de la planta. Debido a que la misma base de datos se usa por más de un sistema, es posible tener entradas de proceso alambradas en un sistema y disponibles a otros sistemas.

7.1.1 ANTECEDENTES DE CONTROL DIGITAL DIRECTO (C.D.D.)

El C.D.D. se hizo necesario debido a que cada vez más el operador requería monitorear más variables de proceso que antes.

El monitoreo y almacenamiento de muchas variables de proceso, es ideal para ser realizado por medio de computadoras digitales.

A principios de los 60's, las primeras computadoras se instalaron en plantas de proceso. Algunos sistemas de control analógicos se retuvieron para realizar el control de ciertas secciones estratégicas del proceso. Esto se debía principalmente a que las computadoras de aquel entonces tenían memorias pequeñas y muy lentas, además de carecer de periféricos.

Por otra parte, la aplicación de los computadores al control, se hacía cada vez más obligada, pues se trataba de mejorar algunos problemas subsistentes en los sistemas de control analógicos-electrónicos, como los siguientes:

- 1.- Los ajustes tienden a perderse. Hay bastantes componentes que se requiere mantener bajo calibración.
- 2.- Prácticamente no existe autodiagnóstico de fallas.
- 3.- Existen algunas fallas que pueden modificar la posición del elemento final de control, sin que en el sistema se hayan tomado medidas de seguridad.
- 4.- La única forma de manejar relaciones no lineales (Por ejemplo PH) es a través de aproximaciones. Esto se dificulta aún más cuando el proceso es dinámico.
- 5.- La única forma de comunicación entre lazos de control, es a través de alambrado duro, y esto es muy caro.
- 6.- Muchas veces se requiere de dispositivos de indicación auxiliar, los cuales requieren una salida dedicada del sistema.
- 7.- El cambio de la estrategia de control requiere cambio de alambrado.

A fines de los 60's y/o principios de los 70's, se inició la implementa-

ción de CDD, usando un procesador central o minicomputadora. Para entonces ya existían algunos periféricos como los tubos de rayos catódicos (pantallas) conversacionales, que permitían acceso a las funciones de la computadora.

El C.D.D. resuelve muchos problemas asociados con los sistemas analógicos.

- La naturaleza discontinua de la computación digital, resuelve el problema de la pérdida de ajustes que ocurre en algunos circuitos operacionales.
- Se puede obtener una exactitud muy alta (digital) aún con funciones no lineales.
- Se pueden desplegar las variables de proceso en pantalla.
- Se cuentan con autodiagnósticos.

Inicialmente el CDD, sólo se aplicaba a unos cuantos lazos, la función primaria del computador, todavía era monitoreo del proceso. Posteriormente se aplicó a plantas enteras.

En este último caso se requería de un respaldo, ya que una falla del CPU, o de los equipos de entradas/salidas podría forzar el sistema a control manual.

Por otra parte, en los sistemas analógicos, una falla afecta solamente el lazo donde se encuentra el controlador, dado que los mismos tienen un procesamiento de señales continuo y no de tiempo compartido.

El respaldo en los sistemas CDD, puede ser un sistema analógico u otro computador, con alguna forma de transferencia automática.

Las figuras #1 y 2, muestran algunos sistemas de control analógicos neumáticos y electrónicos en tableros convencionales.

Las figuras #3 y 4, son ejemplo de un sistema CDD típico.

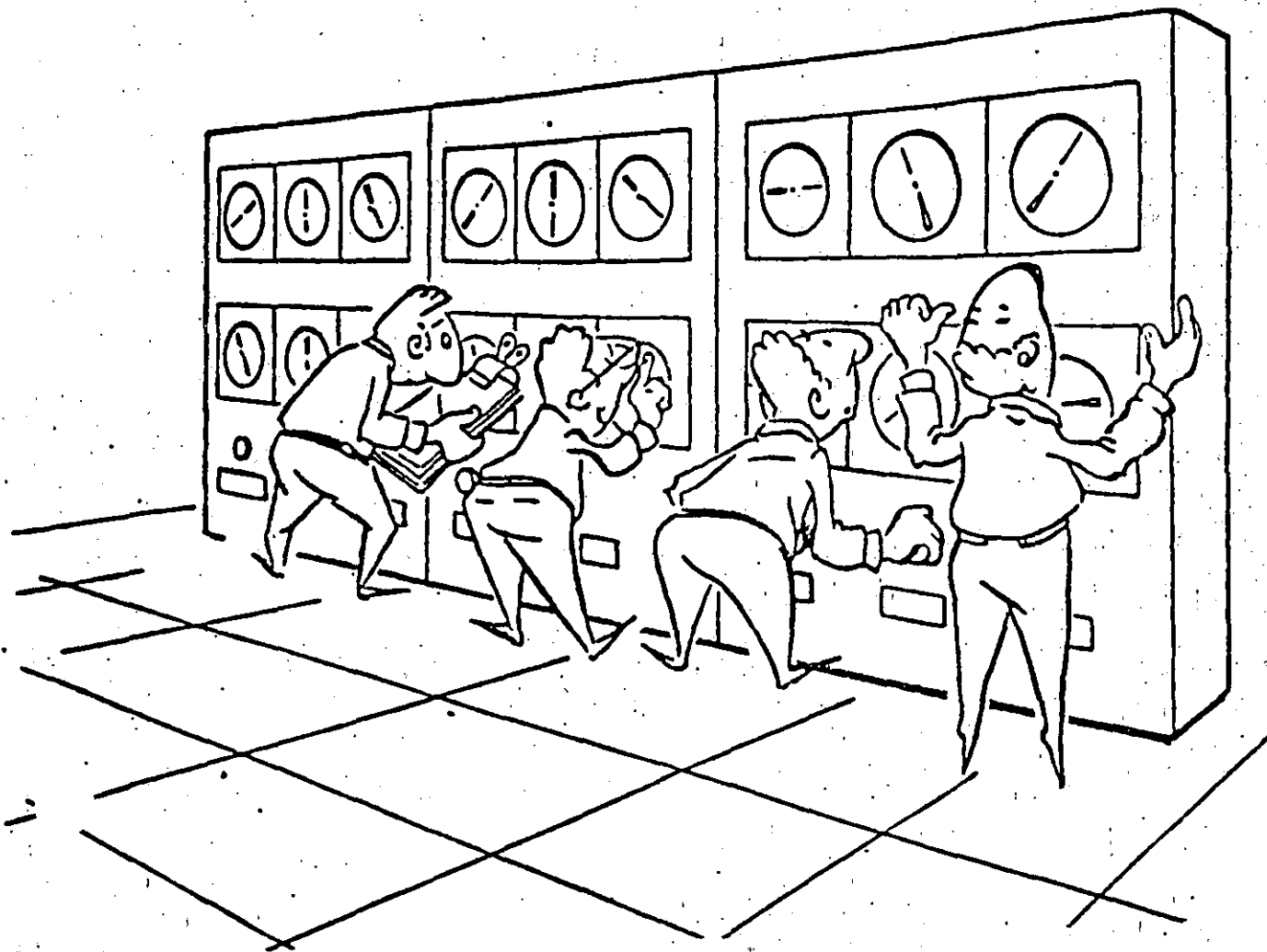


Fig. #1

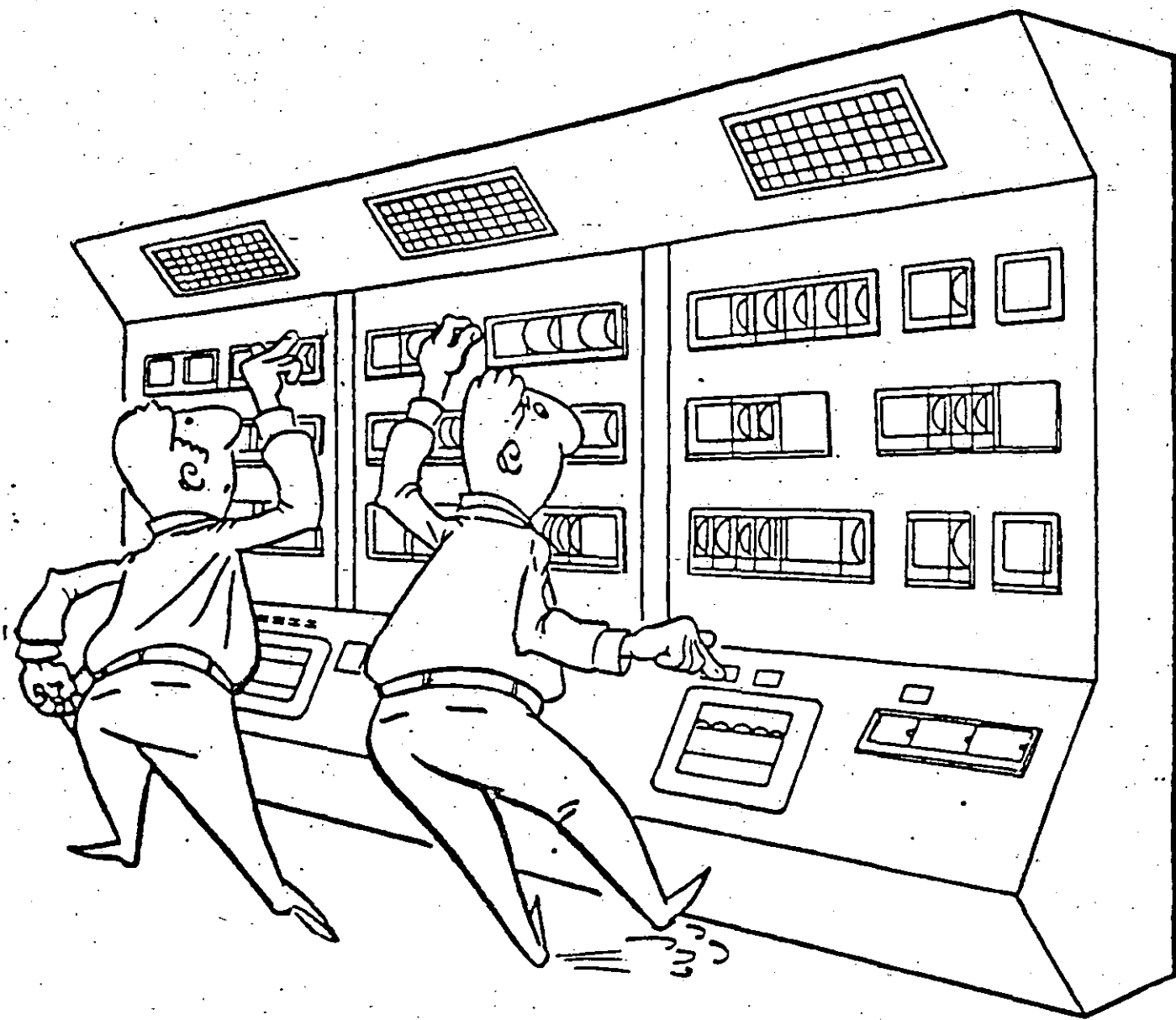
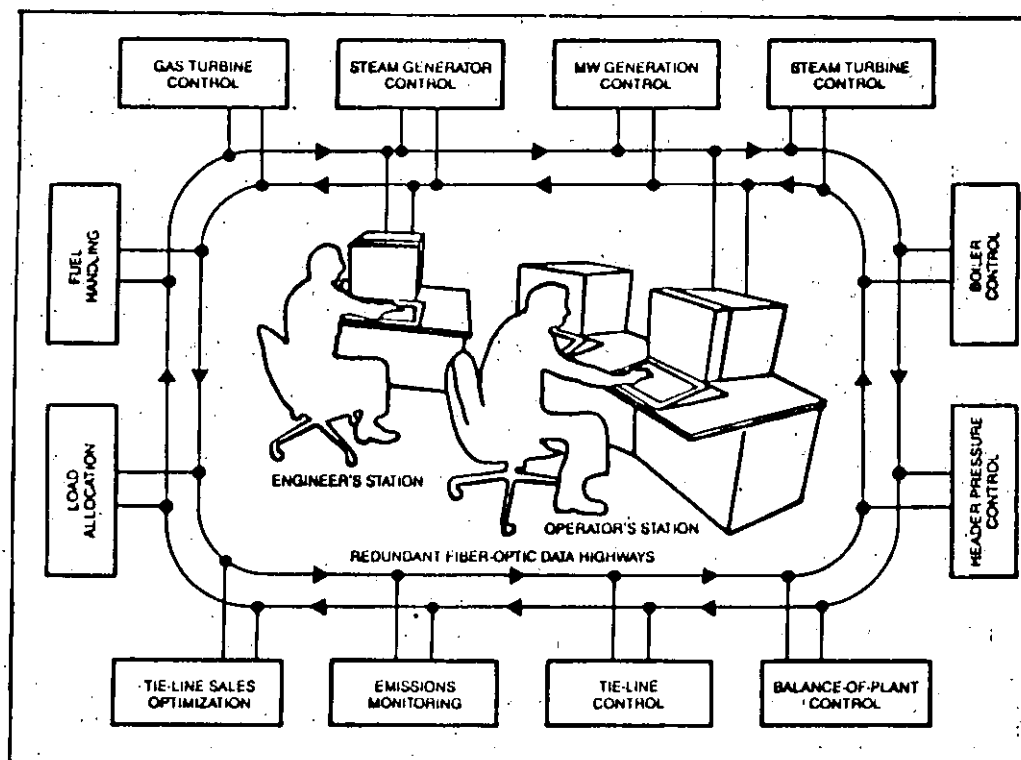
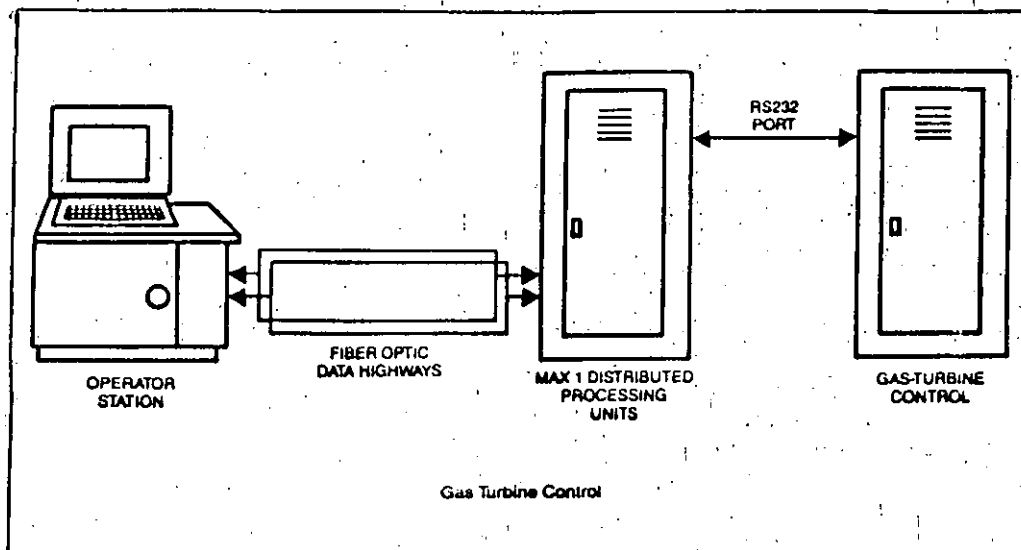


Fig. #2



FIGURAS 3 Y 4

7.1.2 ALGUNOS INCONVENIENTES DEL CDD.

Los sistemas CDD funcionan en forma secuencial con un tiempo específico; sin embargo, la rutina de procesamiento normal, puede ser alterada en cualquier momento, por programas prioritarios, dando como resultados disturbios en la computación de control, debido a que si se inserta otro programa en la computación normal, existen retardos.

El Software de los primeros sistemas CDD con frecuencia era complejo y no se escribía en lenguajes de alto nivel. Los cambios en la estrategia de control, se hacían modificando o agregando programas. Los ingenieros de control de las plantas, generalmente no son programadores, lo cual dificultaba la operación.

Sistemas posteriores CDD ya permitían hacer cambios en línea, usando lenguajes de alto nivel como el Fortran.

Los sistemas CDD no tuvieron una gran aceptación, tal vez las siguientes sean razones principales:

- Una falla sencilla podía forzar el sistema total a manual
- Los programas prioritarios retrazaban las rutinas normales de procesamiento, incluyendo las funciones de control y actualización de plieques.
- La complejidad del software incrementaba el tiempo de arranque, y muy difícil el realizar cambios.

El sistema de control Supervisor (SCS) es similar al CDD, con la diferencia que existen controladores o equipo analógico de tablero cuyos puntos de ajuste son calculados y provistos por la computadora. Este tipo de sistema tiene el inconveniente adicional del costo del computador, el equipo electrónico, y los problemas de alambrado.

A partir de este momento, aparentemente el desarrollo de los sistemas de control, sugería utilizar la capacidad de una computadora digital y la seguridad

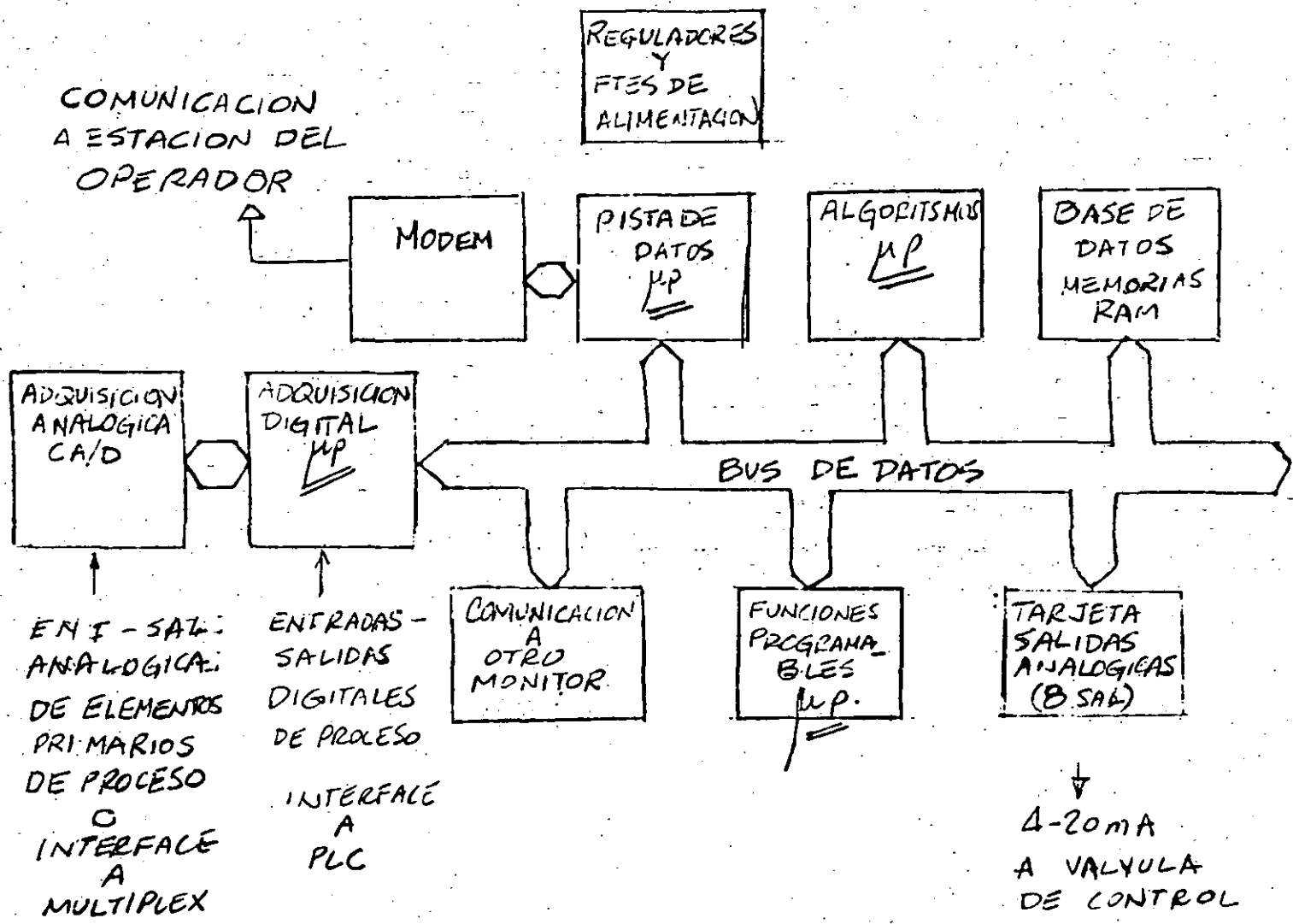


Fig #5

funcional de un sistema analógico, involucrando a su vez, el factor costo.

Esto fue posible a través del uso del microprocesador.

7.2 CONTROL DIGITAL DISTRIBUIDO.

En este tipo de sistemas de control, las funciones básicas se distribuyen entre varios microprocesadores, en lugar de estar centralizadas en un minicomputador. Los procesadores operan independientemente, de modo de una falla en alguno no afecta otras funciones. Ver la fig. #6.

7.2.1 ARQUITECTURA DE UN S.C.D.

Existen tres elementos básicos. Los controladores, la estación del operador, y la pista de datos de comunicaciones.

La figura #6 muestra un sistema completo. Los tarjeteros de controladores están localizados estratégicamente a través de la planta, minimizando costos de instalación y alambrado.

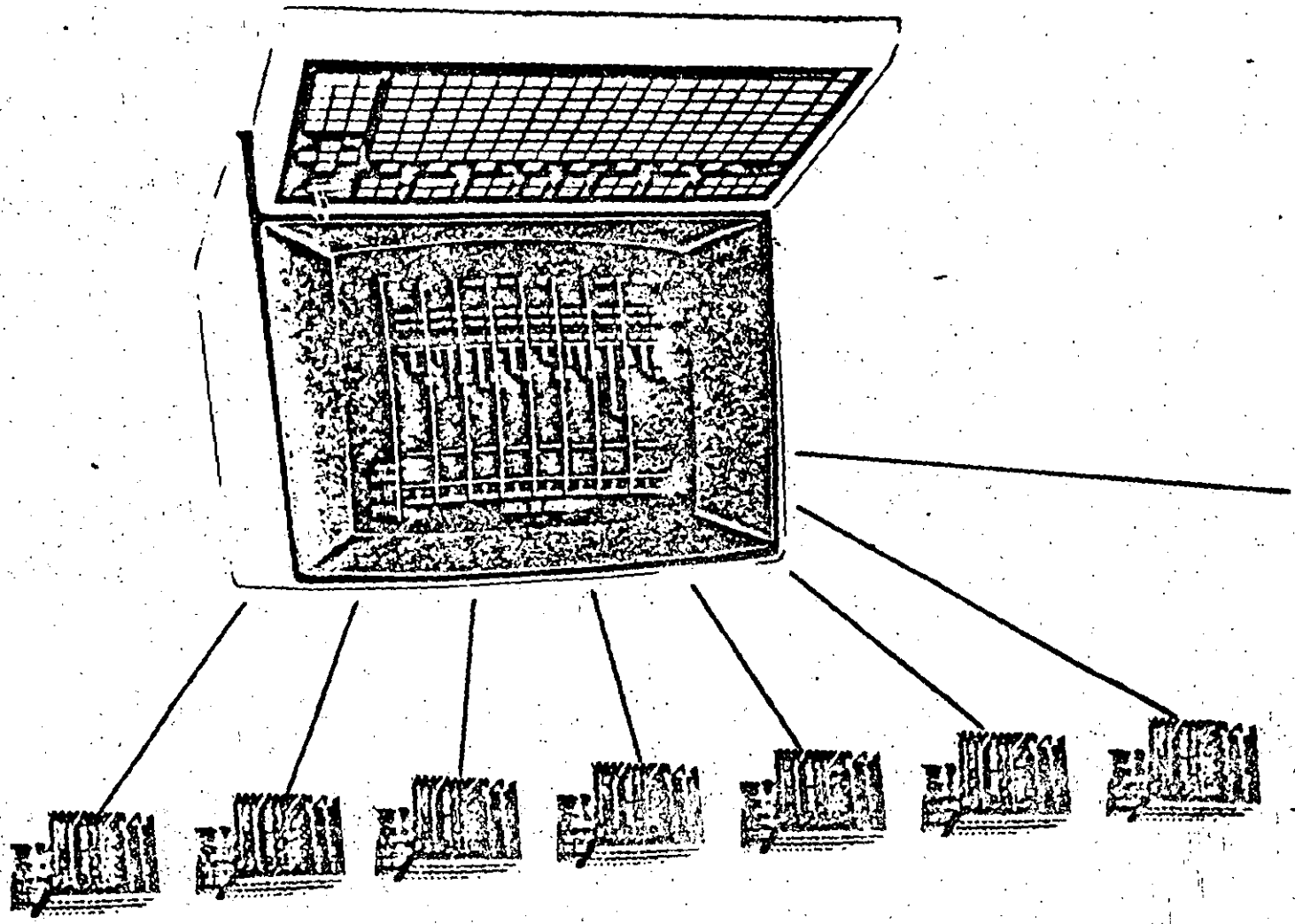
7.2.1.1 CONTROLADOR: Fig. #7

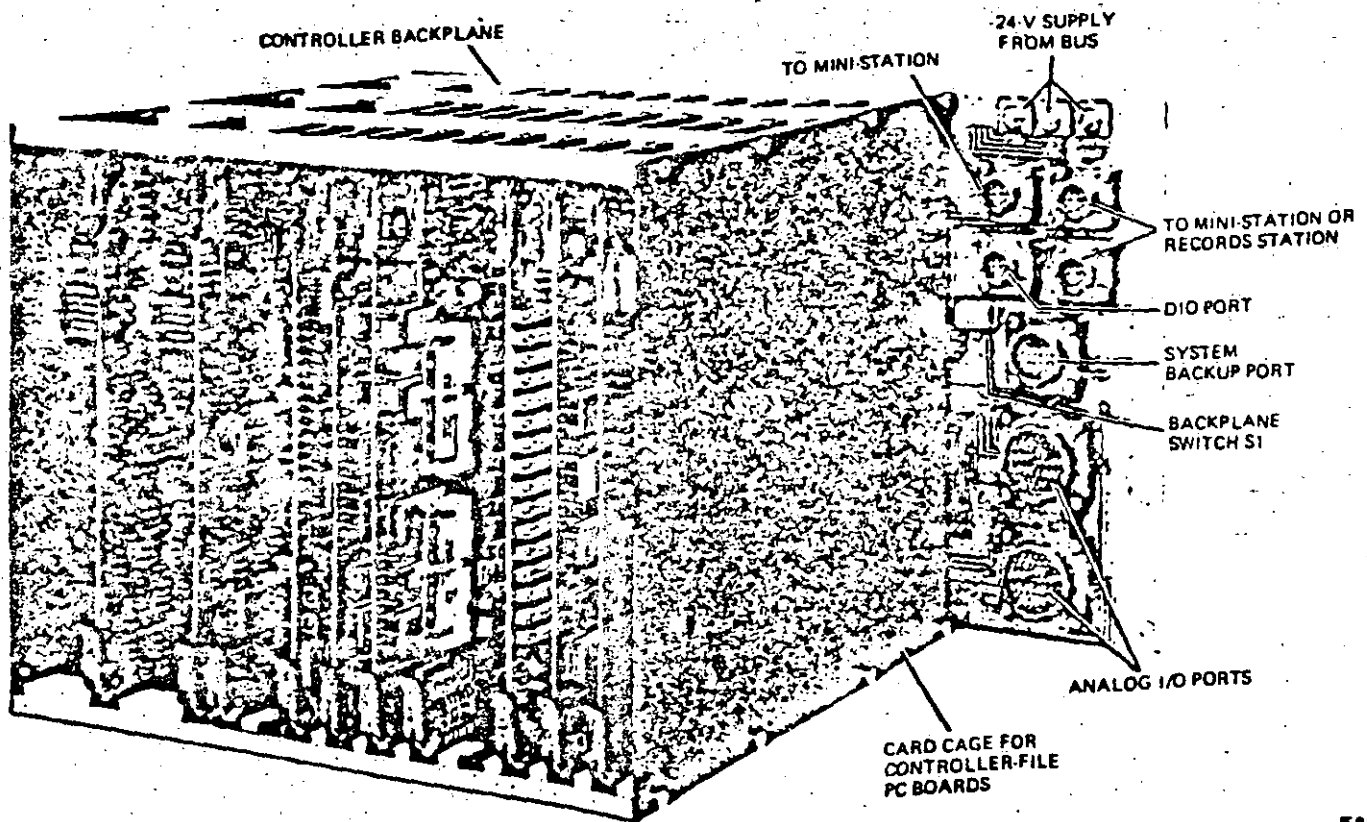
Uno de los beneficios de C.D., es el hecho de que los controladores de la planta pueden ser distribuidos en localidades estratégicas, inclusive esto puede hacerse designando áreas de control particular dentro de la planta: calentadores, hornos, reactores, etc.

Todas las entradas de proceso y salidas de control del área en particular estarán conectadas directamente a la estación del controlador distribuido.

La estación de control asignada a una área, consiste de los gabinetes ne-

7# 6.5





E8916

— Controller File's Card Cage with Backplane Switch S1.

Fig#7

cesarios, fuentes de alimentación, tablillas terminales, así como el número requerido de tarjeteros controladores, de acuerdo con los requerimientos de operación de la planta.

Los controladores distribuidos, son módulos multi-lazo, basados en microprocesador.

Este módulo se compone de un juego de tarjetas de circuito impreso, diseñada para realizar una tarea específica.

La fig. # 8 muestra las distintas tarjetas, cada una con una función específica, que se comunican para realizar las funciones de control.

El controlador opera en una base de tiempo repetitiva. Sus tareas se realizan lógicamente, de acuerdo con su diseño interno estructural.

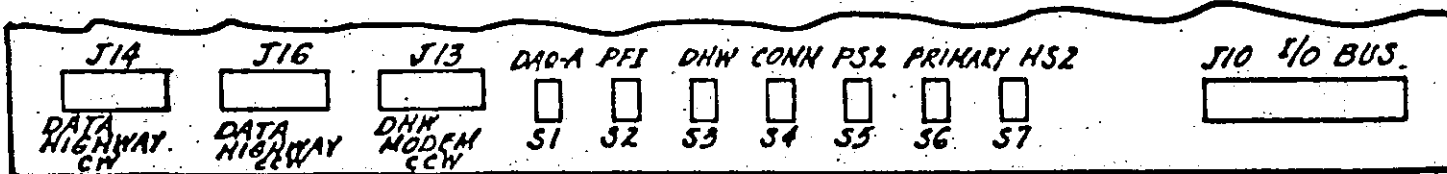
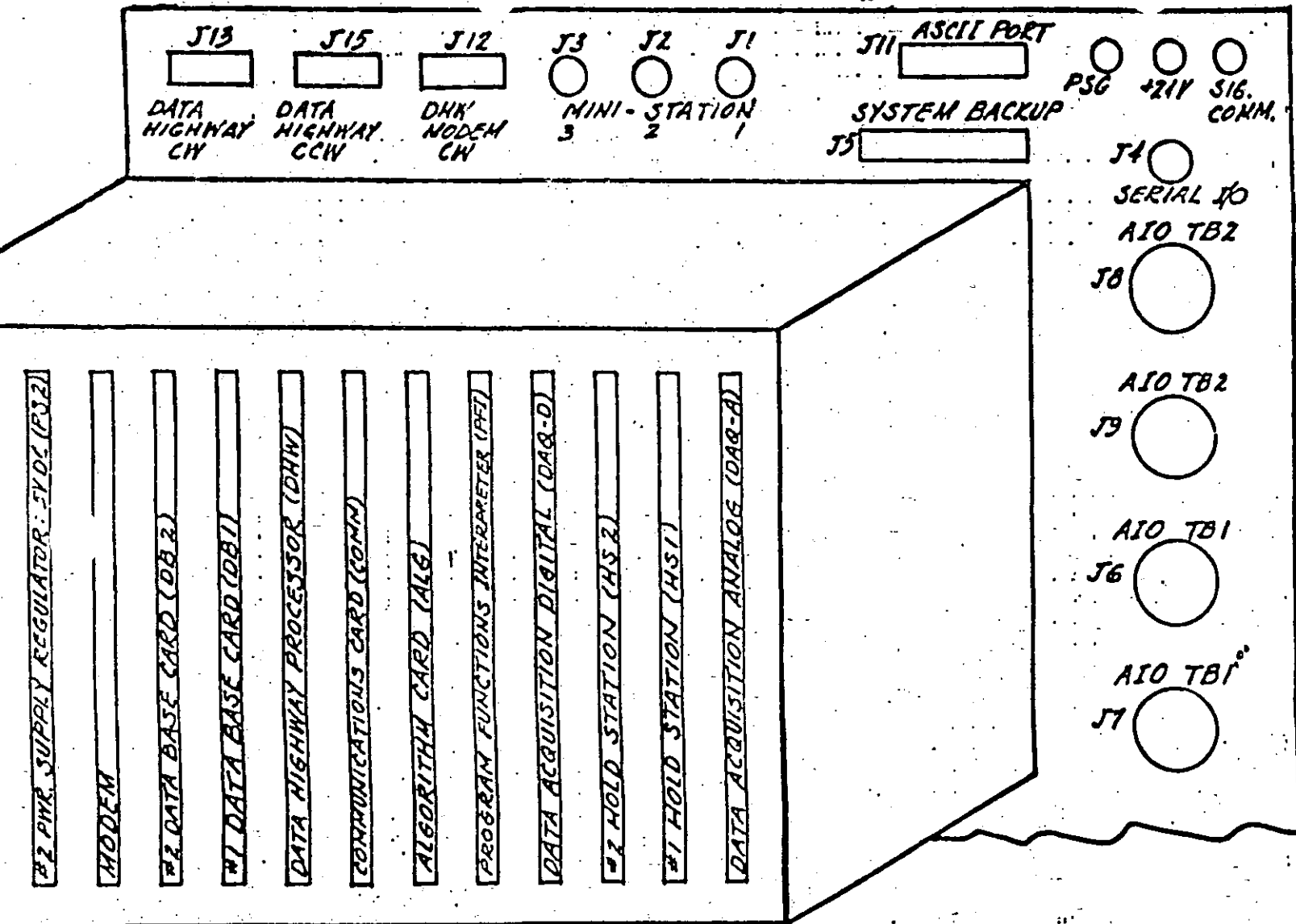
Existen controladores capaces de manejar 8 ó 16 lazos de control adicionalmente con una capacidad de manejo de 256 entradas/salidas digitales las cuales se dividen en base a 16 entradas, 16 salidas a 8 entradas y 8 salidas. Existe interfase para conexión directa a controladores lógicos programables.

EJECUCION DE ALGORITSMOS.

Un algoritmo es un procedimiento paso por paso para resolver un problema y obtener un resultado deseado. Podríamos recordar momentáneamente cómo funciona una calculadora de mano.

La calculadora contiene algoritmos que realizan en forma repetitiva funciones "pre-programadas", tales como sumar, restar, multiplicar, sacar raíz cuadrada, funciones logarítmicas, etc.

En un controlador distribuido existe una tarjeta de algoritmos, que con-



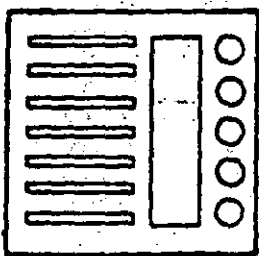
MAX 1 FUNCTIONAL CIRCUIT CARDS

ABBREVIATION	NAME OF CARD	FUNCTION
ALG	Algorithm	a. Executes control algorithms. b. Determines output of controller time-slot. c. Provides serial link for controller back-up.
DB	Data Base	a. Stores information that must be accessible to more than one processor card (Battery back-up RAM) b. Resolves contention on the data bus. c. Self-correcting circuitry in 32-slot versions prevents loss of data even if a RAM chip fails.
DAQA	Data Acquisition Analog	Converts 30 analog inputs to digital form (DAQA is controlled by DAQD)
DAQD	Data Acquisition Digital	a. Collects appropriate data from terminals. b. Selects the input to be converted by DAQA, then linearizes the result. c. Communicates with Operator's Mini-Station.
DHW	Data Highway	Formats data for communication between the controller and the data highway. Two cards are used: one is the Processor, the other the Modem.
HS	Hold Station	Receives control output from ALG, provides an analog output and holds it until next control cycle.
MOP	Mini-Station Port	a. Communicates with second and third Mini-Stations. b. Communicates with Records Station.
PS	Power Supply Regulator	Converts 24 V d-c to a regulated 5 V d-c.
MODEM	Modem	Modulates and demodulates signals transmitted on the data highway.

Fig #8

RV/tag'

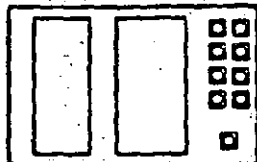
CAT 560
ANALOG BOARD



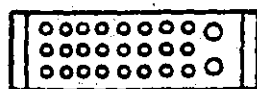
CAT 561
DIO



CAT 562
PAT OUTPUT



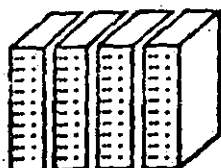
CAT 568
MAN. STA. JN. PNL.



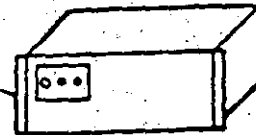
CAT 567
MANUAL
STATION



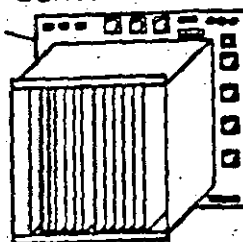
CAT 564
I/O SYSTEM



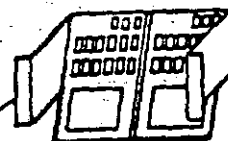
CAT 594
POWER SUPPLY



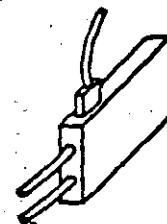
CAT 552
CONTROLLER



CAT 563
LOW LEVEL
MPX.



CAT 578
OPTICAL INTERFAC



tiene funciones como las que hemos descrito, más muchas otras diseñadas en forma específica para realizar control de procesos.

Los algoritmos son como "instrumentos" por si mismos, desde el punto de vista de hardware, tales como controladores analógicos, computadores de flujo másico, procesadores de alarmas, estaciones de relación, etc. Un juego de algoritmos básico para el control de procesos puede ser de 40 algoritmos, llegando tal vez a 60 para el caso de algoritmos avanzados con aplicaciones específicas.

Ver anexo, hoja de datos SA-00 de L&N, mostrando un juego de algoritmos básicos.

Los controladores distribuidos se dividen en "Ranuras de Tiempo" funcionales. Pueden existir 8, 16 ó 32 ranuras por controlador, se especifican como primarias y auxiliares.

Las ranuras primarias se usan para desarrollar salidas de control (4-20 mA analógicas), o salidas de triac para actuadores de válvulas eléctricas.

Las ranuras auxiliares se usan para problemas computacionales, cascadas y desarrollo de salidas digitales externas.

Los microprocesadores internos, rastrean secuencialmente las ranuras, cada 1/2 segundo, y realizan cualquier operación que es requeridas en los datos, por la configuración específica de la ranura.

En síntesis un sistema de control multilazo se puede realizar enlazando ranuras. El enlace de las ranuras sería algo así como generar un programa en un calculador de mano (por ejemplo sumar dos números, multiplicar por una constante, y luego agregar un tercer valor)

El programa es un cálculo en cadena repetitivo. Cada vez que entra un

nuevo valor, una nueva respuesta es procesada, sin embargo, la misma ecuación se utiliza.

El rastero entre ranuras es similar.

En la Fig. #9 se encuentra una distribución funcional del tarjetero controlador.

7.2.1.2 ESTACION DEL OPERADOR.

El propósito de la estación del operador (Fig. #10), es proveer un medio confortable para que el operador controle la planta. Debe proveer las herramientas para desarrollar configuraciones de control, despliegues en pantalla, así como cargar y descargar varias versiones de la estrategia de control.

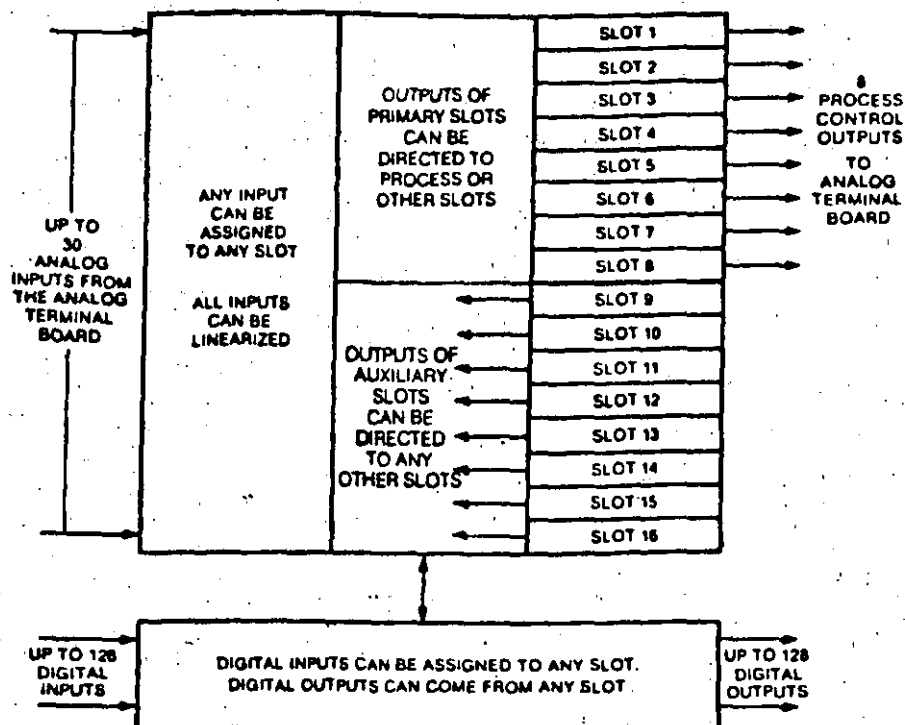
También debe contener un nivel razonable de rutinas de diagnóstico que auxilie en el soporte del sistema.

Para realizar sus tareas, la estación del operador contiene los paquetes con la electrónica necesaria para las conexiones de base de datos y pista de datos (Fig. #11), fuentes de alimentación, teclado, despliegues a color en Tubo de Rayos Catódicos, impulsores de disco flexible para soportar o modificar las estrategias de control. Algunas veces se usan cassettes.

Se pueden adaptar discos Winchester en otros dispositivos de almacenamiento.

Los teclados son de tipo funcional, para tener un acceso rápido y fácil al sistema (Fig. #12). Ir de un despliegue a otro debe hacerse con uno o dos toques del teclado. Además, en caso de teclear alguna función incorrecta, no debe de aceptar dicha entrada, invalidando el intento.

Se pueden ejecutar gráficas de desviación o gráficas interactivas. Vis-



MAX 1 Controller File. Each of the time slots is analogous to a separate piece of conventional instrumentation. A 32-slot version is available where more capacity is required.

fig# 9

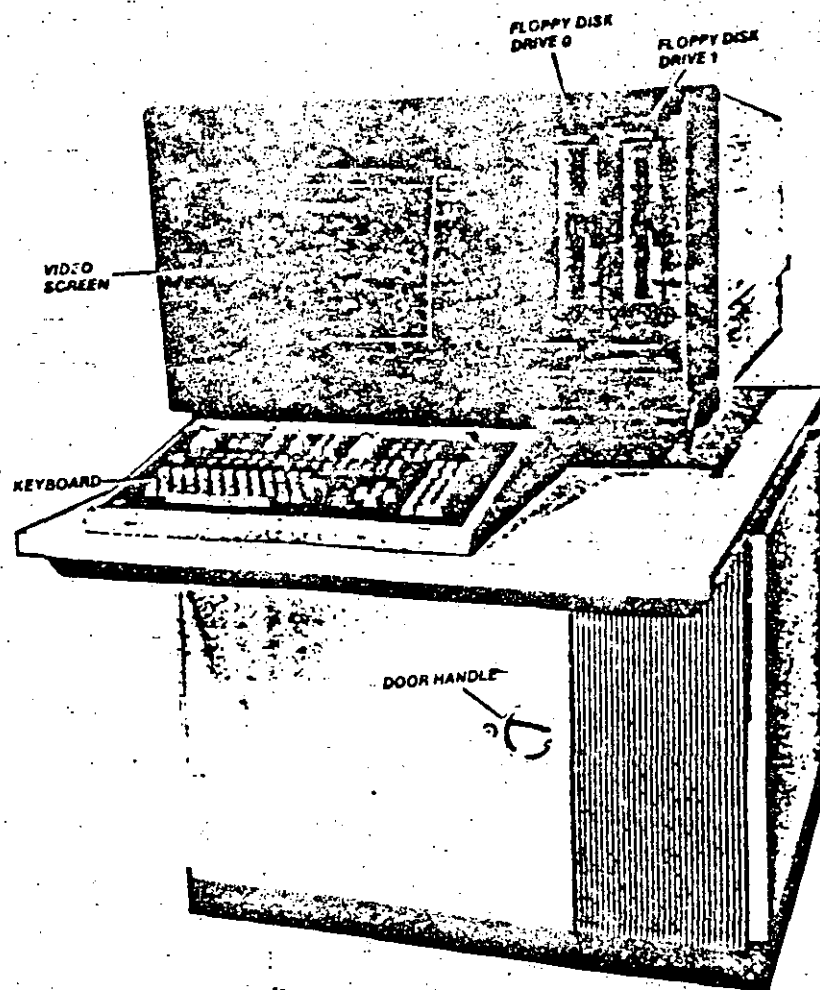
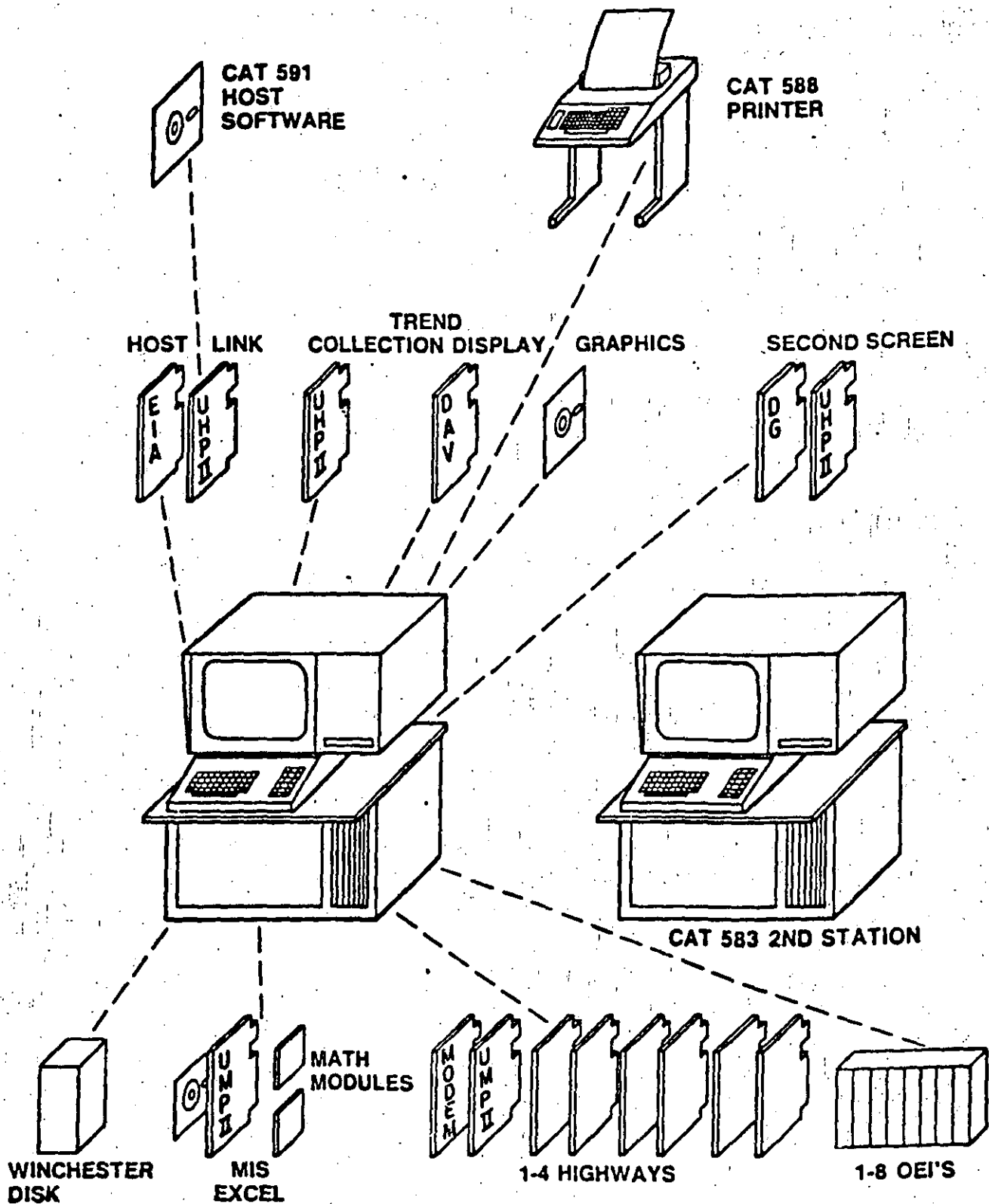


fig #10



fig#11

tas de planta, vistas de grupo, vistas de detalle a ranuras individuales. Los despliegues se actualizan en dos segundos.

Usando el teclado de la estación del operador, se puede tener acceso a las ranuras del controlador y encadenarlas por medio de "alambrado suave" o por programación. A esto se le llama configuración. De esta forma, partiendo de las tablillas terminales, se recogen los datos del proceso y se regresa la información necesaria para ejecutar el control requerido para el proceso. La información de salida es el resultado de resolver la ecuación para control tal como se estableció en la configuración.

MEMORIAS.

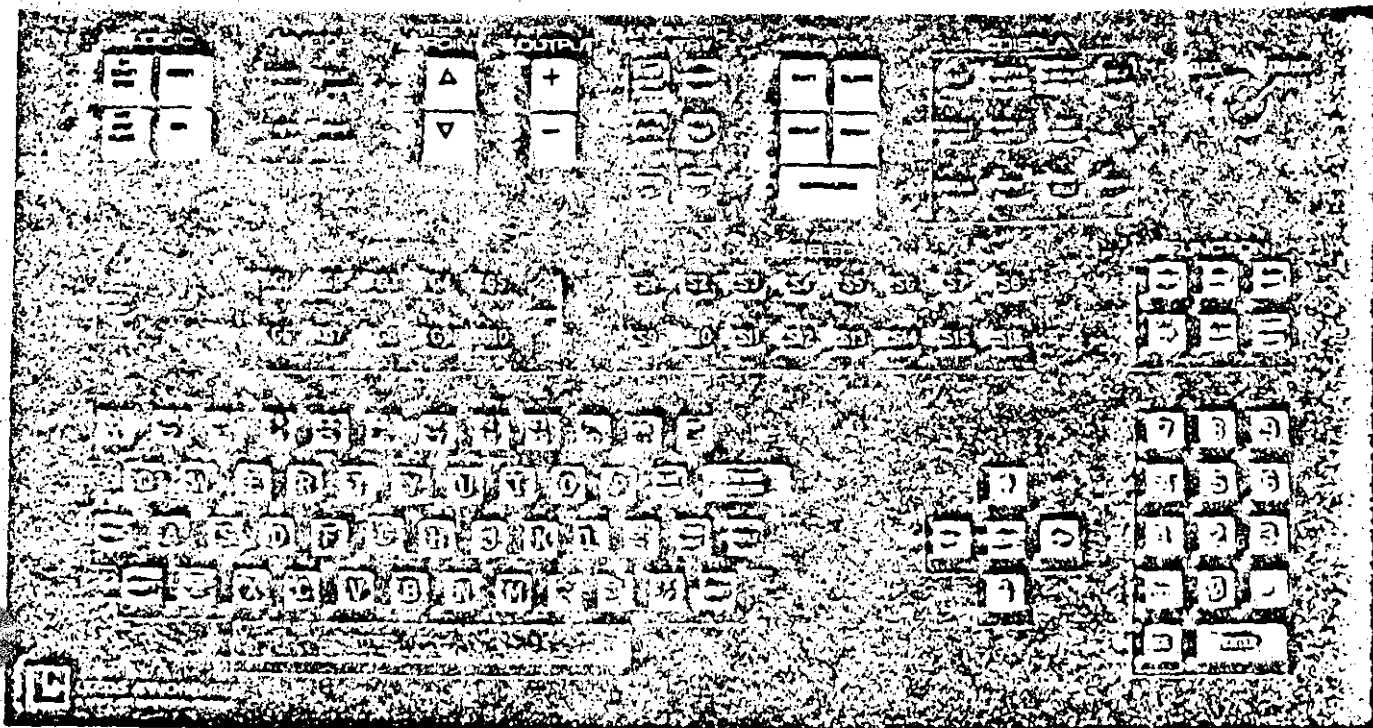
La biblioteca de algoritmos, en la mayoría de los casos se localiza en memoria ROM no volátil. La configuración de el sistema, los resultados de cálculo, y la base de datos se mantienen en la memoria principal, la cual puede o no ser volátil. Se están usando memorias volátiles de estado sólido, debido a su alta velocidad de procesamiento. Se respaldan con baterías para mantener la base de datos y la configuración, en caso de pérdida de energía.

También se recomienda mantener la configuración en memoria no volátil, tal como cintas magnética o disco flexible. Si se tienen varias copias de la configuración del sistema, es fácil hacer cambios a la misma, o reinstalarla después de alguna falla.

7.2.1.3 PISTA DE DATOS

La pista de datos permite comunicar controladores, transmitiendo y recibiendo datos de la estación del operador. Originalmente se trataba de un par de alambres, los cuales se usaban en forma redundante, para una comunicación más segura de la información.

RV/tag



Data Input Keyboard

fig #12

Hace pocos años, se introdujeron las pistas de datos ópticas (Fig. #13). Se usa el mismo cable óptico que el usado por las compañías telefónicas.

Las pistas ópticas no son susceptibles a problemas de circuitos de tierra, interferencia eléctrica, o de radio, cortos eléctricos debido a herrumbre, u otros problemas encontrados en ambientes industriales.

En este sistema no se requiere un manejador de comunicaciones.

Todas las estaciones son el maestro de la pista en su turno, cualquier estación puede interrogar cualquier otra y recibir respuesta en su turno de muestra. Esto les sucede a los controladores por lo menos dos veces en un segundo.

SEGURIDAD

Un sistema de control distribuido debe ser seguro debido a que la producción, los equipos o la seguridad del personal pueden depender del SCD.

Se recomiendan fuentes de alimentación así como reguladores redundantes. Las baterías para soportar la información volátil deben ser redundantes.

Continuamente se corren programas de diagnóstico:

De arranque, en línea, fuera de línea, con la finalidad de detectar fallas.

Los programas de diagnóstico residen en ROM y no requieren configuración o recarga durante el arranque de los sistemas.

En cuanto a la comunicación, se debe contar con pistas de datos redundantes.

En el máximo nivel, cada controlador puede tener otro controlador que realice respaldo parcial o dedicado a uno a uno. Aún con la pérdida de toda la capa-

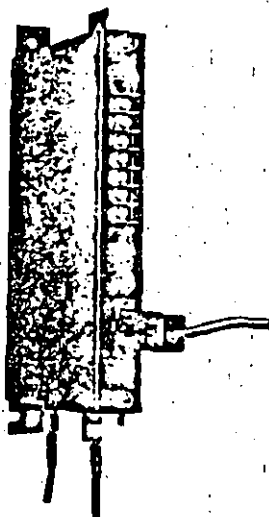
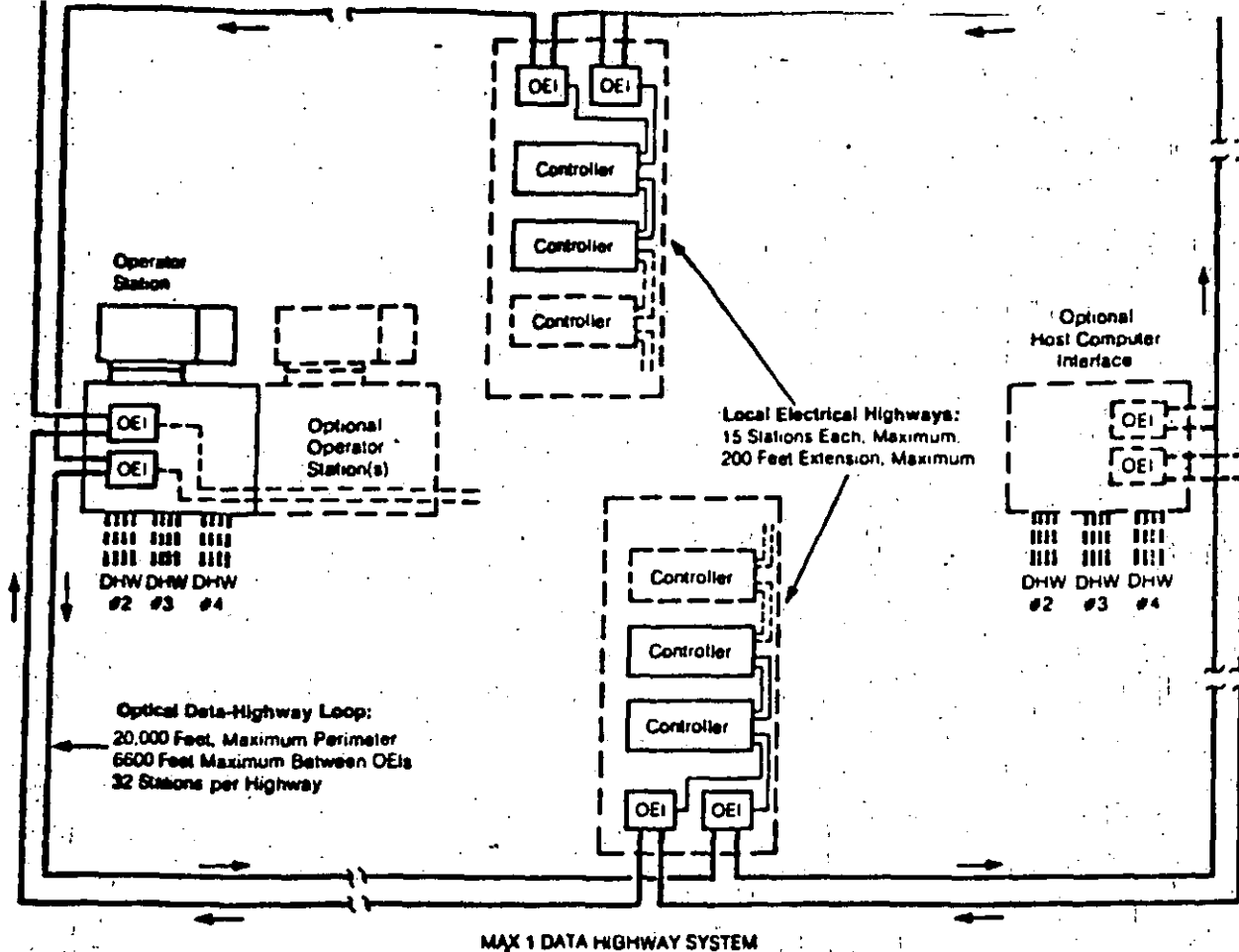


fig #13

RV/tag'

... cudad de los microprocesadores, las salidas de los controladores deben al menos mantenerse en su último valor, o dirigirse a valores predeterminados, hasta que el operador tome el control de los lazos con estaciones de respaldo manual.

Finalmente, en las siguientes doce hojas se hace un resumen de las características de operación y especificaciones de un sistema de control distribuido que se usa actualmente en el mercado.

LEEDS & NORTHRUP

SISTEMA DE CONTROL DISTRIBUIDO

M A X -I-

Highway System Overview

Data Highway.

Filosoffa de Direccionamiento.

Estación del Operador

Descripción del UMP

Medio ambiente.

Tarjetas, Descripción y Hardware

Capacidad.

=====

RV/tag'

CONTROL DISTRIBUIDO

1.- CARACTERISTICAS DE UN SISTEMA CON PISTA DE DATOS

En un sistema de C.D. con pista de Datos como el que se muestra en la figura, resaltan las siguientes características:

- ° Pista de Datos en Fibra Optica, la cual puede correr hasta 20,000 pies a través de la planta, inmune a interferencias eléctrica o magnética.
- ° Estación del operador versatil.
 - Con interfase para hasta 4 pistas de datos por separado, para supervisión y control de hasta 1600 lazos analógicos, incluyendo gráficas interactivas y tendencias.
- ° Capacidad de Interfase con una Computadora Anfitriona.
 - Para extender la jerarquía de control, o implementar un sistema de manejo de información en tiempo real.

Un sistema con 4 pistas de datos puede soportar hasta 128 estaciones, las cuales pueden ser, un controlador multilazo, una estación del operador o una Interfase para computadora. Si cada controlador, típicamente tiene una capacidad de 16 lazos, este sistema puede soportar hasta 1600 lazos analógicos, y más de 30,000 entradas-salidas digitales.

La velocidad de comunicación es de 500 Kbaud.

Los computadores anfitriones no son esenciales en el sistema, dado que la configuración de los controladores puede "cargarse" a través de la estación del operador, sin programación especial.

PISTAS DATOS.- Es una combinación optica-eléctrica dual o redundante, las interfases optoeléctricas (OEI), conectan la pista eléctrica con la pista óptica. La pista, eléctrica puede proveer conexiones en cadena para varias estaciones.

La malla óptica es inmune a interferencia eléctrica, intrínsecamente segura en áreas peligrosas y acepta un total de 32 estaciones, en cadena a la pista de datos eléctrica.

El perímetro máximo es de 20,000 pies.

Cada cadena de pista eléctrica, puede manejar hasta 15 estaciones, y se puede extender en 200 pies, es redundante y puede operar como una pista de datos autónoma con una estación del operador, donde no sea esencial la pista de datos óptica.

No se requiere director de tráfico, el control maestro o "master ship" (acceso a la pista de datos por cualquier estación) se determina por una rutina "hablar-pasando", "Tokenpassing", con reajuste automático del T.P. si ocurre alguna falla. La velocidad de los datos es de 500 K baud, usando FSK (modulación por "llaveo" de frecuencia).

Los datos se transfieren como bloques entre los controladores y la estación del operador, la transacción entre estaciones, toma milisegundos.

El "Token" rota entre todas las estaciones del operador, interfases de computadora en una pista de datos aproximadamente 100 veces por segundo.

Todas las estaciones en una pista de datos pueden comunicarse entre sí controladores con controladores, estaciones del operador con estaciones del operador.

Existe redundancia total, ambos cables ópticos están activos todo el tiempo, transmitiendo datos simultáneamente en direcciones opuestas alrededor del lazo, así una falla en un cable o un OEI, no interrumpe la transmisión, además de que es reportada en la estación del operador, como una alarma en el sistema.

Ambos cables ópticos pueden fallar o romperse en un punto específico, y aún se mantendrá comunicación global completa en el sistema, a través de los elementos intactos en el lazo.

CONTROLADOR

El controlador multilazo maneja hasta 16 salidas de control, (4-20 mA o triac), ranuras de tiempo para funciones adicionales, 30 entradas analógicas (linearizadas según se requieran), hasta 256 entradas-salidas digitales. Actualmente pueden manejar hasta 248 entradas de bajo nivel, así como interfase para controladores programables.

Una computadora "personal" residente, se puede agregar dentro de cualquier tarjetero de controlador, sin necesidad de interfase, equivalente a 12K (4000 elementos) de funciones programables, para cálculos, optimizaciones y reportes.

El controlador puede equiparse con una tarjeta Modem y un procesador de pista de datos, para comunicación a la pista de datos eléctrica y/o óptica. El controlador se puede comunicar con otros controladores sobre la pista de datos, transmitiendo o recibiendo información, con un tiempo de acceso a la pista de datos de 1/2 segundo garantizado.

ESTACION DEL OPERADOR

Generalmente, consta de un Tubo de rayos catódicos de 19", basado en microprocesador. El despliegue es 8 colores para foreground y 8 colores back ground.

Contiene puertos de comunicación para hasta 4 pistas de datos, adicionalmente a 1.7 Mbytes de memoria RAM.

Cada estación tiene impulsores duales de discos flexibles de 8", para carga o copia de la base de datos o recetas.

Se tiene opción para Disco Winchester de 8 y 32 Megabyte, cuando se requiere almacenamiento masivo de información.

A través del teclado se puede operar en 8 modos distintos:

En línea; operación (o modo normal de corrida), Tendencias Gráficas, Sistemas de Manejo de Información (MIS), y carga/vaciado (Dump/Reload).

Fuera de línea; configuración, utilidad y funciones programables.

En operación, la estación puede proveer de hasta 40 vistas panorámicas (overview), cada una con hasta 192 puntos, 16 puntos de cada 12 grupos; hasta 245 grupos, cada uno manejando 16 puntos en formato analógico de barras (o mensajes para lógica); y despliegues de detalle para cada función de Control del Sistema.

En detalle, cada función de control PID, tiene tendencias en tiempo real, con ajuste del eje del tiempo de 45 minutos, 90 minutos, 24 horas ó 90 segundos; para un máximo de 115 puntos.

Hasta 34 puntos en alarma, se pueden desplegar continuamente, en la columna de la derecha de la pantalla, presentadas dependiendo de su orden de severidad.

Oprimiendo sólo un botón, el operador puede obtener, vistas de detalle, grupo o panorámicas (overview), relacionadas con el despliegue seleccionado, el operador puede modificar o cambiar cualquier parámetro del proceso, no restringido en la configuración inicial.

Modo de Tendencia/impresiones (TREND/LOG)

Cuando una estación tiene la opción de disco Winchester, se puede contar con tendencias históricas y generación de reportes.

Los despliegues pueden generar tendencia de 4 variables analógicas y 4 variables digitales simultáneamente, con bases de tiempo de 5 ó 10 min. 1, 10, 30 ó 178 horas.

Cada despliegue muestra 300 valores de cada variable sobre el eje x (esto es, intervalos de 1 segundo para 5 minutos, 6 minutos para escala de 30 horas).

Es posible con el auxilio del cursor regresar en el tiempo, para examinar lo ocurrido una semana antes, o bien se pueden guardar registros en el disco flexible.

Cualquier estación del operador puede desplegar tendencias residentes en cualquier otra estación del operador.

Gráficas: con esta opción el operador puede manipular variables control con un despliegue gráfico en pantalla, en la misma forma que con un despliegue de grupo.

Al seleccionar un punto en pantalla, este cambia de color, o bien, se encuentra en alarma, adquiere color rojo. En el disco Winchester se pueden almacenar unas 100 gráficas.

Sistema de información Gerencial (MIS)

Al igual que en cada controlador, es posible, incluir una computadora "personal", para cálculos, optimización y reportes.

Para la programación se utiliza un lenguaje similar al Basic. **MODO DE CONFIGURACION:** en este modo, el ingeniero instrumentista "diseña" originalmente el sistema de control, fuera de la línea, creando completamente la base de datos de una o más estaciones del operador; y por cada controlador. A través del Teclado, se hace la asignación de los algoritmos y parámetros asociados, los puntos son etiquetados, y los elementos son alambrados por ^{PRO}gramación "softwiring".

MODO DUMP RELOAD:

Después de que la interconexión en el sistema ha sido verificado en los despliegues, el modo "D/R" permite cargar los datos apropiados en las memorias de los microprocesadores de la estación del operador, y en cada controlador.

Este modo también permite "subir" datos a un disco flexible.

MODO DE UTILIDAD:

Este modo permite realizar operaciones fuera de línea que no se realizan convenientemente en otros modos, tal como diagnósticos fuera de línea, copia de discos, despliegues de convergencia, ajuste de la estación.

REDUNDANCIA:

La redundancia y respaldo es esencial en un sistema de control distribuido. Por ejemplo en una pista de datos debe haber al menos dos estaciones del operador, para que una tome el respaldo de la otra o viceversa, los controladores pueden ser respaldados totalmente en parte, por otros controladores en la pista de datos. Finalmente para máxima seguridad, existen las estaciones de control-automático-manual que pueden tomar el control de lazos críticos.

LOOP OPTICO:

La pista óptica es inmune a interferencia eléctrica, loops de tierra (aterrizamientos), intrínsecamente segura en áreas peligrosas y aceptando a través de conexiones a pista de datos eléctrica, hasta 32 estaciones. Puede tener un perímetro máximo de 6,100 mts.

Esta comprendido de dos cables de fibra óptica consistentes de núcleo de 100 micrones y protegido con aislamiento protector, la cubierta es retardante de flama y trabaja sobre un rango de - 20 a 85° C.

Los datos viajan en forma de pulsos luminosos, en direcciones opuestas (con las manecillas del reloj y contra las manecillas del reloj), entre pares secuenciales de acopladores (OEI's).

La máxima longitud entre acopladores es de 2010 mts., aproximadamente.

El acoplador se puede considerar como un nodo, ya que es el punto al cual se conectan las estaciones, ya sean del operador o controladores. Ver la figura anexa.

CIRCUITO ELECTRICO MULTICAIDA:

Los acopladores amplifican la señal óptica, pero además funcionan como convertidores, trasladando pulsos de datos digitales de señales ópticas a eléctricas viceversa.

En cualquier punto en el que una estación del operador, una interfase a computador, un controlador, se conectan a la pista de datos, se requiere un par de OEI's, o bien enlace en cadena (tipo margarita) o conexión serie. Se pueden enlazar hasta 15 estaciones en 61 mts.; sin embargo, la falla de una estación no afecta la transmisión de datos de las otras estaciones de la cadena.

COMUNICACION:

Cada estación del circuito local eléctrico, tiene una tarjeta de microprocesador, y un modem, para acceso a la pista de datos. Los datos se transmiten a una velocidad de 500 Kbaud, para modular se usa FSK (Frequency Shift Keying) a tres frecuencias 2 Mhz para el preámbulo, 1 Mhz para el "cero lógico" y 0.5 Mhz para el "1" lógico, para indicar el fin

de mensaje, al fin de los pulsos, se usan tres pulsos de 0.5 microsegundos, seguidos de 1.5 microsegundos de tiempo fuera. El modem selecciona los trenes de pulsos de información recibidos correctamente.

En la figura anexa puede verse la redundancia, en la pista de datos, aún cuando ambos cables se rompieran entre dos OEI'S consecutivas, se mantiene la comunicación en el sistema.

En la hoja siguiente se presentan las especificaciones del sistema global de comunicación óptica.

DIRECCIONAMIENTO DE ESTACIONES:

En la pista de datos, las estaciones hacen preguntas y las responden a otras estaciones, como sea requerido. Cada estación tiene una oportunidad de hacer preguntas y se convierte en "maestra" (master, en ese momento todas las otras estaciones pueden responder potencialmente.

Cuando una estación es maestra, tiene un intervalo de tiempo fijo, para hacer preguntas y recibir respuestas. Cuando la estación ha terminado transacciones o se ha terminado su tiempo, el mastership se pasa a otra estación en una secuencia predeterminada lógica. Esto continua hasta que todas las estaciones tienen acceso a la pista de datos. El intercambio del "mastership" es llamado "token-passing", y consiste en una serie de mensajes entre dos estaciones. El Token es un símbolo conceptual de mastership. Con este concepto, se tiene un uso eficiente de la pista de datos, aún en condiciones de alto tráfico de datos, en un gran sistema.

La pista de datos se divide lógicamente en tres espacios o direcciones: Un "loop" de alto tráfico y dos loops de bajo tráfico. Al alto tráfico se asignan los monitores, estaciones del operador y las interfases a computadoras, dado que estas estaciones generalmente requieren grandes cantidades de datos. El rango de direcciones es de 1 a 31.

Los controladores generalmente no manejan grandes cantidades de datos, pero requieren acceso a la pista de datos cada medio segundo, debido a que

sus algoritmos operan a una velocidad de 1/2 segundo (actualización). Aquí se asignan direcciones en uno de los loops de bajo tráfico, para balancear la carga de tráfico. Las direcciones del Loop A son 32 a 47 y en Loop B de 48 a 63.

La comunicación se inicia a través del sistema monitor, con la más pequeña de las direcciones en las estaciones. Esta tiene le "master". Cuando el master completa todas sus transacciones, o termina su tiempo pasa el mastership a la siguiente estación en línea, es decir, a la estación que tenga la siguiente dirección. Si la estación no está presente por alguna causa, la estación maestra trata las direcciones sucesivas en su loop, hasta que recibe respuesta y pasa el Token. Cambiando el "master" el Token rota de estación a estación en el loop de alto tráfico, hasta que ha transcurrido 1/4 de segundo. Entonces pasa a la estación presente con la mínima dirección, en alguno de los 2 loops de bajo tráfico, en secuencia de direcciones. La última estación en el loop de bajo tráfico, regresa el Token al loop alto a la siguiente estación (según el número de dirección), después de la que cedió el Token al loop bajo.

El Token continúa rotando en el loop alto por 1/4 de segundo y después pasa a la estación con el mínimo número de dirección en el otro loop de bajo tráfico.

En cada estación el Token se mantiene mientras tiene transacciones, si no tiene nada que responder, el Token pasa inmediatamente a la siguiente estación presente en línea.

Está garantizado que cada estación en el loop de bajo tráfico, tiene acceso al token cada 1/2 segundo.

Es conveniente hacer un balanceo de carga entre los dos loops de tráfico bajo, para hacer más eficiente la comunicación, es decir, asignar la mitad de controladores en el loop A a las direcciones 32 a 47 y el resto en el Loop B con direcciones 48 a 63.

ESTACION DEL OPERADOR:

A) Hardware. Ver figura anexa

Los blocks funcionales son los siguientes:

Paquete MULTIBUS & MODERM: Es el archivo de la lógica central, todos los procesadores están contenidos en este paquete.

MONITOR CRT: Contiene el CRT y la circuitería analógica asociada además de las fuentes de poder.

TECLADO: Contiene el ensamble con interruptores de tecla y lógica decodificadora.

ALMACENAMIENTO MASIVO: Dos impulsores de disco flexible, con programas y datos, opcionalmente disco Winchester.

SUBSISTEMA DE POTENCIA: Generación de todos los voltajes DC, para el sistema, excepto CRT.

OEI'S: Interfases acopladoras para conectar la pista de datos optica.

El Multibus es el enlace de comunicación en el sistema, entre las tarjetas lógicas tales como los multiprocesadores, los generadores de despliegue, y el controlador de discos.

Las tarjetas multiprocesadoras están divididas en dos categorías, maestras y esclavas, controlan el bus del sistema y mantienen el comando de las líneas de direccionamiento.

La tarjeta generadora de despliegues es esclava, sólo puede ser direccionada por una tarjeta maestra.

El esquema de contención en el Bus es a través de prioridad paralela, con arbitrio determinado por el reloj del bus generado por la Tarjeta Ama de llaves (Housekeeping).

El Bus del sistema incluye las siguientes señales:

21 líneas de dirección, 16 líneas de datos bidireccionales, 8 líneas de

interrupción, líneas de comando del bus, líneas de requisición y prioridades. Se describen las tarjetas del multibus brevemente a continuación.

- Ama de Llave (Housekeeping): contiene el circuito de prioridad rotatoria paralela, el reloj de tiempo real, sensado de estado.
- Controlador de Disco: es el acceso a los impulsores de disco, es una tarjeta basada en microprocesador, esclava, recibe instrucciones para acceso a discos de cualquier maestra. Pasa datos entre los impulsores de discos y cualquier memoria residente en el multibus.
- Display I, tarjeta que acepta teclados para construir despliegues en la primer pantalla CRT.
- Alarm UMP: procesamiento de alarmas en el sistema y maneja el impresor de alarmas y contactos de alarma.
- HHUMP1, una de 4 tarjetas usadas para comunicación de hasta 4 pistas de datos y memoria común.
- Generador de Despliegues 1: maneja el primer CRT, contiene el refresco de memoria de la pantalla y la lógica y señales de tiempo al monitor.
- Videotrend de Direccionamiento por Puntos: provee la dirección por puntos de la memoria del primer CRT.

La tarjeta es esclava al primer generador de despliegues.

Los datos en su memoria se combinan con los datos del generador de despliegues para crear despliegues combinados de caracteres e imágenes con direccionamiento por puntos.

- Trend/Log (UMP): colecta datos de tendencia y los almacena en el disco Winchester.
- Modem de la Pista de Datos: permite a la tarjeta HH tener acceso a su pista de datos eléctrica (puede haber hasta 4 Modems en la estación)

- Display 2: (UMP) para construir despliegues en la 2a. CRT.
- Generador de Despliegues 2: maneja el 2o. monitor CRT.
- MIS (UMP). Un intérprete de lenguaje de alto nivel para programas de usuario.
- EIA: Interfase para computadora anfitriona con saludo (handshaking) para RS-232, RS-499.

RV/tag'

Algorithms

Functional Description

MAX1

Introduction

A key to the versatility of MAX 1 Distributed Control is the wide range of functions available. In addition to the conventional analog-control functions, a complete set of motor-control and logic-control functions can be provided for programmable logic control operations normally associated with batching and safety interlocking. Functions specifically designed for data acquisition, and for use on the data highway, are also included. (All algorithms can be operated in a DDC mode from a host computer over the data highway.)

A summary of the algorithm selections is tabulated at right.

Algorithm Selection

Loop Control

PID
PID Supervisory
PID Ratio
PID Gap
Auto/Manual Bias
Adaptive Tuning
Participation

(Choice of Current Output or Triac Switching)

Loop Auxiliary

Summer
Multiplier
Divider
Calculator
Mass Flow
Integrator
Lead/Lag
Real Alarm
Override
Select

Logic Control

Logic Function Sequencer
Digital Status and Alarm
Time Delay
Valve Controller
Motor Controller
Positioner
Ramp Generator
Event Counter
Bit Receive

Dedicated Backup (Any Function)

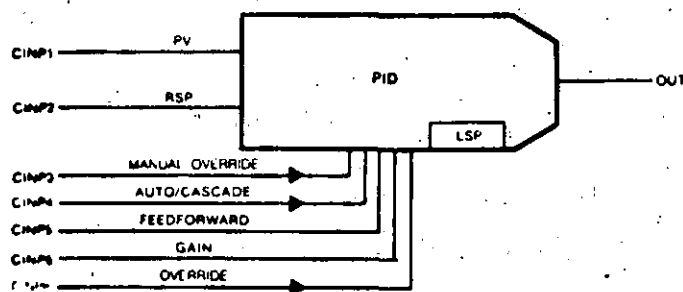
Control Algorithms

01 PID CONTROLLER

The PID Controller algorithm executes basic PID control (proportional, integral, derivative), with adjustable proportional, reset or rate values in any combination. The controller can provide bumpless transfer into and out of cascade mode (initialization capability). PV tracking, direct- and reverse-acting output, direct- and reverse-acting display, and set-point ramping (for smooth set-point change) can be specified.

By proper configuration, the PID Controller can be made to execute a weighted error-squared algorithm. The controller also has built-in process-variable and deviation-alarm capability, as well as output limiting.

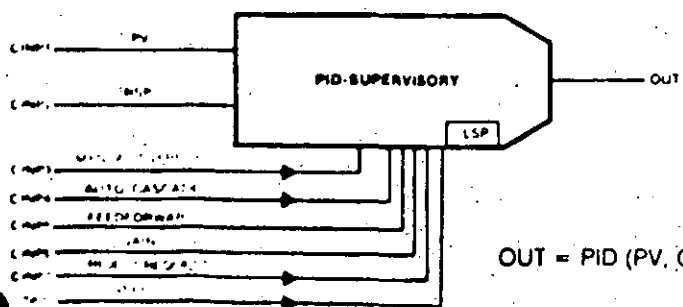
Manual override (automatic transfer relaying), set-point clamping, and automatic mode-switching on the basis of logic conditions within the MAX 1 Controller, plus feed-forward capability, are also provided.



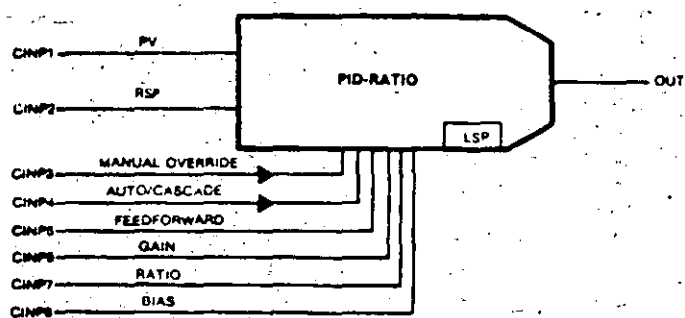
$$OUT = PID (PV, SP) + Feedforward$$

05 PID SUPERVISORY CONTROLLER

The PID Supervisory Controller algorithm provides all the basic capabilities of the PID Controller, except that its computer-mode operation uses the computer transfer word as a working set point, rather than an output value.



$$OUT = PID (PV, Computer Set Point) + Feedforward$$



$$OUT = PID(PV, RSP \times Ratio + Bias) + Feedforward$$

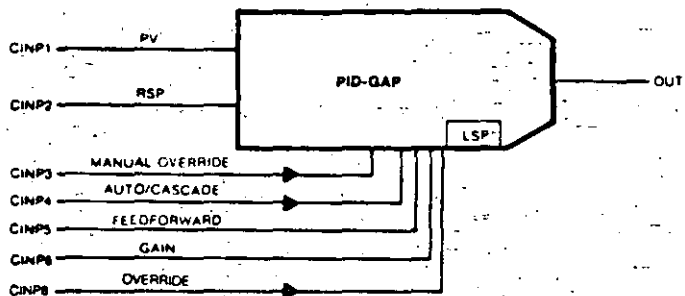
02, 03, 04, PID RATIO CONTROLLER

The PID Ratio Controller algorithm executes basic PID control but, in the "cascade" mode, uses a working set point formed from the ratio times the remote set-point input (RSP), plus a bias term.

To provide automatic balancing of ratio loops, three initialization forms are provided. While in automatic mode (not using the remote set point) or manual mode the process-variable input can be back-calculated to provide bumpless transfer into, or out of, ratio control (02). Alternatively, either the ratio term (03) or the bias term (04) used to compute the working set point can be made to "float", so that the process-variable input, when executed through the ratio expression, equals the local set point currently used.

Each of these forms of initialization provides a different characteristic, but all lead to bumpless transfer to ratio control. In addition, the working set point can be biased from an external signal.

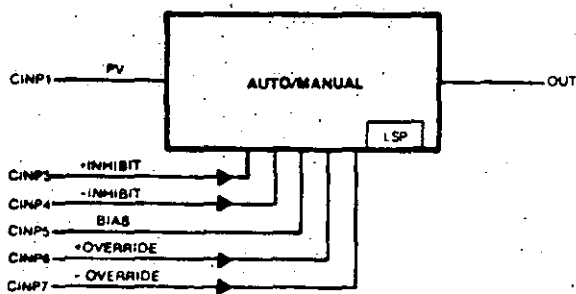
The Ratio Controller has all the optional capabilities of the basic PID controller.



$$OUT = PID(\text{Modified Deviation}) + Feedforward$$

06 PID GAP CONTROLLER

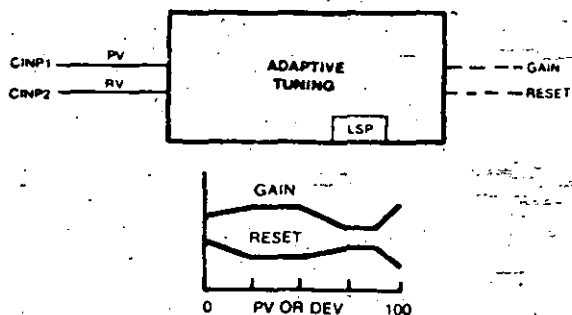
The PID Gap Controller algorithm provides the basic capabilities of the PID Controller, with the addition of a second gain (at an adjustable preset value) within a deviation zone around zero. This second gain can be set at zero value, if desired.



$$OUT = PV + Bias + \text{External Bias}$$

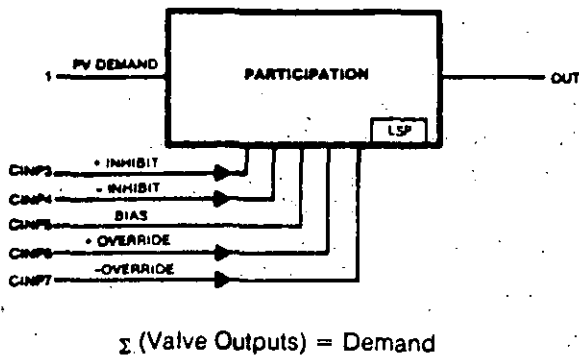
11 AUTO/MANUAL/BIAS

The Auto/Manual algorithm permits biasing the input signal in the automatic mode; in the manual mode, the output is under direct control of the operator. Explicit raise/lower inhibits and overrides are provided, to permit sophisticated interlocking control strategies.



31 ADAPTIVE TUNING

The Adaptive Tuning algorithm is a special form of function generator which—rather than producing an output—dynamically adjusts the tuning parameters of a specified PID controller algorithm. The two tuning parameters—gain and reset—are adjusted on the basis of piece-wise linearization, depending upon the value of the PV input, or its deviation from a target, to the Adaptive Tuning algorithm.

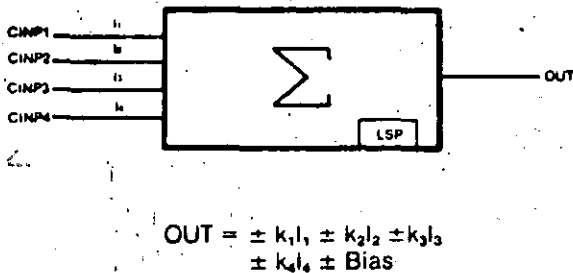


12 PARTICIPATION

The Participation algorithm permits the output of a single controller to operate up to eight valves, in a participation strategy, to maintain total demand. The outputs of the valves are maintained in a specified ratio and bias, until one valve reaches its hard end-point limit.

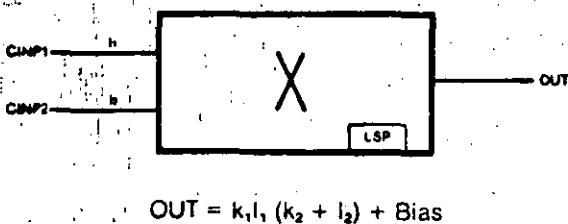
The Participation algorithm can be specified to maintain ratios and reduce demand at this point, or to maintain demand by failing to observe the strict ratio of the output channels. In addition, the Participation algorithm provides feedback to the primary controller (its input source) to prevent windup should all valves reach their limits.

Loop Auxiliary Algorithms



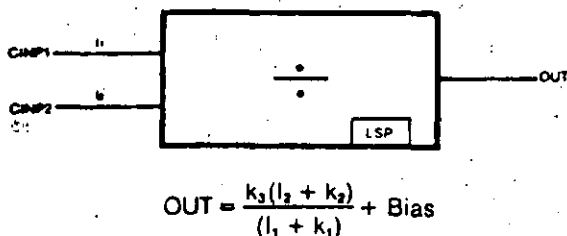
13 SUMMER

The Summer algorithm provides a conventional four-input weighted sum, with bias. It can also provide a non-conventional relative sum, in which the output represents a percent (the value of the sum divided by a specified limit). If initialization is specified, the Summer will back-calculate its Input 1 to maintain proper bumpless transfer.



14 MULTIPLIER

The Multiplier algorithm forms the product of its two inputs, I_1 and biased I_2 , and adds a bias. If initialization is specified, Input 1 is back-calculated to maintain bumpless transfer.



15 DIVIDER

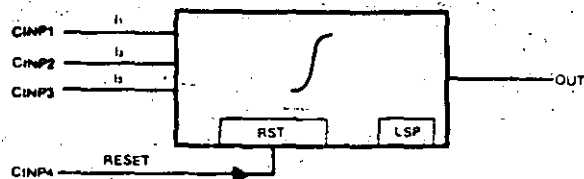
The Divider algorithm provides division of Input 2 by Input 1 and adds a bias. If initialization is specified, Input 1 will be back-calculated to maintain bumpless transfer of upstream controller algorithms.



$$OUT = k_1 \sqrt{\frac{l_1(l_2 + k_2)}{(l_3 + k_3)}}$$

16 MASS FLOW

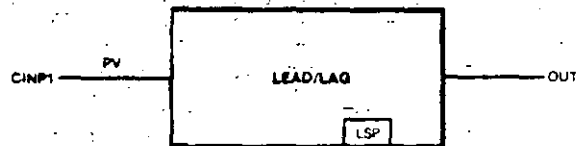
The Mass Flow algorithm computes the mass flow of a compressible fluid, using an expression based on the Gas Laws. Compensation for absolute temperature and pressure are included in the computation. Low-flow cutoff is available on Input 1.



$$OUT = \int_0^t (k_1 I_1 + k_2 I_2 + k_3 I_3) dt$$

17 INTEGRATOR

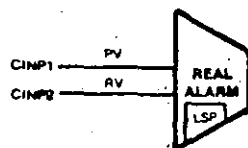
The Integrator algorithm provides the weighted time integration of up to three inputs, and maintains the integrated value in a special holding register which can be read out at the CRT. In addition to the three analog inputs, it accepts a digital input which can reset the output to a preset value.



$$OUT(S) = \frac{(1 + T_{LD}S)}{(1 + T_{LG}S)} I(S)$$

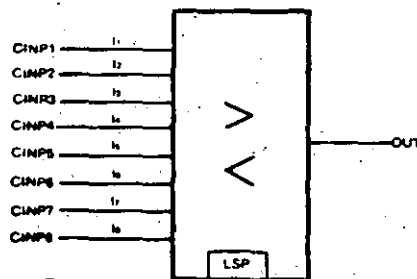
18 LEAD/LAG

The Lead/Lag algorithm provides conventional lead/lag action, with variable lead and lag time-constants.



20 REAL ALARM

The Real Alarm algorithm permits multiple-level alarm on process inputs or other variables. It provides not only high and low alarms, but also high-high, low-low and rate-of-change alarms. As with all algorithms, alarm-status condition bits can be channelled to the digital I/O drivers.

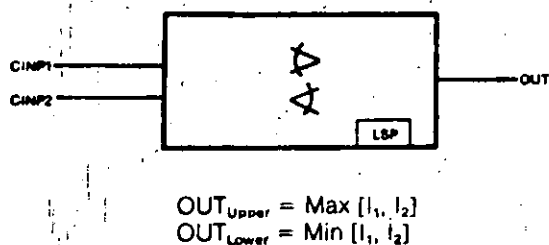


$$OUT_{HI} = \text{Max Input}$$

$$OUT_{LO} = \text{Min Input}$$

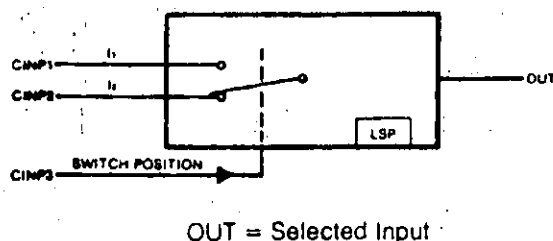
24, 25 OVERRIDE

The Override algorithm selects the minimum (25) or maximum (24) of up to eight inputs as its output. Non-selected inputs can be prevented from deviating from the value of the output by more than the override limit (a constant specified by the user), to prevent windup of upstream controllers.



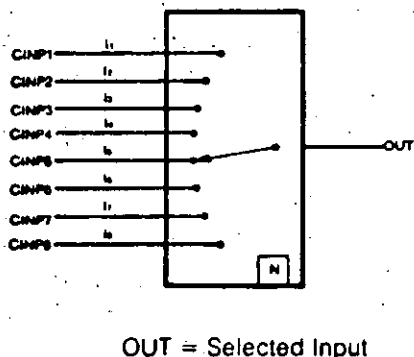
21, SELECT 22

Like the Override, the Select algorithm selects maximum (21) or minimum (22) of its inputs, using weighted values of Input 1 and Input 2.



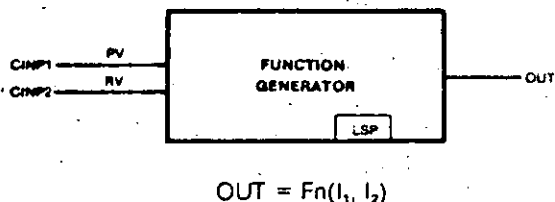
23 TWO-POSITION SWITCH

The Two-Position Switch algorithm selects as its output one of two weighted inputs, on the basis of the state of a digital input.



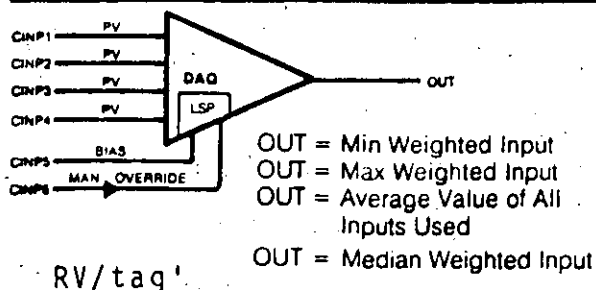
26 EIGHT-POSITION SWITCH

The Eight-Position Switch algorithm selects as its output one of up to eight inputs, on the basis of the Local Set Point, which must be an integer value of 1 through 8.



07, 08, FUNCTION GENERATORS 09, 10

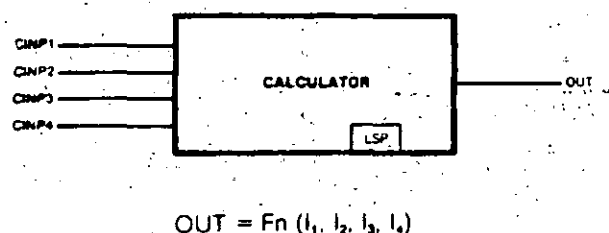
Four Function Generator Algorithms provide a variety of function characterizations on the PV input, or on the deviation of the PV from a target value. These include an S-curve function (07), a four-segment function (08), a polynomial function (09) and an exponential function (10).



27 DATA ACQUISITION

The Data Acquisition algorithm provides the means for maintaining conversion data and current values of up to 4 analog inputs, for indication at the Operator Station or for control purposes. Optional manual output capability is provided. Four functions are available, with weighting factors on the inputs.

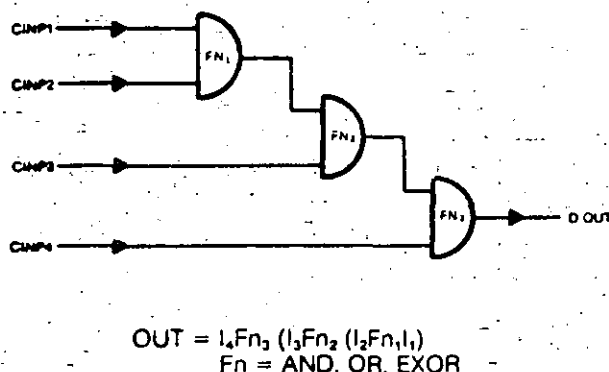
RV/tag



28 CALCULATOR FUNCTION

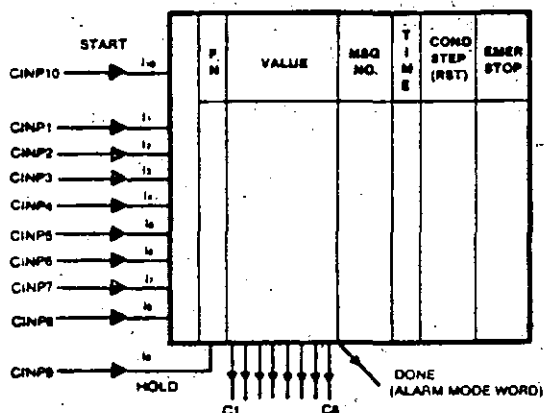
A variety of preselected functions involving a choice of constants which can be used for creation of specific signal manipulation. One such example is

$$OUT = \frac{k_1(I_1 + k_2)(k_3 + k_4I_2 + k_5I_3)}{(k_6 + I_4)}$$



34 LOGIC FUNCTION (4-Channel)

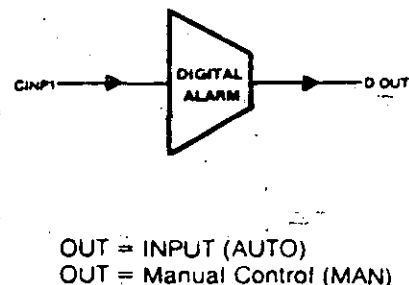
The Logic Function algorithm provides four independent, four-input, hierarchical logic functions. Relatively complex logical functions may be simulated in each of the four channels of this algorithm. Each of the three gates making up a channel can be programmed to perform an AND, OR or EXCLUSIVE OR function.



38 SEQUENCER

The Sequencer (Sequence Generator) algorithm essentially simulates a drum programmer, through the use of digital firmware. It consists of eight steps of sequence, controlling eight status outputs. For each sequence step, the condition of the eight outputs, a message, a step-sequence time, and reset or emergency-stop jump conditions can be specified. Eight digital inputs may also be specified to operate independently, or in conjunction with step time, to indicate when the Sequencer should advance to the next sequence condition.

Unlike drum programmers, this algorithm provides a "conditional jump". During execution of a sequence step, a specific logical condition is monitored; if the condition occurs, the conditional jump will be made, outside the normal sequence. Larger sequence packages can be created by linking together multiple time slots with sequencers.



32 DIGITAL STATUS/ALARM (8-Channel)

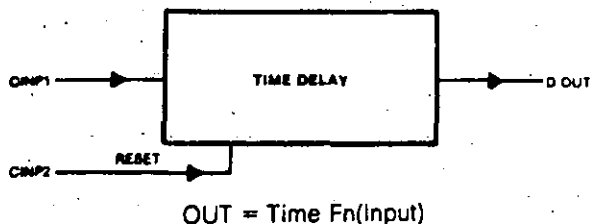
The Digital Status/Alarm algorithm provides eight independent channels of alarm, or status monitoring, of digital inputs.

Its three uses are:

- To establish status messages on otherwise non-accessible digital signals, such as on/off conditions, or interlock conditions in a particular algorithm;

- To establish alarm conditions on individual digital signals, including input signals from the Digital I/O Terminal Board; and

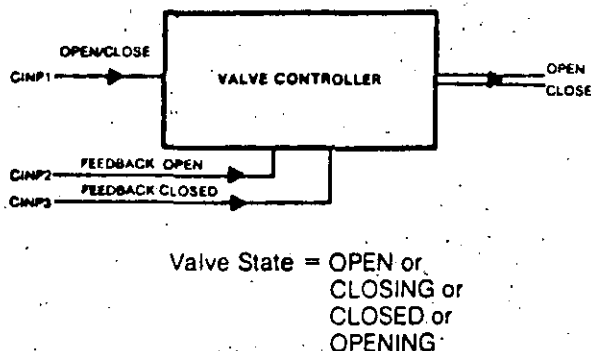
- To create physical output signals at the Digital I/O Terminal Board.



33 TIME DELAY (4-Channel)

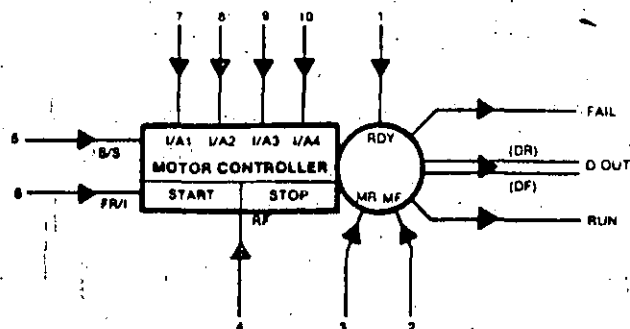
The Time Delay algorithm provides four essentially independent channels of time-delay-type functions on four digital inputs. Each of these delay functions may be specified as one of four types:

One-Shot, Retriggerable One-Shot, Condition Extend Condition Delay.



35 VALVE CONTROLLER (4-Channel)

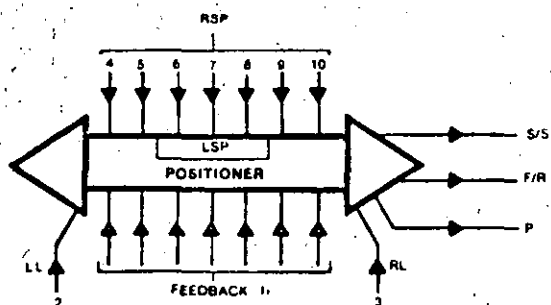
The Valve Controller algorithm provides four independent channels of valve control for solenoid-actuated (on/off) valves. Checks of position feedback and positioning time are made by the algorithm to detect failure conditions and initiate alarms.



36 MOTOR CONTROLLER (2-Channel)

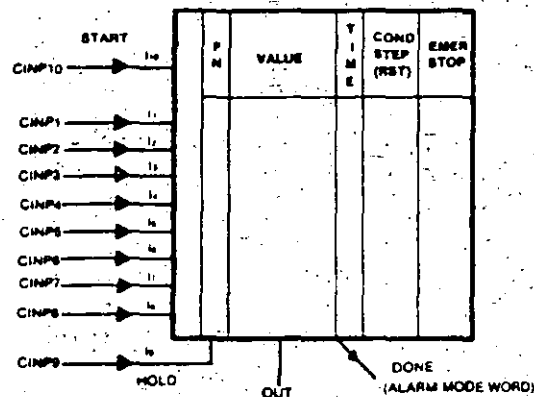
The Motor Controller algorithm provides two independent channels, each representing a motor-control mechanism equivalent to approximately 25 relays in a relay ladder diagram. It consists of 10 inputs; typically, 2 are control input, 3 are feedback inputs from motor contactors or motor-speed detection devices, 4 are interlock and alarm inputs, and the last is a "ready" signal. The algorithm produces both forward- and reverse-status bit outputs, and a control-channel output to a Digital Input/Output Terminal Board to drive a motor through interposing relays.

In manual mode, it responds only to "START/STOP Reverse" from the Operator Station. In auto mode, it responds to the control signal inputs from within the loop or a motor-control device. In computer mode, it responds only to computer commands for start and stop.



37 POSITIONER (2-Channel)

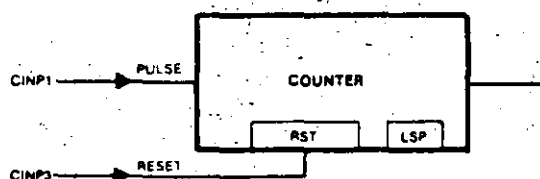
The Positioner algorithm is most commonly used to produce the control signals for motor controllers. In addition to the hard right- and left-limit inputs, which cause the Positioner to stop operation of a connected device, it has feedback and remote set-point inputs which can be routed to the Positioner algorithm from Digital Input/Output Terminal Boards. In the automatic mode, it provides a position set point through the Local Set Point of the slot in which the Positioner algorithm is configured.



OUT = Ramp- and Soak Profile Function

39 RAMP GENERATOR

The Ramp Generator algorithm, like the Sequence Generator, consists of eight sequential steps. In this algorithm, however, the output is a single analog value, which will frequently be used as the remote set point of a controller. For each step, the value of the "set point" can be specified as either a ramp value or a soak value. The conclusion of a sequence step can be a function of time and/or a function of a digital status input. The same conditional-step capability available in the Sequencer algorithm is provided, as are time specifications for each step. Larger programs can be created by linking together multiple time slots, each containing this algorithm.



OUT = $\sum (\text{Input Events})k_i$

41 EVENT COUNTER

The Event Counter algorithm uses a discrete input and counts the number of positive transitions.

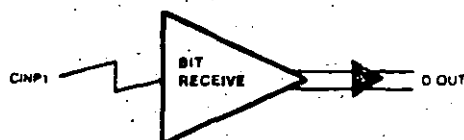
Communication Algorithms



OUT = Output of Remote Analog Point

19 ANALOG RECEIVE

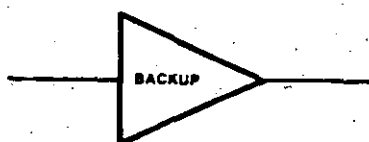
The Analog Receive algorithm permits acquiring values from another controller or other station on the data highway. These may be input values, output values of primary or auxiliary slots, or local set points. The user specifies the station and point number and the particular item of data required. This function can also be achieved in any of the 248 "data points" of a controller, as well as in any time slot.



OUT = Output of Remote Digital Point

40 BIT RECEIVE

The Bit Receive algorithm provides the means to acquire 1 bits (digital input, digital output, or alarm word) from another controller via the data highway, in a technique similar to that used for the Analog Receive algorithm. This function can also be achieved in any of the 248 "data points" of a controller, as well as in any time slot.



RV/tag

63 BACKUP

The Backup algorithm provides the means by which a controller can interrogate another controller data base to obtain dedicated backup of the entire controller file, or of selected slots.



LEEDS & NORTHRUP SYSTEMS
A UNIT OF GENERAL SIGNAL

Sumneytown Pike · North Wales, PA 19454
TELEPHONE: 215 643-2000 · CABLE ADDRESS "LEEDSNORTH"

We put you in control.

BIBLIOGRAFIA

Manual 277210 Rev D (PDS550)

Descripción Funcional Controlador Max 1 L&N

Manual 277254 Rev C (SL-06)

Descripción Funcional Sistema Pista de Datos Max 1 L&N

Manual 277253 Rev. C (PDS582)

Descripción Funcional Estación del Operador Max 1 L&N

Hoja de datos 277200 Rev F (SA-00)

Descripción Funcional Algoritmos Max 1 L&N.

Notas del Curso Introducción al Control de Procesos Industriales
FI UNAM. Centro de Educación Continua, 1985

DISTRIBUTED DIGITAL SYSTEMS APPLIED TO UTILITY BOILER CONTROL

Roger A. Leimbach. Steam. Nuclear Power Systems
Leeds & Northrup Co. March 1982.

DISTRIBUTED CONTROL "A STEP BY STEP APPROACH FOR MODERNIZING CEMENT PLANT
CONTROL SYSTEMS

D.M. Steelman
Leeds & Northrup Co. 1985

APLICACIONES DE LOS SISTEMAS DE CONTROL DISTRIBUIDO

B. Paredes
Industrial World. Diciembre 1985.

II.- Cuatro Ejemplos de Sistemas de Control Distribuido:

Como puede apreciarse en la siguiente secuencia de figuras, de los sistemas INFI 90 de Bailey, WDPFII de Westinghouse, los sistemas de C.D. en general están constituidos de los siguientes elementos básicos fundamentales:

- A) Estaciones de Control o de Procesamiento Distribuido Locales o Remotos
- B) Estaciones del operador ó Interfase Hombre-máquina.
- C) Medio de Comunicación.

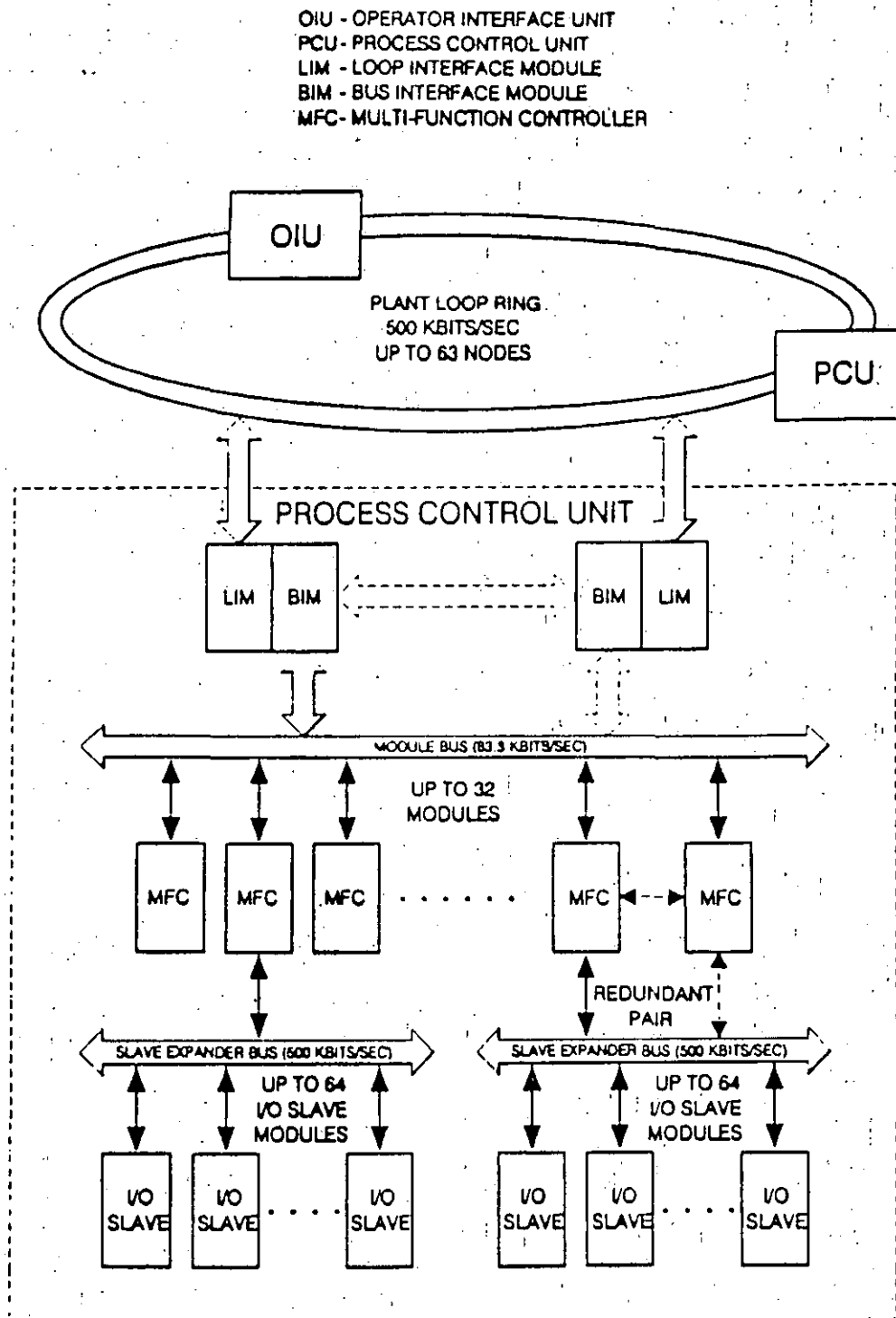
Los elementos anteriores permanecen invariablemente en cada uno de los sistemas. Existen variaciones respecto a la complejidad de cada uno de los elementos. Dependiendo del mercado o la aplicación, los fabricantes asignan más o menos funciones a cada uno de los elementos del S.C.D.

Así, puede decirse que los elementos del S.C.D. en los ejemplos anteriores pueden ser:

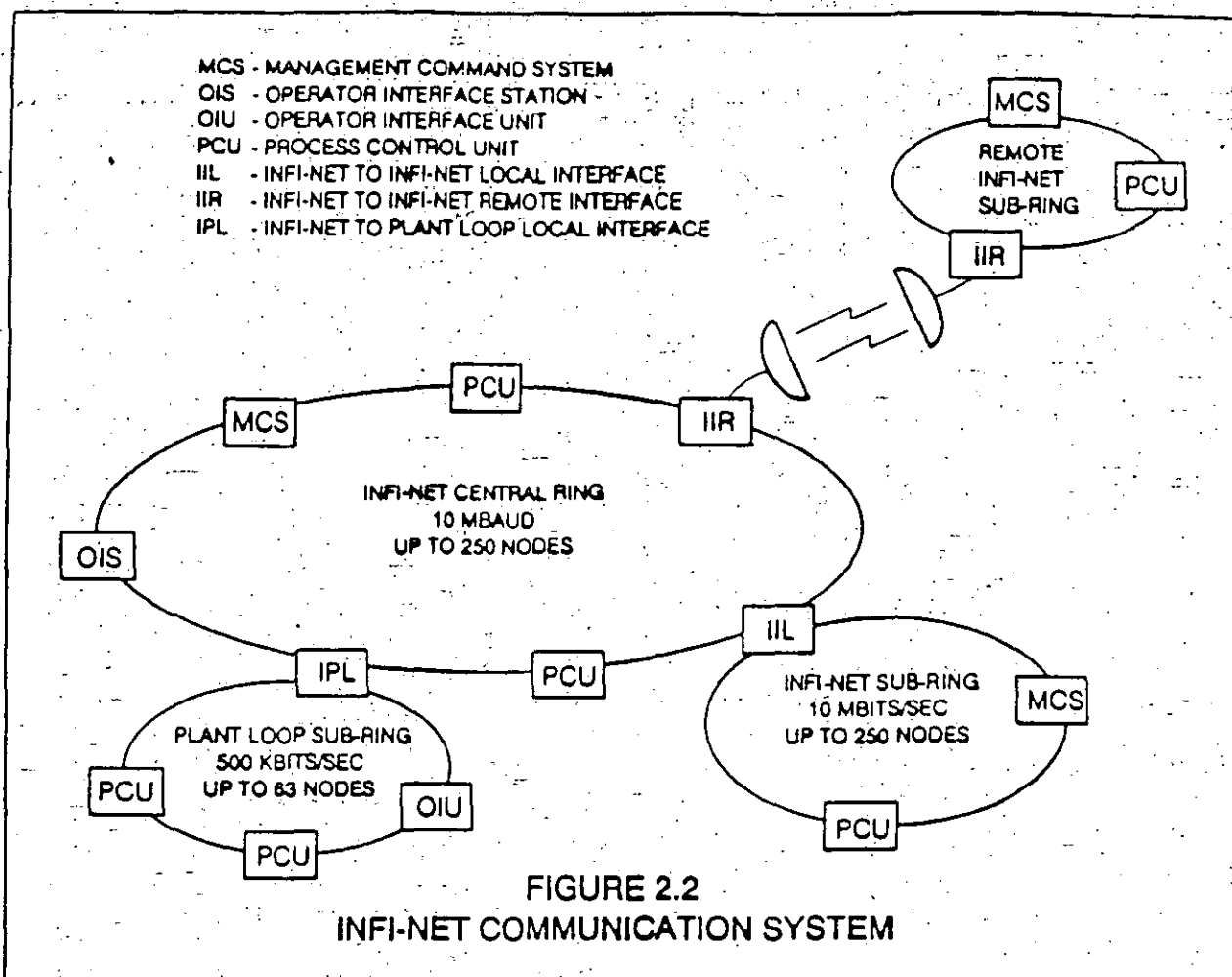
	INFI 90	WESTINGHOUSE WDPF	HONEYWELL	L & N
ESTACIONES DE CONTROL	Process Control Unit	Distributed Processing Unit	Basic Extended Multifunc.	Basic Extended Multifunc. DPU
MEDIO DE COMUNICACION	Central Ring Sub Ring	Westret II Datahighway	Datahighway	Optical & Electrical Datahighway
INTERFASE H/M	Management Command System Workstation	Historical Data Reportes Computer I/F Storage/Re Engineers Logger	Universal Station Workstation	Varios Niveles Similar a Westinghouse y a Honeywell

Varias cosas resaltan de la secuencia de figuras anteriores:

- (1) Los elementos básicos de un S.C.D. permanecen
- (2) Cada fabricante asigna su propia terminología a los elementos del S.C.D.
- (3) El nivel y la complejidad de las tareas asignadas en cada caso a cada elemento, origina que existan, distintos "niveles" de dispositivos para la solución de un problema particular, es decir, controladores bá-



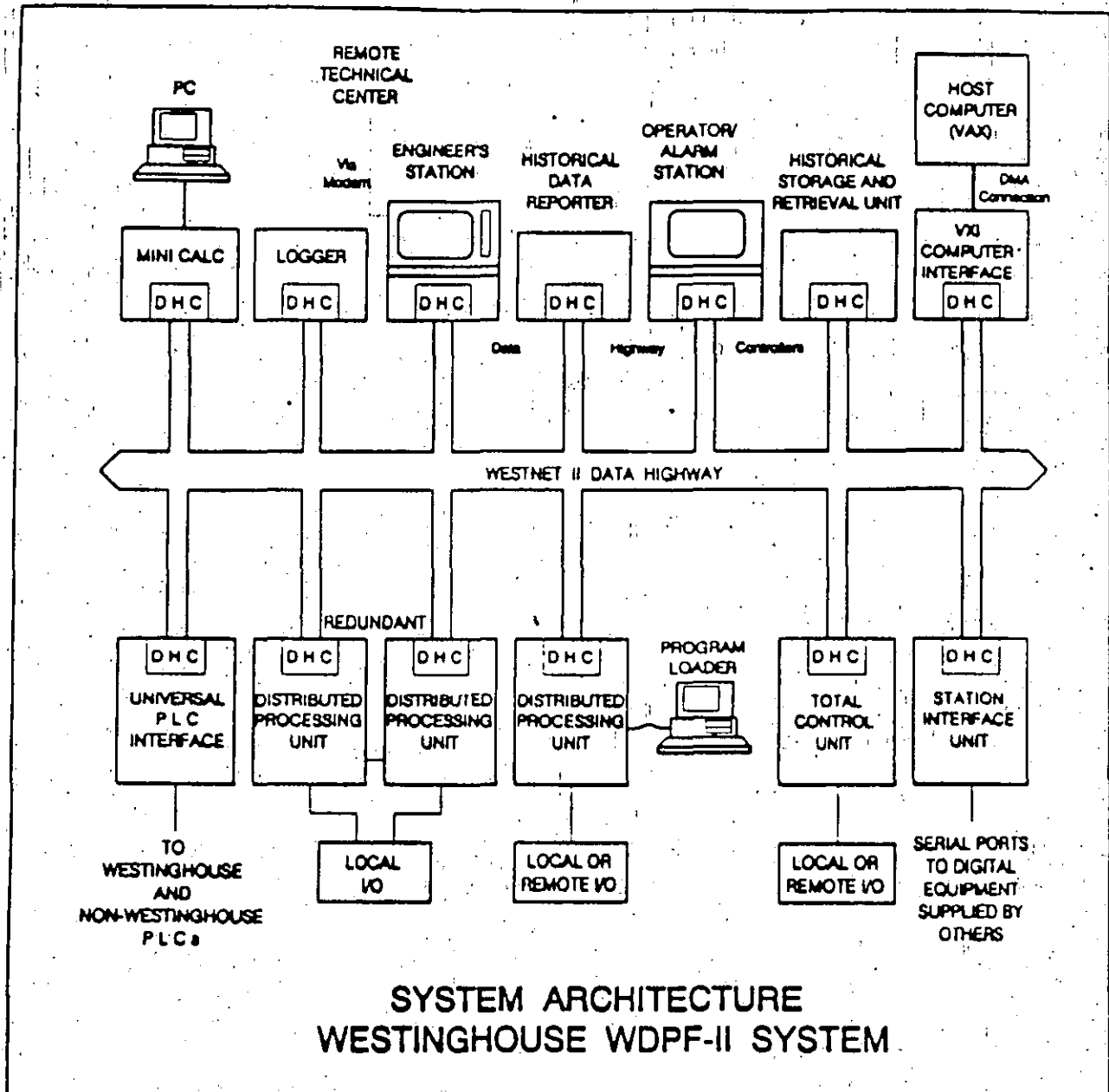
PLANT LOOP AND REDUNDANT PROCESS
 CONTROL UNIT
 ARCHITECTURE

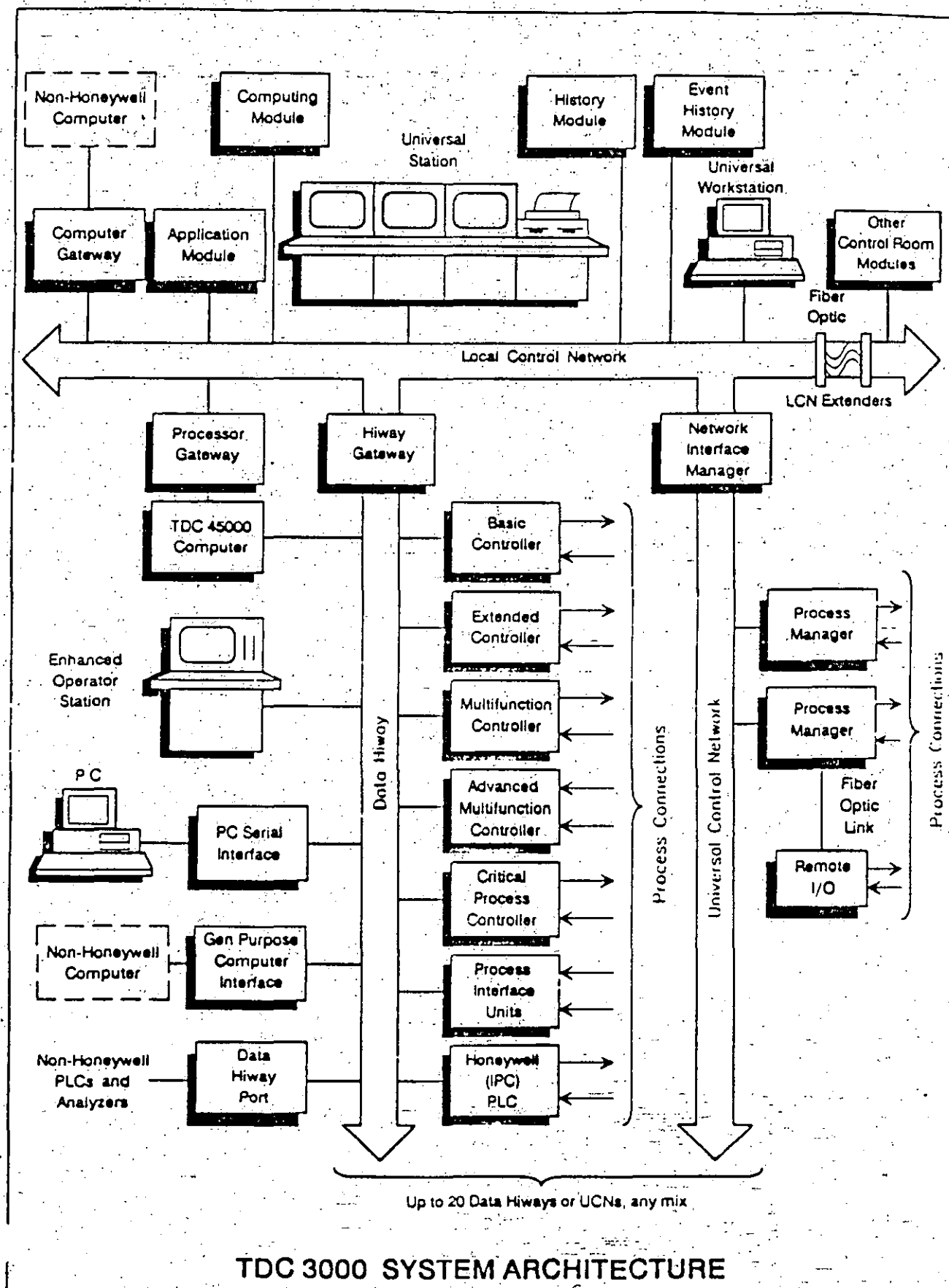


TERMINOLOGY CROSS-REFERENCE

Function	INFI 90	Acronym	NETWORK 90	Acronym
Communications	INFI-NET	—	Plant Loop	—
Operator's Console*	Operator Interface Station	OIS	Operator Interface Unit	OIU
Communications Interface Module	Network Interface Slave	NIS	Loop Interface Module	LIM
Bus Interface Module	Network Processor Module	NPM	Bus Interface Module	BIM
PCU Bus	ControlWay	—	Module Bus	—
Controller	Multi-Function Processor	MFP	Multi-Function Controller	MFC
Controller I/O Bus	Slave Bus	—	Expander Bus	—
Computer Interface	Network Interface Unit	NIU	Computer Interface Unit	CIU

*In addition to the OIS and OIU, the Management Command System (MCS) is a large operator station which can be used by either INFI 90 or NETWORK 90.





TDC 3000 SYSTEM ARCHITECTURE

sicos, extendidos, multifunción, etc; o bien estaciones de trabajo universal, o bien separar las tareas de una estación de trabajo universal y tener una estación de gráficas, una estación de ingeniería, una estación de comunicaciones, etc.

(4) Casi en todos los casos se manejan NIVELES de redundancia diversos:

- Controlador a controlador
- Estación de trabajo a estación de trabajo
- Medio de comunicación redundante
- Fuentes de alimentación redundantes
- Interfases I/O redundantes
- Estaciones manuales

III.- Evolución de los S.C.D.

Una vez vistos someramente algunos ejemplos de S.C.D. y hecha la consideración de la permanencia de los elementos básicos, a continuación haremos un vistazo a la evolución de un caso particular de S.C.D.

AÑO	CARACTERISTICA SOBRESALIENTE
1980	* Primer controlador <u>con</u> algoritmos de lógica, control de lazo y secuencias tipo lote. - Estación de Ingeniero local (mini estación).
1981	* Estación de registros para salvado de "recetas de control y conexión a otros registradores y computadoras (usado como I/F).
1982	* Primera pista de datos de fibra óptica. - Estación del operador con gráficas interactivas.
1983	* Capacidad extendida para tendencias, archivado y registros.
1984	* Capacidad cuadruplicada del controlador en su manejo de lazos de control. - Desarrollo de <u>n</u> algoritmos para una adquisición de datos expandida.
1985	* Interfase a computadores externos DEC tratando de abrir la arquitectura del sistema, interfases a dispositivos externos, PLC's, cromatografos. - Adquisición de datos para entradas de bajo nivel.
1986	* Computadora personal embebida con capacidad de manejo de "funciones programable". - La misma capacidad a <u>lo</u> en las estaciones del operador.
1987	* Impulso al sistema de entrada-salidas paralelo, con incremento en la velocidad de rastreo (62.5 ms), capacidad de hasta 480 DI/O, indicación de canal, <u>re</u>emplazo en caliente. - Interfase para IBM PC, para el uso de software existente en el mercado, lotus, etc.
1988	* Incremento de capacidad de entradas tipo pulso. - Estaciones del operador con pantallas remotas y 25 pulgadas.

1992

- * Estaciones de procesamiento distribuido DPU'S, micro procesadores de 32 bits 80386/486.

Discos duros de 440 MB.

Un sólo procesador para: rastreo de entradas-salidas, pista de datos, procesamiento de los datos y señal digital.

- Todos los lazos actualizados 8 veces/seg.
- Todas las funciones de adquisición de datos actualizada 2 veces/seg.
- Logica actualizada cada 10 ms.
- Procesamiento de entradas digitales cada 1 ms (usado como registrador de secuencia de eventos).

Configuración: por medio del uso de bibliotecas de "bloques de control", "bloques de datos", "bloques programables", "macrobloques".

- * Estación de trabajo de operación y manejo de información.

- Ambiente de trabajo amigable windows 3.0

La siguiente secuencia de transparencias mostrará brevemente la evolución de:

- Controladores.
- Interfases Hombre/Máquina.
- Sistemas de entrada-salida.
- Algoritmos y tipos de configuración.
- Medio de comunicaciones.

Desde los sistemas originales hasta los actuales.

CONTROLADORES

AÑO MODELO

CARACTERISTICAS RELEVANTES

1980

550

CONTROLADOR BASICO: Microprocesador Z80

CAPACIDAD: 8 Salidas de control

16 Ranuras logicas para algoritmos

30 Entradas analogicas 4-20 mA CD.

Linearizadas

120 Entradas digitales, 120 salidas digitales.

PERIODO DE EJECUCION: $\frac{1}{2}$ segundo.

RASTREO DE SEÑALES ANALOGICAS: Una vez cada $\frac{1}{2}$ segundo.

TARJETAS QUE CONFORMAN EL CONTROLADOR:

(1) Regulador de 5V.

(1) Regulador de 5V (respaldo).

(1) Modem para pista de datos.

(1) Procesador de pista de datos.

(1) Puerto para miniestación.

(1) Procesador de algoritmos.

(1) Base de datos.

(1) Tarjeta de 8 salidas: 4-20 mA.

(1) Procesador de adquisición de datos digitales.

(1) Tarjeta de adquisición de datos analogica.

(2) Ranuras de expansion futura para modem y base de datos.

1984

552

CONTROLADOR EXPANDIDO, MULTIPROCESADOR Z80

CAPACIDAD: 16 Salidas de control

32 Ranuras para algoritmos (Bloques tipo PID, logica, etc.)

248 Bloques medianos para adquisición de datos, calculos, transformaciones. (Data Points)

3000 Bloques pequeños programables por Excel, Parologica, Batch, etc.

60 Entradas de alto nivel 4-20 mA.

480 Entradas-Salidas digitales. Periodo de rastreo 62 - 5 ms.

240 Entradas de bajo nivel (termopar, RTD) multiplexadas.

Entradas digitales rastreadas 8 veces por segundo.

TARJETAS QUE CONFORMAN ESTE CONTROLADOR:

- (1) Convertidor analogico / digital
- (1) Procesador-Linearizador de entradas-salidas digitales.
- (1) Base de datos para configuración y Data Points.
- (1) Funciones programables
- (1) Procesador de algoritmos
- (1) Procesador de pista de datos
- (1) Modem
- (1) Procesador de funciones programables.
- (1) Procesador programable de comunicaciones para dispositivos externos (PLC'S, INTERFACES, etc.)
- (2) Tarjetas de 8 salidas c/u de 4-20 mA CD, Convertidor digital/analogico.

1990

DPU

SISTEMA MAX 1000

UNA SOLA TARJETA MULTIPROCESADORA.

PROCESADOR 32 BITS (386/486)

PROCESADOR DE 16 BITS Y 8 BITS

- * Entradas/salidas (8 Bits)
- * Pista de datos (16 Bits)
- * Procesador de señales digitales y algoritmos (32 Bits)
 - Lazos analógicos actualizados 8 veces/seg.
 - Funciones de adquisición de datos 2 veces/seg.
 - Logica actualizada cada 10 ms.
 - Entradas discretas: 1 ms. (secuencia de eventos)
- * Biblioteca con 48 algoritmos de control, para secuencia, control modulante en 32 funciones de control de tamaño "grande".
- * Biblioteca de 24 cálculos analógicos y digitales para hasta 248 bloques de tamaño medio.
- * Funciones programables con Excel en la misma tarjeta DPU, para implementar secuencias de control, lógica, optimización o comunicaciones según la necesidad del cliente.

CAPACIDAD:

- * Manejo de 25,000 puntos etiquetados de entradas/salidas.
- * Manejo de 10,000 elementos lógicos y 3800 lazos de control.

INTERFASES HOMBRE - MAQUINA

<u>AÑO</u>	<u>MODELO</u>	<u>CAPACIDADES RELEVANTES</u>
1980	MINIESTACION	* Manejo de 30 entradas analógicas. * Teclado tipo membrana con funciones fijas. * Pantallas "predefinidas" para vistas de "de <u>t</u>alle" y grupo. * Liston de alarmas.
1982	SIN	Estación de gráfica 15 pulgadas graficas ti po barra limitadas.
1982	575	Estación de registro para discos flexibles de 8".
1983-84	580	Estación del operador. * Multiprocesador (6 Z80) * (2) Unidades de disco flexible de 8 pulgadas * (1) Disco duro 8 M. * (1) Puerto para impresora * Manejo de 1300 puntos etiquetados para gráficas y tendencias. TARJETAS: (1) Controlador de disco (1) Procesador de alarmas (1) Procesador de Display (1) Generador de Display (1) Tarjeta analógica (1) Tarjeta (DAV) (Videodireccionable) (4) Tarjetas pista de datos (4) Modem.
1986	582	MULTIOPERADOR * Multiprocesador (10) Z80's * 1.7 Mbytes Ram. * 2 Impulsores disco flexible * Disco duro de 32 Mb. * (4) Puertos para impresora * Manejo de 4000 puntos etiquetados para gráficas y tendencias. * Dos pantallas. * Sistema de información gerencial usando Excel. * Interface a computador externo. HARDWARE: (1) Tarjeta HouseKeeping. (1) Controladora de disco

- (1) Tendencias
- (1) DAV (Dirección del Video)
- (2) Generador de Display
- (2) CPU del Display
- (1) Procesador de alarmas
- (4) Pista de datos
- (4) Modem
- (1) CPU de Sistema de Manejo Gerencial
- (1) Interface EIA para computador externo.

CAPACIDAD:

- 124 Controladores
- 4096 Puntos etiquetados
- 1200 Puntos de alarma
- 245 Vistas de grupo
- 40 Vistas panorámicas
- 105 Tendencias dedicadas.

1989 585

ESTACION DEL OPERADOR DATAPAC

- * Procesador de 32 bits.
- * 9 procesadores específicos
- * 25,000 puntos etiquetados

1989 586

PROCESADOR DE DATOS HISTORICOS

- * Manejo de 5000 alarmas y eventos
- * Hasta 45 000 puntos etiquetados
- * Reportes configurables por el usuario
- * Disco optico de 800 Mb.

1991 MAX 1000

ESTACION DE TRABAJO

CONFIGURACION: 2 pantallas como administradoras de operación: con sus procesadores gráficos.

1 pantalla como administrador de información: con su procesador de aplicaciones.

Procesador de tiempo real a 4 pistas de datos hacia el proceso.

Procesador de aplicaciones:

- * Procesador de 32 bits (80386 y superior)
- * Sistema operativo UNIX
- * 16 MB D Ram Residente
- * Cinta de respaldo de 150 MB.
- * Disco optico de 800 MB.

Manejo de * 25 puntos etiquetados

- * 5000 alarmas y eventos
- * 5000 Puntos históricos
- * 4 pistas de datos opticos

Procesador de gráficos:

- * Microprocesadro de 32 bits 80486
- * Ram de 16 MB
- * Disco duro de 440 MB
- * Graficos VGA

IV.- Conclusiones

La concepción original de los S.C.D., implicaba tanto una distribución "física" o "geográfica", como desde el punto de vista del procesamiento de los distintos algoritmos de control.

En un principio los S.C.D. se conceptualizaron como sistemas "autónomos" para realizar una aplicación específica, ya sea control tipo lote, analógico o lógico. Sin embargo, este tipo de sistemas no podía permanecer aislado de lo que sucedía en otras secciones de la planta. Algunas otras secciones del proceso o sistemas requerían de información del S.C.D. o bien, las secuencias de algoritmos, "recetas" o configuración, requerían información de otros sistemas en la planta.

Con frecuencia la capacidad del sistema quedaba corta con respecto a nuevas necesidades creadas con cambios en el proceso. Esto obligó a aumentar las capacidades de procesamiento así como a el desarrollo de interfaces de comunicación a otros computadores o dispositivos tales como PLC'S, etc.

Las estaciones del operador que originalmente pretendían manejar en un solo paquete tanto los datos, alarmas, etc., así como gráficos, tendencias, configuraciones, optimizaciones, etc., con el tiempo, evolucionaron a un esquema en el cual se utilizan procesadores y pantallas dedicadas para una función específica, ya sea manejo de gráficos, vistas de la planta, etc.

Por su parte los controladores aumentaron su capacidad pero también se incrementaba el número de tarjetas necesarias para realizar las nuevas funciones. Con el advenimiento de microprocesadores más veloces y poderosos, en la actualidad se utiliza un sólo dispositivo de control que realiza en una sola tarjeta todas las funciones: manejo de entradas-salidas, enlace con la pista de datos, procesamiento de la información (algoritmos).

Entonces puede pensarse que el concepto de Distribución o modularidad ha cambiado con el tiempo, y si bien en algunos casos como en las interfaces H/M, se han asignado tareas dedicadas, distribuyendo las funciones que hacia una sola máquina, en el caso de los controladores, se ha regresado al concepto de un sólo elemento que hace todas las funciones en una sola tarjeta.

Esto ha sucedido con el sistema del cual discutimos su evolución. No pretendemos que sea una verdad única y esta situación sea la misma para todos los fabricantes.

Para finalizar solamente podríamos sugerir que la tendencia en todos los equipos es realizar más funciones, más rápido y con un manejo de la información más adecuado desde el punto de vista gráfico, tabular, etc.

Sin embargo, como una opinión personal del realizador de estas notas, ¿Cuál será el límite?, el manejo de la información y la presentación de la misma, en cantidad y forma, tal vez nos ha apartado de la idea básica de los sistemas pioneros de control analógico individual, cuya función básica y primordial era controlar. La evolución continuará, y tal vez algún día regresemos al punto de partida.

