



4

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

SISTEMA AUTOMÁTICO DE MONITOREO
CONTINUO DE EMISIONES CONTAMINANTES EN
FUENTES FIJAS (CEM)

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERAS EN COMPUTACIÓN
E INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA
(ÁREA ELÉCTRICA-ELECTRÓNICA)

P R E S E N T A N:

VERÓNICA ANDRADE MUÑOZ
ADRIANA EUGENIA CHAVIRA DÍAZ
JOSÉ GABRIEL MATUS

DIRECTOR DE TESIS: ING. RICARDO GARIBAY JIMÉNEZ

MÉXICO, D.F.

2002

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

A MI PADRE PORFIRIO ANDRADE SÁNCHEZ POR TODO SU AMOR Y POR TODO EL APOYO INCONDICIONAL QUE ME HA BRINDADO DURANTE TODA MI VIDA.

A MI MADRE JUANA MUÑOZ COLÍN POR SU INMENSO AMOR Y COMPRENSIÓN Y POR SER LA MEJOR MADRE DEL MUNDO.

A MI TÍA GUADALUPE ANDRADE SÁNCHEZ POR QUERERME Y CONSENTIRME Y HACERME SENTIR QUE YO PODÍA SER ALGUIEN EN LA VIDA.

A MIS HERMANOS Y HERMANAS: HÉCTOR, ARMANDO, LIDIA, ARCELIA Y JUAN POR SU AMISTAD, CARIÑO Y PORQUE JUNTOS COMPARTIMOS LOS MEJORES MOMENTOS DE NUESTRAS VIDAS.

A MIS SOBRINOS Y SOBRINAS: ELIZABETH, ANA, CARLOS, JESÚS, SEBASTIÁN Y BRANDON PORQUE SE HAN CONVERTIDO EN MI MAYOR ALEGRÍA.

A TODOS MIS AMIGOS PERO EN ESPECIAL A: ELVIA Y OSCAR POR MOSTRARME EL VERDADERO SENTIDO DE LA AMISTAD.

A MI PAREJA POR COMPARTIR SUS CONOCIMIENTOS, SU TIEMPO Y SOBRE TODO POR SU INMENSO AMOR.

A LA FACULTAD DE INGENIERÍA POR HABERME FORMADO.

A MIS MAESTROS POR COMPARTIR SUS CONOCIMIENTOS EN ESPECIAL A: ING. ANTONIO SALVÁ, ING. GLORIA MATA, ING. FRANCISCO RODRÍGUEZ, ING. SABINO ORTEGA, ING. JUAN MANUEL GÓMEZ.

A MI DIRECTOR DE TESIS ING. RICARDO GARIBAY JIMÉNEZ POR SER LA PERSONA QUE SIN SU AYUDA NO HUBIERA CONCLUIDO ESTE TRABAJO Y POR TODO LO QUE ME HA BRINDADO.

Y SOBRE TODO A DIOS POR ESTAR SIEMPRE CONMIGO EN LOS MOMENTOS EN QUE PENSÉ QUE NO IBA A PODER CONSEGUIR ESTE LOGRO.

VERÓNICA



AGRADECIMIENTOS



Dios estoy agradecida.
Por iluminarme,
Por dame la oportunidad,
Por cumplirme un deseo más,
Y sobre todo por que siempre estas conmigo.

Papá,
Tenias razón.
Con tus consejos,
Y sobre todo
Por apoyarme y acompañarme incondicionalmente
Te extraño.

Mamá
Gracias por tu amor y tus cuidados,
A tu apoyo y paciencia,
Que siempre me has dado.
Hoy han fructificado tus esfuerzos.
Te quiero.

Tona,
El apoyo incondicional de un hermano,
Así como tú,
Es muy importante en la vida,
No solo en la universidad.

Gabito,
Gracias por ser mi amigo, mi esposo, mi amante,
Y por todo el amor que he recibido de tí,
Hoy termino mi tesis.

Daniel, Abril,
Gracias por apoyarme para terminar mi tesis

A la Universidad Nacional Autonoma de México
Gracias por permitirme estudiar y tener una carrera.

A mi asesor Ing. Ricardo Garibay,
Por asesorarme, y darme el tiempo para realizar mi tesis

Adriana Eugenia Chavira Diaz
Sep 2002



MIS AGRADECIMIENTOS



Señor Dios todo poderoso,
cuya inmaculada mano,
cuida y guía mi andar.
Gracias, señor.

A mi madre

Al frondoso roble que siempre has sido,
hoy te presento, "ese papel, ese papel, Gabriel".
Desde el fondo de mi corazón recibe mi más profundo agradecimiento
por tu apoyo incondicional de ayer y hoy.
Siempre has sido EL EJEMPLO de mi vida.

Toñis, Moñis

Gracias por todo tus cuidados
y por mis luchadores, aún los disfruto.
Gracias por tu amor y apoyo.

Mary Luz, Uva,

Gracias por tu apoyo,
Y por comprarme "mis fierritos",
Este trabajo muestra lo que los "fierritos" pueden hacer.

Adry,

Mi esposa y compañera.
Gracias por respaldar y
apoyar mi trabajo diario y
todas mis locuras.
Te quiero

Abril & Daniel

Gracias por iluminar mi ser.
A ustedes dedico este trabajo

Mario Pluma Roja,

Gracias por todos tus consejos y tu guía.
Tu palabra ha sido, palabra de Dios.

A la Universidad Nacional Autónoma de México

Por mi formación profesional.

A mi director de Tesis

El Ing. Ricardo Garibay .

Por su apoyo e impulso para la realización de este trabajo.
Gracias

José Gabriel Matus
Sep 2002

INDICE TEMATICO

1. PROBLEMÁTICA DE LAS EMISIONES CONTAMINANTES Y FUNDAMENTACIÓN DE LOS SISTEMAS DE MONITOREO	4
1.1 INTRODUCCION	4
1.1.1 Definiciones	6
1.1.2 Orígenes de la contaminación del aire	6
1.1.3 Contaminantes de criterio	6
1.1.4 Normas de Calidad del Aire	8
1.1.5 Selección de Sistemas de Monitoreo Ambiental	8
1.1.6 Elementos principales del Sistema de Monitoreo Continuo de Emisiones	8
1.2 CLASIFICACIÓN DE SISTEMAS DE MONITOREO CEM's	9
1.2.1 Sistemas Extractivos	9
1.2.2 Sistemas In-Situ	10
1.2.3 Sistemas de Sensores Remotos	10
2. NORMATIVIDAD Y MÉTODOS DE MEDICIÓN APROBADOS	12
2.1. NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-085-ECOL-1994	12
2.2. MÉTODOS DE MEDICIÓN DE NO _x , SO ₂ y CO	12
2.2.1 Analizadores de Oxidos de Nitrógeno	12
2.2.2 Analizadores de Dióxido de Azufre	16
2.2.3 Analizadores de Monóxido y Bióxido de Carbono	22
2.2.4 Celda de Oxido de Zirconia	27
2.2.4.1 Analizador de Estado Sólido	27
3. SISTEMA DE DILUCIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DE MUESTRAS	28
3.1. COMPONENTES PRINCIPALES	28
3.1.1 Probeta de muestreo	28
3.1.2 Elemento de dilucion	28
3.1.3 Dilución fuera de la chimenea	29
3.1.4 Ensamble de acondicionamiento y dilución	30
3.1.5 Ensamble del hardware del sistema de acondicionamiento y dilución	31
3.2 PRINCIPIO DE OPERACION Y CIRCUITOS DE FLUIDOS	33
3.3 CONDICIONES ÓPTIMAS DE TRABAJO DEL SISTEMA DE DILUCIÓN	36
3.3.1 Pruebas de Fuga en el eductor y en el filtro	36
3.3.2 Prueba de vacío del eductor	37
3.3.3 Prueba de dilución	37
3.4 SECUENCIAS DE OPERACIÓN Y SU DINÁMICA	38
3.4.1 Modo de Muestreo	38
3.4.1 Modo de Soplado	38
3.4.2 Modo de Calibracion	39
3.4.3 Dinámica de los flujos en el muestreo, la medición y la calibración	39
3.5 LAZOS DE CONTROL	41

4.	CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL SISTEMA Y SUS SUMINISTROS	42
4.1.	CONDICIONES GENERALES DEL SISTEMA	42
4.1.1	Datos generales de la planta	42
4.1.2	Requerimientos del Sistema de Monitoreo Continuo de Emisiones	42
4.1.3	Condiciones de la corriente de muestra	43
4.1.4	Características relevantes de los analizadores	43
4.1.5	Condiciones del ensamble de acondicionamiento y dilución	43
4.1.6	Características del SCADA	44
4.2	FILTROS Y PURIFICADORES DEL SUMINISTRO DE AIRE CERO	45
4.2.1	Filtro de Carbón Activado	45
4.2.2	Cámara de Paladium Caliente (Convertidor de CO)	45
4.2.3	Filtro de Purafil	45
4.2.4	Puesta en servicio del Secador de Aire	45
4.3	SUMINISTRO DE ENERGIA ELECTRICA	46
4.4	CONDICIÓN OPERATIVA DE LAS VÁLVULAS SOLENOIDES DE CONTROL	46
5	SISTEMA DE CONTROL Y ADQUISICION DE DATOS (SCADA)	49
5.1	ESQUEMA DE APLICACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL Y ADQUISICION DE DATOS	49
5.1.1	Concepto del Sistema de Control y Adquisición de Datos	49
5.1.2	Estructura básica y características relevantes	50
5.1.3	Requerimientos de los usuarios	51
5.1.4	Funciones principales	52
5.1.5	Controladores locales distribuidos	53
	5.1.5.1 CPU y módulos principales	53
5.1.6	Estaciones de Manejo Local y Supervisión	53
5.2	SOFTWARE DE ADQUISICIÓN, CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN MAXPRO	57
5.2.1	Facilidades de configuración	57
5.2.2	Adquisición de Datos	58
5.2.3	Control Regulatorio	58
5.2.4	Lógica Secuencial	58
5.2.5	Recetas tipo "batch"	58
5.3	COMUNICACIÓN	58
5.4	PROCEDIMIENTO DE CONFIGURACIÓN MAXPRO	58
5.4.1	Inicio de sesión	59
5.4.2	Pantalla de estado de operación	59
5.4.3	Pantalla de servicios	60
5.4.4	Base de datos	60
5.4.5	Verificación de la configuración del controlador local	61
5.4.6	Configuración de las funciones de entrada salida	62
5.4.7	Programación de los rangos analógicos	62
5.4.8	Programación de entradas analógicas	62
5.4.9	Configuración de las funciones de operación	63
5.4.10	Configuración de los pseudo-puntos	63
5.4.11	Programación de la función de control de lazo cerrado	64
	5.4.11.1 Elementos de configuración de la función de control	65
5.4.12	Funciones lógicas y de secuencias PLC	66

5.4.13	Programación de salidas analógicas de control	66
5.4.13.1	Elementos de la pantalla de configuración de salidas analógicas	66
5.5	DIAGRAMAS DE FLUJO DE LAS SECUENCIAS DE OPERACIÓN	68
5.5.1	Acciones de medición y datos obtenidos	72
5.6	MEDICION Y ESCALAMIENTO	73
5.6.1	Proceso de medición y generación de valores	73
5.6.2	Escalamiento	75
5.7	CONFIGURACIÓN DEL SOFTWARE DE OPERACIÓN DATAVUE	77
5.7.1	Configuración de la pantalla de edición	77
5.7.2	Configuración de las comunicaciones	78
5.7.3	Configuración del hardware y la base de datos	79
5.8	GRAFICAS DE TENDENCIAS	80
5.8.1	Creación de una gráfica de tendencias	81
5.8.2	Registro de gráficas	82
5.9	REPORTES	83
5.10	"HOT SPOT" O PUNTO CALIENTE	83
5.11	INTERFAZ HOMBRE-MAQUINA DEL CEM	84
5.11.1	Configuración de parámetros del CEM	86
5.11.2	Selección de unidades y operación en línea	87
5.11.3	Reportes de operación y calibración	89
6	CONCLUSIONES	93
APÉNDICE A.	SÍNTESIS DE LA NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-085-ECOL-1994	95
APÉNDICE B.	NORMA ISO 14000 SISTEMA DE GESTIÓN AMBIENTAL	102
BIBLIOGRAFÍA		108

1. PROBLEMÁTICA DE LAS EMISIONES CONTAMINANTES Y FUNDAMENTACIÓN DE LOS SISTEMAS DE MONITOREO

1.1 INTRODUCCIÓN

La Central Termoeléctrica de Petacalco ubicada en la bahía del mismo nombre en el estado de Guerrero, está constituida por 6 unidades de generación de 350 MW cada una, siendo una de las Centrales Termoeléctricas de mayor capacidad en México, 2100 MW, la cual opera con suministro de combustóleo desde su construcción y como suministro futuro se ha proyectado el uso de carbón mineral. Los procesos de combustión que tienen lugar en la Central producen diversos agentes de contaminación, entre los que destacan por su cantidad y efectos nocivos el Bióxido de Azufre (SO_2), Monóxido de Carbono (CO) y Óxidos de Nitrógeno (NO_x). Es importante mencionar que se tienen referencias anteriores acerca de que el combustóleo que se emplea en la Central tiene un alto contenido de azufre y que el uso futuro de carbón puede incrementar la contaminación por Monóxido de Carbono y partículas suspendidas. Esta situación, que derivada de la necesidad de contar con suministros económicamente rentables, plantea un grave problema de contaminación atmosférica, por lo cual, la Comisión Federal de Electricidad ha tenido que instrumentar sistemas de monitoreo para la medición y control de dichas emisiones contaminantes.

La medición de las emisiones de los gases mencionados, se realizó originalmente con equipos y métodos diversos, suministrados en forma separada por varios proveedores, sin una estructura integral y un esquema de adquisición y procesamiento de datos completo. La diversidad de proveedores determinó que el mantenimiento los componentes de muestreo fuera desatendido y algunos de los analizadores involucrados sufrieron fallas por taponamiento y deterioro de las líneas de muestras.

En 1993 y 1994 la SEDUE emitió y publicó en el Diario Oficial de la Federación la norma de carácter emergente NOM-085-ECOL/1994 y que posteriormente fue definitiva, para establecer los límites máximos permisibles de emisiones contaminantes a la atmósfera en fuentes fijas, según su capacidad y tipo de combustible, así como, ubicación geográfica. Sobre la base de que los procesos termoeléctricos producen emisiones contaminantes atmosféricas, la Comisión Federal de Electricidad se dio a la tarea de especificar y adquirir un sistema de monitoreo apegado a la norma mencionada, para obtener información acerca de los niveles de contaminación que se producen y así tener los reportes de supervisión demandados por la Secretaría de Ecología, en la actualidad SEMARNAP, mismos que sirven como realimentación de información a sus áreas de operación y suministros para mejorar los índices de eficiencia de operación de las unidades y la calidad de los suministros de combustible.

El Sistema de Monitoreo de Emisiones Contaminantes fue especificado por la CFE de acuerdo con los siguientes elementos de normatividad:

- a) Norma NOM-085-ECOL/1994
- b) Especificación CFE DPA DCCAM04
- c) NOM-CCAT-006/93
- d) NOM-PA-CCAT-019/92 (NE)
- e) Normatividad USEPA

los cuales establecen:

- a) Los límites máximos permisibles de emisiones contaminantes al ambiente, según tipo de combustible y ubicación geográfica.
- b) Los métodos estandarizados para la medición de contaminantes, según su tipo.
- c) Tipos de CEM's validados o aceptados.
- d) Requerimientos específicos de instalación.
- e) Registro de datos históricos.
- f) Validación del sistema.

De acuerdo con el planteamiento anterior, en el capítulo I se establecen los aspectos fundamentales y la normalización que se tiene con respecto al monitoreo de las emisiones contaminantes, desde el origen de la contaminación atmosférica, las normas aplicables y la clasificación de los sistemas de monitoreo de mayor aceptación en la industria.

1.1.1 Definiciones

Aire Ambiente: es el aire que se encuentra en la tropósfera y el que utilizan plantas y animales terrestres para sus funciones vitales.

Aire puro: mezcla ideal que a nivel del mar se compone de Nitrógeno (78% en volumen), Oxígeno (21% en volumen) y otros compuestos y elementos (1% en volumen, como vapor de agua CO₂, CH₄, Ar, Ne, He, H y otros gases).

Contaminantes del Aire: sustancias y elementos existentes en el aire, cuya exposición a las personas, plantas y animales provocan molestias o daños a la salud y deterioran los materiales.

1.1.2 Orígenes de la contaminación del aire

Natural:

- Fuentes Bióticas como la descomposición de tejidos de plantas y animales, procesos de digestión de animales, incendios forestales espontáneos.
- Fuentes Abióticas como el vulcanismo, brisa marina, tolveneras, fuentes geotérmicas, descomposición radioactiva.

Antropogénica:

- Fuentes Fijas como las chimeneas de fábricas.
- Fuentes Móviles como los automóviles.

1.1.3 Contaminantes de criterio

De la gran gama de contaminantes del aire, los siguientes son los que por su ubicuidad, abundancia, frecuencia y severidad de efectos adversos, acaparan la atención del público y las autoridades:

- a) Ozono (O₃)
- b) Bióxido de Nitrógeno (NO₂)
- c) Bióxido de Azufre (SO₂)
- d) Monóxido de Carbono (CO)
- e) Partículas Suspendidas, fracción respirable (Pm₁₀)
- f) Plomo (Pb)

La determinación de sus concentraciones en una localidad permite establecer los criterios de calidad del aire en esa zona.

A continuación se describirán cada uno de ellos:

a) **Ozono:**

- Se forma mediante complejas reacciones químicas en el aire entre óxidos de nitrógeno e hidrocarburos en presencia de luz solar.
- Poderoso oxidante que ataca virtualmente cualquier clase de materia expuesta.

- Una exposición a bajos niveles produce irritación de ojos, nariz y garganta, tos, dolores de tórax, producción de mucosa, lasitud y náusea.
- Una exposición a concentraciones mayores produce una reducción de las funciones pulmonares, ataques de asma, dolor de pecho, tos, náusea y congestión pulmonar.

b) Bióxido de Nitrógeno:

- Agente oxidante soluble en agua y de color rojizo-café (da ese color al smog) producido durante la combustión de hidrocarburos por fuentes fijas y móviles.
- Se combina con el radical OH para producir ácido nítrico.
- Precursor de la formación de ozono y lluvia ácida.
- Irritante pulmonar. Puede reducir la resistencia a infecciones respiratorias. Se le asocia con casos de bronquitis en niños y ancianos.

c) Bióxido de Azufre:

- Gas incoloro, soluble en agua, producto de la combustión de hidrocarburos con algún contenido de azufre. Aproximadamente el 80% de las emisiones provienen de fuentes fijas.
- Debido a su gran solubilidad se convierte fácilmente en ácido sulfúrico que ataca a plantas y materiales y causa la acidificación de tierras y cuerpos de agua.
- En combinación de partículas suspendidas crea un efecto sinérgico.
- Produce dificultad para respirar, reduce las defensas de los pulmones y predispone a enfermedades como la bronquitis y traqueítis, particularmente en niños, ancianos y asmáticos, aunque sus efectos dependen de la sensibilidad de cada individuo.

d) Monóxido de Carbono:

- Gas incoloro, inodoro e insaboro y menos denso que el aire, producto de la combustión incompleta de materia que contiene carbono.
- Contaminante más común y más ampliamente distribuido. Aproximadamente el 70% de las emisiones provienen de fuentes móviles.
- El Monóxido de Carbono interfiere con la habilidad de la sangre para transportar oxígeno a las células del cuerpo. La exposición a niveles elevados produce una disminución de la percepción visual, capacidad para el trabajo, destreza manual y habilidad para el aprendizaje.

e) Partículas Suspendidas:

- Compleja mezcla de sustancias líquidas o sólidas, de origen orgánico o inorgánico, de diversos tamaños, dispersas en la atmósfera.

Partículas Suspendidas Totales:

- Son todas las partículas suspendidas en el aire, sin importar su tamaño. La fracción respirable son aquellas partículas cuyo diámetro aerodinámico equivalente es menor o igual a 10 μm y que al ser aspiradas logran atravesar las defensas del sistema respiratorio superior y depositarse en los pulmones.
- Se relacionan con el incremento y agravamiento de infecciones respiratorias, desórdenes cardíacos, bronquitis, asma, neumonía, enfisema, carcinogénesis y aun la muerte. Algunas son altamente tóxicas como los metales pesados y las que contienen hidrocarburos aromáticos policíclicos.
- Degradan la calidad del suelo y agua y disminuyen la visibilidad.

f) Plomo:

- Metal blando de color azulado o plateado grisáceo cuyo punto de fusión es de 327.5 °C y su punto de ebullición es de 1,740 °C. La mayoría de las sales inorgánicas de plomo son poco solubles en agua.
- El 90% del plomo en la atmósfera proviene de la combustión de gasolinas adicionadas con tetraetilo de plomo como antidetonante
- El plomo inhalado es retenido por el sistema respiratorio y acumulado en tejidos blandos, la sangre y los huesos. El plomo puede causar desórdenes de comportamiento, hipertensión arterial, deficiencias en el aprendizaje, apoplejía, daños al cerebro y aun la muerte.

1.1.4 Normas de Calidad del Aire

Son niveles de concentración de contaminantes de criterio, establecidos para proteger la salud pública en una localidad.

Se expresan en unidades de concentración de contaminantes $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ó PPB) referidas a condiciones estándar de presión y temperatura (760 mm Hg, 25 °C) y a un lapso de tiempo de exposición.

Las normas de corto plazo (1 hora) protegen a la población contra efectos inmediatos en la salud. Las de largo plazo (>> 1 hora) protegen la salud contra efectos crónicos.

TABLA 1. NORMAS MEXICANAS DE CALIDAD DEL AIRE

CONTAMINANTE	EXPOSICIÓN	PPM	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
Ozono	1 hora	0.11	216
Bióxido de Nitrogeno	1 hora	0.21	395
Monóxido de Carbono	8 horas	13	14 87
Bióxido de Azufre	24 horas	0.13	340
PS 1	24 horas	No hay	275

1.1.5 Selección de Sistemas de Monitoreo Ambiental

Las técnicas para la Medición de Emisiones Continuas CEM's (Continuous Emission Monitoring), se inician a principio de los años 60's como una necesidad del monitoreo de las emisiones de las chimeneas y el control de contaminantes de los diferentes tipos de industria.

En el inicio, el uso de Analizadores de Contaminación Ambiental no dio buenos resultados, debido principalmente a que la muestra se tenía que diluir y las técnicas para este propósito no se habían desarrollado. Sin embargo, los fabricantes de instrumentación principalmente de Alemania y Estados Unidos, fabricaron algunos equipos utilizando técnicas como la ultravioleta y la fotométrica que sirvieron para hacer mediciones en forma directa, amén de que con el tiempo se han desarrollado nuevas técnicas.

La primera ley para la Medición Continua de Emisiones fue promulgada en Estados Unidos en el año de 1971, pero no fue sino después del 6 de octubre de 1975, cuando la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, mejor conocida como EPA, estableció especificaciones para el uso de los sistemas CEM y su instalación en un número limitado de aplicaciones. A partir de entonces y con más de 25 años de experiencia las "Compañías Integradoras de Sistemas" con probetas, analizadores y accesorios, han proporcionado a la industria sistemas confiables para este tipo de mediciones.

Hay que remarcar que la parte más importante de estos sistemas son los analizadores, sin menospreciar el manejo de la muestra, que si no es adecuado para el tipo de proceso, puede dar lugar a resultados no deseados y poco confiables, por lo que es aconsejable que el lugar en donde se realice este tipo de aplicaciones, (en nuestro caso México), se tenga el cuidado necesario en la selección de todos los elementos que compongan el sistema y que sean integrados por personal altamente preparado.

1.1.6 Elementos principales del Sistema de Monitoreo Continuo de Emisiones

Los Sistemas de Monitoreo Continuo de Emisiones CEM'S, actualmente se componen de tres subsistemas:

1. Interfaz de la muestra
2. Analizadores de Gases
3. Sistema de Control y Adquisición de Datos

A continuación se describen cada uno de ellos:

Interfaz de la muestra

En este primer subsistema, se pretende transportar la mezcla de gases que son emitidos por la chimenea, acondicionando ésta, para que al llegar a los analizadores, sea lo más representativa y de como resultado información real y confiable.

Analizadores de Gases

Para el segundo subsistema se deben considerar los gases que debemos determinar, los principios de medición de los analizadores y la marca del fabricante, lo primero, de acuerdo con las Normas Vigentes para esta materia como la Norma Oficial Mexicana (con carácter emergente) NOM-PA-CCAT-019/93 del 30 de marzo de 1993, la cual, se ratificó como Norma Oficial Mexicana NOM-CCAT-019-ECOL/1993, el 18 de noviembre de 1993 y el proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-085-ECOL/1994 del 2 de diciembre de 1994, que dice cuales son los principios aceptados por la autoridad. Es muy importante saber cuál o cuales fabricantes debemos seleccionar, mismos que deben ser reconocidos por su calidad y soporte, no sólo de manera internacional, sino local, por lo tanto, esto nos dará la confianza de que nuestro sistema o sistemas siempre estarán operativos.

Sistema de Control y Adquisición de Datos

En este subsistema se integran los elementos que recaban la información de análisis que los analizadores nos envían y debe tener un equipo de registro de gráfica continua, aunque en la actualidad son empleados los sistemas de cómputo, éstos últimos son los más aconsejables de usar.

1.2 CLASIFICACION DE SISTEMAS DE MONITOREO CEM'S

Los sistemas de Monitoreo de Emisiones Continuas CEM'S, se clasifican básicamente en tres grupos:

1. Sistemas Extractivos
2. Sistemas In-Situ
3. Sistemas de Sensores Remotos

A continuación se describen con detalle cada uno de los mismos:

1.2.1 Sistemas Extractivos

Los Sistemas de Monitoreo de Emisiones del tipo Extractivos, fueron los primeros en ser desarrollados para la medición de fuentes fijas. En estos sistemas el gas era extraído desde el ducto o chimenea y transportado a los analizadores para su análisis y medición. Muchos de los primeros sistemas extractivos diluan el gas usando rotámetros y entonces utilizando analizadores ambientales hacían la medición. Sin embargo, gran cantidad de problemas se presentaban para el mantenimiento de la relación de dilución en forma estable y por ende malos resultados de la información recibida. Posteriormente, los fabricantes de Instrumentación, han desarrollado instrumentos analizadores para medir directamente niveles de fuentes fijas (chimeneas). Estos Sistemas Extractivos han ofrecido a partir del principio de los años 70's hasta los 80's sistemas confiables en una gran cantidad de aplicaciones.

Muchos de los problemas asociados con los primeros sistemas de dilución han sido eliminados por nuevas técnicas desarrolladas a partir de los años 80's. La ventaja de la Probeta de Dilución, ha hecho que estos sistemas sean viables para la medición de fuentes fijas en la industria. Estos sistemas son ahora relativamente fáciles de construir y con una gran confiabilidad, además proporcionan magníficos resultados de exactitud en los reportes recibidos, por lo que son los sistemas de mayor aplicación en nuestra época.

Los problemas básicos asociados a los Sistemas Extractivos, es que son sistemas complejos, de tal forma que para que los instrumentos analizadores midan las concentraciones a nivel de fuentes fijas, la muestra debe estar libre de material particulado, el vapor de agua contenido debe ser removido y la muestra enfriada a la temperatura del analizador. Esto requiere el uso de válvulas, bombas de vacío, enfriadores, líneas de muestra y otros componentes necesarios para transportar el gas y acondicionarlo; sin embargo, una buena selección de todos los elementos para la integración del sistema nos deberá dar los resultados perseguidos.

La solución seleccionada y desarrollada en la presente tesis corresponde a un diseño basado en un Sistema Extractivo con probeta de dilución y analizadores de bajo rango.

1.2.2 Sistemas In-situ

Los sistemas de análisis de las concentraciones de emisiones de las chimeneas, directamente en el puerto de muestreo son ampliamente conocidos como **Sistemas In-Situ** y su aplicación en el pasado fue muy usada. Estos sistemas consistían principalmente de un analizador que empleaba algún tipo de sensor para medir el gas directamente en la chimenea o que proyectaba la luz a través de la chimenea para realizar la medición.

Se pueden clasificar dos tipos de Analizadores In-Situ:

- Analizadores Puntuales y
- Analizadores de Trayectoria de la luz emitida y recibida.

Los **Analizadores Puntuales** consisten de sensores electromecánicos o electro-ópticos montados al final de la probeta que es insertada dentro de la chimenea.

La medición puntual en las chimeneas es usualmente hecha por los sensores sobre una distancia de sólo unos cuantos centímetros.

Los **Analizadores de Trayectoria** miden a través de la trayectoria de un haz de luz que se transmite a lo largo del diámetro de la chimenea y que lógicamente pasa a través de la masa de gases que se despiden y la interrelación de la luz transmitida con el flujo del gas, son usados para obtener un valor cuantitativo de la concentración de la contaminación emitida.

En el caso de **Analizadores de Un Sólo Paso**, la luz es transmitida de la unidad que se encuentra de un lado de la chimenea a un detector que se encuentra en el lado opuesto de la chimenea, haciendo sólo un paso a través de la chimenea.

En los **Analizadores de Doble Paso**, la luz es reflejada por un espejo que se encuentra del lado opuesto de la fuente transmisora, haciendo una doble medición en si, la cual es detectada por un transductor.

El principio de medición de este tipo de analizadores es en la actualidad ampliamente usado para la medición de la Opacidad y la concentración de contaminantes de los gases de combustión.

Los **Monitores de Opacidad o Transmitómetros** utilizan igualmente sistemas detectores de un paso o dos pasos y emplean una luz visible para medir la opacidad en un rango de 0-100%.

1.2.3 Sistemas de Sensores Remotos

Una tercera generación de monitores de emisiones de fuentes fijas ha sido desarrollada a partir de la tecnología del Programa Espacial de Estados Unidos. Estos monitores emplean sensores remotos que pueden detectar la concentración de contaminantes solamente por la proyección de un haz de luz visible a través de la chimenea, la cual, es sensada e interpretada en los términos de interés y son llamados **Sistemas Activos**, o por el empleo de la luz radiada y medida de las moléculas calientes emitidas desde la chimenea se les conoce como **Sistemas Pasivos**.

También la EPA ha desarrollado un método de referencia (**Método 9A**) para el monitoreo de la opacidad usando la técnica de la luz emitida por un rayo láser e interpretada en términos de Rango de opacidad (**LIDAR**). Sin embargo, ningún método de referencia o especificación ha sido estandarizado para la medición de contaminantes emitidos por fuente fija por sensores remotos.

Debido a los problemas inherentes en la definición del largo de la trayectoria de la luz de este tipo de sensores en la pluma emitida, la exactitud de la concentración, la cual, es pobre y poco confiable contra de los sistemas extractivos, la aplicación de la regulación para estos sistemas no ha sido establecida aún y como consecuencia el desarrollo de estas técnicas ha evolucionado en forma lenta, por lo que actualmente no son recomendables en la aplicación que nos interesa.

2. NORMATIVIDAD Y MÉTODOS DE MEDICIÓN APROBADOS

El capítulo 2 establece la importancia de los analizadores como la parte central del sistema de monitoreo, los cuales, están diseñados y construidos de acuerdo con procedimientos y estándares internacionales, mismos que se plasman en la normalización mexicana al respecto. Los analizadores empleados se seleccionaron de acuerdo con la especificación de la Comisión Federal de Electricidad y son: Analizadores de Óxidos de Nitrógeno, de Dióxido de Azufre, de Monóxido y Bióxido de Carbono y la Celda de Óxido de Zirconia donde se mide el oxígeno que está presente en la emisión de gases.

2.1 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-085-ECOL-1994

Esta norma formulada por el Gobierno Federal a través de sus instancias legales, establece los niveles máximos permisibles de emisiones a la atmósfera de humos, PST (Partículas Suspensas Totales), SO_2 , NO_x , etc., los requisitos y condiciones de operación de los instrumentos de monitoreo, así como la vigilancia y sanciones a que se exponen las empresas o industrias que incumplen la normalización. En el **Apéndice A** se expone una síntesis de la mencionada norma.

2.2 METODOS DE MEDICION DE NO_x , SO_2 Y CO

Instrumentación de Análisis

Los Instrumentos de Análisis o Analizadores de Gases han tenido una gran importancia en la medición de emisiones continuas de fuentes fijas y prácticamente son el corazón de los sistemas CFM's, debido ha esto el desarrollo de los instrumentos ha dado como resultado equipos de muy alta precisión y por lo tanto de alta confiabilidad.

Existen diferentes principios de medición para la determinación de cada gas o mezcla de gases, a continuación se mencionaran los que son mayormente empleados y aceptados en las Normas Oficiales de las Autoridades de Protección Ambiental de la mayoría de los países del mundo.

2.2.1 Analizadores de Óxido de Nitrógeno

Los analizadores de NO - NO_2 - NO_x , usan el principio de **Quimiluminiscencia**, que es el fenómeno de excitación que sufren las moléculas en presencia de ozono y emiten una luz lumínica al volver a su estado normal, la cual, es medida por un artefacto del tipo fotomultiplicador y a través de tarjetas electrónicas es interpretado en concentración, desde rangos de 0 ppm hasta 10,000 ppm con lo cual, se logran medir tanto las aplicaciones de nivel ambiental como las de fuentes fijas.

El analizador de NO - NO_2 - NO_x , que se ha empleado en el proyecto pertenece a una segunda generación de instrumento analítico capaz de medir óxidos de nitrógeno de subpartes por billon a 20 partes por millon. Dicho instrumento utiliza un tubo fotomultiplicador con un diámetro pequeño (28 mm) y una cámara de reacción, la cual, está multiplexada por tiempo para mediciones de NO y NO_2 . La diferencia entre las dos mediciones da lugar a la generación de tres señales continuas de NO , NO_2 (NO_x - NO) y NO_x .

El dispositivo ofrece las siguientes ventajas:

- Incremento en la sensibilidad
- Linealidad a través de todos los rangos
- Control y operación por microprocesador
- Simplicidad de operación
- Tiempo de respuesta muy rápido
- Bomba interna de muestra
- Rangos independientes de NO - NO_2 - NO_x

El circuito del microcomputador sobre el cual está basado, elimina muchas desventajas inherentes de los sistemas analógicos y proporciona una mayor estabilidad, precisión y flexibilidad. El manejo digital de las

señales proporciona insensibilidad a efectos de corrimiento o temperatura, de ahí que las fuentes de corrimiento o error en el instrumento causadas por uso debidos a la electrónica son minimizadas.

A. Principio de Operación

La reacción de la fase de gas de óxido de nitrógeno (NO) y ozono (O_3) produce una luminiscencia característica con una intensidad linealmente proporcional a la concentración de óxido de nitrógeno. Específicamente:



La emisión de luz resulta cuando las moléculas de NO_2 excitadas electrónicamente decaen a estados muy bajos de energía.

El dióxido de nitrógeno (NO_2) primero debe ser transformado en óxido de nitrógeno (NO) antes puede ser medido usando el principio de luminiscencia química. El analizador emplea un convertidor de molibdeno calentado aproximadamente a $325\text{ }^\circ\text{C}$ para convertir el NO_2 a NO por vía de la reacción:



La muestra de gas entra al instrumento a través de un único capilar de flujo de control y está dirigido a una válvula solenoide como se muestra en la **Figura 2**. La válvula solenoide dirige la muestra, una u otra a través del convertidor NO_2 a NO (modo NO_x) o alrededor del convertidor (modo NO). Cuando fluyendo a través del convertidor, la quimiluminiscencia medida dentro de la cámara de reacción representa la concentración de NO_x . Desviando el convertidor se permite la medición del único nivel de NO . Las señales generadas en los dos modos están almacenadas y congeladas en la memoria por la microcomputadora, donde la diferencia entre ellas es usada para generar una señal NO_2 . El convertidor digital analógico convierte los tres valores almacenados en señales analógicas, las cuales, se sacan a la salida de la parte posterior del instrumento.

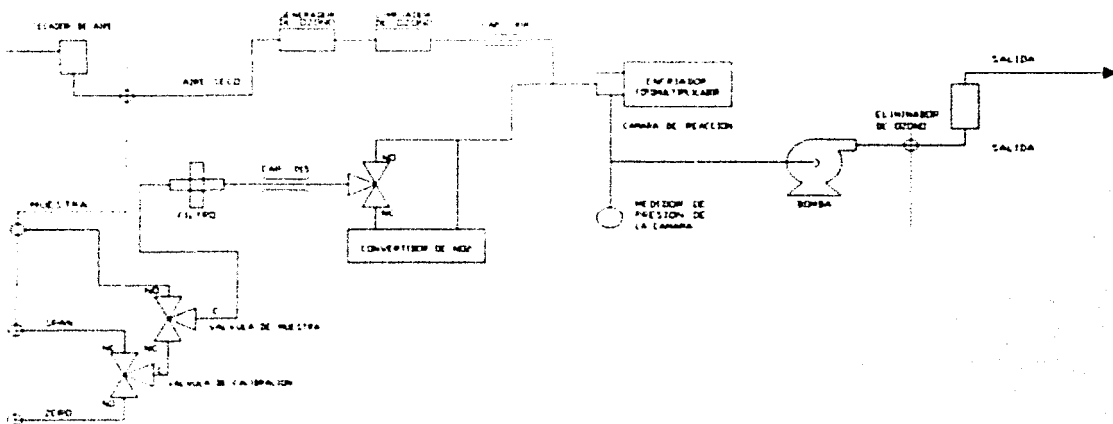
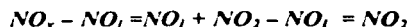


Figura 2. Esquemático de flujo del Analizador NO_x .

B. Esquema General del Instrumento

El instrumento puede ser más convenientemente discutido, si lo separamos en los siguientes componentes operacionales:

- 1) Enfriador del fotomultiplicador
- 2) Cámara de reacción
- 3) Convertidor NO_2
- 4) Tarjeta de control de temperatura
- 5) Tarjeta de acondicionamiento de la señal de entrada
- 6) Suministro de alto voltaje
- 7) Suministro de DC
- 8) Ozonizador y fuente de suministro
- 9) Microcomputadora
- 10) Componentes del circuito de flujo (bomba, válvula, capilares, conexiones).

A continuación se describen brevemente cada uno de los componentes:

- 1) **Enfriador del fotomultiplicador:** el enfriador termoelectrico aloja al tubo fotomultiplicador (PMT). El PMT es del tipo multi-alkalino a fin de tener una sensibilidad infrarroja requerida para detectar luminiscencia del NO_2 . El PMT esta enfriado aproximadamente a -3°C a fin de reducir la luminiscencia fuera de la frecuencia de interes. El enfriador está también controlado a esta temperatura a fin de tener incrementada la estabilidad del zero y del span sobre un amplio rango de temperatura ambiente
- 2) **Cámara de reacción:** la cámara de reaccion es una componente del ensamble enfriador. Es un arreglo de 2 piezas bañadas en oro de 24 karates cuyo diseño permite una facil limpieza y mantenimiento. En la cámara de reaccion la muestra reacciona con el ozono para producir NO_2 excitado, el cual, en su paso al estado más estable, libera energia en forma de fotones o luminosa. La cámara de reacción opera a una temperatura de 50°C para asegurar la mayor estabilidad de operacion. En la misma cámara se encuentran instalados los capilares de ozono y de muestra y el termistor sensor de temperatura
- 3) **Convertidor NO_2 :** el convertidor NO_2 emplea molibdeno calentado aproximadamente a 325°C a fin de convertir y detectar NO_2 . El convertidor consiste de un encapsulado aislado, un calentador, cartucho reemplazable y un sensor termopar tipo K.
- 4) **Tarjeta de control de temperatura:** esta tarjeta es usada para medir y controlar la temperatura del convertidor NO_2 y la cámara de reaccion. Ambas, la señal acondicionada del termopar y la señal generada desde el termistor de la cámara de reacción son usadas por el microprocesador para el despliegue digital.
- 5) **Tarjeta de acondicionamiento de la señal de entrada:** acepta, convierte, amplifica y digitaliza la señal proveniente del tubo fotomultiplicador. La señal acondicionada es enviada al microprocesador para manipulacion adicional.
- 6) **Suministro de alto voltaje:** provee al fotomultiplicador con un alto voltaje negativo requerido para operacion. La salida de la fuente puede ser ajustada desde -650 a -1300 volts DC.
- 7) **Suministro de DC:** la tarjeta de la fuente de poder de DC genera los voltajes regulados de DC necesarios y también contiene la circuiteria de manejo para las válvulas solenoides. La circuiteria para alimentar y controlar el enfriador del fotomultiplicador esta localizada en la tarjeta de la fuente de poder.
- 8) **Ozonizador y fuente de suministro:** el suministro de voltaje al ozonizador consiste en pulsos de 15 volts, los cuales, son posteriormente incrementados a traves de un transformador. Una descarga del ozonizador es activada por pulsos de alto voltaje para generar la alta concentracion de ozono usada en la reacción quimiluminiscente.

- 9) **Microcomputadora:** la microcomputadora utiliza el microprocesador 6800 de Motorola. La computadora toma los datos desde la tarjeta de entrada, los manipula y de acuerdo a los parámetros escogidos por el usuario, almacena y recuerda todos las variables y/o opciones, calcula parámetros de calibración, determina concentraciones de NO, NO_x y NO₂, presenta en la salida dichos valores en forma digital en el panel frontal y como voltajes en las terminales posteriores. La microcomputadora también controla las funciones de tiempo y las solenoides, supervisa diversas zonas de temperatura y presión y ofrece al usuario información del estado y las eventuales condiciones de mal funcionamiento
- 10) **Componentes del circuito:** el analizador básico toma una muestra a presión atmosférica a través de un filtro de partículas para llevarla a un orificio reductor de presión y de ahí direccionada por la válvula solenoide a la cámara de reacción. Dentro de esta, la muestra se mezcla con una corriente de aire ozonizado que pasa también a través de un orificio reductor de presión. La mezcla de la muestra se somete al proceso de luminiscencia antes de ser descargada de la cámara por la acción de una bomba de vacío de tipo diafragma. La descarga de la bomba es llevada a una conexión posterior del analizador. Todos los componentes del analizador que hacen contacto con la muestra antes de la cámara de reacción son fabricados de oro, acero inoxidable o teflón. El flujo nominal de muestra es de 650 cm³ minuto y de aire ozonizado de 120 cm³ minuto

TABLA 2. ESPECIFICACIONES (Parámetros designados por EPA)*

Rangos	0-50*, 100*, 500* 1000*, 2000, 5000, 10000 20000 PPB
Ruido	0.25 PPB RMS (Metodos en un intervalo de 60 seg.)
Límite mínimo detectable	0.50 PPB (Constante de tiempo de 60 seg.)
Corrimiento del zero (24 horas)	0.50 PPB
Corrimiento del span (24 horas)	± 1% de la escala completa**
Rizo, Tiempo de caída (0-95%)	
10 seg. Promedio*	40 segundos
60 seg. Promedio*	80 segundos
300 seg. Promedio*	300 segundos
Precisión	± 0.5 PPB*
Linealidad	± 1% PPB**
Velocidad de flujo de la muestra	0.7 litros por minuto
Interferencia equivalente (PPB)	Cada una - 10 PPB Total - 20 PPB
Temperatura de operación	De 15 a 35°C*
Requerimientos de potencia	105-125 V AC, 60 Hz* 220-240 V AC, 50 Hz 300 Watts
Dimensiones Físicas	17" ancho x 8 1/2" alto x 23" profundidad
Peso	35 libras
Salidas	NO, NO _x , NO ₂ , Voltaje Seleccionable 4-20 mA, RS-232 (Opciona)

2.2.2 Analizadores de Dióxido de Azufre

Estos analizadores del SO_2 , usan un principio llamado de **Fluorescencia Pulsante** que se inicia con la emisión de un haz de luz de una lámpara ultravioleta que es pasada en una cámara de reacción con la masa del gas, la cual, sufre una excitación molecular del SO_2 y que al volver a su estado normal provoca una fluorescencia, ésta es medida por un tubo detector fotomultiplicador y a través de la electrónica del equipo es interpretada en concentración. Existen en el mercado instrumentos con la capacidad de tener multirango para aplicaciones ambientales o de fuente fija.

El analizador empleado presenta una nueva generación en tecnología de monitoreo de fluorescencia pulsante. El uso del mismo ofrece varias ventajas sobre otras técnicas de monitoreo que a continuación se mencionan:

- Específicamente para SO_2
- No se requieren botellas de gases, reactivos consumibles o flamas
- Excelente estabilidad
- Calibración simple
- Insensible a cambios en flujo y temperatura
- Totalmente autocontenido
- Basado en microprocesador

El analizador tiene también incorporados un número de adelantos significantes sobre otros monitores fluorescentes, los cuales, se encuentran en el mercado. Este incluye lo siguiente:

- Sensibilidad mas grande
- Ruido menor
- Velocidad de flujo menor
- Menos susceptibilidad a la interferencia
- Filtrado optico reflectivo de alto diseño
- Diagnóstico optico y electrónico del span

A. Teoría General de Operación

La **Figura 3** ilustra los principios generales del monitoreo del SO_2 , utilizando la técnica de fluorescencia pulsante. La luz ultravioleta pulsante es filtrada en un filtro paso banda y enfocada dentro de una cámara fluorescente. Aquí se excitan las moléculas de SO_2 en estados de energía muy altos. Como estos estados decaen, las moléculas excitadas de SO_2 emiten una radiación característica. Un segundo filtro permite solamente que esta radiación caiga sobre un tubo fotomultiplicador, el cual, convierte la radiación en una señal eléctrica. Esta señal es entonces filtrada y amplificada por la electrónica a niveles apropiados para desplegarla. La física de la fluorescencia del SO_2 , la linealidad del tubo fotomultiplicador y el diseño de un buen instrumento asegura que esta señal es linealmente proporcional a la concentración de SO_2 .

B. Teoría detallada de operación

El Dióxido de azufre absorbe luz en tres regiones primarias:

REGION	LONGITUD DE ONDA
1	390 nm - 340 nm
2	320 nm - 250 nm
3	230 nm - 190 nm

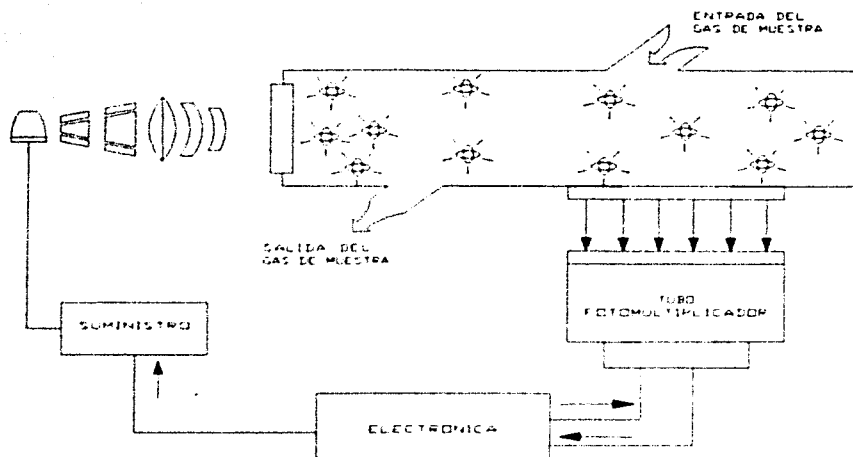
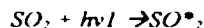


Figura 3. Principios de Operación

La primer región no ha sido caracterizada exactamente debido a una débil absorción y a un alto debilitamiento de la radiación fluorescente. Las moléculas de Dióxido de Azufre excitadas por la radiación en la **Región 2** están fuertemente debilitadas por oxígeno y nitrógeno del aire. La **Región 3** exhibe mínimo decaimiento por el aire y la mayoría de otras moléculas que podrían ser halladas en el aire contaminado. Es por esta razón que la excitación para el efecto fluorescente se localiza en la **Región 3**. La fuente de la luz pulsada emite una radiación ultravioleta a frecuencias ν_1 . Las moléculas de SO_2 absorben a estas frecuencias, produciendo electrónicamente SO_2^* excitado.



Donde $h\nu_1$ es un cuanto de energía absorbida por las moléculas de SO_2 , e I_a es la intensidad de luz absorbida por estas moléculas.

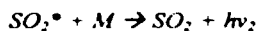
En términos de la luz incidente, I_0 , I_a está dada por la siguiente ecuación:

$$I_a = I_0 [1 - e^{-a(SO_2)x}]$$

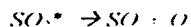
Aquí a es el coeficiente de absorción de SO_2 , x es la longitud de la trayectoria y SO_2 es la concentración de SO_2 . Habiendo absorbido esta energía radiante y alcanzado un estado excitado, las moléculas de SO_2 entonces liberan su energía en exceso y decaen a su estado estable. Tal proceso de decaimiento es fluorescente, en el cual las moléculas de SO_2 emiten una radiación característica a una frecuencia ν_2 , la cual es diferente a la frecuencia de absorción ν_1 .



Otro método de decaimiento ocurre cuando una molécula del medio choca con una molécula excitada de SO_2 , robando a la molécula excitada de SO_2 algo de su exceso de energía. Esta reacción puede ser expresada como sigue:



M es característica del aire del medio. Un tercer método de decaimiento es llamado disociación. En este proceso, las moléculas de SO_2^* se descomponen como se indica en la siguiente expresión:



Utilizando las reacciones de arriba, una expresión puede ser escrita para representar la intensidad de la fluorescencia en el detector.

$$F = \frac{GklfI_0 \left[1 - e^{-\alpha x(SO_2)} \right]}{kf + kd + kq(M)}$$

En esta ecuación, kf , kd y kq se refieren a las constantes de proporcionalidad de los respectivos procesos dados arriba y G representa un factor geométrico, el cual es función del diseño de la cámara de fluorescencia. Cuando la concentración de SO_2 es relativamente baja y la longitud de la trayectoria de la luz de excitación es corta, la expresión de arriba puede estar aproximada por:

$$F = \frac{GklfI_0 \alpha x(SO_2)}{kf + kd + kq(M)}$$

kf , kd y kq permanecen relativamente constantes, sobre un amplio rango de temperaturas y las condiciones del medio. I_0 puede, con un diseño apropiado, mantenerse constante. Puesto que G y x dependen solamente del diseño mecánico de la cámara, ellas también son constantes, permitiendo que la ecuación sea reescrita como una proporcionalidad directa.

$$F = K(SO_2)$$

Esto muestra que la radiación fluorescente incidiendo sobre un detector es directamente proporcional a la concentración de SO_2 . Esta proporcionalidad directa es la base para la técnica de medición usada en el analizador.

La derivación anterior no toma en cuenta el efecto de otras sustancias que acompañan al SO_2 , las cuales, imitan su actividad fluorescente. El principal entre estos interferentes son grandes moléculas orgánicas, tales como los hidrocarburos aromáticos. A través de un diseño cuidadoso y el uso de un "kicker" (eliminador) de hidrocarburos (desarrollado por RIVM, Holanda, 1984), se eliminan todos los efectos de estos interferentes.

C. Descripción del Analizador

Esta sección se refiere al flujo de gas dentro del instrumento. La Figura 4 es un esquema de flujo del analizador. Solamente hay un puerto de entrada etiquetado como MUESTRA, en la parte posterior del instrumento.

El gas fluye a través de un lado del tubo del eliminador de hidrocarburos, el cual, los remueve dejando intacta la concentración de SO_2 . Este opera con base a un principio de filtración selectiva, permitiendo solamente que las moléculas de hidrocarburos pasen a través de la pared del tubo. La fuerza para remover los hidrocarburos es la presión diferencial que se establece entre el tubo interior del eliminador y la "chaqueta" o tubo exterior. De acuerdo con el circuito de flujo de la muestra, la presión en el tubo eliminador es atmosférica y la presión en el lado exterior es una presión de vacío.

Dicha presión de vacío se asegura con el paso de la muestra a través de un tubo capilar. A la salida del lado del tubo del eliminador ("kicker"), la muestra fluye dentro de la cámara de fluorescencia, donde se somete a análisis. Dado que la cámara está a una presión atmosférica, el instrumento es insensible a pequeñas fugas y a variaciones moderadas en el gasto de flujo.

Una lectura en el medidor de flujo mayor a 0.4 LPM es satisfactoria. El gasto de flujo puede ser ajustado cambiando el capilar. Un medidor de vacío se suministra para monitorear la presión diferencial a través del eliminador de hidrocarburos. Una presión diferencial de cuando menos 10 pulgadas de Hg es requerida para remover todas las interferencias de hidrocarburos.

Ningún dispositivo de control de presión o flujo se tiene en la línea de muestra antes del análisis y la velocidad de flujo de la muestra es alta, minimizando así los efectos de la velocidad.

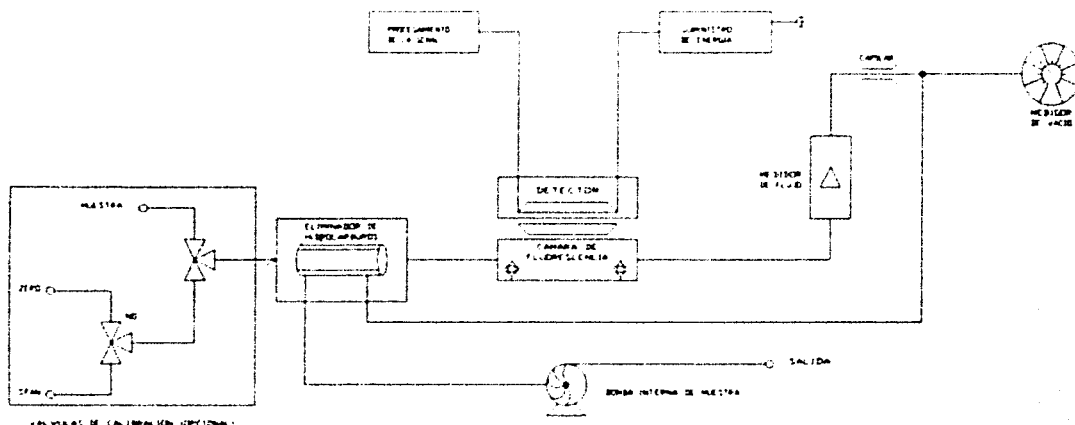


Figura 4. Esquemático del flujo de gas

D. Descripción de la óptica

La sección óptica (ver **Figura 5**) empieza con una lámpara sellada herméticamente, la cual, es alimentada por pulsos de una frecuencia de 10 hertz. La lámpara debe operar con base en los siguientes criterios:

- Larga vida útil
- Alta intensidad óptica (mejorando la relación señal/ruido)
- Tamaño pequeño
- Bajos requerimientos de potencia (menos de 1 watt)
- Periodo de estabilidad largo
- Procesamiento de la señal troceada (ningún corrimiento de la corriente oscura)

La luz de esta lámpara se enfoca por medio de una lente hacia el ensamble de espejos. Un grupo de cuatro espejos selectivamente reflejan sólo aquellas longitudes de ondas que son usadas para excitar las moléculas de SO_2 . Este filtrado óptico permite que la radiación alcance la cámara de detección con mayor intensidad y estabilidad por todo el tiempo de vida del instrumento. Después de este filtrado, la luz pasa a través de una lente relevadora y penetra a la cámara de reacción. Un baffle circular ayuda a mantener dispersa la luz al entrar al volumen de detección real.

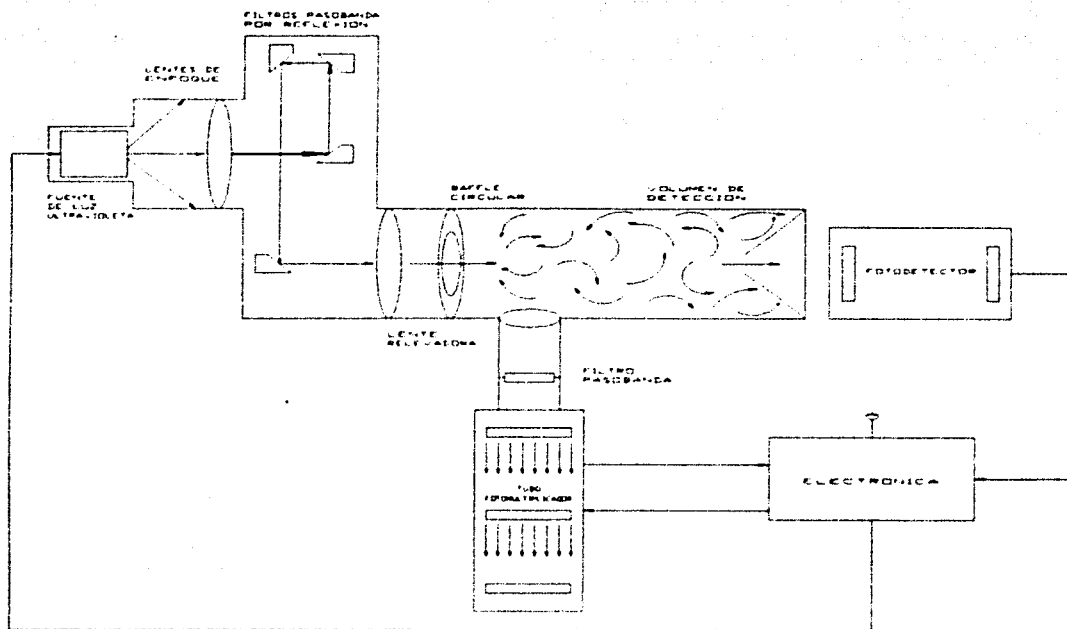


Figura 5. Esquemático del Sistema Óptico

El ensamble del detector principal se localiza en un ángulo recto a la luz de entrada. Un lente condensador colecta y enfoca la luz de las moléculas fluorescentes del SO_2 . La luz entonces pasa a través de un filtro paso banda, el cual, restringe la luz que alcanza al tubo fotomultiplicador, exclusivamente a las longitudes de onda del SO_2 fluorescente.

Enfrente de la luz y al lado opuesto de la cámara de reacción, está una trampa de luz, la cual impide que la luz se refleje hacia atrás hacia el volumen de detección del gas. En el centro de esta trampa, hay un agujero que permite que la luz alcance al fotodetector. Este fotodetector continuamente monitorea la luz incidente y está conectado a un circuito que automáticamente compensa las fluctuaciones en la salida de la lámpara de excitación.

E. Descripción de la electrónica

La electrónica en el analizador consiste del procesamiento de la señal, suministro de energía, microcomputadora y circuitos de control de temperatura. De acuerdo con la **Figura 6**, el tubo fotomultiplicador transforma la intensidad de luz en una corriente. Un preamplificador convierte la corriente en un voltaje y este voltaje es amplificado de acuerdo al rango definido o ajustado. De aquí, la señal pasa a través de una compuerta electrónica, la cual, es interrumpida sincrónicamente con los mismos pulsos que alimentan la lámpara. La microcomputadora genera las señales usadas para iniciar ambas, el disparo del flash y el muestreo de la señal.

TABLA 3. ESPECIFICACIONES

Rangos	
Modo Estándar	0-0.1, 0.2, 0.5, 1, 2, 5 y 10 PPM
Modo de Alto Rango	0-1, 2, 5, 10, 20, 50 y 100 PPM
	10 seg 60 seg 300 seg
Ruido	1.0 ppb 0.5 ppb 0.25 ppb
Límite mínimo detectable (LDL)	2.0 ppb 1.0 ppb 0.5 ppb
Tiempo de respuesta del analizador	80 seg 110 seg 320 seg
Linealidad	"± 1% de la escala completa"
Precisión	1% de lectura ó 1 ppb
Corrimiento del zero	Menos de 1 ppb por día
Corrimiento del span	"± 1% por día"
Niveles de interferencia por EPA	Menos de LDL, excepto por lo siguiente:
NO	Menos de 3 ppb
M-Xylene	Menos de 2 ppb
H₂O	Menos de 2% de lectura
Dependencia de temperatura	
Zero	"± 0.1 ppb "C"
Span	"± 0.1 ppb "C"
Flujo	0 ~ 1 LPM (estándar), 1 LPM (opcional)
Salida Estándar	Dual Voltaje seleccionable
Opcional: 2 salidas analógicas adicionales	Voltaje seleccionable, 4-20 mA aislado 4-20 mA no aislado
Opcional: salida digital	RS-232
Línea de energía	115 V 60 Hz y 220 V 50 Hz
Consumo de potencia promedio	100 Watts 1.3 amp (115 V)
Tamaño	1" ancho x 8 1/2" alto x 23" profundidad
Peso	44 libras

2.2.3 Analizadores de Monóxido y Bióxido de Carbono

Los equipos que actualmente se emplean para la medición del CO y CO₂, utilizan el principio de **Filtración por Correlación de la luz Infrarroja**, que es emitida por su fuente correspondiente, la cual, después de ser filtrada y absorbida por el CO o el CO₂ es medida en un detector electrónico e interpretada en unidades de concentración en los niveles ambientales o de fuentes fijas.

Existen otras técnicas y principios para medir estos gases, las cuales son empleadas principalmente en países de Europa, pero que no son homologadas por las empleadas en los Estados Unidos que son en las que se basan las aplicadas en México.

Igualmente podemos decir que hay otros analizadores con principios similares o diferentes a los mencionados que pueden detectar otros gases o mezcla de gases como son el O₃, HCl, H₂S, NH₃, HCl, VOC's, etc. Hay que tener mucho cuidado que estos analizadores de preferencia tengan Certificación o Aprobación del método de medición de la **Agencia de Protección al Ambiente de USA** conocida como EPA, que sin lugar a duda nos dar la confianza de una buena operación.

El analizador ambiental de CO, empleado en el proyecto o sistema se muestra en la **Figura 7** y utiliza el principio de **Filtrado de Correlación de Fase Gaseosa**, satisface la necesidad de instrumento analítico autocontenido capaz de medir CO en el ambiente en una base de tiempo real continuo.

El analizador de CO ofrece las siguientes ventajas técnicas:

- Altamente específico con respecto a CO (alto rechazo a interferencias)
- Rangos menores con rangos dinámicos amplios (disponible para valores bajos ambientales y aplicaciones en fuentes fijas)
- Salida lineal a través de todos los rangos
- Sensibilidad mejorada
- Estabilidad del zero y span de largo periodo
- Resistente a vibraciones y a choques
- Sistema óptico alineado
- Salidas analógicas dobles totalmente independientes
- Promedios horarios a la salida en forma estándar
- Compensación automática por microcomputadora para cambios en la temperatura y presión
- Un diagnóstico interno eficaz, con base en la microcomputadora

El circuito del microcomputador sobre el cual está basado el analizador, elimina muchas desventajas inherentes de los sistemas analógicos y proporciona una mayor estabilidad, precisión y flexibilidad. El manejo digital de las señales proporciona insensibilidad a efectos de temperatura, de ahí que las fuentes de corrimiento o error en el instrumento causados por uso debidas a la electrónica son minimizadas.

Debido a que la absorción infrarroja es una técnica de medición no lineal, es necesario que la electrónica del instrumento transforme la señal básica del analizador en una salida lineal. En dispositivos analógicos la linealización se realiza con circuitos de aproximación. En el dispositivo empleado, las aproximaciones no son necesarias y dado que la curva de calibración exacta está almacenada en la memoria de la computadora y se usa para linealizar exactamente la salida del instrumento sobre cualquier rango deseado. De esta manera, se tiene una respuesta lineal hasta para concentraciones de 1000 ppm.

La microcomputadora es usada para procesar las señales de los transductores de presión y temperatura y hacer correcciones a la salida del instrumento, resultando mediciones de concentración de CO que no están afectadas por cambios en la temperatura o presión del gas que está siendo muestreado. Ambas correcciones, lineales y no lineales son tratadas con igual facilidad. Además, muchas funciones de diagnóstico pueden ser seleccionadas a través del uso de un panel de botones frontal. Las opciones seleccionables del programa para el usuario incluyen principalmente tiempo de respuesta ajustable para registro de datos estables y valor promediado durante una hora que puede ser asignado como salida continua en las terminales de salida del instrumento.

A. Principio de Operación del Espectrómetro de Correlación de Gases

La técnica del Filtro de Correlación de Gas (GFC) ofrece especificidad y sensibilidad mejoradas sobre las técnicas infrarrojas no dispersivas (NDIR) convencionales. La espectroscopia GFC está basada sobre una comparación de la estructura detallada del espectro de absorción infrarrojo del gas medido con otros gases también presentes en la muestra que está siendo analizada. La técnica está implementada usando una muestra de alta concentración del gas medido, es decir, CO, como un filtro para la radiación infrarroja transmitida a través del analizador desde el GFC.

Los componentes básicos del espectrómetro CO del tipo GFC se muestran en la **Figura 7**. La radiación desde la fuente de IR es troceada y se pasa a través de un filtro de gas alternando entre CO y N₂ debido a la rotación de la rueda del filtro. La radiación entonces pasa a través de un filtro de interferencia paso banda estrecho y entra a una celda de paso óptico múltiple, donde ocurre la absorción por el gas de la muestra. La radiación IR sale de la celda de muestra y cae sobre un detector IR.

El filtro de gas CO actúa para producir un rayo de referencia el cual no puede ser atenuado por CO que está en la celda de muestra. El lado N₂ de la rueda del filtro es transparente a la radiación IR y de aquí que produce un rayo de medición que pueda ser absorbido por el CO en la celda. La señal troceada del detector está modulada por la alternación entre los dos filtros de gas con una amplitud relativa a la concentración de CO en la celda de muestra.

Otros gases no causan modulación del detector de señales puesto que ellos absorben igualmente los rayos de referencia y medición. De aquí que el sistema de GFC responde específicamente a CO.

Con el rechazo mejorado de interferencias permitido por la técnica GFC, es posible incrementar la sensibilidad del analizador. Este es alcanzado por la etapa óptica de paso múltiple (Celda Blanca) utilizada en la celda de muestra, la cual, la conduce a una longitud de trayectoria larga y de aquí a una sensibilidad mejorada en un pequeño espacio físico. Esto conduce a una sensibilidad de la escala completa menor a 1 ppm con un límite mínimo detectable (LDL) de 0.1 PPM.

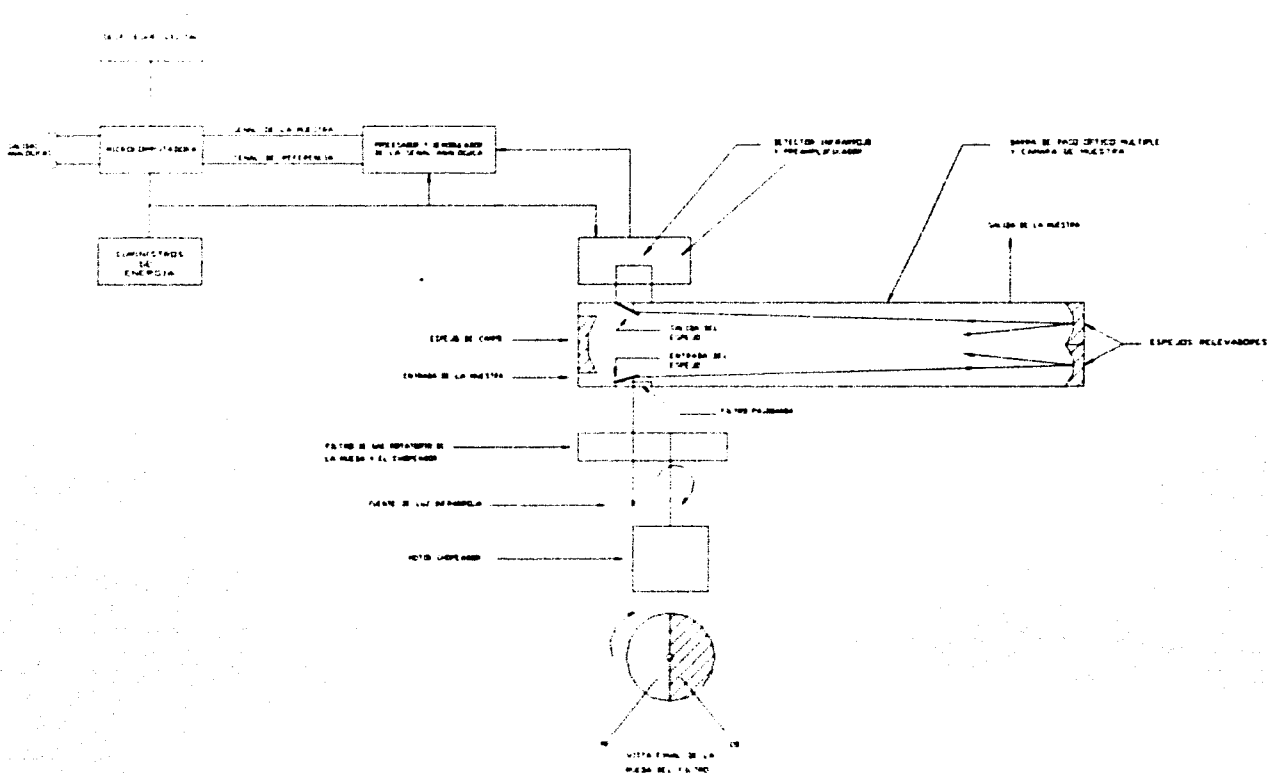


Figura 7. Diagrama de bloques del Espectrómetro de Correlación de Gases

B. Descripción del Instrumento

El instrumento puede ser más convenientemente discutido, separándolo en los siguientes componentes operacionales:

- 1) Barra óptica
- 2) Troceador y rueda de correlación
- 3) Suministro de luz infrarroja
- 4) Detector, preamplificador y suministros de polarización
- 5) Tarjeta de acondicionamiento de la señal de entrada
- 6) Suministro de DC

- 7) Microcomputadora
- 8) Controlador de temperatura
- 9) Componentes del circuito de flujo (bomba, válvulas, medidor de flujo y conexiones)
- 10) Transductores de presión y temperatura

A continuación se describen cada uno de ellos:

- 1) **Barra óptica:** la barra óptica es del diseño de la Celda Blanca. El uso de la barra óptica permite alcanzar una longitud de trayectoria larga, con un ángulo de aceptación grande, en un pequeño espacio físico. La barra ha sido diseñada para desensamblarla fácilmente para su limpieza. La fuente, el detector, la rueda de correlación y el troceador están montados rigidamente a la barra óptica. No debería ser necesaria la realimentación después de una rutina de limpieza.
- 2) **Troceador y rueda de correlación:** la rueda de correlación consiste de dos celdas hemisféricas, una llenada con CO y la otra con N₂. Integrada a la rueda de correlación está el troceador diseñado estrictamente para producir la alta frecuencia de troceo de (360 Hz), necesaria para el detector infrarrojo. La rueda de correlación es rotada por un motor sincrónico.
- 3) **Suministro de la luz infrarroja:** la fuente infrarroja es una resistencia de alambre devanado especial, calentado por un voltaje de DC altamente regulado. El reemplazo en caso necesario se hace de manera directa.
- 4) **Detector, preamplificador y suministros de polarización:** el detector es un dispositivo de estado sólido con un enfriador integral. Este está montado directamente sobre la barra óptica. La salida del detector es alimentada al preamplificador, previamente a su transmisión a la Tarjeta acondicionadora de la señal de entrada. El voltaje de polarización necesario para operar el detector es generado por un suministro de voltaje distinto.
- 5) **Tarjeta acondicionadora de la señal de entrada:** La tarjeta que acondiciona la señal de entrada, toma la señal de salida del preamplificador y separa la señal en dos componentes, una componente corresponde al rayo de referencia a través de la celda de muestreo y la otra es debida al rayo de medición a través de la misma celda. Esta tarjeta incluye los sensores y la circuitería asociada para la determinación de la posición de la rueda, lo mismo que un circuito AGC (Control de Ganancia Automático). Finalmente, ésta contiene dos convertidores V-F (Voltaje a Frecuencia) para la digitalizar las dos señales.
- 6) **Suministro de DC:** la tarjeta de poder de DC genera los voltajes regulados de DC necesarios y también contiene la circuitería de manejo para las solenoides.
- 7) **Microcomputadora:** la microcomputadora está basada sobre la familia 6800 de Motorola. Las señales digitales provenientes de la tarjeta de acondicionamiento se alimentan directamente a los contadores controlados por el computador. Además, los transductores de presión y temperatura se alimentan directamente al mismo contador.

El software opera sobre esta información para determinar la concentración de CO, también para datos de diagnóstico a la salida y para proporcionar la concentración de CO al display frontal y a las terminales de señal analógica.

El software contiene algoritmos sofisticados para minimizar el ruido, aumentar la sensibilidad, asegurar que la salida es lineal, para corregir cambios en la presión y temperatura ambiente y para chequear un mal funcionamiento.

- 8) **Controlador de temperatura:** se dispone de un transductor de temperatura para medir la temperatura y para corregirla por cambios ambientales. Sin embargo, a fin de asegurar que la barra óptica está por encima del punto de rocío, (para evitar la condensación), es operada a una temperatura ligeramente arriba de la temperatura ambiente. El dato significativo a la salida puede ser generado aun si la barra no está estabilizada.

- 9) **Componentes del circuito de flujo:** El analizador opera a una presión atmosférica normal. La **Figura 8** resume el esquemático de flujo. Una bomba de vacío al final de la tubería y elementos capilares controlan el flujo de la muestra a través de la barra óptica, lo mismo que es monitoreado por un rotámetro. El flujo nominal es 1 litro por minuto, con valores entre 1/2 - 2 litros.
- 10) **Transductores de presión y temperatura:** La presión y la temperatura deben ser medidas si se quiere compensar para cambios los valores ambientales. La presión se mide por una galga extensométrica. La temperatura se mide por un termistor.

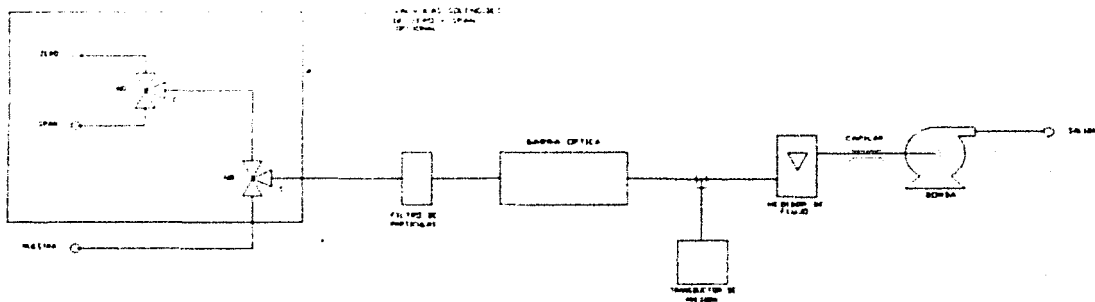


Figura 8. Esquemático de flujo del Analizador de CO

TABLA 4. ESPECIFICACIONES

Rangos	0-1, 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500, 1000 PPM
Ruido	0.05 PPB RMS (medidos en un intervalo de 60 seg).
Valor mínimo detectable	0.10 PPM
Corrimiento del zero (24 horas)	"± 0.2 PPM"
Corrimiento del span (24 horas)	"± 1% de la escala completa"
Rizo, Tiempo de caída (0-95%)	1 Minuto
Precisión	"± 0.1 PPM"
Velocidad de flujo de la muestra	0.5 a 2 litros por minuto
Relación de rechazo	Interferencia insignificante de agua y CO ₂
Temperatura de operación	Por especificaciones llevadas a cabo, se mantiene sobre el rango de 15 a 35 °C (puede ser operada seguramente sobre el rango de 5 a 45 °C)
Requerimientos de potencia	105-125 VAC, 60 Hz 220-240 VAC, 50 Hz 100 Watts
Dimensiones físicas	17" ancho x 8 1/2" x 23" profundidad
Peso	45 libras
Salidas duales (estándar)	Individualmente seleccionable de 0-10 mV, 0-100 mV, 0-1 V, 0-5 V, 0-10 V, desplegado digital, 1 hora de valores integrados. Otras salidas disponibles sobre demanda (4-20 mA)

2.2.4 Celda de Oxido de Zirconia

La probeta del analizador de oxígeno de estado sólido, está aplicada directamente a la corriente de gas y así el sistema no requiere estar muestreando.

El corazón de la probeta es una celda de óxido de zirconia estabilizada a una temperatura controlada de 850°C. A dicha temperatura, se genera un voltaje relacionado con la diferencia entre las presiones parciales de oxígeno en la corriente de gas y en un gas de referencia. El gas de referencia está aplicado a un lado de la celda y el gas de proceso al otro lado. Mientras más baja sea la concentración de oxígeno en el gas de proceso, es más alto el voltaje generado.

La inserción de la probeta directamente en la corriente de gas de proceso da lugar a una muestra de oxígeno más representativa y elimina el mantenimiento continuo sobre el sistema de muestreo.

2.2.4.1 Analizador de Estado Sólido

1. Teoría de operación:

- a) El oxígeno en el gas de proceso hace contacto con óxido cerámico, el cual, cuando se calienta se convierte en un conductor electrolítico exclusivamente para iones de oxígeno.
- b) La salida eléctrica es producida proporcionalmente a la diferencia en la cantidad de oxígeno en cada lado de la celda.
- c) Un gas de referencia, habitualmente aire, es introducido a un lado de la celda.
- d) La salida de la celda está entonces relacionada con la cantidad de oxígeno en la muestra de gas.

2. Aplicaciones:

- a) Inserción directa en el gas que está fluyendo.
- b) Monitores de combustión de mezclas, productos de combustión y corrientes de proceso.

3. Operación:

- a) Rango 0-0.1 a 0-10% de oxígeno.
- b) Precisión de 0.1% de lectura.
- c) Rango de temperatura de operación 10-760 °C.

3. SISTEMA DE DILUCIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DE MUESTRAS

En este capítulo se reporta el diseño y construcción de las partes que realizan la extracción de la muestra de la chimenea y su correspondiente acondicionamiento en donde se hace énfasis en la etapa de dilución que permite transportar la muestra a más de 50 metros para su análisis. La dilución es la etapa más importante del CEM y debe realizarse con elementos de alta calidad y precisión en el acondicionador. El mismo acondicionador se describe en este capítulo en primer lugar con respecto a las funciones que desempeña y de manera muy enfática a las secuencias de operación que se llevan a cabo, mismas que son esenciales para la operación del CEM. También en torno a los acondicionadores se muestra el diagrama de flujo completo del CEM en donde se señalan las válvulas de control de tipo solenoide que hacen posible la operación del sistema.

3.1 COMPONENTES PRINCIPALES

3.1.1 Probeta de muestreo

La sonda o probeta de muestreo consiste en un tubo sencillo de metal que se inserta dentro de un ducto o una chimenea, esto es adecuado en situaciones en las que la muestra está libre de material particulado. Sin embargo; el flujo de gases libre de partículas no es común en las fuentes fijas, en las que se obliga a un monitoreo continuo de emisiones CEM's.

El tubo abierto puede ser fácilmente taponado por las partículas que están presentes en la muestra, especialmente si el flujo de gas tiene un alto contenido de este material. También el vapor presente puede condensarse y combinarse con las partículas y producir un aglomerado material que podría taponar el tubo fácilmente. Para minimizar este problema se coloca un filtro en la punta de la probeta.

Los filtros de acero inoxidable sinterizado, tienen la capacidad de filtrar partículas con diámetro de 10 a 50 micras y su uso es muy común en las probetas de muestreo. Algunos filtros son construidos para la eliminación de partículas de tamaño entre 1 y 2 micras, pero lo fino de la porosidad dificulta el flujo continuo del gas, por lo que la capacidad de la bomba succionadora de muestra se debe aumentar.

En otros diseños, el filtro se monta en la parte interior de la probeta que se inserta en el ducto o chimenea. En diseños recientes se coloca el filtro en la parte exterior sin penetrar en la chimenea, ofreciendo ventajas en el mantenimiento de los mismos.

Los sistemas extractivos diseñados con filtros internos pueden ser fácilmente calibrados desde el ensamble de la probeta y el filtro, los gases de calibración son inyectados desde la misma y fluyen por el espacio anular entre el filtro y el cuerpo proporcionando una verificación integral de todo el sistema hasta el analizador, esto no es fácil con sistemas que tengan el filtro en forma exterior ya que el filtro está más afectado por el flujo de gases y se requieren excesivas cantidades de gases de calibración para que fluyan en el área alrededor del filtro.

3.1.2 Elemento de dilución

Los elementos de dilución, como su nombre lo indica, diluyen la muestra desde la misma chimenea, a tal grado que el punto de rocío del gas diluido pueda ser menor que la temperatura ambiente, esto ayuda a que en los Sistemas de Monitoreo Continuo CEM's, utilizados con estas técnicas no requieran calentamiento de las líneas de muestreo, eliminando problemas de condensado y simplificando el transporte del gas en todo el sistema; además de reducir el costo de las líneas de transporte de muestra.

Uno de los primeros elementos de muestreo de dilución diseñados utiliza un orificio sónico acoplado con una bomba eyectora dentro del cuerpo de la probeta. Esta probeta fue originalmente diseñada en Holanda en el año de 1978 y ha sido utilizada con muy buenos resultados en una gran mayoría de aplicaciones, los rangos de dilución de 100 a 1 son típicos, pero relaciones mayores pueden ser empleadas para corrientes de gas saturadas y calientes. En conjunto con la dilución se emplean analizadores para rangos ambientales, lo que representa una ventaja adicional. Debe ponerse especial atención en la selección del rango de los analizadores,

con un rango de dilución de 100 a 1 y un rango de medición de 0 a 50 ppm, se debe seleccionar un analizador de rango de 0.5 ppm; es decir, el factor de dilución actúa como un divisor / multiplicador del rango.

3.1.3 Dilución fuera de la chimenea

Esta es una alternativa más reciente y de mejores resultados en la aplicación de diferentes tipos de procesos, dado en el fácil mantenimiento de este tipo de probeta. En esta configuración el gas es diluido usando un orificio crítico y a la vez se puede calibrar completamente el sistema introduciendo gases de calibración y aire limpio de nivel cero de acuerdo con una secuencia que un programador externo puede realizar. Este tipo de probetas presenta la gran ventaja de ser relativamente económicas, fáciles de desensamblar y consecuentemente los filtros de partículas gruesas y finas se cambian rápidamente, mismos que son de muy bajo costo. Igualmente el orificio de restricción para controlar la dilución es de fácil acceso y reemplazo.

En las Figuras 9 y 10 se pueden observar los elementos de construcción de este último diseño de probeta, así como el flujo de gas, aire cero y gas de calibración a través de los diferentes elementos de la probeta tanto en muestra húmeda como en muestra seca. El diseño del CEM seleccionado como solución para la aplicación que ocupa a la presente tesis, está basado en este tipo de probetas con dilución externa.

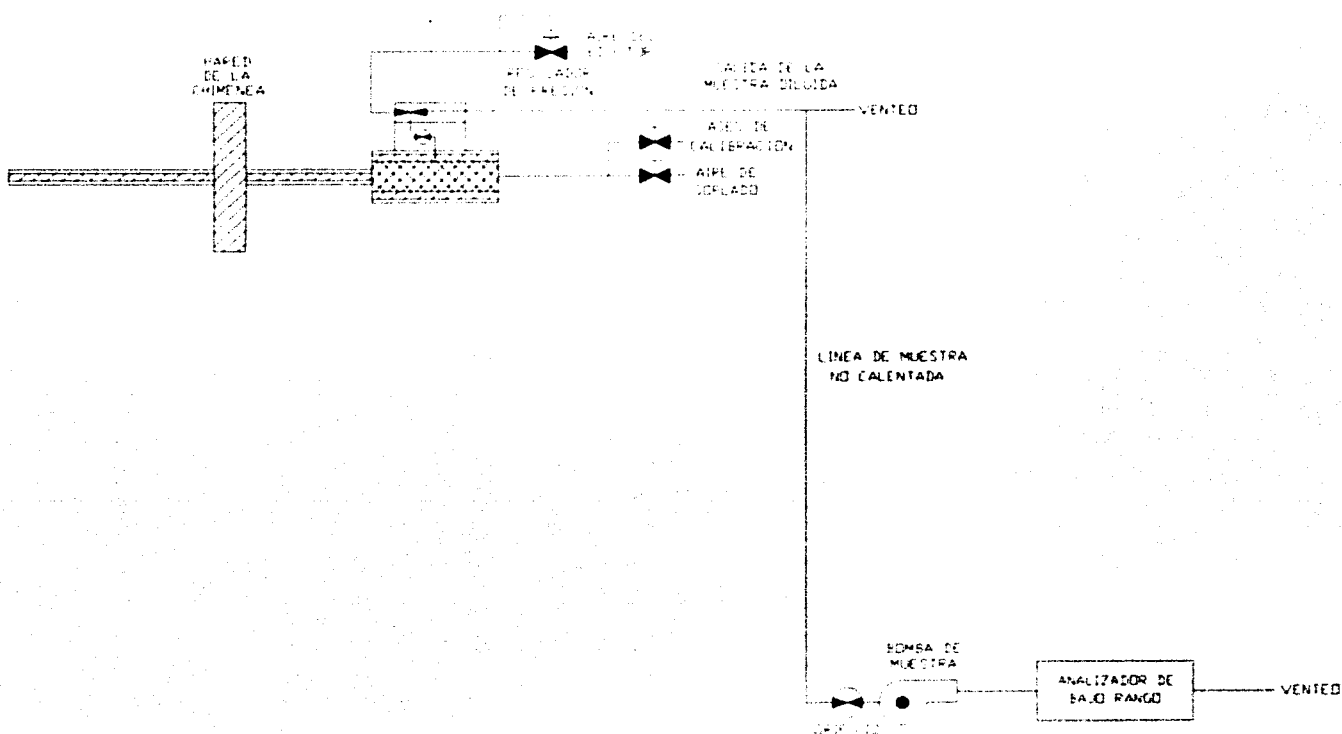


Figura 9. Diagrama de flujo en base húmeda

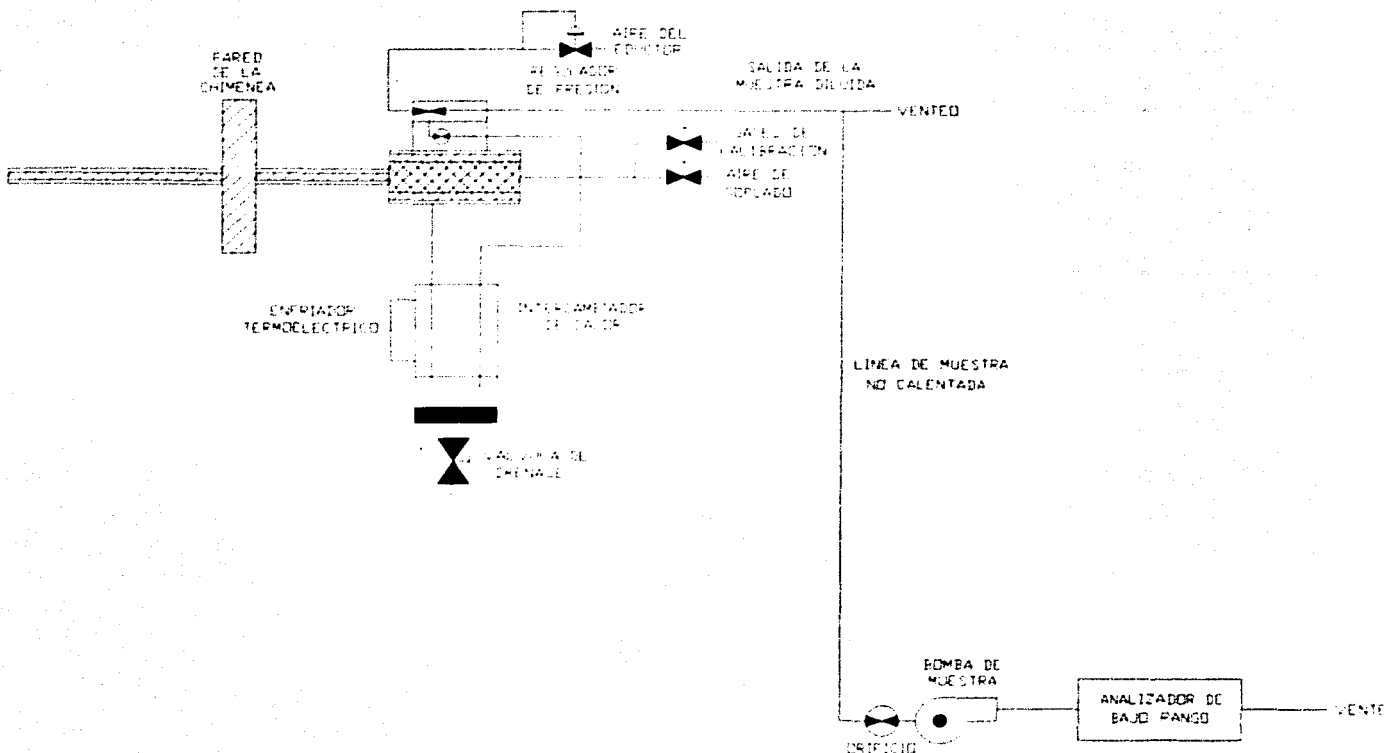


Figura 10. Probeta de dilución en base seca

La diferencial entre una muestra húmeda y una muestra seca radica en el contenido de humedad de la muestra, para lo cual, se agrega en el sistema un dispositivo capaz de retirar la humedad de la corriente sin afectar ninguna otra característica de la muestra; esto es, sin alterar el contenido de contaminantes, evitando el "lavado de gases". Este es el caso de nuestro diseño.

3.1.4 Ensamble de acondicionamiento y dilución

El ensamble de acondicionamiento y dilución está compuesto de tres partes. La primera parte es el ensamble de acondicionamiento y dilución en sí, montando en la pila o el ducto, la segunda parte es el multiconductor de tubos y conectores eléctricos y la tercera parte es el controlador remoto. El ensamble de acondicionamiento y dilución extrae, condiciona y diluye las emisiones para el análisis, en la segunda parte, el multiconductor de tubos y conectores eléctricos conecta a la probeta de dilución con los analizadores, el suministro de gas de calibración, el suministro de aire de purga, el suministro de aire de dilución y las señales del controlador remoto de la probeta y en la tercera, el controlador remoto de la probeta monitorea y controla las temperaturas de los subensambles del acondicionador y también despliega la salida de O₂ de la celda de zirconia.

3.1.5 Ensamble del hardware del sistema de acondicionamiento y dilución

El acondicionador consiste de 8 subensambles principales utilizados para acondicionar, analizar y transportar la muestra (Figura 11). Estos son los siguientes:

1. Caja del acondicionador
2. Calentador de la caja
3. Regulador del aire de dilución e interruptor de presión
4. Filtro calentado, eductor de dilución y ensamble de la probeta
5. Intercambiador de calor (enfriador termoelectrico) y válvula de drenaje
6. Medidor O_2
7. Panel de control
8. Manifold de la válvula de aire

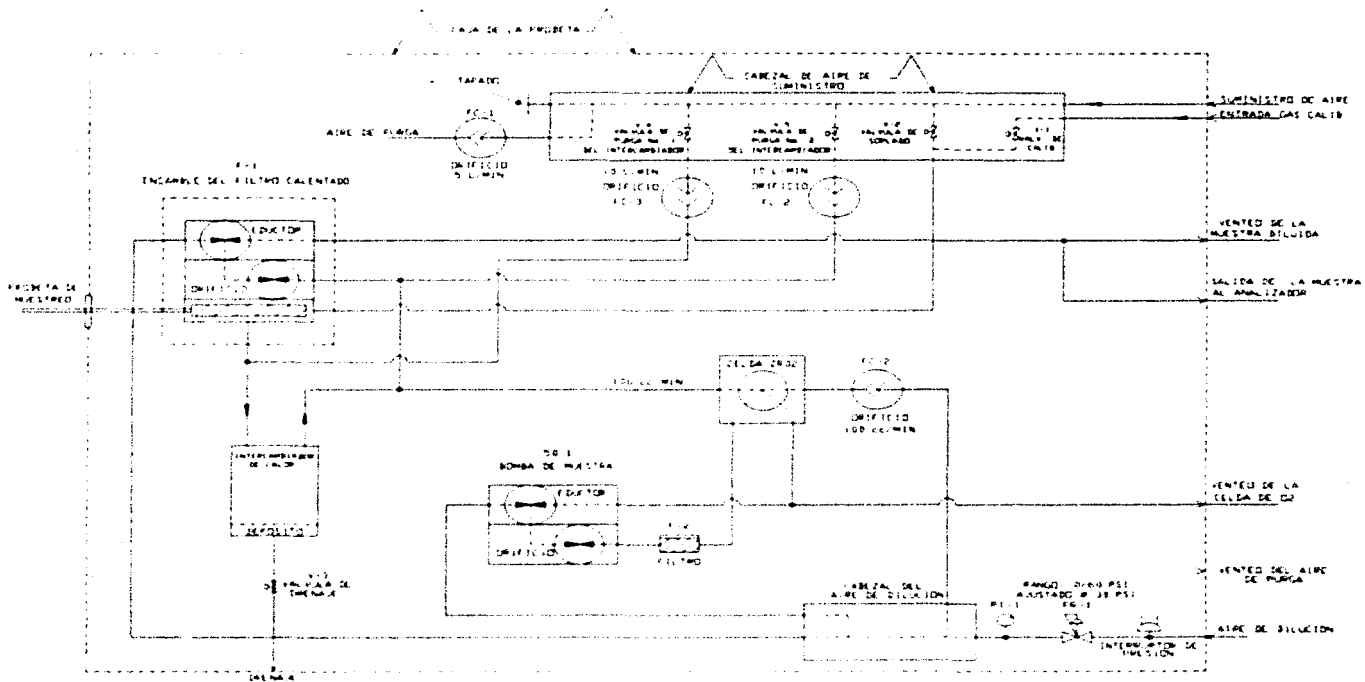


Figura 11. Diagrama de flujo del acondicionador de la probeta

A continuación se describen los principales componentes:

- Regulador del aire de dilución e interruptor de presión

El regulador del aire de dilución e interruptor de presión está localizado en la parte inferior de la caja del acondicionador. El regulador es de 0-60 psi con un medidor de 0-60 psi. El ajuste es de 30 psi. A la salida del regulador está un interruptor de presión que se activa cuando la presión del aire baja por debajo de 25 psi.

- **Filtro calentado, eductor de dilución y ensamble de la probeta**

El ensamble de dilución consiste de un tubo de Hastelloy y el eductor en la cabeza de la probeta. El ensamble del eductor y el cuerpo del filtro calentado componen al eductor en la cabeza de la probeta. Un filtro calentado sub-microcónico de alta capacidad está alojado dentro de la cabeza de la probeta y puede ser fácilmente reemplazado durante un mantenimiento preventivo. El tubo de la probeta que está muestreando, tiene una sección de diámetro externo de 0.67 pulgadas y un diámetro interno de 0.5 pulgadas. El material del tubo es seleccionado por compatibilidad con la corriente del proceso y es suministrada en un Hastelloy C-276. El tubo de 4 pies tiene una curva aproximada de 5 grados para prevenir un exceso de agua paulatino dentro del tubo en procesos saturados.

- **Intercambiador de calor y válvula de drenaje**

El intercambiador de calor y la válvula de drenaje están localizados en la pared izquierda del ensamble de la caja. Un bloque de teflón enfriado termoeléctricamente, un depósito de colección de humedad, un sumidero de aluminio calentado expuesto al ambiente, una válvula de purga creada con el sistema de intercambio de calor. Este sistema remueve la humedad de la muestra filtrada inmediatamente antes de la dilución. También durante el modo de purga y soplado, la válvula de drenaje permite que la humedad atrapada por el intercambiador de calor se vacíe.

- **Medidor de O₂**

El medidor de oxígeno está compuesto por un sensor de oxígeno de zirconia (ZRO₂), un eductor, un transmisor de termopar, un transmisor linealizador de señal, un controlador de temperatura, un circuito para zero/span y un medidor de despliegue.

La señal logarítmica recibida desde el sensor de zirconia es procesada por el transmisor/linealizador donde ésta es amplificada y convertida en una salida de corriente de 4 a 20 mA de corriente directa.

- **Multiconductor de tubos y conductores eléctricos**

El multiconductor de tubos y conectores eléctricos está en el enlace principal entre el ensamble de la probeta de dilución y el rack de analizadores.

1. **Multiconductor de tubos**

El multiconductor de tubos suministra aire de purga y soplado, aire de dilución, gas de calibración y la muestra regresa a la línea para ser analizada por los analizadores que se encuentran en el rack. El aire de purga y soplado es suministrado por un tubo de polietileno de 1/2" a 60 psi al cabezal de aire. El aire de dilución es suministrado por un tubo de polietileno a 60 psi al regulador del aire de dilución. El gas de calibración es suministrado por un tubo limpio de teflón de 1/4" a 30 psi (limitado a 2500 cc por un orificio de flujo) conectado a la entrada del gas de calibración en el cabezal de aire. La salida de la muestra está conectada a un tubo limpio de teflón de 3/8" para suministrar muestra diluida a los analizadores.

2. **Conectores eléctricos**

Dos conectores eléctricos son usados para la interfase entre el ensamble de acondicionamiento y dilución y el rack de analizadores (donde el ensamble del controlador remoto de la probeta está localizado). Primeramente están ocho pares de conectores usados para el control binario de los relevadores de estado sólido y los dos interruptores que controlan la demanda de O₂ para el zero y el span. Aparte están seis

triadas, de las cuales, cinco son usadas para las señales de entrada al controlador remoto de la probeta y la restante es utilizada para una entrada al controlador del rack.

• Control remoto de la probeta

El ensamble del control remoto de la probeta, monitorea y controla las temperaturas de los subensambles del acondicionamiento y dilución y despliega la salida de O₂ en la celda de zirconia.

Estos subensambles son los que se mencionan a continuación:

- Despliegue de O₂
- Dos suministros de energía aislados de 24 VCD
- Controlador de temperatura de la celda de O₂
- Controlador de temperatura del filtro calentado
- Controlador de temperatura del intercambiador de calor
- Controlador de temperatura del ensamble de acondicionamiento y dilución

3.2 PRINCIPIO DE OPERACIÓN Y CIRCUITOS DE FLUÍDOS

El ensamble de acondicionamiento y dilución extrae una muestra continua de una chimenea o ducto, remueve líquidos y vapor de agua, mide el contenido de oxígeno del gas de muestra y entrega un gas seco y limpio para transportarlo a un sistema de análisis de gas. Entrega una señal de oxígeno de 4 a 20 mA DC y produce una alarma de baja presión de aire de dilución.

A continuación se describe el modo de operación principal, que consiste en el muestreo de gases.

El gas de proceso muestreado por la punta de la probeta fluye hacia abajo a una baja velocidad de flujo de 50-300 cc/min. Las partículas más grandes de 5 micrones se asientan sobre las paredes del tubo de la probeta debido a la baja velocidad de la muestra.

Desde el punto de muestreo, el gas entra a una cámara con un filtro de teflón calentado (*TFE*) como se muestra en la **Figura 12**. El cuerpo del filtro está calentado y controlado por un controlador externo a una temperatura entre 135°C - 146.1°C. El gas de muestra fluye desde la cámara del filtro calentado a través del mismo. El material del filtro es seleccionado para no interferir con el gas de proceso y es por lo general un elemento de fibra de vidrio con teflón y a una razón eficiente de colección de 0.1 micrón.

El gas de muestra filtrado es posteriormente acondicionado por el intercambiador de calor. El gas de muestra es extraído del proceso usando dos ensambles de eductor de precisión de bajo flujo, mismos que son manejados por aire de calidad. El ensamble del eductor calentado y el ensamble de la bomba del eductor jalan una porción del total del flujo de muestra a través del filtro calentado y del intercambiador de calor.

Una vez que el gas de muestra filtrado entra al bloque de enfriamiento del intercambiador de calor, cualquier líquido condensable es condensado y colectado en el depósito de líquidos del extremo más bajo del bloque enfriador. El calor del bloque de enfriamiento es removido usando un enfriador termoeléctrico y es disipado en el exterior. La temperatura del bloque es mantenida por el controlador de temperatura (**Ver Figura 11**).

A la salida del intercambiador de calor, el gas de muestra seco es separado en dos líneas de muestra. Una ruta de muestra es para la dilución y la transportación a un sistema de análisis remoto o local y la otra ruta de la muestra es para un análisis de oxígeno.

Las funciones del ensamble del eductor de dilución son las siguientes:

Una fuente regulada de aire del instrumento está conectada al jet eductor de dilución a través del regulador de presión (**PR-1**) y un medidor de presión (**PI-1**). El regulador de presión es un regulador de precisión que regula la presión del aire dentro de 0.3 KPa (0.04 PSI) para un cambio a 70 KPa (10 PSI) en la presión de

entrada. El flujo a través del jet de aire crea el vacío que jala al gas de muestra a través del sistema de acondicionamiento y dilución. Este flujo es también el aire de dilución usado para diluir el gas de muestra a concentraciones menores, por lo tanto, la calidad del suministro del aire y presión son importantes para la probeta.

La velocidad de flujo del aire del eductor de dilución es ajustada y controlada por un orificio crítico que es parte del jet (Ver Figura 13). El aire del orificio crítico es operado a 200 KPa (30 PSI). El orificio crítico está operado con una presión diferencial mayor que 50 KPa (15 pulgadas de Hg).

El aire de dilución y la velocidad de flujo del gas de muestra pueden ajustarse seleccionando diferentes combinaciones de orificios. Las velocidades de flujo de dilución están entre 5 y 10 litros por minuto y pueden ser escogidas en combinación con diferentes velocidades de flujo del gas de muestra entre 50 y 300 cc/min para producir ratios de dilución entre 16:1 y 100:1.

El gas de muestra y el aire de dilución se combinan dentro del eductor, salen del ensamble del eductor de dilución a través del puerto de escape. En la ruta primaria de la muestra (la ruta de dilución), el ensamble del eductor calentado jala una porción de la muestra de gas no diluida desde el intercambiador de calor. Esta es entonces transportada a través de un filtro de protección y un orificio crítico de muestreo dentro de la cámara de dilución.

El orificio crítico del eductor está fabricado de cuarzo o acero. El orificio es controlado a una temperatura entre $140.5^{\circ}\text{C} \pm 5.5^{\circ}\text{C}$ y está contenido dentro del cartucho del jet. Desde el orificio, el gas de proceso pasa a la cavidad de vacío del eductor de dilución. El ensamble del eductor de dilución es calentado por una extensión del bloque de aluminio calentado.

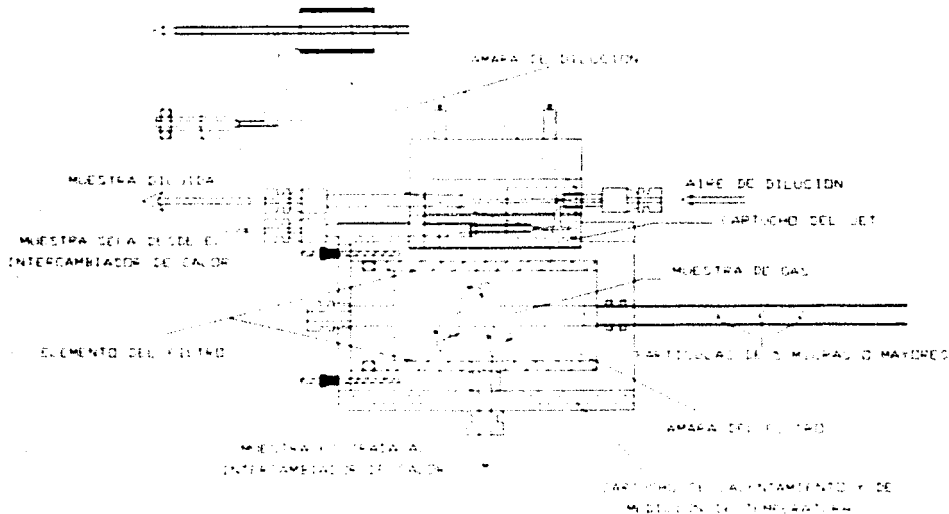


Figura 12. Diagrama de flujo de la cabeza de la probeta

Desde el puerto de escape del eductor, (Ver Figura 13), el gas de proceso diluido pasa a un conector de venteo sobre la caja del acondicionador. Una porción de la muestra diluida es sacada a través de una línea de muestra de teflón no calentada hacia una bomba que transporta esta última a un sistema de análisis remoto. El

ensamble del transporte de la muestra puede ser eliminado en algunos casos si la distancia entre el ensamble de la probeta y el analizador remoto es de 50 pies o menos.

La velocidad de flujo de transporte típica desde el ensamble del acondicionador a un sistema de análisis externo está en el rango de 1.5 a 3 litros por minuto. Esto da a los instrumentos analíticos un tiempo de respuesta de 2 a 5 minutos, dependiendo de la aplicación. Este tiempo de respuesta es adecuado para procesos de control y requerimientos de monitoreo ambiental.

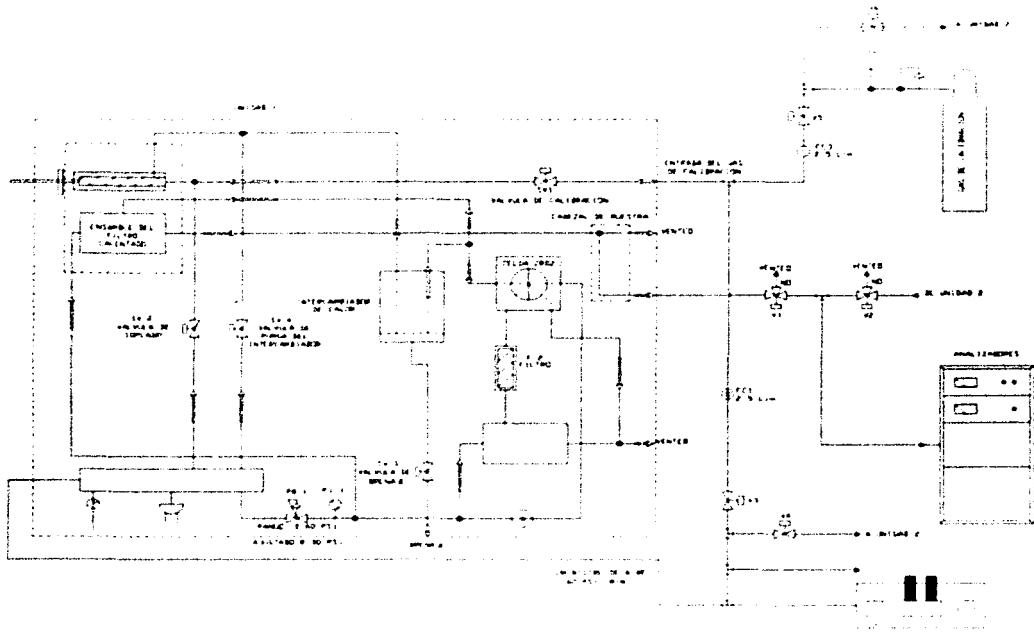


Figura 13. Sistema de Análisis Típico

En la ruta secundaria de la muestra, la ruta del oxígeno, el ensamble de la bomba del eductor jala el gas seco de muestra no diluida desde el intercambiador de calor a través de un filtro al analizador de oxígeno, sensor de zirconia. El gas de muestra pasa a través del sensor de zirconia y es entonces transportado para venteo.

El sensor de zirconia está hecho de dos cámaras de gas, la cámara de muestra y la cámara de referencia. El aire de oxígeno de referencia es suministrado del instrumento de aire regulado conteniendo un 20.9% de oxígeno conocido. El flujo de referencia está controlado por un orificio de 100 cc/min a través de la cámara de referencia. El material de zirconia separa a las dos cámaras de gas y cuando es calentado a 750 °C detecta un cambio en la concentración de oxígeno entre las dos cámaras y produce una salida de 100 mV.

Cuando la concentración de gas en las dos cámaras es igual, por ejemplo: 20.9 en ambos lados, la salida del sensor es aproximadamente 0 mV DC. Cuando el gas de muestra contiene 0.0% de oxígeno, el sensor produce una salida de aproximadamente 100 mV DC.

La temperatura de la caja está controlada para prevenir enfriamientos de los componentes de la caja y provee la electrónica y la estabilidad del flujo de gas.

Una característica adicional del sistema de acondicionamiento del gas es la dilución, usando aire seco con puntos de rocío en el rango de -40°C a -73°C . El punto de rocío de la corriente de gas es en gran parte una función del punto de rocío del aire de dilución. Los ratios de dilución de 16:1 a 100:1 son fácilmente alcanzados. El punto de rocío de la muestra de -17.8°C a -37.2°C permite usar líneas de muestra no calentada en los más extremos ambientes.

3.3 CONDICIONES ÓPTIMAS DE TRABAJO DEL SISTEMA DE DILUCIÓN

A continuación se establecen las condiciones óptimas de trabajo que deben observarse en el sistema de acondicionamiento y dilución, en particular las correspondientes al ensamble del eductor y del filtro calentado.

Es necesario asegurar que no haya fugas en los mencionados elementos, para lo cual, se realiza la prueba de fuga descrita a continuación:

3.3.1 Pruebas de Fuga en el eductor y en el filtro

Tapando la entrada de aire de dilución y la salida del eductor, se conecta una bomba de vacío de mano como se muestra en la **Figura 14**. Se produce un vacío de 70 Kpa (20 pulgadas de Hg) mínimo y se registra este valor. La pérdida de vacío debe ser mayor que 1.7 Kpa (0.5 pulgadas de Hg) en un minuto.

Se remueve la bomba de vacío de mano del puerto de entrada del eductor y se conecta a la entrada de soplado/calibración. Se instala un adaptador a la salida de la probeta ajustándolo dentro del puerto O-Ring del filtro calentado como se muestra en la **Figura 14**. La pérdida de vacío no debe ser mayor que 1.7 Kpa (0.5 pulgadas de Hg) en un minuto.

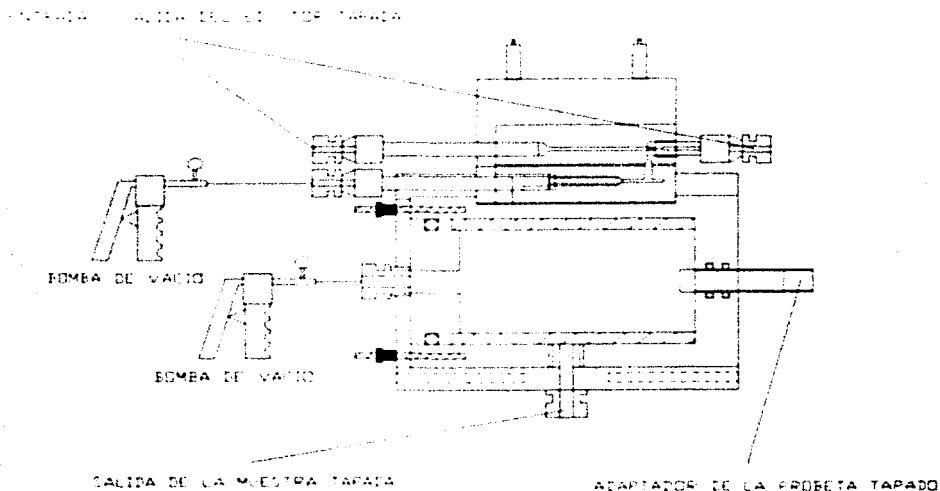


Figura 14. Pruebas de Fuga en el eductor y en el filtro

Por otra parte, también es necesario asegurar la operación del ensamble del eductor a través de dos pruebas principales:

3.3.2 Prueba de Vacío del eductor

Se conecta una bomba de vacío de mano al puerto de entrada del eductor como se muestra en la **Figura 15**, de este instrumento se emplea el medidor de vacío solamente, con una presión de dilución de 200 Kpa (30 PSI) suministrados al jet de aire, el eductor jala un mínimo de 15 pulgadas de Hg de vacío o mayor.

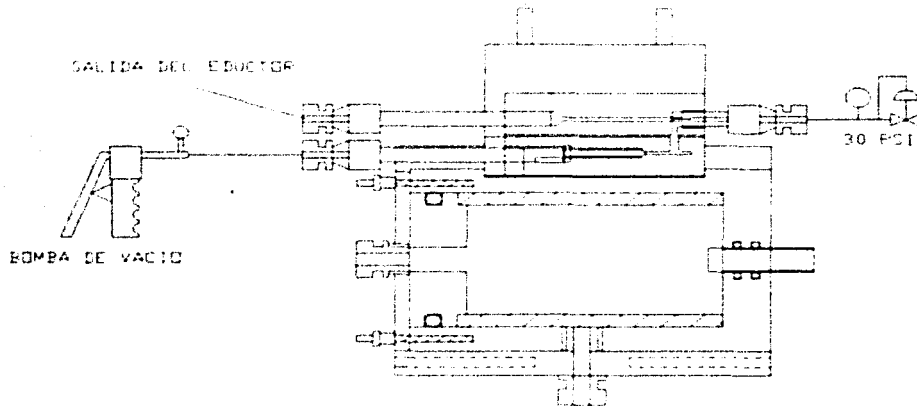


Figura 15. Prueba de Vacío del eductor

3.3.3 Prueba de Dilución

La probeta de dilución puede ser suministrada con varios jets para lograr diferentes relaciones de dilución.

Suministrando aire de dilución a 30 psi y tomando como referencia los flujos especificados, se conecta en línea un medidor de flujo al puerto de escape como se muestra en la **Figura 16**. Este flujo deberá ser aproximadamente del mismo valor que el registrado en el diagrama de flujo del sistema.

Por otra parte se conecta un medidor de flujo a la entrada del eductor. Este flujo deberá ser aproximadamente del mismo valor que el valor registrado en el diagrama de flujo del sistema.

Finalmente se instala el adaptador en el puerto O-Ring del cuerpo del filtro y se tapa el puerto de soplado/calibración. Se conecta un medidor de flujo al adaptador de la probeta. Este flujo deberá ser aproximadamente del mismo valor que la salida de muestra cruda al intercambiador de calor como registrada en el diagrama de flujo del sistema.

Este valor será igual a la suma de todas las entradas de flujo del eductor dentro del ensamble de acondicionamiento y dilución.

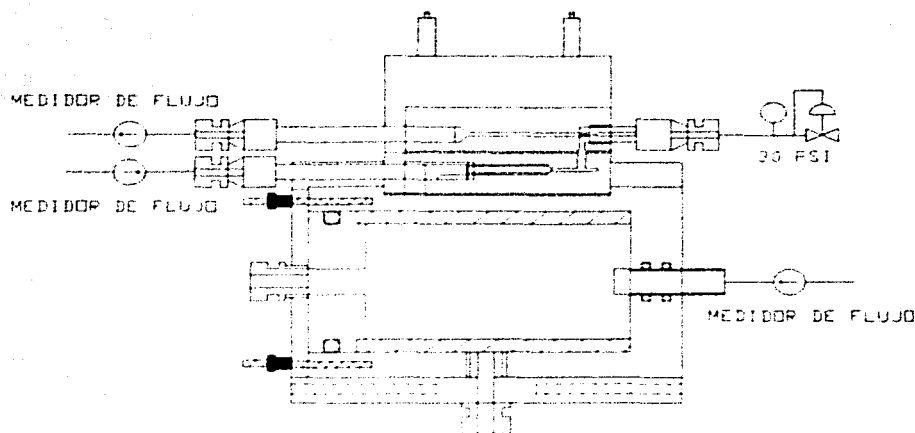


Figura 16. Prueba de dilución

3.4 SECUENCIAS DE OPERACIÓN Y SU DINÁMICA

La probeta de dilución extrae una muestra desde la corriente de gases y la diluye con una relación constante para transportarla a uno o más analizadores. Una relación de dilución constante es crítica para la operación del sistema completo CEM. La probeta está diseñada para garantizar una constante si está operada dentro de estos límites especificados. La muestra capturada es filtrada y pasa a través de un intercambiador calentado para remover la humedad antes de la dilución, proporcionando una muestra para mediciones en base seca.

El flujo de la muestra diluida total en cada probeta es aproximadamente de 5 - 10 l/min, la muestra diluida es extraída en cada probeta por el módulo de flujo.

La operación del ensamble de la probeta de dilución consiste de tres modos: **Modo de Muestreo**, **Modo de Soplado** y **Modo de Calibración**. Con base en el diagrama de la Figura 13 y la Tabla 5, relativa a las válvulas de control, se definen estos modos tomando como referencia a la Unidad 1 (U1).

3.4.1 Modo de Muestreo

En este modo, la humedad de la muestra es removida a través del intercambiador de calor y es diluida. Los analizadores toman una porción de la corriente de muestra diluida. El exceso de muestra es venteada a la atmósfera en el rack de analizadores a través del cabezal de venteo. Para lograr esta forma de operación, la válvula de calibración SV-1 deberá permanecer desactivada (cerrada).

3.4.2 Modo de Soplado

La probeta es limpiada periódicamente introduciendo aire a alta presión desde la válvula solenoide de soplado en el cuerpo del filtro y saliendo a la chimenea a través de la probeta de muestreo. La válvula de soplado es operada automáticamente por el controlador del sistema.

Las frecuencias de soplado pueden variar desde cada 15 minutos para aplicaciones con concentraciones de partículas extremadamente pesadas, hasta varias horas para aplicaciones relativamente limpias. El pulso de soplado dura aproximadamente 10 segundos y está determinado en el sitio.

3.4.3 Modo de Calibración

El ensamble de acondicionamiento y dilución es calibrado haciendo pasar una concentración de gas conocida a través de todos los componentes en el sistema de análisis y ajustando la respuesta para que sea igual al valor conocido del gas de calibración. Calibrando de esta manera se asegura la compensación de todas las desviaciones y pérdidas del acondicionamiento.

Desde el cilindro del gas de calibración, el gas fluye a través de la línea al acondicionador. Cuando la válvula de calibración SV-1 es activada, el gas entra al bloque del filtro calentado y a través de todos los componentes del acondicionador a las mismas velocidades de flujo y condiciones del proceso de gas de muestra. Para introducir gas de calibración (span) la válvula V5 debe abrirse; para introducir aire (zero) la válvula V3 es la que abre.

El gas de calibración es típicamente introducido de 3 a 15 minutos pero esto depende del gas y de los parámetros de instalación específicos, lo cual, es determinado en el sitio.

3.4.4 Dinámica de los flujos en el muestreo, la medición y la calibración

Para efectuar la lógica de control de secuencias, en particular, para la aplicación de los temporizadores, deberá tomarse en cuenta las características de funcionamiento de los instrumentos en cuanto a su tiempo de respuesta y el tiempo que tarda una muestra en recorrer la sonda desde el puerto de muestreo hasta los instrumentos. Aunque la dinámica es importante en todos los modos de operación, es fundamental observar los parámetros de tiempo que se presentan en un ciclo de medición en ambas unidades.

En la **Figura 17(a)** se muestran los eventos principales en un ciclo de medición, incluyendo las etapas de soplado, purga, estabilización y medición en los analizadores.

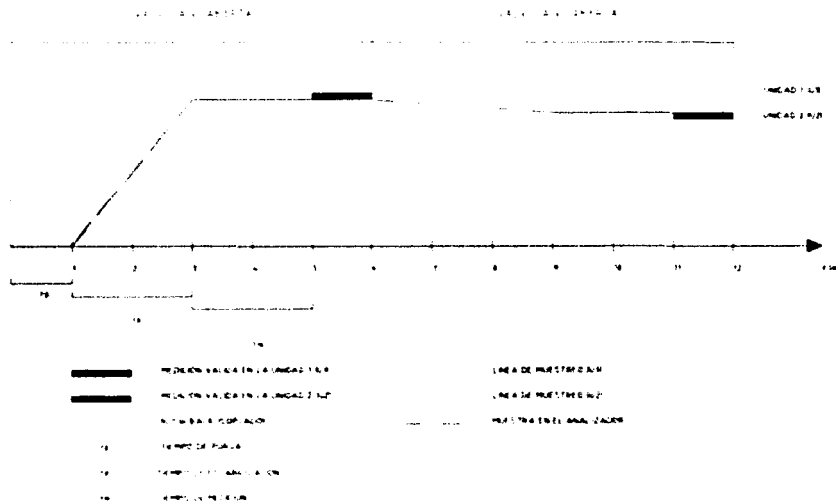


Figura 17(a) Diagrama Secuencial de Muestreo y Medición

En la **Figura 17 (b)** se muestra la temporización de la medición y la calibración en línea o verificación, haciendo énfasis en que una calibración en línea corresponde a un ciclo de medición, como el de la figura 17 (a), pero empleando gases de calibración o aire cero.

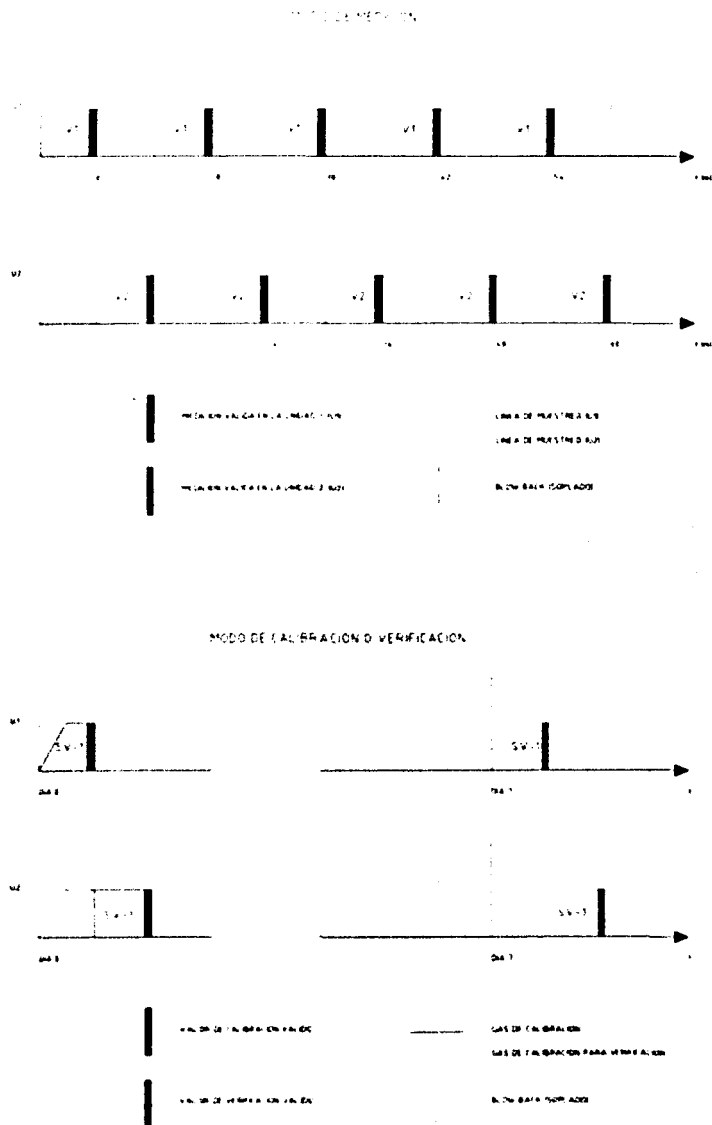


Figura 17(b) Diagrama Secuencial de los modos de Medición y Calibración o Verificación

Con base en los diagramas de tiempo que se han mostrado, se enuncian los siguientes parámetros de tiempo, mismos que son necesarios para la configuración del control de secuencia con base en los "Parámetros del Sistema":

- t Blow Back (T Soplado) = 10 seg.
- t Purga (TP) = 1 min.
- t Estabilización (TE) = 2 min.
- t Medición (TM) = 3 min.
- Frec. Calibración = 10080 min = 7 días
- Frec. Blow Back = 30 min.

3.5 LAZOS DE CONTROL DE TEMPERATURA

Todas las temperaturas asociadas con la operación propia de la probeta son remotamente ajustadas y esas mismas unidades de control despliegan concentraciones de oxígeno, temperatura de la celda de oxígeno, temperatura del filtro calentado y temperatura de la caja de la probeta.

Hay cuatro controladores de temperatura, todas las lecturas de salida de los controladores están en grados centígrados (°C) en el menú de configuración del controlador. El despliegue superior es la temperatura actual del componente que es controlado, mientras que el despliegue inferior es el ajuste. Sobre la cara del controlador a la derecha del despliegue hay dos LED's etiquetados como "L1" y "L2". "L1" indica que energía está siendo aplicada al elemento calentado o al enfriador TE del intercambiador de calor. "L2" indica que la temperatura corresponde a una condición de alarma.

Los cuatro controladores monitorean y controlan la temperatura de la celda de O₂ (1345°F), la temperatura del filtro calentado de la probeta (280 °F), la temperatura del intercambiador de calor (40-45°F) y la temperatura de la caja de la probeta (110°F).

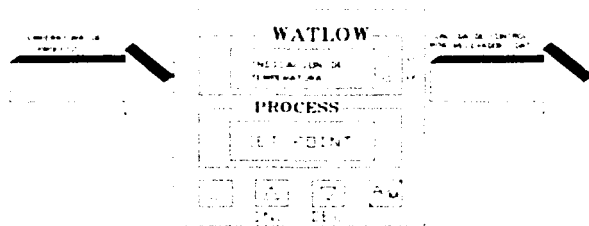


Figura 18. Controlador de temperatura de lazo cerrado

4. CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL SISTEMA Y SUS SUMINISTROS

En este capítulo se mencionan, en forma concisa, las condiciones de operación de todo el sistema, la calidad de los suministros de energía, aire y gases de calibración, así como la condición operativa de las válvulas solenoides de control, de acuerdo con las secuencias de operación descritas en el capítulo anterior y el diagrama de flujo de la Figura 13. Al respecto se hace énfasis en la capacidad del sistema para operar manualmente desde el rack o tablero de control e instrumentos.

4.1 CONDICIONES GENERALES DEL SISTEMA

4.1.1 Datos generales de la Planta

Central Termoeléctrica Petacalco

Ubicación: Petacalco, Mpio. de la Unión

Edo. de Guerrero

Datos geográficos:

- Altitud: 6 msnm
- Longitud: 102° 05' 42"
- Latitud: 17° 58' 15"

Presión barométrica: 759.45 mmHg

Precipitación pluvial:

- Anual total: 1285 mm
- Máxima en 24 hrs.: 357 mm

Evaporación anual: 164.1 mm

Temperatura de diseño: Bulbo seco

- Máxima verano: 37.5
- Mínima invierno: 14.5
- Media anual: 23.9

Sistema de Monitoreo de Emisiones para las Unidades 1 y 2

Capacidad de cada unidad: 350 MW

Número de unidades: 2

Tipo de chimenea: 1 fuste 2 tiros

Tipo de combustible: Combustóleo Carbón (futuro)

4.1.2 Requerimientos del Sistema de Monitoreo Continuo de Emisiones (CEM's)

El suministro comprende un sistema de dilución de monitoreo continuo para las emisiones de SO₂, CO, NO_x y O₂, llave en mano de acuerdo a las especificaciones particulares de los componentes de diseño, proyecto ejecutivo, construcción, suministro e instalación de equipo y puesta en operación que se describe a continuación.

Diseño básico

- Se toman mediciones de las chimeneas de los generadores de vapor de la C.T. Petacalco, Unidad 1 y 2.
- Se barrenan en la chimenea para insertar bridas en las que se inserta una sonda para la toma de muestra
- El punto de barrenado, de acuerdo a norma se instala 8 diámetros de chimenea arriba de la entrada de los gases a la chimenea, y 3 diámetros de la chimenea debajo de la parte más alta de la chimenea, siendo el nivel 27 el más adecuado, con flujo laminar y temperatura homogénea en los gases.
- El sistema es capaz de monitorear en forma secuencial, con un solo lote de analizadores las emisiones de las dos unidades
- La solución seleccionada está basada en un sistema de dilución
- El sistema incluye los equipos auxiliares requeridos para proveer: aire cero libre de contaminantes, gases de calibración, elementos de retosoplado para la limpieza y otros elementos de control requeridos por el sistema de dilución, mismos que se explican en el apartado correspondiente.

- El sistema de control proporciona las capacidades necesarias para generar reportes históricos por turno, diario, semanal y mensual; así como tendencias en los mismos periodos. Los datos correspondientes de calibración forman parte de los reportes mensuales.

4.1.3 Condiciones de la corriente de muestra

Temperatura de operación: 170 °C

Contenido de agua: si

Contenido de partículas:

- Combustóleo: 220 mg/cm³
- Carbón: 775 mg/cm³

Presión de los gases: -100 mm Hg

Ubicación del punto de muestreo: nivel 27 de acuerdo con la norma

Tipo de contaminantes:

- NO_x
- SO₂
- CO₂
- CO
- O₂
- Partículas Suspendidas

4.1.4 Características relevantes de los analizadores

Analizador de NO_x:

- Método de determinación: Quimiluminiscencia
- Rango de medición de NO_x: de 0 a 150-300 ppm
- Señales de salida: 0 - 1 volt (NO, NO₂ y NO_x)

Analizador de SO₂:

- Método de determinación: Fluorescencia pulsante
- Rango de medición de SO₂: de 0 a 1000-3000 ppm
- Señal de salida: 0 - 1 volt

Analizador de CO:

- Método de determinación: Filtración por correlación de la luz infrarroja
- Rango de medición de CO: de 0 a 150-300 ppm
- Señal de salida: 0 - 1 volt

Analizador de O₂:

- Método de determinación: Óxido de Zirconia
- Rango de medición de O₂: de 0 a 10%
- Señal de salida: 0 - 1 volt

4.1.5 Condiciones del ensamble de acondicionamiento y dilución

Requerimientos de energía: 115 VAC, 1100 Watts

Rango de temperatura de operación del ensamble: -35°C a 50°C

Temperatura máxima de proceso: 980°C

Gasto del gas de calibración: de 2.0 a 2.5 L/min

Temperatura de la caja: 46.1°C ± 3°C

Suministro de aire del instrumento: 400 kPa (60 PSI) mínimo y 550 kPa (80 PSI) máximo a través de un tubing de 1/2 pulgada

Velocidad de flujo del Eductor:

- Ensamble del eductor calentado:
 - Flujo de la muestra: aprox. 100-300 cc/min
 - Flujo de dilución: 5/10 L/min
- Ensamble de la bomba del eductor:
 - Flujo de la muestra: 100 cc/min
 - Flujo de dilución: 5 L/min

Celda de Zirconia:

- Temperatura de operación: 732°C medida a 20 mVDC por un termopar tipo k.
- Linealizador de la variable temperatura (mV) contra % O₂. La salida se transmite en el estándar de 4 - 20 mA

Intercambiador de calor:

- Temperatura del bloque enfriador: 1.7°C - 7.2°C
- Temperatura del cuerpo del filtro/eductor calentado: 140.5 °C +/- 5.5 °C

Materiales de Construcción:

- Caja: Fibra de vidrio
- Brida de montaje: Acero inoxidable para tubo de 4 pulgadas estándar
- Orificio de la muestra: Cuarzo
- Jet del Eductor: Torlon
- Cuerpo del filtro calentado: Teflón
- Tubo de la probeta: Hastelloy-C276
- Bloque enfriador del intercambiador de calor: Teflón
- Líneas de muestra y de conexión: Teflón
- Cuerpo del cartucho del jet: Torlon
- Cuerpo del eductor: Torlon

4.1.6 Características del SCADA

Hardware:

- Computadora personal
- Marca: Leeds & Northrup
- Procesador: Intel 486
- Disco duro: 49 MB
- Comunicación RS422 RS232
- Convertidor RS485 RS422

Software:

- Sistema Operativo MS DOS
- Windows 95
- Software Sistema de Control de Adquisición de Datos DataVue

Interfaz Humano Máquina

- CPU
- Monitor de 19"
- Teclado QWERTY
- Mouse
- Drive de 3 1/2"
- Impresora de inyección de tinta (color)

Controlador Local (LPU)

- Tarjeta de entrada analógica de 15 puntos
- Tarjeta de salida / entrada digital de 10 puntos
- Tarjeta de salida analógica de 4 puntos
- Comunicación RS485
- NEMA 4X
- Tiempo de escaneo
 - 0.75 seg para entradas analógicas
 - 100 mseg para lógica
- Memoria no volátil que permite el almacenamiento local para la ejecución de las estrategias de control

4.2 FILTROS Y PURIFICADORES DEL SUMINISTRO DE AIRE CERO

Para proporcionar aire de dilución y de calibración libre de contaminantes y humedad se requieren los siguientes filtros:

4.2.1 Filtro de Carbón Activado

El ensamble del filtro de carbón activado es utilizado para remover o convertir algunos contaminantes, los cuales, pueden causar lecturas erróneas en el analizador. El carbón contenido en el filtro es de tipo activado y elimina Oxidos de Nitrógeno (NOx), Dióxido de Azufre (SO₂), Acido Sulhídrico (H₂S) y otros trazos de contaminantes.

4.2.2 Cámara de Paladium Caliente (Convertidor de CO)

La cámara de paladium caliente es utilizada para remover el monóxido de carbono, el cual, puede causar lecturas erroneas en el analizador. Esta cámara consiste de un tubo de acero inoxidable con un calentador de 180 Watts. El tubo está lleno de paladium calentado arriba de 170 °F, el cual cataliza la oxidación del monóxido de carbono a dióxido de carbono, facilitando una fuente de aire libre de CO.

4.2.3 Filtro de Purafil

El filtro de purafil es utilizado para remover el SO₂ de la corriente de aire. El aire de salida del filtro puede ir a los analizadores para la generación de ozono o enviarse a la probeta de dilucion para ser usado en el soplado y dilución de la muestra.

4.2.4 Puesta en servicio del Secador de Aire

Previamente al filtrado del aire se instala un equipo secador de tipo doble torre, cuya operación se inicia de acuerdo al siguiente procedimiento:

- Asegurar que la cámara de agua destilada está a 3/4 de su nivel y que todas las conexiones de los tubos estén firmes.
- Ajustar el suministro de aire al secador a 30 PSI.
- Verificar que el secador opera ambas columnas alternativamente en intervalos de 15 minutos, constatando la conmutación de las válvulas solenoides.

4.3 SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

El procedimiento de suministro de energía debe observar la secuencia que se indica a continuación:

- Conectar los cables de energía eléctrica al sistema (gabinetes).
- Asegurarse de que los analizadores están desenergizados.
- Energizar las líneas de alimentación del gabinete. Verificar que las bombas de muestreo empiezan a operar.
- Verificar que el secador de aire empieza su operación cíclica en intervalos de 30 segundos.
- Encender cada uno de los analizadores o los requeridos según las mediciones.

4.4 CONDICIÓN OPERATIVA DE LAS VÁLVULAS SOLENOIDES DE CONTROL

A través de un Tablero Auxiliar de Operación y Calibración, en el que se incluyen selectores de válvulas de control y lámparas indicadoras, es posible comandar manualmente la operación del sistema en los modos automático, calibración y mantenimiento. Las lámparas indicadoras avisan sobre la condición en la cual el sistema se encuentra, incluyendo situaciones de alarma. Cabe destacar que el sistema se ha destinado a monitorear alternativamente dos chimeneas (Unidad 1 y 2). Las tablas que se incluyen a continuación muestran la condición de los selectores y lámparas para las diversas funciones realizadas en el sistema.

TABLA 5. SELECTORES DE VÁLVULAS DE CONTROL EN EL TABLERO DE OPERACIÓN Y CALIBRACIÓN

Nombre del Selector	SO ₂ , CO, NO, zero O ₂ , span	SO ₂ , CO, NO, span/O ₂ , zero	Válvula de Calibración Unidad 1	Válvula de Calibración Unidad 2	Unidad 1 Selector	Unidad 2 Selector	Normal / Mantenimiento
ID Válvula Solenoide	V5, V6 V3, V4	V5, V6 V3, V4	SV1-1	SV1-2	V1	V2	
Modo Automático (Oper. Normal)	automático	automático	automático	automático	automático	Automático	Normal
Para span de O ₂	On V3, V4	Off	On	On	On Off	Off On	Mantenimiento
Para zero de O ₂	Off	On V5, V6	On	On	On Off	Off On	Mantenimiento
Para zero de SO ₂ , CO, NO	On V3, V4	Off	On	On	On Off	Off On	Mantenimiento
Para span de SO ₂ , CO, NO	Off	On V5, V6	On	On	On Off	Off On	Mantenimiento

Es importante notar que las secuencias de las válvulas para calibración de Cero de O₂, corresponde a la secuencia de Span de gases contaminantes, y de forma similar la secuencia de calibración de Span de O₂, corresponde a la secuencia de Cero de gases contaminantes. Lo anterior se debe a que la mezcla de gases de calibración empleados en forma correspondiente al span contienen Cero % de O₂. Y a su vez el aire cero empleado para el Span de O₂, es de alta calidad y libre de contaminante alguno.

TABLA 6. ALARMAS DEL CEM

Las siguientes alarmas y contactos cerrados están suministrados para advertir posibles problemas con el sistema CEM.

ALARMA	CAUSAS	ACCIONES A TOMAR	INDICACION
<p>Alarma de la Probeta de la Unidad 1</p>	<p>Vtre de dilucion baja presion</p> <p>Baja presion sensada por el interruptor en la probeta</p> <p>Alarma del baja temperatura del filtro calentado</p> <p>Alarma de baja temperatura de la caja</p> <p>Alarma de baja temperatura la Celda de Zirconio ZRO</p> <p>Alarma de temperatura del intercambiador de calor (entriador termoelectrico)</p>	<p>Notificar al encargado de operacion del sistema</p>	<p>Luz encendida y fija en el tablero de operacion</p>
<p>Alarma de la Probeta de la Unidad 2</p>	<p>Vtre de dilucion baja presion</p> <p>Baja presion sensada por el interruptor en la probeta</p> <p>Alarma del baja temperatura del filtro calentado</p> <p>Alarma de baja temperatura de la caja</p> <p>Alarma de baja temperatura la Celda de Zirconio ZRO</p> <p>Alarma de temperatura del intercambiador de calor (entriador termoelectrico)</p>	<p>Notificar al encargado de operacion del sistema</p>	<p>Luz encendida y fija en el tablero de operacion</p>

Nótese que las alarmas arriba indicadas proporcionan información genérica de diversos problemas que provocan condiciones fuera de especificación y fallas de diversas naturalezas en el sistema de dilución - probeta de muestreo. Cualquiera de estas fallas es condición suficiente para invalidar la medición de las variables involucradas. Todas las alarmas se ligan dentro de la lógica de control contenida en el equipo de control a una compuerta OR con una salida única.

TABLA 7. LUCES INDICADORAS DEL CEM

Los siguientes indicadores de luces son suministrados para permitir a un operador determinar el estado del CEM.

LUCES	SIGNIFICADO	ACCION A TOMAR	PUNTO DE ALARMA
Alarma de la Probeta de la Unidad 1	Problema detectado en la probeta Unidad 1	Notificar al encargado de operacion del sistema	Si
Alarma de la Probeta de la Unidad 2	Problema detectado en la probeta Unidad 2	Notificar al encargado de operacion del sistema	Si
SO-CO-NO, zero / O: span	SO-CO-NO, zero / O: span Esta siendo calibrado	Ninguno	No
SO-CO-NO, span / O: zero	SO-CO-NO, span / O: zero Esta siendo calibrado	Ninguno	No
Valvula de Calibracion Unidad 1	Valvula de calibracion de la Unidad 1 esta energizada	Ninguno	No
Valvula de Calibracion Unidad 2	Valvula de calibracion de la Unidad 2 esta energizada	Ninguno	No
Mantenimiento	Sistema en mantenimiento	Notificar al encargado de operacion del sistema	Si

El diseño del sistema incluye un panel local de luces indicadoras. Estos indicadores corresponden a dos grupos de informacion proporcionada: Alarmas con acción necesaria y de tipo informativo sin acción requerida.

5. SISTEMA DE CONTROL Y ADQUISICION DE DATOS (SCADA)

En este capítulo, se presenta el sistema de automatización empleado, constituido por un equipo denominado Micromax y el Software de Supervisión DataVue, ambas partes constituyen el Sistema de Control y Adquisición de Datos que corre en una plataforma de computadora personal.

La implementación del Sistema de Control es auxiliado por herramientas prediseñadas para aplicaciones industriales.

Estas herramientas permiten la programación de:

- Automatismo de la medición de las variables
- Secuencias de medición de las unidades U1 y U2
- Escalamiento de las mediciones
- Generación de reportes históricos
- Generación de reportes de calibración
- Programación interfase hombre – máquina

5.1 ESQUEMA DE APLICACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL Y ADQUISICIÓN DE DATOS

El control de las **Secuencias de Operación** descritas en el tema 3.4 se hace por medio del Sistema de Control y Adquisición de Datos Micromax.

El Micromax ofrece la versatilidad y variedad de funciones suficientes para la programación, incluyendo la interacción de variables analógicas, variables lógicas, condiciones críticas y no críticas de proceso, alarmas, etc. Requeridas como parámetros de las estrategias de control en los procesos industriales actuales.

5.1.1 Concepto del Sistema de Control y Adquisición de datos

Anteriormente, la solución más utilizada para aplicaciones pequeñas y medianas de control y automatización estaba basada en el uso de controladores individuales. Sin embargo, esta solución tenía limitaciones en cuanto a las posibilidades de expansión del número de lazos de control; además el costo se incrementaba significativamente al acrecentar el sistema. Por otro lado, originalmente, los sistemas de control distribuido eran, en general, costosos y/o complicados para su empleo en aplicaciones pequeñas y a menudo rebasaban el presupuesto asignado para este tipo de proyectos. Estos dos aspectos, junto con la tendencia de los fabricantes de sistemas de control han cambiado el enfoque de estas aplicaciones hacia sistemas de control distribuido o semidistribuidos de tipo pequeño, los cuales, presentan una mejor oferta técnica y económica.

A diferencia de sus antecesores, los SCADA tienen a su favor un punto de gran importancia que consiste en que su diseño está marcadamente enfocado al procesamiento de información, como una parte importante para el manejo del proceso; esta cualidad hace posible tener datos en tiempo real para transferirlos a computadoras personales o para su análisis en el laboratorio. Los SCADA están diseñados para ser configurados totalmente por medio de símbolos gráficos y el llenado interactivo de tablas, lo que facilita la configuración del equipo en forma sencilla y rápida. Además, la graficación de tendencias en tiempo real de las variables del proceso, permite un entendimiento global del mismo, a diferentes niveles, desde el operador hasta el gerente.

En la actualidad, los SCADA se han desarrollado de tal manera que son capaces de manejar procesos desde baja hasta gran escala y representan una buena alternativa técnica y económica.

A partir de su construcción basada en dispositivos electrónicos digitales, microprocesadores y microcontroladores, los SCADA tienen como valores esenciales:

- La distribución funcional, que consiste en aplicar las tareas de monitoreo y control de acuerdo con las zonas u operaciones del proceso, según su importancia, prioridad en el ámbito de la seguridad, complejidad, etc.
- La distribución física en la planta, que consiste en instalar el hardware del sistema lo más cercanamente posible de los instrumentos de medición y de los accionamientos.

- En cada parte del SCADA se incluyen los elementos de hardware y software para instrumentar la adquisición de datos, las funciones de control y la integración funcional por medio de los elementos de comunicación.

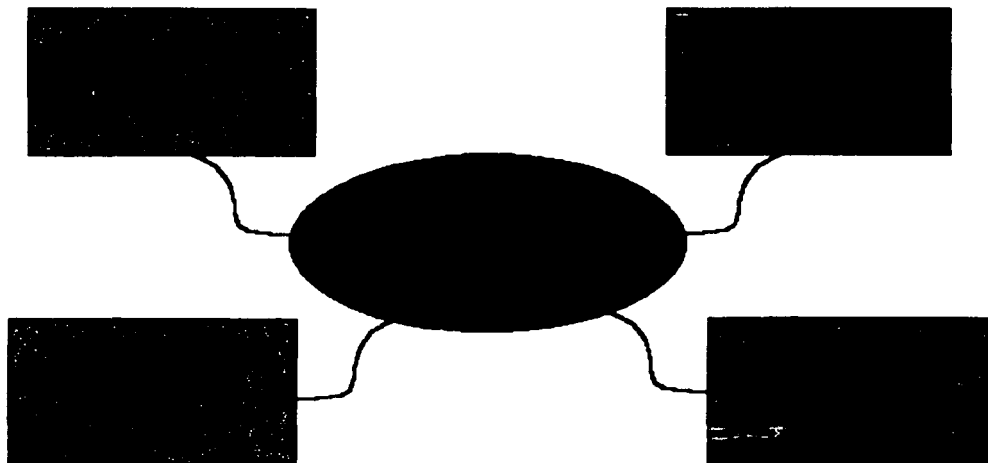


Figura 19. Características genéricas de un SCADA

En resumen el SCADA proporciona:

- Control de procesos industriales
- Cubren dos aspectos fundamentales
 - a) Control de la planta: el cual se refiere a la estructura global del sistema y debe asegurar:
 - Operatividad del proceso
 - Controlabilidad del proceso
 - Estabilidad del proceso
 - b) Control de las unidades de proceso: el cual se refiere al manejo de las operaciones unitarias y equipo:
 - Torres de destilación
 - Reactores
 - Calderas
 - Intercambiadores de calor
 - Etc.
 - c) Los Sistemas de Control y Adquisición de datos tienen como características y valores fundamentales:
 - Distribución funcional
 - Distribución física en la planta
 - En cada parte incluyen los elementos de H/w y S/w para instrumentar funciones de control, adquisición de datos e integración funcional

5.1.2 Estructura básica y características relevantes

En la Figura 20 se muestra un diagrama de la estructura fundamental de un SCADA, sobre la base de una Red de Control Local. Este tipo de sistemas se caracterizan por ser sistemas cerrados, ya que se trata de sistemas propietarios que inicialmente no han tenido los elementos para conectarse con otras redes o dispositivos de marca diferentes a las del propietario del sistema.

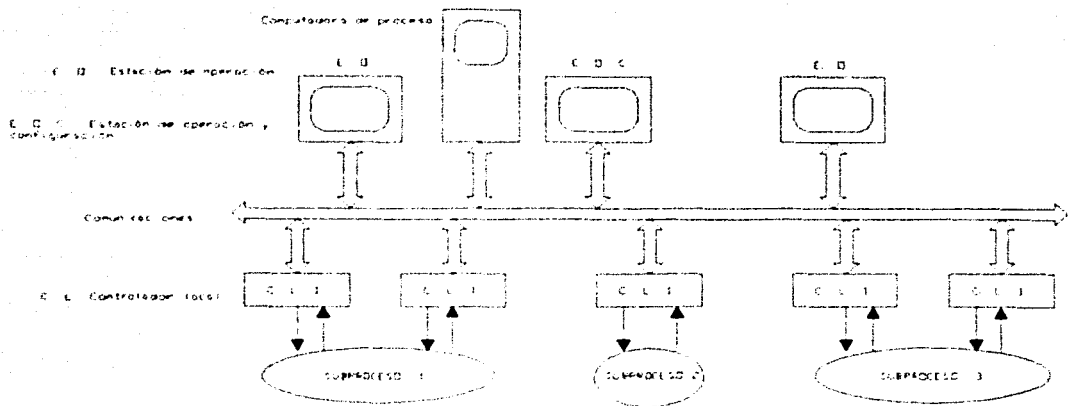


Figura 20. Visión elemental de un SCADA

Otras características relevantes:

- Los SCADA combinan lo mejor de los esquemas de control y supervisión de tipo centralizado y supervisor
- Escalable y expansible
- Capacidad de interfaz con el operador
- Confiabilidad ante fallas
- Redundancia del hardware de tareas críticas
- Costos de instalación menores
- Mantenimiento sencillo y de menor costo

5.1.3 Requerimientos de los usuarios

Sobre la base del diseño, los fabricantes de equipo de control y automatización han desarrollado una amplia gama de soluciones de SCADA, preservando las características esenciales que distinguen a este tipo de sistemas. Las diferentes soluciones comerciales deben satisfacer las necesidades de los usuarios y seguir las tendencias que marca el continuo desarrollo tecnológico.

Para la mayoría de las aplicaciones, los usuarios requieren que los sistemas de control efectúen las tareas que se indican a continuación:

- Adquisición de señales de instrumentos de campo, medidores y actuadores, lo que implica la compatibilidad del sistema con las señales de campo
- Seguimiento y almacenamiento histórico de los valores y estados de las variables físicas "Trending".
- Control de lazo cerrado, lógico combinatorio y de secuencias
- Capacidad de interfaz con el operador por medio de despliegues gráficos muy amigables y facilidades de comando en tiempo real
- Supervisión del control de la planta y medios de diagnóstico
- Configuración de todas las funciones en forma sencilla y accesible
- Integración funcional: conectividad y comunicación con otros sistemas

- Escalable y expansible
- Confiabilidad ante fallas
- Redundancia del hardware de tareas críticas.
- Costos de instalación menores
- Mantenimiento sencillo y de menor costo

5.1.4 Funciones principales

La red de control local está dedicada a una parte del proceso, en una determinada zona, incluyendo una o varias operaciones unitarias, sobre las cuales se realizan las funciones de adquisición de variables físicas, el control de lazo cerrado y el control lógico-secuencial. El hardware mínimo de una red local está constituido por una Estación de Manejo (E. M.) y un Controlador Local (C. L.) de acuerdo con lo mostrado en la Figura 21.

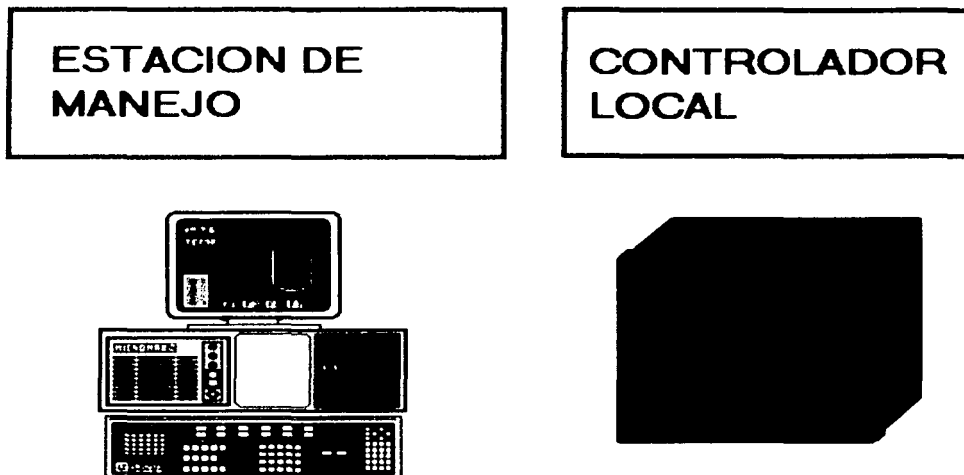


Figura 21. Red de Control Local Mínima

El núcleo de la red local lo constituye el conjunto de Controladores Locales, los cuales se distribuyen físicamente en la planta, para aplicar, en forma descentralizada, las funciones mencionadas en el párrafo anterior. Los controladores intercambian información para manejar con mayor eficiencia el proceso, a través del Bus Local de datos o comunicaciones, el cual, originalmente, ha sido propietario en cada marca de SCADA. Es interesante notar que el bus de datos se originó como un medio de comunicación entre controladores, en configuraciones de conexión multipunto (multidrop), con base en el estándar RS422/485.

La Estación de Manejo consiste de una unidad electrónica (CPU), monitor y teclado, cuya función principal es manejar un área del proceso sobre la base de los Controladores Locales conectados a la estación, es decir, es el primer elemento de la Interfaz Humano Máquina (HMI) y es el medio por el cual se introducen los comandos e instrucciones para la operación del subproceso. La configuración de cada controlador conectado a la red se lleva a cabo por medio de la estación de manejo.

Las Estaciones de Supervisión (E. S.) son las terminales, que al ser conectadas al Bus de Comunicaciones pueden tener acceso a los controladores, para habilitar la interfaz del usuario con el todo sistema. Es deseable que las estaciones de supervisión puedan tener acceso a todos los controladores para adquirir su información y configurarlo, como se hace en la estación de manejo; sin embargo, también es recomendable que la estación de supervisión maneje solamente información selecta de cada subproceso y/o de los controladores, ya que por el

volumen de información adquirida en la totalidad de la planta, será necesario seleccionar y procesar la información más representativa.

Una diferencia notable entre las estaciones descritas radica en las velocidades de actualización de las variables que manejan cada una de ellas, ya que la E. M. Por estar destinada al control en tiempo real requiere de tiempos de actualización breves, lo que equivale a frecuencias altas y archivos de seguimiento (trending) de corta duración; por otro lado, las E. S. teniendo un tiempo de actualización mayor, pueden visualizar las variables del proceso en lapsos mas largos y formar, con esa misma base, un seguimiento más extendido en el tiempo.

5.1.5 Controladores locales distribuidos

El Controlador Local es el corazón del manejo de los procesos ya que una vez instalado y configurado puede operar con el proceso sin la asistencia de las estaciones de manejo o supervisión, ni de ningún otro dispositivo, debido a que puede manejar todas las señales provenientes del proceso, realizar cálculos, control y funciones lógicas, de acuerdo con la configuración asignada. Sus componentes de hardware se describen a continuación.

5.1.5.1 CPU y módulos principales

Los controladores tienen tarjetas electrónicas, de las cuales la más importante es la de procesamiento o CPU, para efectuar la ejecución de los programas o rutinas que han sido programadas. Las tarjetas de enlace con el proceso pueden ser:

- a) Tarjeta o módulo de entradas analógicas (AI). Existen tarjetas de 8, 10 ó 15 puntos para su uso en aplicaciones de control o registro de datos.
- b) Tarjeta o módulo de entradas discretas o digitales (DI). Cada tarjeta acepta típicamente 16 entradas binarias, de AC ó DC para su uso en control lógico, programas de set-point y funciones binarias en lazos de control.
- c) Tarjeta o módulo de salidas analógicas de control (AO). Maneja típicamente hasta 6 puntos y provee diferentes tipos de señales de salida, típicamente ajuste de corriente en el estándar de 4-20 mA o ajuste de duración de pulsos de voltaje, para diversos actuadores y elementos finales de control. En algunas marcas de SCADA el número de estos módulos por controlador local es una limitación importante.
- d) Tarjeta de salidas discretas o digitales por relevador (DO). Estas tarjetas proveen algunos relevadores para usarse en control lógico, alarmas, programas de set-point y funciones de eventos para otros dispositivos.
- e) Tarjetas de entradas/salidas discretas o digitales de estado sólido (DI/DO). Este tipo de tarjetas disponen de algunas entradas y salidas binarias optoacopladas.
- f) Tarjetas de comunicaciones. Proveen 1 o 2 puertos de comunicación RS-422/485 para conectar las estaciones de operación y configuración y otros periféricos.

5.1.6 Estaciones de Manejo Local y Supervisión

A través de la pantalla y el teclado de la estación de manejo local se llevan a cabo las siguientes actividades de operación de la red local.

- a) Adquisición de datos de proceso, provenientes de los controladores locales.
- b) Manipulación de datos a través de tablas o gráficas para que el operador los analice o examine.

- c) Elaboración de reportes para monitorear y analizar las condiciones de proceso; en general, cualquier variable física o calculada puede desplegarse o imprimirse en formato tabular, en gráfica de barras o gráfica contra el tiempo para visualizar su tendencia.
- d) Manipulación de los modos de operación de los controladores locales en forma independiente: **en línea, fuera de línea o modo programación.**
- e) Manipulación de los parámetros de sintonización en los lazos de control, así como de las salidas de control, puntos de ajuste, etc.
- f) Manejo de alarmas, almacenamiento de datos e impresión de reportes.

A esta estación se le pueden adicionar dispositivos de almacenamiento de memoria e impresión; el almacenamiento se lleva a cabo por medio de diversos dispositivos, desde unidades de disco duro, hasta unidades de cinta, que se configuran de acuerdo con los eventos del proceso para realizar el almacenamiento. A través de la estación de manejo pueden ser llamados los datos almacenados, presentados en una gran variedad de despliegues y formatos de reportes.

La configuración de cada dispositivo conectado a la red local se efectúa por medio de la estación de manejo, empleando formatos de pantalla predefinidos y completamente estructurados para cada dispositivo y tarea que debe programarse. Es obvio que en las estaciones de manejo se programan hasta los mínimos detalles de las funciones de los controladores locales, lo mismo que las funciones de monitoreo y comando. Actualmente, incluso, se tiene la opción de configurar los instrumentos inteligentes de campo.

La estación de supervisión está en un nivel superior de la interfaz humano máquina, ya que permite la supervisión y operación de todo el sistema, con base en la comunicación con los controladores locales. La estación de supervisión está diseñada para obtener datos en línea, a través de formatos de reportes diseñados por el usuario y presentar detalladas gráficas de la tendencia de las variables de proceso, a color y de alta resolución.

A continuación se mencionan algunas de las características más importantes de las funciones de supervisión.

- a) Datos a los que tiene acceso: esencialmente todos los datos del sistema están accesibles para lectura dentro de las pantallas que se diseñan; en cambio, los parámetros que se asignan están limitados a entradas y salidas discretas, puntos de ajuste para lazos locales o remotos, operación de lazos en modo automático o manual, salidas de control, parámetros de sintonización y valores de constantes.
- b) Especificación de la velocidad de comunicación de datos en el canal RS-422/485.
- c) El número de controlador locales direccionables en la red.
- d) La distancia máxima entre la estación y el controlador local, considerando el cable adecuado.
- e) El número de parámetros por pantalla, típicamente en el orden 10^2 .
- f) El número de pantallas gráficas limitado por la capacidad de memoria (una pantalla ocupa de 5 a 15 Kb).
- g) Selección de la velocidad de actualización de los datos, típicamente con un mínimo en el orden de 10^0 segundos.

Debido a la cantidad de información que se maneja en las estaciones de supervisión, es más que justificable el uso de dispositivos de almacenamiento e impresoras que son esenciales en este nivel del procesamiento de información.

Para la configuración y operación en línea, la estación de supervisión dispone de un software organizado típicamente para la Edición de Gráficos, Manejo de la Base de Datos, Configuración de la Estación y la Operación en Línea.

En la estación se crean y organizan diversos archivos para el manejo masivo de la información, entre los que se pueden mencionar: archivos de pantallas de operación, archivos de reportes y archivos de gráficas. En la **Figura 22** se muestra una posible instalación de los dos tipos de estaciones, destacando que, dada la amplia capacidad del equipo de computo moderno, la estación de supervisión también efectúa las funciones de la estación de manejo.

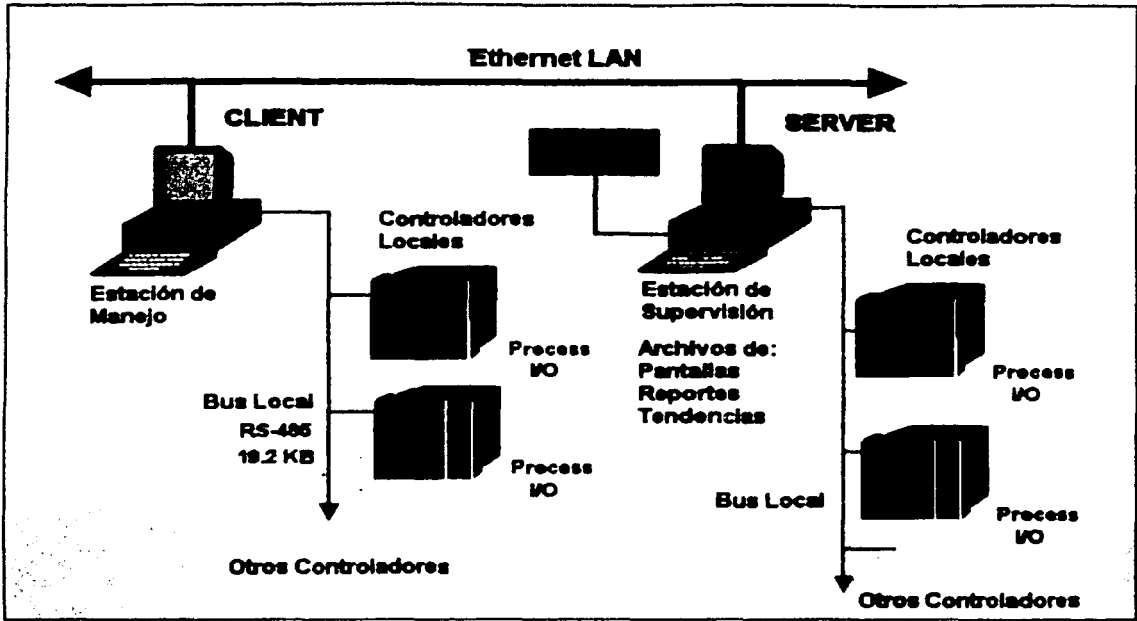


Figura 22. Estaciones de Manejo y Supervisión

A continuación se enuncian las funciones más importantes que realizan este tipo de sistemas, a partir de la clasificación de tareas mostrada por la Figura 23.

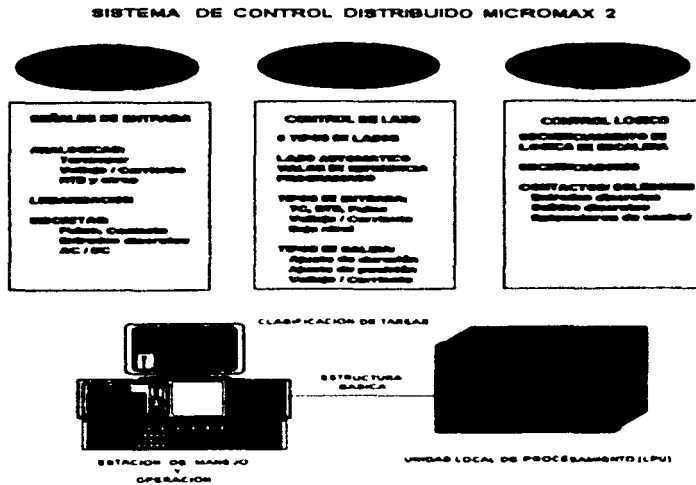


Figura 23. Sistema de Control Distribuido MICROMAX 2

- Adquisición de señales de variables físicas y escalamiento
- Recopilación y seguimiento de variables "Trending" Ver Figura 24.

1. Graficación de tendencias horizontal y vertical
2. Dimensionable
3. Tendencia en tiempo real o históricas
4. Intercambio dinámico de datos (DDE)
5. Graficación por evento o tiempo
6. Cambio del range de graficación sobre la pantalla
7. Almacenamiento en línea, conversión a archivos DIF

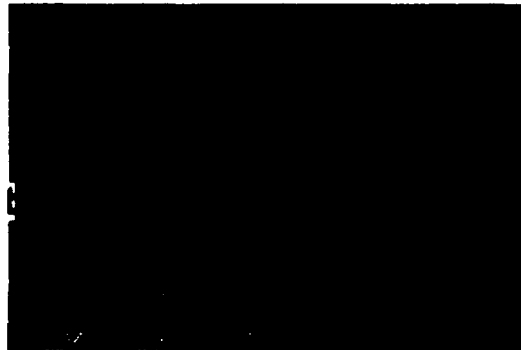


Figura 24. Recopilación y seguimiento de variables

- Almacenamiento y recuperación de datos históricos
- Procesamiento de variables adquiridas: estadística, cálculo, muestreo
- Interfaces gráficas para el operador
- Despliegue en tiempo real de valores y curvas de tendencia
- Valores y curvas de tendencia históricas
- Menús de acceso y selección
- Mímicos dinámicos e interactivos Ver Figura 25
- Pantallas de comando Ver Figura 25
- Generación de reportes:
 - Variables de proceso
 - Facilidades de iniciación y programación
- Facilidades de seguimiento y procesamiento de señales de alarma
- Capacidad de comunicación con otros sistemas digitales
- Control y automatización:
 - Control de lazo cerrado o regulación "loop control" Ver Figura 24
 - Control lógico y secuencial "logic control" Ver Figura 24
 - Programadores de punto de ajuste "drum sequencers"
 - Control "batch" Ver Figura 25
- Funciones de alto nivel:
 - Control avanzado
 - Interfaz con lenguajes de alto nivel (C++)
 - Opciones avanzadas de alarma
 - Procesos de optimización y estadística
- Paquetes y rutinas para configuración

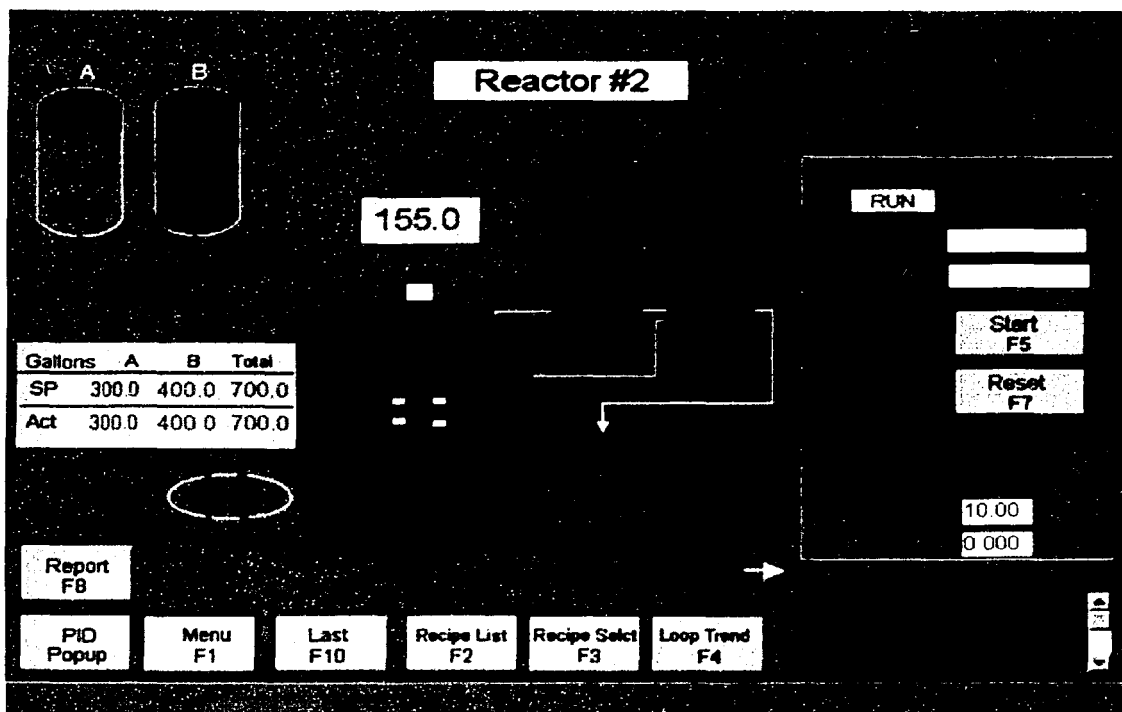


Figura 25. Ejemplo de los mímicos dinámicos e interactivos

5.2 SOFTWARE DE ADQUISICIÓN, CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN MAXPRO

5.2.1 Facilidades de configuración

La facilidad de la programación en los Sistemas SCADA constituye una parte neurálgica y ésta directamente relacionada con la eficaz implementación de una solución en los Sistemas de Control Industrial. MAXPRO ofrece un aprovechamiento único simplificado de tal manera que cualquiera que se encuentre directamente relacionado con los requerimientos a manejar en el proceso, puede rápidamente configurar el sistema para que realice el trabajo.

La configuración de MAXPRO nos guía paso a paso a través de la LPU por medio de pantallas de ayuda para menús de selección y teclas funcionales. Doce teclas de acción directa F's proporcionan el acceso a la mayoría de las funciones de configuración con solo oprimir la tecla seleccionada. Asimismo, permite la interacción entre diversas pantallas especialmente diseñadas y formateadas con datos en diferentes formatos para su revisión. Se emplea la técnica de "llenando los espacios en blanco" (Filling the blank). Permitiendo la asignación de valores y datos de entrada/salida, parámetros de lazo, secuencias, puntos de ajuste, uso de bibliotecas de información y funciones, así como la programación en diagrama de escalera así como gráficos dinámicos.

Dicha configuración puede realizarse fuera de línea, es decir, sin comunicación activa entre la estación de trabajo y la LPU y posteriormente ser cargada en modo activo On-line. Esta versatilidad permite mantener el proceso industrial en cuestión operando y realizar los cambios, modificaciones y adiciones de programación en forma segura, por medio del copiado y carga del nuevo programa a la LPU en modo programación.

5.2.2 Adquisición de Datos

Prácticamente cualquier tipo de señal industrial puede ser adquirida por la LPU. Entre ellas tenemos a las señales analógicas: T7C, RTD y las discretas: Relevador de salida, entradas de estado sólido o del tipo de pulsos de frecuencia. Cada tipo de estas entradas se agrupa por su naturaleza en tarjetas de entrada/salida dedicadas.

Los valores de entrada son monitoreados en las pantallas de la PC y se pueden emplear en cálculos y los resultados son manipulados de la misma forma que los valores en tiempo real. Los cálculos pueden utilizar fórmulas diseñadas por el programador, o cualquier algoritmo prediseñado de la biblioteca del equipo, estos parámetros se les denomina pseudo puntos. Algunos de las funciones de los pseudo puntos incluyen entre otros: Valor Promedio de señal, Valor Promedio de Grupo, Totalización, Cálculo de Flujo Másico, etc.

5.2.3 Control Regulatorio

El Control Local Regulatorio es una capacidad instalada y es capaz de mantener hasta 16 Lazos de Control Regulatorio Independientes y/o diseñar algoritmos avanzados de Control como son, Retroalimentado, Cascada, etc. La señal de control puede ser del tipo: Ajuste de posición (PAT), ajuste de corriente (CAT), ajuste de voltaje (VAT) o ajuste de tiempo (DAT). Las estrategias de Control pueden incluir pseudo puntos, funciones como: comparar, slew rate etc. o bien pueden interactuar con lógica de discreta, por medio del uso del estado de relevadores, tomando como referencia los valores de los contadores y temporizadores, timers.

5.2.4 Lógica Secuencial

La programación de la lógica se complementa gráficamente con diagramas de escalera en pantallas dedicadas, usando símbolos lógicos estándar para contactos, contadores, timers, etc. construidos en archivos de programación para prevenir conexiones lógicas ilegales, elementos redundantes y alguna otra acción inadecuada.

La LPU pueden almacenar hasta 1500 elementos lógicos, incluyendo 80 timers y contadores. Las secuencias diseñadas permiten la combinación de entradas/salidas discretas en cualquier tarjeta ubicada en la LPU y/o unidades de expansión. El estado de la lógica es completamente interactiva con pseudo puntos y con funciones de los lazos de control.

5.2.5 Recetas tipo "batch"

Las recetas para procesos de lotes: batch, consisten en programas del punto de ajuste y/o de otros parámetros de control editables llamados constantes. Mientras los programas del setpoint son configurados usando MAXPRO y pueden ser alterados y operados por MAXPRO, los archivos de recetas no son almacenados por este software.

5.3 COMUNICACIÓN

EL protocolo de comunicación empleado para este SCADA se basa en:

La primer capa según el modelo de OSI se estructura:

- Cable de comunicación 5 hilos con pantalla
- Puerto de comunicación en la PC RS485
- Puerto de comunicación en la LPU RS485
- Convertidor RS485/RS232, en caso de que la PC solo tenga interfase RS232
- Distancia máxima entre LPU y Estación de Operador de 2,500 pies
- 32 participantes incluyendo la estación de trabajo
- Comunicación Multidrop

Los parámetros y asignaciones de la red se configuran totalmente:

- Número de LPU, Dirección y/o Posición en la red
- Velocidad de transmisión de datos
- Paridad

5.4 PROCEDIMIENTO DE CONFIGURACIÓN MAXPRO

La configuración se basa en la técnica de "Filling the blanks" o llenado de espacios en blanco. A continuación se muestran las pantallas más representativas; así como una breve explicación de cada una de ellas.



Figura 26 Pantalla inicial de programación de MAXPRO

5.4.1 Inicio de sesión

Al ejecutar MAXPRO desde el MSDOS o desde el WINDOWS desde la estación del Operador, la pantalla inicial permite la verificación de la comunicación, este es un requisito indispensable para iniciar la sesión. Ver Figura 26

5.4.2 Pantalla de estado de operación

La tecla O, permite acceder a la Pantalla de Estado de Operación Figura 27, donde gráficamente se verifica el estado de comunicación entre la LPU y el MAXPRO

OPERATING STATUS SCREEN			
Oper. Unit	Operating Status	Unit Type	Description
1	On Line	L. P. U.	
2	NO LINK	L. P. U.	
3	NO LINK	L. P. U.	
4	NO LINK	L. P. U.	
5	NO LINK	L. P. U.	
6	NO LINK	L. P. U.	
7	NO LINK	L. P. U.	
8	NO LINK	L. P. U.	
9	NO LINK	L. P. U.	
10	NO LINK	L. P. U.	
11	NO LINK	L. P. U.	
12	NO LINK	L. P. U.	
13	NO LINK	L. P. U.	
14	NO LINK	L. P. U.	
15	NO LINK	L. P. U.	
16	NO LINK	L. P. U.	

Figura 27 Pantalla de Estado de Operación

5.4.3 Patalla de servicio

La denominada Pantalla de Servicio, permite la selección del puerto de comunicación: COMM1 al COMM 3, Velocidad de Transmisión desde 1200 hasta 38400 BPS, y la paridad del sistema. Ver Figura 28.

SERVICE ROUTINE	
Routine Number	Description of Routine
1	DATABASE SIZING ROUTINE
2	INITIALIZE DATABASE ROUTINE
3	SET UNIT TIME
4	CLEAN UP DATABASE
5	RECONFIGURE EXISTING UNIT'S DATABASE
6	ADD A NEW UNIT TO DATABASE
7	DELETE A UNIT FROM DATABASE
8	CHANGE COMM PORT (currently 2)
9	CHANGE BAUD RATE (currently 19200)
10	CHANGE PARITY (currently NONE)
11	CONFIGURE COMM SLOTS / INITIALIZE INTERNAL UNIT #99
12	COPY CONFIGURATION UNIT TO UNIT
13	COPY CONFIGURATION UNIT #99 TO/FROM FLOPPY DRIVE

Figura 28 Pantallas de Servicio

5.4.4 Base de datos

La base de datos se hace en la pantalla denominada Dimensionamiento de Base de Datos: Database Sizing. Para acceder a la misma, la LPU debe estar en modo programa y se procede a:

- Agregar la unidad a la base de datos.
- Definir el tamaño de la Base de Datos
- Configurar la unidad. Visualizando la configuración de hardware integrado que tiene la LPU. Ver Figura 29.

```

Unit 1                               Database Configuration                               Date: 04/19/87 12:19:07
-----
CURRENT NUMBER OF CONSTANTS:         100 MAX 2999
CURRENT NUMBER OF INPUT POINTS:      100 MAX 2500
CURRENT NUMBER OF CONTROL RELAYS:    100 MAX 999
CURRENT NUMBER OF COUNTER/TIMERS:    50  MAX 99
CURRENT NUMBER OF ALARM LEVELS:      100 MAX 150
  
```

Figura 29 Dimensionamiento de Bases de Datos

5.4.5 Verificación de la configuración del controlador local

Al regresar en modo On-Line y acceder a la pantalla de Configuración de Estación de Campo, Field Station Configuration se debe visualizar la siguiente información, mostrada en la Figura 30.

```

Unit 1                               FIELD STATION CONFIGURATION                               04/19/87 12:19:07
-----
Local Processing Unit - Card and I/O Slots                               page 1 of 1
-----
Slot No.      Card Type      Designations      Type of Unit
-----
TB slot # 1   NO Base Card
Module #1     dual CAT          AO 1, 2          MICROMAX LPU I
Module #2     dual CAT          AO 3, 4
Module #3     No Card Present
Module #4     No Card Present
TB slot # 2   Y Dls / S DOs    DO 1-8, BI 1-7
TB slot # 3   15 Solid State Dls  DI 8 to 22
TB slot # 4   1R Relay DOs     DO 9 to 18
TB slot # 5   15 Low Level Als  AI 1 to 15
-----
Time Cys. .75 sec.
  
```

Figura 30 Configuración de la Estación de Campo LPU

5.4.6 Configuración de las funciones de entrada/salida

De forma similar se establecen las características de cada señal de entrada y salida; así como las interacción que tendrán cada una de ellas. Estas son:

- Programación de los rangos analógicos (Analog Range Programing)
- Programación de las entradas analógicas (Analog Input Programing)
- Linealización de las entradas por el Usuario (Custom Input Linearization)

5.4.7 Programación de los rangos analógicos

Los rangos analógicos (hasta 60 por sistema) se programan en una Pantalla adicional e independiente de las entradas. Las entradas son asignadas después a un rango introduciendo el número de rango en la Pantalla de Programación de Entradas Analógicas. Figura 31.

También se selecciona el tipo de entrada, el rango de despliegue, grados C o F, Conexión Directa o Indirecta, el rango eléctrico y las unidades eléctricas, por ejemplo, las entradas de un transmisor de 4-20 mA son convertidas a unidades de ingeniería utilizando una entrada tipo "Volts", introduciendo los límites del rango eléctrico como 1 a 5 volts, empleando una resistencia Shunt de 250 ohms, e introduciendo los rangos de desplegado apropiados. Se selecciona como tipo de entrada indirecta.

ANALOG RANGE PROGRAMING								
Page 1 of 4								
Range	Input Type	Displayed Range		F/C	Dir	Electrical Range		Elect. Units
		Low	High			Low	High	
1	Volts	0.0000	5.0000	deg C	Ind	1.0000	5.0000	U
2	Volts	0.0000	21.0000	deg C	Ind	1.0000	5.0000	U
3	Volts	0.0000	21.0000	deg C	Ind	1.0000	5.0000	U
4	Volts	1.0000	5.0000	deg C	Ind	1.0000	5.0000	U
5	NO INPUT	0.0000	0.0000	deg C	Dir	0.0000	0.0000	U
6	NO INPUT	0.0000	0.0000	deg C	Dir	0.0000	0.0000	U
7	NO INPUT	0.0000	0.0000	deg C	Dir	0.0000	0.0000	U
8	NO INPUT	0.0000	0.0000	deg C	Dir	0.0000	0.0000	U
9	NO INPUT	0.0000	0.0000	deg C	Dir	0.0000	0.0000	U
10	NO INPUT	0.0000	0.0000	deg C	Dir	0.0000	0.0000	U
11	NO INPUT	0.0000	0.0000	deg C	Dir	0.0000	0.0000	U
12	NO INPUT	0.0000	0.0000	deg C	Dir	0.0000	0.0000	U
13	NO INPUT	0.0000	0.0000	deg C	Dir	0.0000	0.0000	U
14	NO INPUT	0.0000	0.0000	deg C	Dir	0.0000	0.0000	U
15	NO INPUT	0.0000	0.0000	deg C	Dir	0.0000	0.0000	U
16	NO INPUT	0.0000	0.0000	deg C	Dir	0.0000	0.0000	U

Figura 31 Pantalla de Programación de Rangos Analógicos

5.4.8 Programación de entradas analógicas

La Figura 32 muestra la pantalla específica de los rangos de las Entradas Analógicas. Cada entrada analógica está identificada con un número de AI A programar: números de rango, valores preestablecidos para entradas abiertas y en caso necesario la detección del estado de las entradas abierta o cerrada.

En el número de rango, Range Number, se introduce el número correspondiente al rango seleccionado en la pantalla de programación de rangos analógicos

En la columna de valor preestablecido, Default value, se introduce un número, debiendo estar dentro del rango y con el mismo formato decimal, este valor será tomado en cuenta si la entrada se encuentra abierta.

La opción de verificación de las entradas solo está disponible si las entradas son menores de 250 mV. Típicamente se emplea en detección de Termopares abiertos o dañados.

ANALOG. INPUT PS - PROGRAM										
AI No.	Skip	Cur	No.	Low	High	Units	Chk	Default	Description	Tag
1		Yes	1	0.0000	33.5000		No	15.0000	--	
2		Yes	2	0.0000	21.0000		No	10.0000	--	
3		Yes	3	0.0000	21.0000		No	10.0000	--	
4		Yes	4	1.0000	5.0000		No	1.0000	--	
5		No	0	-2.0000	5.0000		No	0.0000	--	
6		No	0	-2.0000	5.0000		No	0.0000	--	
7		No	0	-2.0000	5.0000		No	0.0000	--	
8		No	0	-2.0000	5.0000		No	0.0000	--	
9		No	0	-2.0000	5.0000		No	0.0000	--	
10		No	0	-2.0000	5.0000		No	0.0000	--	
11		No	0	-2.0000	5.0000		No	0.0000	--	
12		No	0	-2.0000	5.0000		No	0.0000	--	
13		No	0	-2.0000	5.0000		No	0.0000	--	
14		No	0	-2.0000	5.0000		No	0.0000	--	
15		No	0	-2.0000	5.0000		No	0.0000	--	

Figura 32 Pantalla de Programación Entradas Analógicas

5.4.9 Configuración de las funciones de operación

Una vez configuradas las entradas, también se procede a configurar las funciones de operación para monitorear y controlar el proceso. Estas funciones se presentan en cuatro categorías: Pseudo puntos (PP), control, lógicos y salidas.

La función de pseudo punto crea un valor de cálculos o relaciones entre otros datos o funciones. Los pseudo puntos pueden estar referidos a otros pseudo puntos, funciones de lazos de control o funciones lógicas.

Las funciones de control son configuradas en pantallas especiales, con detalles específicos de varios tipos de lazos de control y ajuste de parámetros de sintonización.

Las funciones lógicas para la adquisición de datos o estrategias de control son configuradas en un diagrama de escalera estándar en una pantalla gráfica especial.

Configurar las salidas especiales consiste en designar ciertas salidas para alarmas generales, entradas abiertas y fallas en la unidad.

5.4.10 Configuración de los pseudo-puntos

Accesando a la pantalla de configuración de pseudo puntos se programa la formulación, identificación y programación del orden de ejecución de los pseudo puntos. Se especifica el orden de ejecución de las funciones de control. Un pseudo punto es un dato cuyo valor se deriva de otros valores y relaciones. Ver Figura 33.

Data 1		PSEUDO POINT PROGRAMMING		
Line	Seq.	Specification or Formula	Limits	
			Low	High
1	1	COMP LT(A11 5 CR1)	unused	unused
2	8	LOOP 1	unused	unused
3	18	COMP EQ(PP9 32 CR2)	unused	unused
4	4	COMP EQ(PP9 32 CR3)	unused	unused
5	6	PP18 = 8.5	8.8888	21.588
6	7	PP18 = 8.5	8.8888	21.588
7	8	-25.87 + (24.31 * A14)	-2.888	68.888
8	9	COMP LT(PP7 3 CR4)	unused	unused
9	3	CLAMP(Z 29.5 32 A11)	1.5888	32.588
10	5	A17 = CR1	8.8888	21.888
11	2	LOOP 2	unused	unused
12	8		unused	unused
13	8		unused	unused
14	8		unused	unused
15	8		unused	unused
16	8		unused	unused

Figura 33 Pantalla de Programación de Pseudo Puntos

Una vez programados en esta pantalla, los pseudo puntos con valores analógicos pueden ser visualizados en línea como puntos de datos analógicos en la pantalla de tabla de datos. Un PP completo especifica:

1. Secuencia de ejecución
2. Fórmula o función del PP.
3. Límite superior.
4. Límite inferior.

5.4.11 Programación de la función de control de lazo cerrado

Empleando 9 pantallas se configuran las funciones de control. Algunas son variaciones de los lazos de control PID, control Cascada, Control On/Off y Control de Rango Dividido, por ejemplo la fórmula del controlador PID utilizada es:

$$salida = -G(e + \frac{1}{Ti} \int edt - FnTd \frac{dPV}{dt}) + FF$$

donde:

- Fn es una función propiedad de L&N.
- FF es la señal de prealimentación
- G es la ganancia
- e es el error
- Ti es el tiempo integral
- Td es el tiempo derivativo
- PV es la variable del proceso

Una vez configurados, los lazos de control y los programas de punto de ajuste, Set Points, deberán incluirse como PP en la pantalla de programación de estos para poder hacer uso de ellos, ya que de no hacerlo así, los lazos de control no funcionarán.

5.4.11.1 Elementos de la configuración de la función de control

La pantalla de configuración de las función de Control consta de los siguientes elementos, ver **Figura 34**.

Process Variable : Selecciona la variable del proceso que será controlada.

Hi, Lo Limit: Establece los límites alto y bajo de la variable a controlar.

Remote Set Pt : Se introduce un número o una fuente de señal analógica para establecer el punto de operación cuando se selecciona remoto

Local Set Pt: Lo mismo que Remote pero para un punto de operación local.

Working Set Point: Punto de Operación.

Hi Limit: Permite introducir el valor máximo de trabajo del punto de operación.

Lo Limit: Permite introducir el valor mínimo de trabajo del punto de operación.

Slew Limit: Nos permite introducir un valor de 0.1 a 999.9 unidades de ingeniería por minuto, u OFF. El valor introducido restringe el rango de cambio del setpoint de control del lazo al rango introducido, independiente de la fuente. Off permitirá el cambio instantáneo.

Feedforward : Selecciona una fuente de señal analógica para modificar la salida de control del lazo independiente del cálculo del PID. El rango de valores debe estar entre 0 y 100 unidades. Esta opción se usa típicamente para proporcionar un cambio anticipado en la salida del cambio en la variable de proceso del lazo.

Reset Limit: nos permite introducir un valor entre 0 y 1.00, u Off. Este valor determinará el porcentaje del cuadrado de la señal de error proporcionada por el PID.

Ratio: Permite introducir la relación deseada del setpoint.

Bias 1, 2: Por medio de introducimos el valor deseado de offset de la relación.

Wild Variable: Se establece la fuente de la variable que será afectada por la relación y comparada con la variable a controlar.

Force Manual: Se introduce la fuente de un valor discreto (DI, DO, CR) para forzar al lazo de control automático a control manual.

Force local: Establece el origen de un valor discreto para forzar a un setpoint local cuando la entrada esta en alto.

Change Action : Establece el origen de un valor discreto para seleccionar la acción de control opuesta a la seleccionada. La acción de control será la opuesta cuando el valor discreto este en ON.

Gain : Esta es la entrada de la ganancia proporcional del lazo de control (0.1 a 200). El valor introducido aquí es la ganancia aplicada a la señal de error para determinar la salida de control. Off proporciona solo control integral.

Reset: Nos permite introducir un número entre 0.005 y 99.99 repeticiones por minuto. El valor introducido determinará el periodo de tiempo para repetir la salida de la ganancia proporcional. Introduzca un valor inicial, el valor puede ser alterado en línea para la sintonía final del lazo.

Off: proporcionara únicamente control proporcional.

Rate : Nos permite Introducir un valor entre 0.02 a 5.00 minutos. Este valor modifica la salida del lazo basada en el rango de cambio de la variable del proceso.

Tune Select. Si se introduce un valor discreto se seleccionará el segundo grupo de constantes de sintonía listadas en la "segunda" columna. El lazo de control utilizara estas constantes cuando el valor de la entrada discreta este encendida (On). Un cálculo de transferencia para un choque menor (ajustado a las condiciones del Reset) se hace en la transición.

Approach Hi: Esta función hace que la variable del proceso se aproxime al punto de operación cuando el valor de la variable es menor que el punto de operación. Introduzca un valor entre 0.1 a 100 u Off.

Approach Lo : Esta función hace que la variable del proceso se aproxime al punto de operación cuando la variable es mayor que el punto de operación.

Manual Reset : Esta opción funciona únicamente cuando se selecciona Off en Reset y hace que actúe solo el control proporcional.

Control Action : Selección directa e indirecta. Cuando se selecciona acción de control indirecta, la salida de control se incrementara si la salida de control es menor que el punto de operación, y disminuirá si es mayor.

LSP Tracking : Selección entre PV (variable del proceso) RSP (Set point remoto) o nada. El seleccionar PV o RSP causa que el setpoint local sea puesto a el valor de la variable o el set point remoto. respectivamente, cuando se cambia de remoto a local.

Feedback : Ratifica al lazo de que la salida solicitada por el lazo (CO) fue alcanzada por el módulo analógico (AO).

UNIT 1 RATIO CONTROL LOOP SPECIFICATION			
Loop 1			
Process Variable	Set Point	Output	Description
0.000	0.000	0.000	0.000
Process Var	-8.838		Gain 1.0000 OFF
Hi Limit	21.000		Reset OFF OFF
Lo Limit	0.0000		Rate OFF OFF
			Tune Select OFF
Remote Set Pt	-8.816	Ratio 1.0000	
Local Set Pt	0.0652	Bias #1 0.1000	Approach Hi 0.1000
		Bias #2 OFF	Approach Lo 0.1000
Marking Set Point		Wild Variable 0.0652	Manual Reset OFF
Hi Limit	0.5652		
Lo Limit	0.0000	OFF Force Manual	Control Action REV
Slew Limit	0.1000	OFF Force Local	LSP Tracking RSP
Feedforward	OFF		Feedback 20.000
Reset Limit	OFF	OFF Change Action	Preset Out OFF

Figura 43 Configuración de la función de Control

5.4.12 Funciones lógicas y de secuencias PLC

Las operaciones lógicas, incluyendo el control lógico programable, se configuran con entradas gráficas directamente en una pantalla de diagrama de escalera para PLC. Un diagrama de escalera es permitido por cada LPU. Cada peldaño puede contener hasta 9 elementos de ancho por 10 líneas con una salida. Hasta 200 peldaños pueden ser programados. La ejecución de los diagramas de escalera es de derecha a izquierda y de arriba hacia abajo. Figura 35.

5.4.13 Programación de las salidas analógicas de control

Se utiliza la tecla P (Program) y la tecla de funciones AO para ingresar a esta pantalla. La LPU deberá estar en modo programa. Esta pantalla especifica los parámetros de las señales de salida del lazo de control analógicas.

5.4.13.1 Elementos de la pantalla de configuración de salidas analógicas

Fuente de entrada (Input Source) Se debe especificar un valor de salida analógica, para los lazos de control es típicamente puesta como una salida de control (CO#); sin embargo, puede ser directamente un valor analógico tal como un pseudo-punto para retransmitir este valor a un dispositivo externo. Asimismo se definen los límites superior e inferior de la entrada (High/Low Limit Input).

Si la fuente es un lazo de control PID, hay que especificar un valor alto de 100 y un valor bajo de 0. Si la fuente es un valor analógico, se especifican las unidades de la fuente que representen los límites alto y bajo

Output Module #1			Output Module #2		
AO	Input Source	CAT	AO	Input Source	CAT
AO 1	Input Source	CM 20	AO 3	Input Source	MULL
	High Limit	100.00		High Limit	100.00
	Low Limit	0.0000		Low Limit	0.0000
	Output High Limit %	100.00		Output High Limit %	100.00
	Output Low Limit %	20.000		Output Low Limit %	20.000
	Slew Rate Limit	OFF		Slew Rate Limit	OFF
AO 2	Input Source	CO 2	AO 4	Input Source	MULL
	High Limit	100.00		High Limit	100.00
	Low Limit	0.0000		Low Limit	0.0000
	Output High Limit %	100.00		Output High Limit %	100.00
	Output Low Limit %	20.000		Output Low Limit %	0.0000
	Slew Rate Limit	OFF		Slew Rate Limit	OFF

Figura 36 Configuración de Salidas Analógicas

5.5 DIAGRAMAS DE FLUJO DE LAS SECUENCIAS DE OPERACIÓN

A continuación se describen los esquemas de control lógico y de secuencias que realiza el SCADA respecto al funcionamiento general del sistema, las acciones de medición y la adquisición de datos. Las señales binarias de salida de la lógica programada se aplican a las válvulas de muestreo y calibración del sistema descritas en el tema 3.4. El estado de las válvulas se indica en la Tabla 5, sección 4, en donde se precisa la función lógica realizada en cada unidad, para los modos de muestreo, calibración y soplado. En los diagramas de flujo se muestran estos modos, haciendo énfasis en los comandos aplicados a los accionamientos.

A continuación se describen las secuencias de las unidades U1, U2 y U1+U2, desde el arranque, la etapa de calibración y la etapa de medición de muestras. La temporización de las secuencias se basa en las gráficas de las figuras 17(a) y 17(b).

Las secuencias se realizan por el SCADA siempre que los selectores de válvulas de control se encuentren en automático.

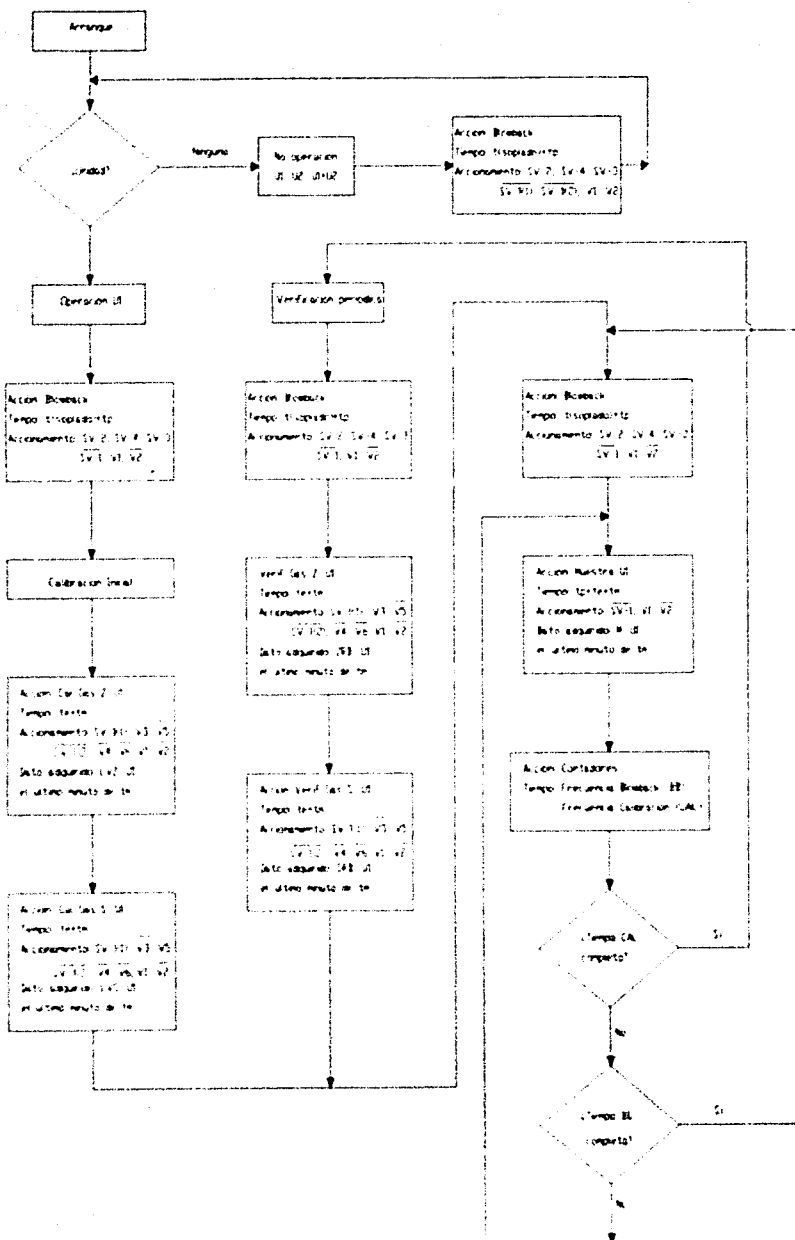


Diagrama 1. Secuencia General Unidad 1 (U1)

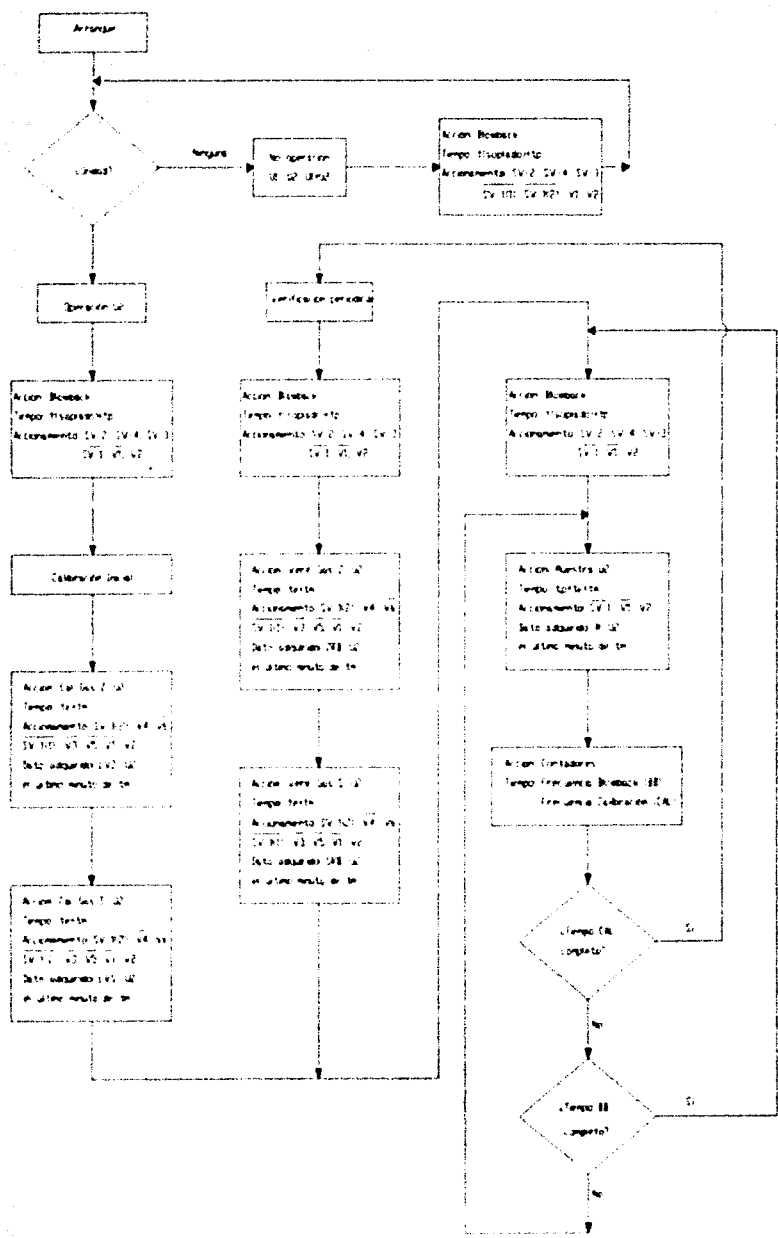


Diagrama 2. Secuencia General Unidad 2 (U2)

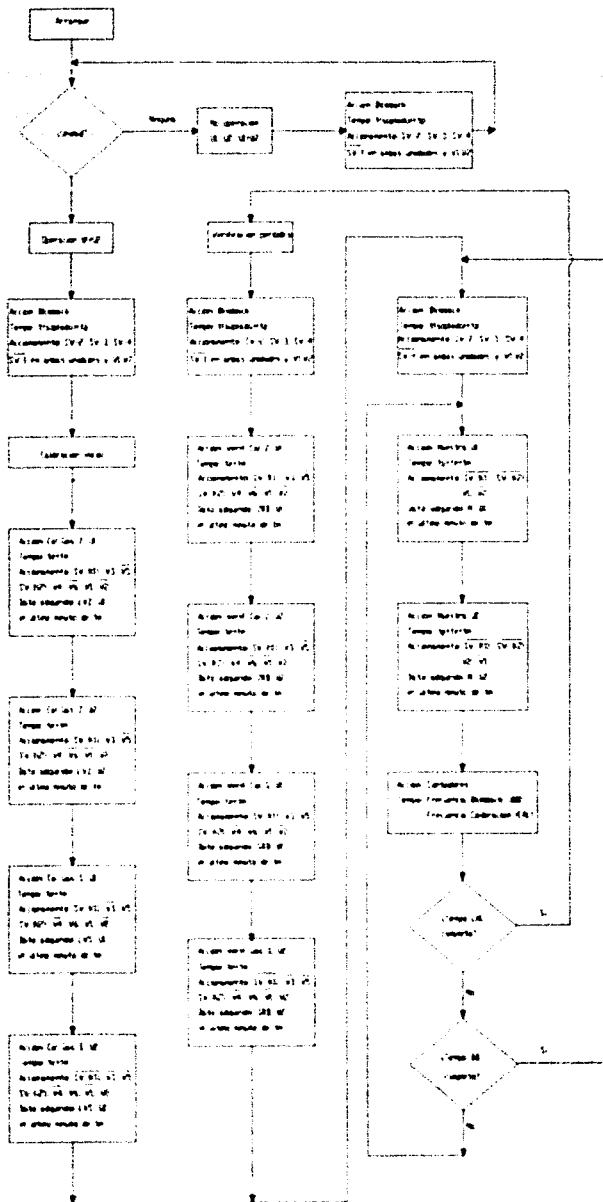


Diagrama 3. Secuencia General U1+U2

Con respecto a los diagramas de flujo, es necesario comentar que se presentan dos variantes de la calibración:

- La Calibración Inicial se realiza cuando se pone en servicio el sistema, cuando se restituyen los gases de calibración o después de un mantenimiento general.
- La Verificación Periódica se realiza cíclicamente en forma programada cada vez que se completa el tiempo CAL.

5.5.1 Acciones de medición y datos obtenidos

De los mismos diagramas de flujo, es indispensable destacar las diferentes acciones de medición que se llevan a cabo. Estas acciones se realizan en el último minuto del tiempo t_m , dando lugar a la adquisición de datos de calibración, verificación y muestreo de las unidades que están en servicio, para todas las variables medidas: **Dióxido de Azufre (SO₂), Monóxido de Carbono (CO) y Oxidos de Nitrógeno (NO_x)**. A continuación se muestra la tabla 8 de resumen de las acciones de medición, indicándose los datos obtenidos. Por lo anterior, es adecuado considerar que el resultado efectivo de las secuencias consiste en sincronizar la adquisición de las variables que son medidas por los analizadores.

Acción	Datos obtenidos	Unidades	Tiempo de adquisición	No. de muestras
Calibración Inicial U1:				
1. Cal Gas Z, U1	LVZ, U1	ppm	1 min.	1
2. Cal Gas S, U1	LVS, U1	ppm	1 min	1
Calibración Inicial U2:				
1. Cal Gas Z, U2	LVZ, U2	ppm	1 min.	1
2. Cal Gas S, U2	LVS, U2	ppm	1 min	1
Verificación Periódica U1:				
1. Verif Gas Z, U1	ZRD, U1	ppm	1 min.	1
2. Verif Gas S, U1	SRD, U1	ppm	1 min	1
Verificación Periódica U2:				
1. Verif Gas Z, U2	ZRD, U2	ppm	1 min.	1
2. Verif Gas S, U2	SRD, U2	ppm	1 min	1
Muestra U1:				
	M, U1	ppm	1 min.	1
Muestra U2:				
	M, U2	ppm	1 min.	1

TABLA 8. ACCIONES DE MEDICIÓN Y DATOS OBTENIDOS

5.6 MEDICIÓN Y ESCALAMIENTO

5.6.1 Proceso de medición y generación de valores

Como se ha mencionado, las acciones de medición derivadas de las secuencias lógicas determinan la adquisición de datos a partir de la medición de los analizadores. Los datos están dados en las unidades de concentración (ppm) y son adquiridos sincronizadamente de acuerdo con el diagrama de la **Figura 37**.

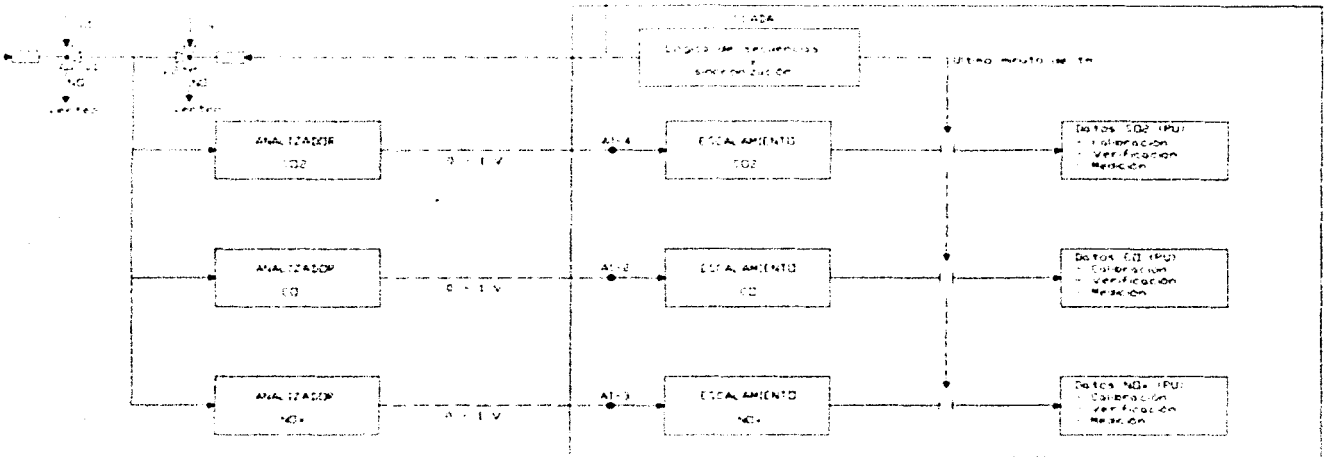


Figura 37. Proceso de Medición

Es importante señalar que los datos en el SCADA son el resultado de promediar durante el último minuto de **tm**, las mediciones proporcionadas por los analizadores de cada variable, en cada uno de los modos de operación. De esta forma, los datos son el valor promedio de cada una de estas acciones de medición cíclicas. También es importante considerar que dichos datos deben ser escalados previamente, ya que como se muestra en el diagrama, las señales que envían los medidores son de voltaje en el intervalo de 0-1 volt, de acuerdo con el rango de cada analizador.

Antes de revisar los aspectos del escalamiento, conviene establecer el uso que se da a los datos adquiridos para la generación de los valores que son desplegados, graficados y reportados.

Como puede observarse de la Tabla 8, hay tres tipos de datos por cada unidad en operación y tomando como referencia la Unidad 1 (U1) se describe abajo el uso de los datos adquiridos:

1. Datos de la calibración inicial: LVZ y LVS.
2. Datos de la verificación periódica: ZRD y SRD.
3. Datos de la medición de la muestra M.

Adicionalmente a éstos, se introducen al sistema en la etapa de configuración, otros valores relacionados con el rango de medición de los analizadores y los valores certificados de concentración de los gases de calibración que se emplean. Al respecto, cabe aclarar que el fabricante de la mezcla de gases debe indicar exactamente las concentraciones que suministra. En el planteamiento siguiente se toman los valores indicados a continuación:

Rango de los instrumentos:

- Analizador de Dióxido de Azufre SO₂: 3000 ppm
- Analizador de Monóxido de Carbono CO: 300 ppm
- Analizador de Oxidos de Nitrógeno NOx: 300 ppm

Concentraciones en la mezcla de gases de calibración:

- Gas Span SO₂: 2700 ppm (Concentración certificada SO₂)
- Gas Span CO: 270 ppm (Concentración certificada CO)
- Gas Span NOx: 248 ppm (Concentración certificada NOx)

Con base en lo anterior se definen los siguientes términos:

a) Factor de corrección para los datos adquiridos:

$$F.C = \frac{LVS - LVZ}{GasSpan}$$

Como se ve, este factor es fundamental porque es representativo de la forma en que una muestra de valor conocido o calibración es obtenido como un dato en el SCADA. Es de esperarse que, idealmente, F.C. = 1; sin embargo, debido a las particularidades de cada sistema de medición, donde el punto de muestra hasta el analizador, el dato o datos obtenidos (LVS y LVZ) se desvian de su valor esperado dando lugar al factor de corrección. No está demás mencionar que por cada unidad, cada uno de los análisis tiene su propio factor de corrección. En consecuencia, tanto los datos adquiridos de las verificaciones periódicas como del muestreo deben someterse al factor de corrección.

Por otra parte, en los reportes de verificación o calibración se indican los valores de CERO y SPAN obtenidos en cada momento de la verificación periódica, es decir, posteriormente a la calibración inicial, se vuelve a probar la validez de las mediciones introduciendo gases de calibración y calculando lo siguiente.

b) Verificación y corrimiento del CERO:

$$IZ = \frac{ZRD - LVZ}{F.C.}$$

donde IZ indica el valor del gas de calibración CERO que se obtiene en la verificación periódica correspondiente:

$$DZ = \frac{IZ}{Rango.Analizador}$$

donde DZ es el corrimiento (drift) del CERO en porcentaje del rango del analizador.

c) Verificación y corrimiento del SPAN:

$$IS = \frac{SRD - LVZ}{F.C.}$$

donde IS indica el valor del gas de calibración SPAN que se obtiene en la verificación.

$$DS = \frac{IS - GasSpan}{RangoAnalizador}$$

donde DS es el corrimiento del valor del Gas Span obtenido en la verificación, en porcentaje del rango del analizador.

Finalmente, durante la operación de muestreo o de operación normal, la medición de la muestra da lugar a los valores corregidos de acuerdo con la siguiente expresión:

$$MC = \frac{M - LVZ}{F.C.}$$

donde MC indica el valor de la concentración del gas en la muestra una vez que se ha calibrado o corregido con el factor F. C.

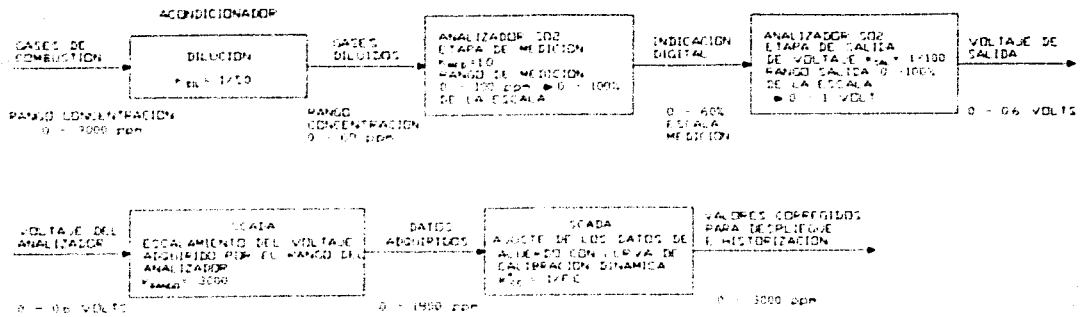
5.6.2 Escalamiento

Es muy importante considerar que la muestra y la medición de la misma sufren un proceso de conversión y escalamiento en varias etapas que es necesario conocer. En los diagramas de bloques que se muestran a continuación se detallan las mencionadas etapas y la forma en que se generan los valores corregidos, mismos que como se explicó en el punto anterior, sirven de base para el despliegue de información al operador.

En los diagramas se observa lo siguiente:

- a) La salida de voltaje de los analizadores es de 0 a 1 volt.
- b) La señal de voltaje introducida al SCADA tiene que ser escalada por el rango del analizador correspondiente, mismos que se indican en el punto 5.6.1. Este escalamiento da lugar a los datos adquiridos en unidades de concentración (ppm).
- c) Para compensar los efectos reales de la función del acondicionador, las líneas de muestra, las desviaciones operativas y de calibración de los analizadores y las pérdidas eléctricas, se introduce el ajuste de la curva de calibración dinámica definida como :

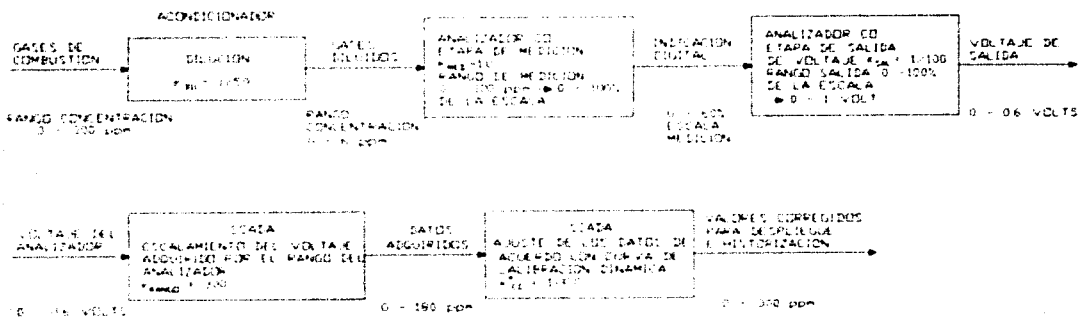
Es evidente que los valores que son llevados a la pantalla, a las gráficas y a los reportes son ajustados por la ganancia dinámica $K_{\infty}^* = 1/F.C.$, la cual, toma un valor particular para cada unidad en cada analizador. Este término dinámico juega un papel fundamental en la corrección de la información y por lo mismo, será necesario mantener un especial cuidado de la evolución de estos valores de calibración, verificación y corrimientos; en la parte correspondiente a "Reportes de Calibración" se detalla el procedimiento para mantener la supervisión de los mismos.



NOTAS

- *100% GANANCIA DINAMICA DE AJUSTE CON DATOS DE CALIBRACION OBTENIDOS
- CONCENTRACION, TEMPERATURA DE GASES DE REFERENCIA
- DILUION POR EFECTO = 100%

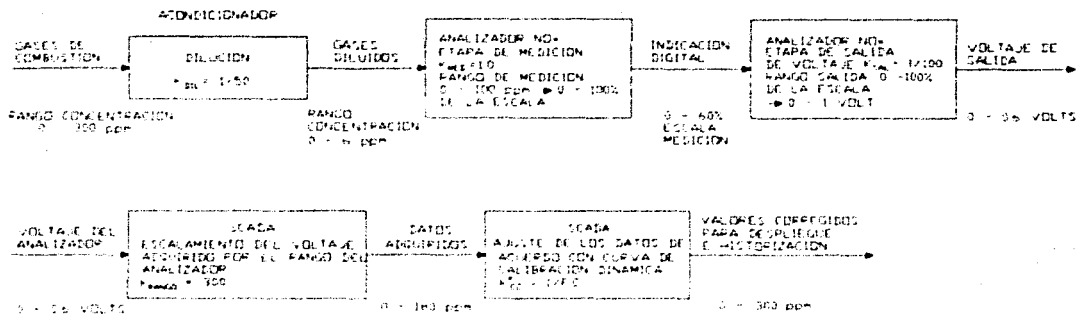
Diagrama 4. Medición y Escalamiento de SO₂



NOTAS

- *100% GANANCIA DINAMICA DE AJUSTE CON DATOS DE CALIBRACION OBTENIDOS
- CONCENTRACION, TEMPERATURA DE GASES DE REFERENCIA
- DILUION POR EFECTO = 100%

Diagrama 5. Medición y Escalamiento CO



ANALIZADOR NO-

NOTAS:

1) GANANCIA DINAMICA DE ACUERDO CON DATOS DE CALIBRACION OBTENIDOS

2) CONCENTRACION CERTIFICADA DE GASES DE REFERENCIA

DILUCION POR DISEÑO = 50:1

Diagrama 6. Medición y Escalamiento NOx

5.7 CONFIGURACIÓN DEL SOFTWARE DE OPERACIÓN DATAVUE

La interfase Humano Máquina corre en el Software de Operación del Sistema denominado DATAVUE. El DATAVUE permite la programación gráfica, programación de tendencias y configuración de reportes. Al igual que MAXPRO, se emplea la técnica de filling the blanks, llenado de espacios en blanco; así como un lenguaje propietario orientado a la programación gráfica por medio de objetos. El lenguaje de alto nivel empleado por el programa fuente es FORTH. Toda la programación de aplicación se ejecuta con comandos y macros predefinidos por el DATAVUE. La técnica de esta programación crea simultáneamente los códigos de programa; así como los gráficos asociados a cada función, facilitando al programador la visualización de la aplicación. El DATAVUE permite la configuración del editor, las comunicaciones, seguridad y la operación del sistema.

5.7.1 Configuración de la pantalla de edición.

En la pantalla de edición se elaboran los mimicos dinámicos, los reportes, las gráficas de tendencia, esto es, la visualización requerida para realizar las funciones de Control con el SCADA. **Figura 38.**

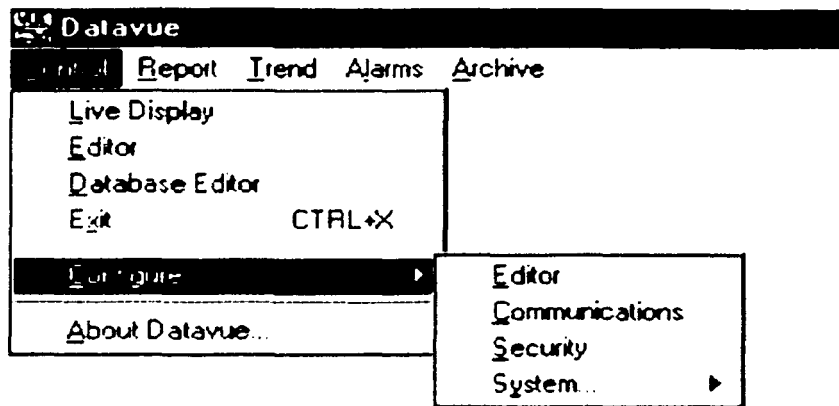


Figura 38. Pantalla del submenú de configuración del menú control.

Del menú control se selecciona la opción de configuración y Editor, Figura 39.

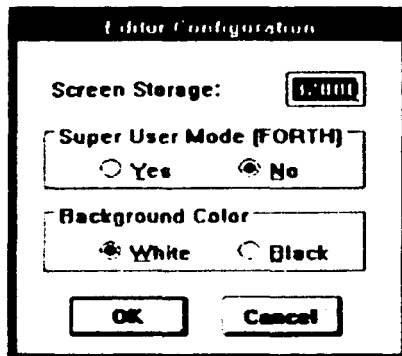


Figura 39. Pantalla de configuración del editor.

La definición del número de pantallas y de la memoria asociada a cada elemento permite la administración de los recursos informáticos.

5.7.2 Configuración de las comunicaciones.

La Figura 40 muestra la configuración de las comunicaciones, asociando las siguientes características:

- Nombre del Puerto, asociando una dirección
- Tipo de Máquina: Maxport, Micromax, y/o PC.
- Número de unidad. Identificación de la LPU (1-254)
- Velocidad de Transmisión: desde 1200 hasta 38400 Bauds, debiendo ser igual a la configurada en la LPU.
- Longitud de la palabra
- Tipo de paridad
- Número de Bits de stop

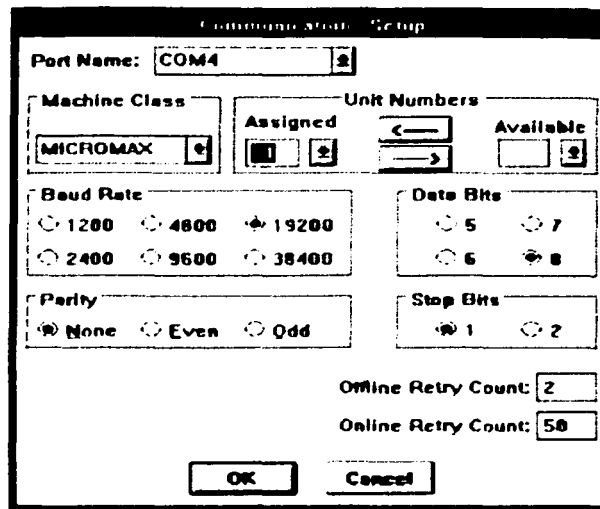


Figura 40. Pantalla de la configuración de las comunicaciones

5.7.3 Configuración del hardware y la base de datos.

La configuración de la Base de Datos permite la definición de:

- Módulo de Adquisición de Datos: LPU, SPX25000, etc.
- Número y tipo de entradas
- Numero y Tipo de salidas
- Número de Constantes
- Puntos de control
- Etc.

Al seleccionar el tipo de máquina específico, los parámetros de entradas y salidas son añadidos automáticamente, además se define el tamaño de la base de datos para comunicarse con la LPU. Ver Figura 41.

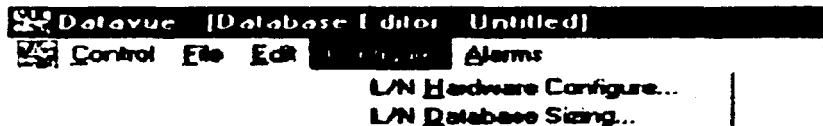


Figura 41. Pantalla de configuración de la base de datos.

Configuración del tamaño de la base de datos.

Los valores establecidos deben corresponder con la configuración del software Maxpro. Figura 42.

EN LA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

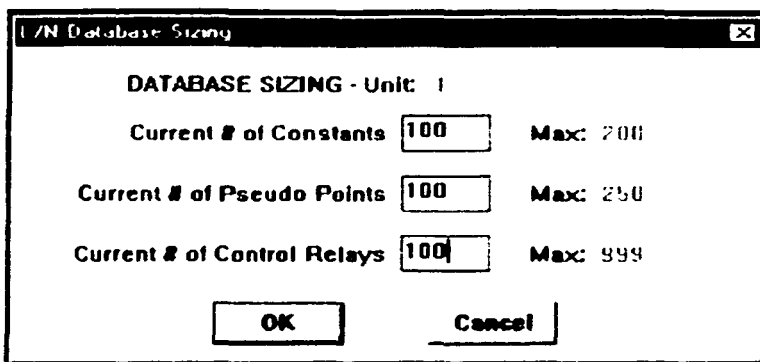


Figura 42. Pantalla del tamaño de la base de datos.

5.8 GRÁFICAS DE TENDENCIAS.

Una forma típica para presentar respuesta de un sistema; así como la información asociada al mismo es por medio de un gráfico de valores de proceso contra tiempo. A este gráfico se le denomina tendencia.

Datavue puede mostrar hasta un máximo de 12 variables y/o parámetros por tendencia; previo a la creación de una tendencias o un reporte es necesario configurar una base de datos. En el menú Math se selecciona Graph Data y se introduce el nombre del archivo de datos, el cual estará asociado con los reportes y las tendencias. El software asigna la extensión TIN al archivo declarado.

Una vez que se ha introducido el nombre aparece la siguiente pantalla, Figura 43.

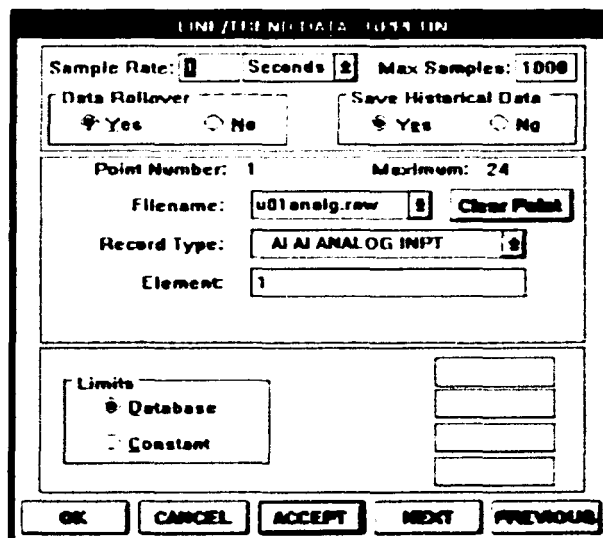


Figura 43. Pantalla de edición de los datos de los gráficos.

La configuración de las tendencias incluyen la definición de:

- Velocidad de muestreo.
- Tiempo de actualización del elemento en la base de datos. El tiempo mínimo es 1 segundo.
- Número máximo de muestras. Cantidad de muestras que se almacenan por cada gráfica. El número máximo es de 1000.
- Sobreposición de gráficos.
- Almacenamiento de los datos históricos
- Tipo y número de variable que se quiera visualizar en la gráfica de tendencia.
- Selección del nombre del archivo donde se almacenará la gráfica.
- Selección de la característica de la variable; de entrada, salida, pseudopunto, etc.

5.8.1 Creación de una gráfica de tendencias.

Una vez configurada, la tendencia puede ser creada, accedando las siguientes pantallas y menús.

- Seleccione la opción Gráfica de tendencia (Trend Graph) del menú Math.
- Defina el tipo de gráfica: Horizontal o Vertical
- Defina los colores asociados a la tendencia y a cada variable a incluir.
- Selección del nombre de la base de datos gráficos a utilizar por esta gráfica de tendencia

Una vez generado el software le asigna la extensión TRN a este archivo.

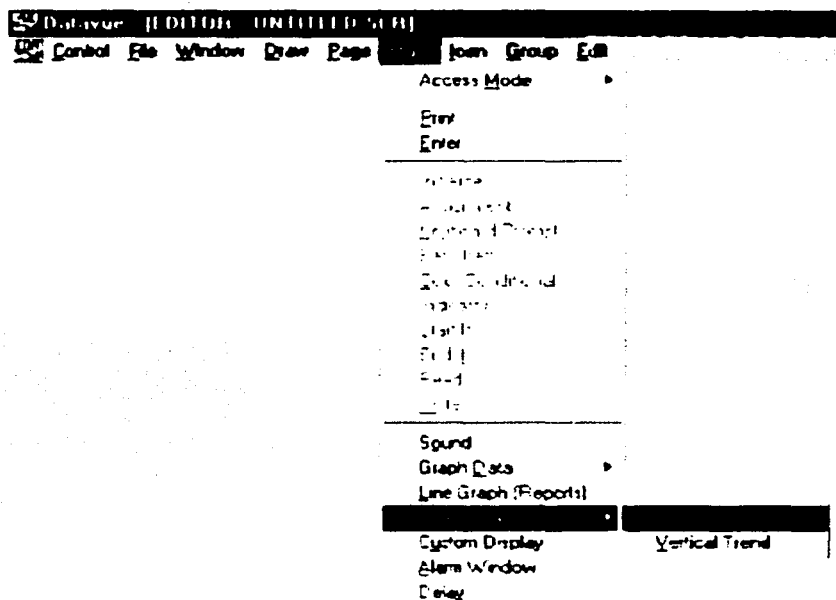


Figura 44. Menú de selección del tipo de gráfica.

La Figura 45 muestra los colores preestablecidos por el fabricante para cada una de las variables, además muestra los colores del fondo y marco de la gráfica, una paleta de colores para hacer cambios en los colores preestablecidos.

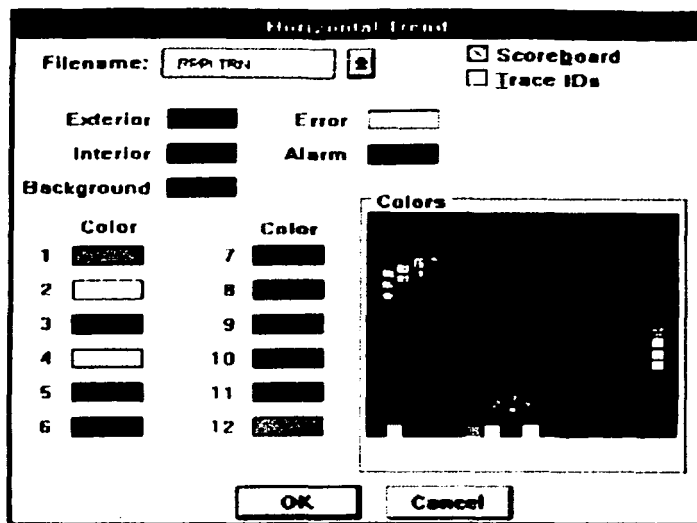


Figura 45. Pantalla de configuración de una gráfica horizontal.

5.8.2 Registro de gráficas

Una vez Configurada y Generada, la tendencia puede ser almacenada de forma tal que permita su acceso posterior. Ver Figura 46.

- Nombre de archivo.
- Registro de Pantalla Activa

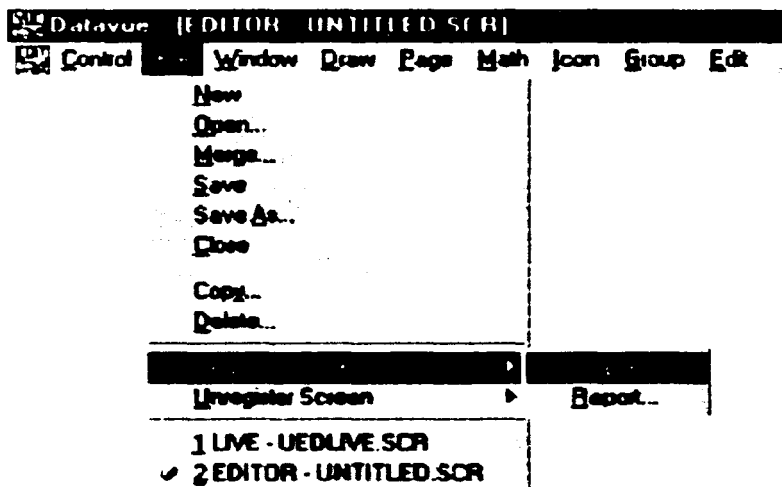


Figura 46. Menú de registro de las pantallas.

5.9 REPORTES.

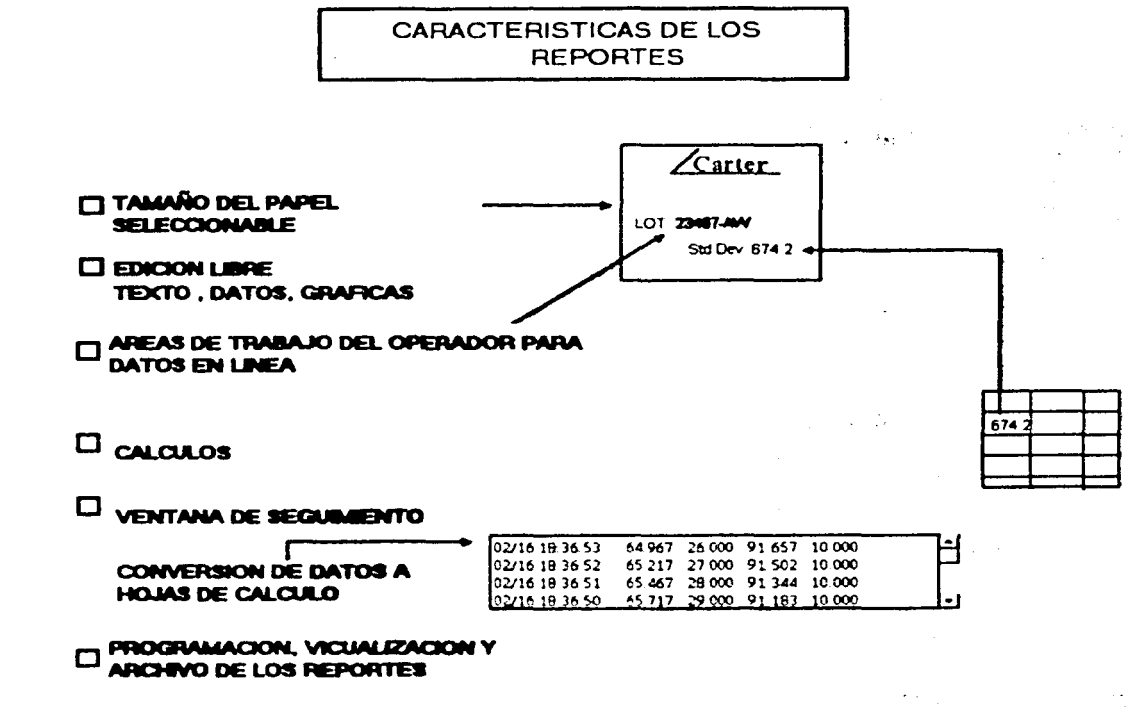
Las pantallas que han sido registradas como reportes pueden ser utilizadas en lugar de los reportes que se llenaban manualmente, estos reportes pueden ser archivados en disco, iniciar, terminar de coleccionar los datos o imprimirse al darse un evento discreto o por tiempo. Los reportes pueden ser de dos tipos:

- El primer tipo contiene datos del proceso, datos de acceso del usuario. Datos DDE (Data Dynamic Exchange) y cálculos que utilizan estos datos.
- El segundo tipo incluye datos que son actualizados periódicamente y colocados debajo del dato anterior en una tabla **Figura 47**, este tipo se usa frecuentemente para reportes por lotes que requieren reportes de registro a intervalos regulares.

Para la creación de un reporte es necesario:

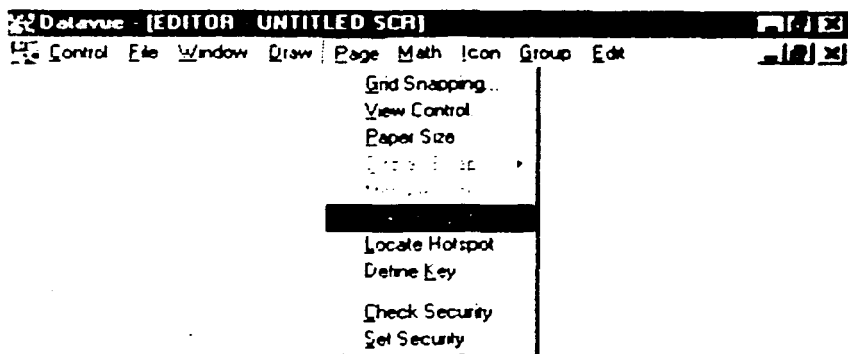
- Especificar la información que se desea y la forma de la presentación.
- Crear un tipo de registro y una base de datos para cada uno de los campos del reporte
- Crear la pantalla de acuerdo a lo planeado anteriormente, se puede utilizar la opción Line Graph para crear columnas que se llenaran automáticamente a los intervalos establecidos.
- Registro de la pantalla como reporte.

Iniciar el reporte (En línea) empleando la pantalla como base pero dándole un nombre único a cada reporte.

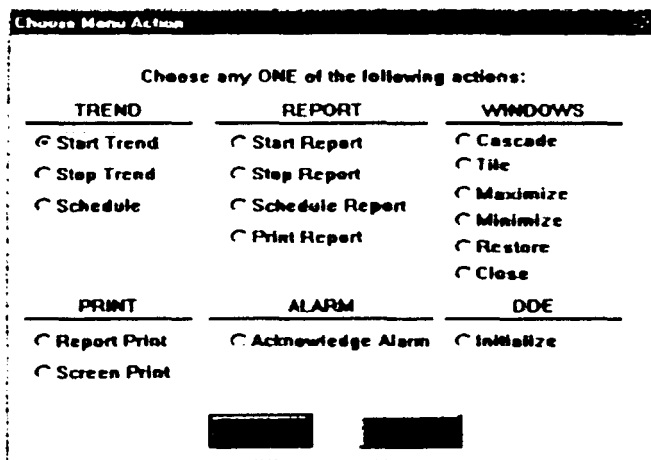


Su programación requiere:

- Creación de la figura u objeto.
- Definición de inicio y término del Hot Spot
- Asignación de una o más acciones



(a)



(b)

Figura 48. Creación y definición de la función del Hot Spot

5.11 INTERFAZ HOMBRE-MAQUINA DEL CEM

A través de la pantalla, el teclado y el "mouse" de la computadora el operador tiene la posibilidad de interactuar con el sistema. Para facilitar esta tarea se desarrollaron diversas pantallas dedicadas que dirigen la acción el operador en las funciones de configuración, operación, generación de gráficas, generación de reportes impresos y despliegue de alarmas y ayuda. En primer lugar se debe considerar la Pantalla del "MENU PRINCIPAL" que se muestra en la Figura 50.

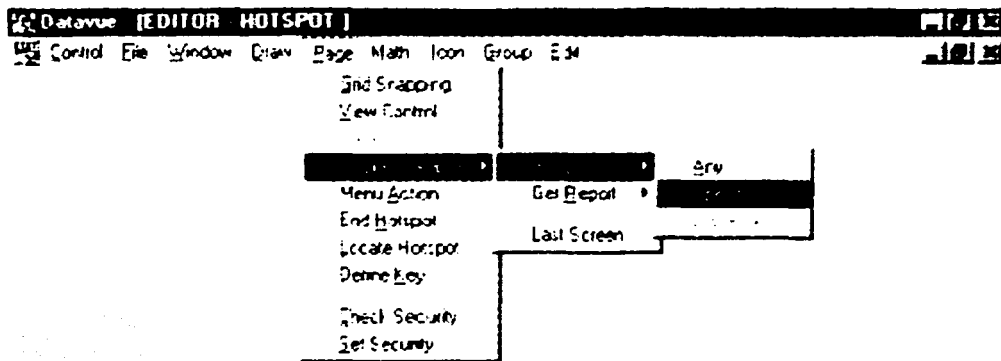
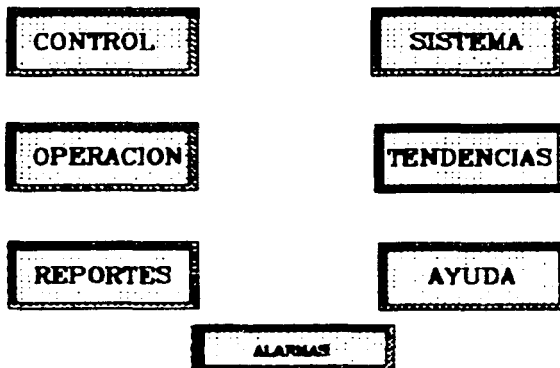


Figura 49. Edición de la acción que ejecuta el Hot Spot

COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD
C.T. PETACALCO UNIDADES 1 Y 2

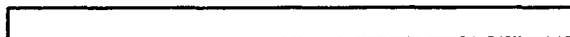
SISTEMA DE MONITOREO
CONTINUO DE EMISIONE

MENU PRINCIPAL



F1-Menu Avanzado F5-Imprimir Pantalla F10-Pantalla Anterior

12/10/1997



18:43:01

Figura 50. Pantalla de acceso al sistema

Con esta pantalla se tiene acceso a las diversas funciones del sistema. La configuración se tiene en las opciones "CONTROL" y "SISTEMA"; la opción en línea y el despliegue gráfico de las variables se tienen en las opciones "OPERACIÓN" y "TENDENCIAS"; los "REPORTES" y "ALARMAS" proporcionan listados de las variables medidas y de los estados críticos del sistema. La opción de "AYUDA" proporciona asistencia para el manejo de las opciones indicadas.

5.11.1 Configuración de parámetros del CEM

Antes de iniciar la operación del sistema, es necesario definir los "Parámetros del Sistema" que se accesan desde la opción "SISTEMA" desde el "MENU PRINCIPAL".

En el tema 3.4 se definieron los parámetros de tiempo de acuerdo con la dinámica de los flujos en el muestreo, la medición y la calibración. La temporización se requiere para la ejecución de las secuencias y a través de la pantalla mostrada en la Figura 51, se configuran dichos parámetros. En esta misma pantalla se introducen los parámetros de calibración y escalamiento definidos en tema 5.3.

COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD
C.T. PETACALCO UNIDADES 1 Y 2

SISTEMA DE MONITOREO
CONTINUO DE EMISIONE

Parámetros del Sistema

<u>Tiempos del Sistema</u>			<u>Gas Span</u>	<u>Rango del Analizador</u>	
t Blow Back	10.000	Seg	SO2	2700.0	3000.0 ppm
t Purga	1.0000	Min	NOx	248.00	300.00 ppm
t Estabilizacion	3.0000	Min	CO	270.00	300.00 ppm
t Medicion	4.0000	Min	O2	21.000	25.000 %
Frec Calibracion	10080.	Min			
Frec BlowBack	15.000	Min			

Principal

12/10/1997

18:44:58

12/10/1997

18:44:58

Figura 51. Configuración de los parámetros de temporización, escalamiento y calibración

5.11.2 Selección de unidades y operación en línea

En la pantalla de la **Figura 52**, que se accesa desde "CONTROL" en el "MENU PRINCIPAL", se define la forma de operación del sistema: la **Unidad 1**, la **Unidad 2**, ambas (**Unidad 1+2**) y el **Arranque o Paro** de las secuencias.

Se tiene como pantalla básica de operación la mostrada en la **Figura 53**, en la cual, se muestran las condiciones actuales de operación y las mediciones instantáneas. Para ilustrar la tendencia de las variables se despliegan los valores de las mismas en forma de barras dimensionadas en porcentaje. Esta pantalla se accesa desde la opción "CONTROL" del "MENU PRINCIPAL".

COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD
C.T. PETACALCO UNIDADES 1 Y 2

SISTEMA DE MONITOREO
CONTINUO DE EMISIONI

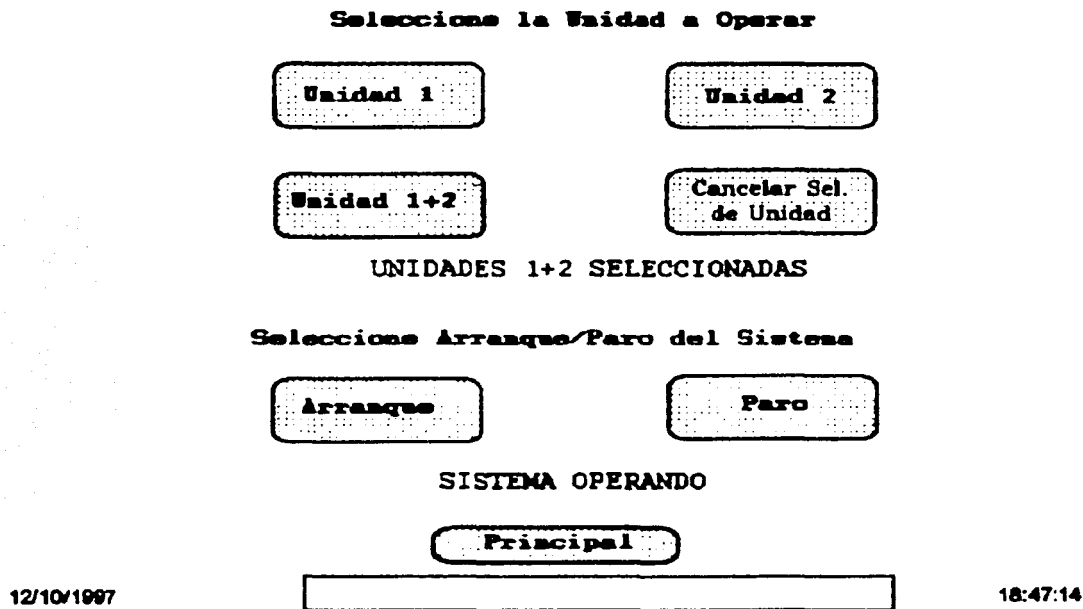


Figura 52. Selección del modo de operación del sistema

Como se ha mencionado en el tema 5.1, el sistema (SCADA) presenta la historización de las variables a través de gráficas contra el tiempo. Se tienen varias opciones como las mostradas en las **Figuras 54 y 55** que corresponden al despliegue de las mediciones de las unidades 1 y 2 por separado, con una base de tiempo de 24 horas. También se pueden desplegar las unidades conjuntamente y todas con una base de 72 horas.

El SCADA permite a través de sus herramientas de despliegue gráfico recuperar la historización de las variables en forma gráfica, de fechas y horas anteriores.

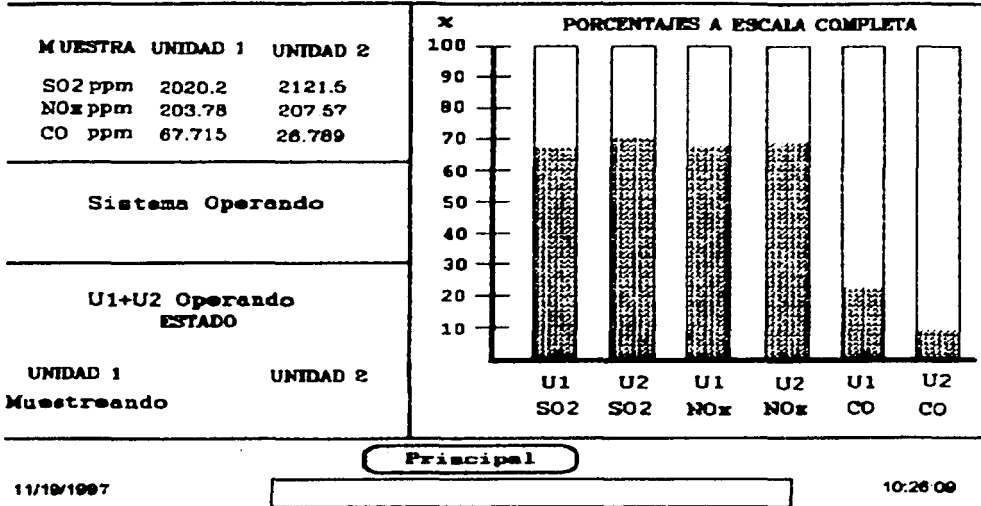


Figura 53. Pantalla de operación en línea

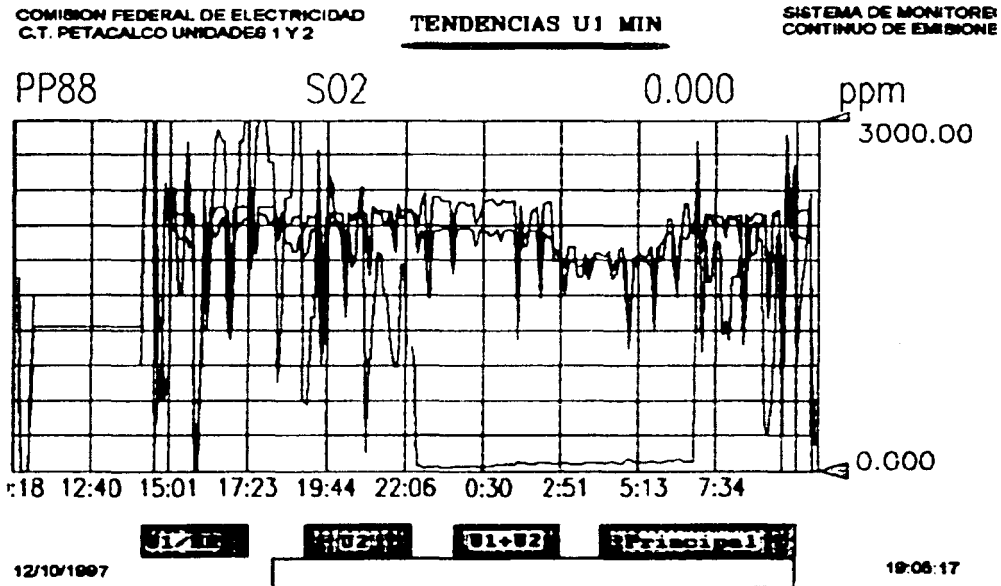


Figura 54. Gráfica de tendencias de las variables de la Unidad 1

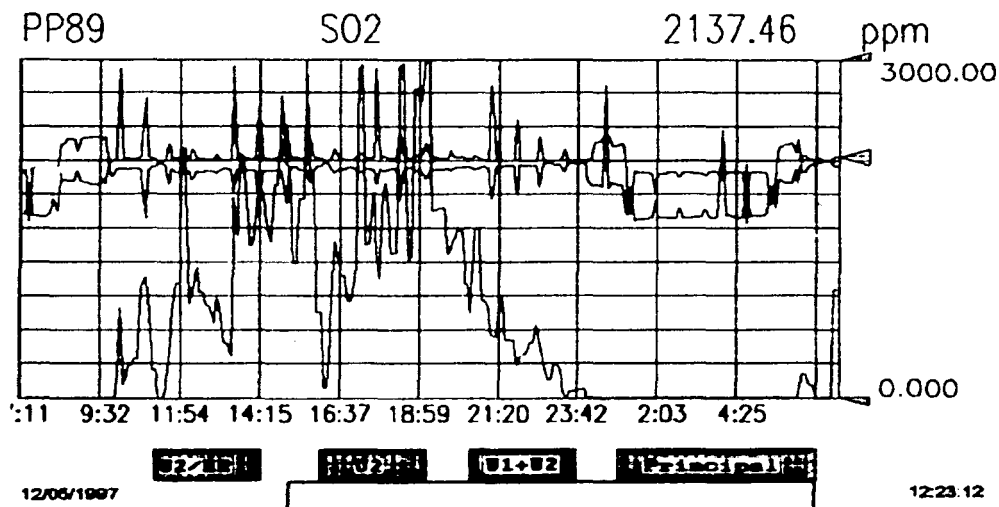


Figura 55. Gráfica de tendencias de las variables de la Unidad 2

5.11.3 Reportes de operación y calibración

La Figura 56 muestra la pantalla que habilita el uso de los reportes impresos del sistema. Esta pantalla definida como "MANEJO DE REPORTES" se accesa desde "REPORTES" en el "MENU PRINCIPAL". En la figura se observa que para cada unidad pueden generarse distintos tipos de reportes.

Con respecto a la operación se tienen los reportes por turno en donde cada hora se anota el promedio horario de las mediciones hasta completar ocho líneas (ocho horas por turno). También se tienen reportes de operación por día y semanal, los cuales, imprimen promedios horarios de las variables. El reporte mensual imprime promedios diarios de las mismas variables.

Se observa que los reportes de calibración son mensuales y reportan los valores obtenidos en las verificaciones periódicas. Si la frecuencia de calibración corresponde a siete días, se tendrán cuatro líneas en el reporte de calibración, indicando para cada variable los siguientes valores: ZRD, SRD, DZ y DS.

	TURNO 1	TURNO 2	TURNO 3
UNIDAD 1	DIARIO	SEMANAL	MENSUAL
	CALIBRACION (mensual)		

	TURNO 1	TURNO 2	TURNO 3
UNIDAD 2	DIARIO	SEMANAL	MENSUAL
	CALIBRACION (mensual)		

	Principal	
12/10/1997		18:56.48

Figura 56. Pantalla de acceso a los reportes del sistema

La Figura 57 muestra la presentación en pantalla y la impresión de un reporte diario de la Unidad 1 y la Figura 58 muestra la presentación de un reporte de calibración mensual.

Como comentario general respecto a la interfaz hombre-máquina, conviene considerar que el mejor aprovechamiento del sistema se basa en la habilidad y conocimiento del operador acerca de las funciones mencionadas en este tema, ya que de esta forma puede desarrollar toda la potencialidad que brinda el SCADA para el procesamiento y despliegue de la información.

Reporte Diario 11/19/1997
(Unidad 1)

	SO ₂	NO _x	CO
18:51	2211.4	229.43	279.91
18:48	2235.8	229.02	299.96
14:46	2289.8	231.51	281.78
13:43	2185.3	219.88	174.99
12:40	2189.8	226.86	169.96
11:38	2231.8	206.97	263.42
10:36	2285.3	237.86	184.97
09:32	2149.9	232.19	90.182
08:29	2179.9	237.67	63.898
07:27	2183.5	233.61	86.676
06:24	1988.4	217.94	0.0000
05:22	1789.9	187.07	0.0000
04:19	1811.3	208.63	0.0000
03:14	1843.8	199.37	0.0000
02:12	1846.7	208.08	0.0000
01:09	1889.5	187.86	0.0000
00:06	1788.9	209.89	0.0000
23:04	2913.7	230.48	40.879
22:01	2234.4	237.21	113.71
20:59	2179.3	224.36	184.37
19:56	2185.3	226.42	115.19
18:53	2285.3	230.29	181.51
17:51	2219.2	229.89	178.19
16:48	2295.8	230.19	228.26

NOTA Todos los datos son en ppm

Figura 57. Reporte diario de la Unidad 1

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Reporte Mensual de Calibracion
(Unidad 1)

	SO2-S	SO2-S	SO2-O	SO2-S	NOx-S	NOx-S	NOx-S	NOx-S	CO-S	CO-S	CO-O	CO-S	SO2-D	SO2-O	NOx-D	NOx-O	CO-D	CO-O
R02.28	0.4800	2701.2	0.4800	2100.9	0.0480	270.12	0.0480	218.08	0.0480	270.12	0.0480	210.88	0.0000	-20.00	0.0000	-20.00	0.0000	-20.00
R02.29	0.4800	2701.2	0.4800	2101.9	0.0480	270.12	0.0480	218.08	0.0480	270.12	0.0480	210.88	0.0000	-20.00	0.0000	-20.00	0.0000	-20.00
R02.23	0.4800	2701.2	0.4800	2100.9	0.0480	270.12	0.0480	218.08	0.0480	278.12	0.0480	210.88	0.0000	-20.00	0.0000	-20.00	0.0000	-20.00
R02.18	0.4800	2701.2	0.4800	2101.9	0.0480	270.12	0.0480	218.08	0.0480	278.12	0.0480	210.88	0.0000	-20.00	0.0000	-20.00	0.0000	-20.00
R02.12	0.4800	2701.2	0.4800	2109.9	0.0480	270.12	0.0480	218.08	0.0480	278.12	0.0480	210.88	0.0000	-20.00	0.0000	-20.00	0.0000	-20.00
R02.07	0.4800	2701.2	0.4800	2100.9	0.0480	270.12	0.0480	218.08	0.0480	270.12	0.0480	210.88	0.0000	-20.00	0.0000	-20.00	0.0000	-20.00
R02.02	0.4800	2701.2	0.4800	2101.9	0.0480	270.12	0.0480	218.10	0.0480	278.12	0.0480	210.88	0.0000	-18.99	0.0000	-20.00	0.0000	-20.00
R02.57	0.4800	2701.2	0.4800	2100.9	0.0480	270.12	0.0480	218.08	0.0480	278.12	0.0480	210.88	0.0000	-20.00	0.0000	-20.00	0.0000	-20.00
R02.48	0.4800	2701.2	0.4800	2101.9	0.0480	270.12	0.0480	218.10	0.0480	278.12	0.0480	210.88	0.0000	-20.00	0.0000	-20.00	0.0000	-20.00
R02.41	0.4800	2701.2	0.4800	2100.9	0.0480	270.12	0.0480	218.08	0.0480	270.12	0.0480	210.88	0.0000	-20.00	0.0000	-20.00	0.0000	-20.00
R02.28	0.4800	2701.2	0.4800	2101.9	0.0480	270.12	0.0480	218.10	0.0480	270.12	0.0480	210.88	0.0000	-20.00	0.0000	-20.00	0.0000	-20.00
R02.21	0.4800	2701.2	0.4800	2101.9	0.0480	270.12	0.0480	218.10	0.0480	278.12	0.0480	210.88	0.0000	-20.00	0.0000	-20.00	0.0000	-20.00

NOTA: Todos los datos son en ppm

Figura 58. Reporte de calibración mensual de la Unidad 1

6. CONCLUSIONES

Los factores de desarrollo tecnológico y económico de una nación están íntimamente ligados a las fuentes de energía y la disponibilidad que se tenga de ésta en la región. Sin embargo, no obstante su gran importancia, al analizar los aspectos más relevantes de la generación eléctrica es fácil pasar por alto el impacto ambiental asociado a esta actividad.

Durante el desarrollo del presente trabajo hemos profundizado sobre las diferentes implicaciones normativas, económicas y muy especialmente los aspectos técnicos relacionados con los Sistemas de Monitoreo de Emisiones en una Central Termoeléctrica, que por su tamaño e importancia en el desarrollo económico de la región, es indispensable. Es esa misma importancia la que obliga a mantener el equilibrio en su entorno ecológico, lo cual constituye uno de los mayores retos para la CT Petacalco.

Los Sistemas de Monitoreo Ambiental, NO inciden directamente en las capacidades de producción o que mejore la eficiencia de la producción, sino que se trata de un rubro que debe tratarse por separado con una filosofía que permita el cumplimiento de los requerimientos actuales y la planeación a futuro cuidando el entorno natural. A través del presente trabajo hemos expuesto los diferentes aspectos requeridos para cumplir con esta filosofía de producción haciendo énfasis en que no basta tomar un solo aspecto de la generación termoeléctrica, es necesario observar el problema en toda su complejidad:

1. Normatividad Nacional e Internacional, adecuada para las cadenas de producción en la región
2. CEM's Diseñados en cumplimiento con la Normatividad
3. CEM's de Alto desempeño y alta confiabilidad
4. CEM's de Bajo Mantenimiento

La solución que se aplique debe cumplir, desde sus bases con estos conceptos, asegurando su desempeño en condiciones reales de proceso.

Hemos constatado la importancia que tienen los Sistemas de Monitoreo Ambiental, los cuales han evolucionado con el paso del tiempo, especialmente los analizadores, permitiéndonos obtener mediciones cada vez más fidedignas de las muestras que se están monitoreando. Así mismo, también se han desarrollado nuevas técnicas para llevar a cabo este tipo de mediciones y con la introducción de la Probeta de Dilución se han logrado mejores y más confiables mediciones en fuentes fijas o chimeneas.

La implantación del muestreo de tipo extractivo con dilución, a pesar de su complejidad, es bastante confiable en una gran cantidad de aplicaciones y proporciona un desempeño muy satisfactorio. Esta etapa forma parte medular del CEM, ya que un buen acondicionamiento de muestra, proporcionará la exactitud y confianza esperada del CEM, ya que se logra el óptimo acondicionamiento: retiro de humedad, eliminación de partículas, dilución a niveles bajos, etc. sin afectar las características de interés en la corriente, es decir, los contaminantes.

Otro aspecto que cabe destacar es que el sistema se configuró para trabajar en dos chimeneas haciendo más eficiente el uso de los analizadores, sobre la base del equipo de cómputo y el software habilitado para esta doble tarea. Su funcionamiento consiste en tomar muestras de cada una de las chimeneas, acondicionarlas y diluirlas para que llegaran secas y con la menor toxicidad a los analizadores, estos a su vez, después de hacer las mediciones correspondientes, junto con el equipo de control secuencial, envían esta información al SCADA, el cual, mediante la configuración del software, muestra en la pantalla, de una manera muy amigable, las mediciones que se requieren de cada uno de los contaminantes.

El SCADA tiene una interfaz hombre-máquina muy amigable aunque es conveniente decir que requiere mucho cuidado en su implantación.

Es importante resaltar la complejidad de manejo y operación del sistema, ya que debe considerarse una gama de actividades que van desde la configuración y operación del SCADA, la calibración de los analizadores y el mantenimiento del acondicionador de muestras. Este dispositivo y la probeta de dilución se encuentran en las chimeneas bajo condiciones de operación de alta temperatura (más de 40°C) y atmósferas sucias y tóxicas, lo

cual, hace muy incómodo el trabajo de mantenimiento. En cuanto al software de configuración del SCADA se tiene que tener conocimiento profundo de los procedimientos y solamente gente que está en contacto con el mismo podría hacer las modificaciones correspondientes.

El sistema presenta robustez en su operación, ya que si alguno de los componentes llegara a fallar, el resto del sistema normalmente no se ve afectado. En cuanto su escalabilidad y expansibilidad tiene la capacidad de crecer en cuanto a entradas y salidas y poder hacer la medición de más de dos chimeneas, utilizando los mismos analizadores, y en lo único en lo que podría repercutir es en el tiempo o período de muestreo, ya que al monitorear más chimeneas la frecuencia de atención a cada una de ellas disminuye.

Otra cuestión interesante es la capacidad que tiene el sistema no sólo de poder hacer la medición y la adquisición de los datos que interesan, sino la facilidad que tiene de hacer la interfaz con el equipo de cómputo.

Como se ha mencionado, el sistema SCADA, formado por el Micromax II y el software Datavue hace posible la realización de los modos de operación y de las secuencias requeridas en cada uno de éstos, a la vez que se encarga de la adquisición de datos, su escalamiento e historización, asimismo, como parte de las facilidades que brinda, se han desarrollado pantallas de operación dedicadas para apoyar el trabajo del operador, auxiliándolo con menús de operación que le permiten dirigir las tareas en el monitoreo de emisiones contaminantes.

Sin duda lo más interesante en el desarrollo de este trabajo, ha sido el participar en un grupo interdisciplinario y resolver exitosamente una aplicación industrial real.

APÉNDICE A

SÍNTESIS DE LA NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-085-ECOL-1994

1. Objeto

Norma Oficial Mexicana para fuentes fijas que utilizan combustibles fósiles sólidos, líquidos o gaseosos o cualquiera de sus combinaciones, que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de humos, partículas suspendidas totales, bióxido de azufre y óxidos de nitrógeno y los requisitos y condiciones para la operación de los equipos de calentamiento indirecto por combustión, así como los niveles máximos permisibles de emisión de bióxido de azufre en los equipos de calentamiento directo por combustión.

2. Campo de aplicación

Norma Oficial Mexicana para fuentes fijas que utilizan combustibles fósiles, líquidos y gaseosos o cualquiera de sus combinaciones, será de observancia obligatoria para el uso de los equipos de calentamiento indirecto por combustión, así como para los equipos de generación eléctrica que utilizan la tecnología de ciclo combinado. Será obligatoria igualmente sólo en emisiones de bióxido de azufre, para el uso de los equipos de calentamiento directo por combustión.

3. Referencias

NMX-AA-35 Determinación de bióxido de carbono, monóxido de carbono y oxígeno en los gases de combustión.

NMX-AA-55 Determinación de bióxido de azufre en gases que fluyen por un conducto.

4. Definiciones *(Numeración de definiciones y tablas de acuerdo a la Norma)*

4.1 Calentamiento directo

La transferencia de calor por flama, gases de combustión o por ambos, al entrar en contacto directo con los materiales del proceso.

4.2 Calentamiento indirecto

La transferencia de calor por gases de combustión que no entran en contacto directo con los materiales del proceso.

4.5 Combustibles fósiles sólidos, líquidos y gaseosos

4.5.1 Los combustibles sólidos se refieren a las variedades de carbón mineral cuyo contenido fijo de carbono varía desde 10% hasta 90% en peso y al coque de petróleo.

4.5.2 Los combustibles sólidos, líquidos o gaseosos son los derivados del petróleo diáfano, diesel, combustóleo, gasóleo, gas L.P., butano, propano, metano, isobutano, propileno, butileno o cualquiera de sus combinaciones.

4.11 Fuente fija

La instalación o conjunto de instalaciones pertenecientes a una sola persona física o moral, ubicadas en una poligonal cerrada que tenga como finalidad desarrollar operaciones o procesos industriales, comerciales o de servicios o actividades que generen o puedan generar emisiones contaminantes a la atmósfera.

4.12 Limite de emisión ponderada

El promedio permisible de descarga de un contaminante a la atmósfera, aplicable a cada fuente fija.

4.13 Monitoreo continuo

El que se realiza con equipo automático con un mínimo de 15 lecturas en un periodo no menor a 60 min. y no mayor a 360 min. El resultado del monitoreo es el promedio del periodo muestreado.

4.14 Número de mancha

El valor numérico que se obtiene al comparar la mancha producto del paso de un cierto volumen de gas de combustión por un papel filtro con las tonalidades de la escala patrón equivalente.

5. Especificaciones

5.1 Los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de humos, partículas suspendidas totales, óxidos de nitrógeno y bióxido de azufre de los equipos de combustión de las fuentes fijas a que se refiere esta Norma Oficial Mexicana, son los establecidos en la Tabla 4.

NIVELES MÁXIMOS PERMISIBLES

CAPACIDAD DEL EQUIPO DE COMBUSTION	TIPO DE COMBUSTIBLE EMPLEADO	DENSIDAD DEL HUMO	PARTICULAS (PST)			BIÓXIDO DE AZUFRE			ÓXIDOS DE NITRÓGENO			EXCESO DE AIRE DE COMBUSTION % volumen
		Número de mancha u capacidad	(1)			(1)			(1)			
			ZN/C/M	ZC	RP	ZN/C/M	ZC	RP	ZN/C/M	ZC	RP	
Mayor de 100000	Sólidos	NA	50	100	150	1100	2100	2600	160	280	100	0
	Líquidos	NA	50	100	150	1100	2100	2600	160	280	100	
	Gaseosos	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	160	280	100	

NOTAS:

(1) Concentraciones referidas a 25 °C, 760 mm Hg, 5% de oxígeno en volumen y base seca. Entre paréntesis se expresa el equivalente de la concentración en unidades de kg/10⁶ kcal.

El factor para corregir el O₂ a la base del 5% de oxígeno, se calcula de acuerdo a la ecuación siguiente:

$$E_r = \frac{21 - O_r}{21 - O_m} E_m$$

Donde:

Er = Emisión calculada al valor de referencia del O_2

Em = Emisión medida (NO_x o CO)

Om = Valor medido para el O_2

Or = Nivel de referencia para el O_2

(4) Determinado con la siguiente ecuación y medido antes del precalentador de aire o de cualquier infiltración que diluya los gases de combustión:

$EA = (O_2 - 0.5 CO) 100 / (0.264 N_2 - O_2 + 0.5 CO)$; **DONDE:** O_2 , CO Y N_2 corresponden al porcentaje en volumen de oxígeno, monóxido de carbono y nitrógeno respectivamente contenidos en los gases de combustión en base seca.

5.3 Las fuentes fijas cuya capacidad total en equipos de combustión sea mayor a 43,000 MJ/h. deberán respaldar el total de las emisiones de dióxido de azufre con certificados de emisión, los cuales serán asignados con base en los niveles regionales establecidos en la Tabla 2.

TABLA 2

REGIÓN	EMISIÓN DE SO_2 (Kg/10 ⁶ Kcal)
Zona Metropolitana de la Ciudad de México	0.36
Zonas Críticas	1.11

Conforme a las disposiciones jurídicas aplicables, la Secretaría de Desarrollo Social establece el esquema de regionalización, los procedimientos y el programa para que las fuentes fijas a que se refiere este numeral, cumplan con los límites de emisión ponderada por fuente fija, así como los niveles regionales de emisión, tomando en consideración el avance de los programas de infraestructura de suministro de combustibles.

5.4 Los equipos de combustión existentes deberán cumplir con los límites de óxidos de nitrógeno consignados en la Tabla 4.

6. Requisitos y condiciones para la operación de los equipos de combustión

6.1 Requisitos

6.1.1 Los responsables de los equipos de combustión de las fuentes fijas referidas en esta Norma Oficial Mexicana deberán observar, según proceda, los siguientes requisitos de operación.

6.1.1.1 Llevar una bitácora de operación y mantenimiento de los equipos de combustión, medición y análisis de las emisiones y de los certificados de calidad del combustible empleado.

6.1.1.2 La bitácora deberá tener como mínimo la siguiente información.

Control de operación: fecha, turno, hora de reporte, presión de vapor, temperatura de gases, temperatura del agua de alimentación, temperatura y presión de combustión, color de humo, purga de fondo, purga de nivel, disparo válvula de seguridad, consumo de combustible **Controles:** de presión, bomba agua de alimentación paro y arranque, paro por fallo de flama

Control de emisiones contaminantes: eficiencia, temperatura de gases, aire en exceso, O₂, CO₂, opacidad de humo, datos del combustible empleado según certificado, análisis de emisiones según **Tabla 6:** densidad de humo, partículas (PST), bióxido de azufre, óxidos de nitrógeno y análisis de agua de alimentación.

6.1.1.3 La medición y análisis de las emisiones deben realizarse con la frecuencia y métodos que se indican en la **Tabla 6**.

6.1.1.4 Los métodos equivalentes a que se refiere la **Tabla 6** tendrán que ser los que se consideran en el **Anexo 3** de esta Norma Oficial Mexicana, o algún otro que demuestre la misma precisión con previa autorización de la autoridad competente.

7. Vigilancia

7.1 La **Secretaría de Desarrollo Social** por conducto de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente, así como los Gobiernos de Distrito Federal, de las entidades federativas y, en su caso, de los municipios, en el ámbito de sus respectivas competencias, vigilarán el cumplimiento de la presente Norma Oficial Mexicana.

8. Sanciones

8.1 El incumplimiento de la presente Norma Oficial Mexicana, será sancionado conforme a lo dispuesto por la **Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente**, su Reglamento en Materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera y los demás ordenamientos jurídicos aplicables.

TABLA 6
MEDICIÓN Y ANÁLISIS DE GASES DE COMBUSTIÓN

CAPACIDAD DEL EQUIPO DE COMBUSTIÓN M/h	PARÁMETRO	FRECUENCIA MÍNIMA DE MEDICIÓN	TIPO DE EVALUACIÓN	TIPO DE COMBUSTIBLE
Mayor de 110,000	Partículas suspendidas totales	1 vez cada 6 meses	isotermico (mínimo durante 60 minutos), 2 muestras definitivas	sólido, líquido
	NO _x	permanente (3)	continuo (4), quimiluminiscencia o equivalente	sólido, líquido y gas
	O ₂	permanente	continua, campo magnético o equivalente, con registrador como mínimo equivalente	líquido y gas
	SO _x	una vez por año	medición indirecta a través de certificado de calidad de combustibles que emita el proveedor	sólido, líquido

NOTAS:

(3) El monitoreo continuo de NO_x será permanente en las zonas metropolitanas de las ciudades de México, Guadalajara y Monterrey, con una duración de cuando menos 7 días una vez cada 3 meses en las zonas críticas, y con una duración de cuando menos 7 días una vez cada seis meses en el resto del país.

(4) Monitoreo continuo

El que se realiza con equipo automático con un mínimo de 15 lecturas en un periodo no menor a 60 min. y no mayor a 360 min. El resultado del monitoreo es el periodo muestreado.

Deberán realizarse las mediciones correspondientes a equipos de calentamiento industriales del ambiente de cualquier capacidad en enero y octubre de cada año.

CONTAMINANTES Y SUS MÉTODOS DE EVALUACIÓN PARA FUENTES FIJAS MÉTODOS EQUIVALENTES

CONTAMINANTE	MÉTODO DE EVALUACIÓN	MÉTODO EQUIVALENTE
Densidad de humo	<ul style="list-style-type: none"> * huella o mancha de hollín * opacidad 	
Partículas suspendidas totales	<ul style="list-style-type: none"> * isométrico 	
Oxidos de nitrógeno	<ul style="list-style-type: none"> * quimiluminiscencia 	<ul style="list-style-type: none"> * infrarrojo no dispersivo
Oxidos de carbono	<ul style="list-style-type: none"> * infrarrojo no dispersivo * celdas electroquímicas (a) * orsat (O₂, CO₂ y CO) 	
Oxígeno	<ul style="list-style-type: none"> * celdas electroquímicas * paramagnéticos 	<ul style="list-style-type: none"> * orsat (O₂, CO₂ y CO) * oxidos de zirconio (celdas electroquímicas)
SO ₂	medición indirecta a través de certificados de calidad de combustibles que emita el proveedor	Capacidad del equipo de combustión MJ/h
		Hasta 5 250 <ul style="list-style-type: none"> * vía húmeda (torneo) * infrarrojo no dispersivo * celdas electroquímicas Mayores de 5 250 <ul style="list-style-type: none"> * vía húmeda * infrarrojo no dispersivo

(a) Se calcula el valor dado que no se obtiene por medición directa

ANEXO 4 PODER CALORÍFICO

COMBUSTIBLE	MJ/kg DE COMBUSTIBLE
Combustible pesado	42
Combustible ligero	43

ANEXO 5

TABLA DE EQUIVALENCIAS

UNIDAD		V	
MJ	megajoule	239	kcal
MJ	megajoule	0.277	kWh
kcal	kilocaloria	4.186×10^3	MJ
kcal	kilocaloria	4.162×10^3	kWh
kWh	kilovatio hora	3.6	MJ
kWh	kilovatio hora	860.4	kcal
kcal	kilocaloria	3.968	B.T.U.
B.T.U.	Unidad Termica Britanica	0.252	kcal
C.C.	Caballo caldera	35.3	MJ/h
MJ/h	megajoule	0.028	C.C.
S	Azufre	2	SO ₂
SO ₂	Bioxido de azufre	0.5	S

APÉNDICE B

NORMA ISO 14000 SISTEMA DE GESTIÓN AMBIENTAL

Todos somos conscientes de la necesidad de preservar los recursos naturales no renovables. Esta conciencia se ha ido generalizando cada vez más en los organismos intermedios, grupos de presión y en la comunidad en su conjunto.

Es importante mencionar que también la legislación avanza sobre regulaciones hacia las compañías que conducen operaciones que pueden modificar el medio ambiente, es decir, las empresas, que habitualmente enfrentaban el problema a través de acciones aisladas y con la responsabilidad dispersa e inconexa, requieren hoy en día contar con un sistema de gestión integrado que les permita controlar los riesgos ambientales de manera más efectiva.

La certificación del sistema de gestión ambiental garantiza que la empresa lleva adelante sus operaciones dentro de un marco que contempla el control del impacto ambiental de las mismas, el cumplimiento de la legislación y que tiene objetivos de mejoras acordes a estándares internacionales.

La Norma ISO 14000 es una serie de normas ambientales internacionales, creadas por la TC 207 de la ISO (International Organization for Standardization), que especifica los requerimientos para preparar y valorar un sistema de gestión que asegura que una empresa mantiene la protección ambiental y la prevención de la contaminación en equilibrio con las necesidades socio-económicas.

Dentro de las diversas normas publicadas, la ISO 14000, es la más conocida y la única que se puede certificar. De esta forma, la certificación del suplemento 14001 es la evidencia de que las empresas poseen un Sistema de Gestión Ambiental (SGA) implementado, pudiendo mostrar a través de ella su compromiso con el medio ambiente.

Sistema de Gestión Ambiental 14001

La Gestión Ambiental se refiere a todos los aspectos de la función gerencial (incluyendo la planificación) que desarrollen, implementen y mantengan la política ambiental.

Por Política Ambiental se entiende al conjunto de directrices que debe adoptar una organización que busque la integración del proceso productivo con el Medio Ambiente, sin perjuicio de ninguna de las partes. El Programa de Gestión Ambiental es una descripción de cómo lograr los objetivos ambientales dictados por la política ambiental.

El sistema de Gestión Ambiental comprende la estructura organizacional, así como las responsabilidades, prácticas, procedimientos y los recursos necesarios para implementar la gestión ambiental. Este sistema se circunscribe a la serie ISO 14001 - 14004.

La norma 14001 es la que certifica a las empresas o especifica las principales exigencias de un sistema de Gestión Ambiental, en ella no se presentan criterios específicos de desempeño ambiental, pero sí le exige a cada organización elaborar su propia política y contar con objetivos que estudien las exigencias legales y la información referente a los impactos ambientales significativos. La norma se aplica a los efectos ambientales que pueden ser controlados por la organización y sobre los cuales se espera que la misma ejerza una influencia. Abarca todo el sistema de gestión ambiental y proporciona especificaciones y guías de uso, incluyendo elementos centrales del Sistema que vayan a utilizar para la certificación o registro.

La norma 14004 ofrece directrices para el desarrollo e implantación de los principios del Sistema de Gestión Ambiental y las técnicas de soporte; además, presenta guías para su coordinación con otros sistemas gerenciales como la ISO 9000.

Requisitos del Sistema de Gestión Ambiental

Los requisitos del sistema de gestión se encuentran en la norma ISO 14001, que es aplicable a todo tipo y tamaño de organizaciones.

- Establecer una política, fijar objetivos y metas, desarrollar programas ambientales
- Detectar los aspectos ambientales e identificar los impactos significativos
- Documentar los procesos y definir los registros necesarios
- Evaluar el sistema a través de auditorías internas
- Implantar acciones correctivas y preventivas – ciclo de mejoras
- Auditoría de certificación a través de un organismo acreditado
- Obtención del Certificado ISO 14000
- Auditorías de mantenimiento, asegurando la continuidad del correcto funcionamiento del sistema de gestión ambiental a través de auditorías internas y externas

Por último, cabe resaltar dos vertientes de la ISO 14000:

La certificación del Sistema de Gestión Ambiental, mediante el cual las empresas recibirán el certificado, y el Sello Ambiental, mediante el cual serán certificados los productos ("sello verde"). La ISO 14000 se basa en la norma Inglesa BS7750, que fue publicada oficialmente por la British Standards Institution (BSI) previa a la Reunión Mundial de la ONU sobre el Medio Ambiente (ECO 92).

Una de las deliberaciones de la ECO 92 trató sobre la instalación de un grupo de trabajo por parte de la International Standardization Association (ISO) para estudiar la elaboración de Normas Ambientales. El resultado de estos trabajos fue la creación del Comité Técnico 207-ISO/TC 207, en marzo de 1993. El Comité Técnico estructuró seis subcomités y un grupo de trabajo, en los cuales se discutieron los temas pertinentes con los países responsables.

Subcomité 01: Sistema de Gestión Ambiental- Reino Unido

Subcomité 02: Auditorías Ambientales- Holanda

Subcomité 03: Sellos Ecológicos (Sellos Verdes)- Australia

Subcomité 04: Evaluación del Desempeño Ambiental- Estados Unidos

Subcomité 05: Análisis del Ciclo de Vida- Francia

Subcomité 06: Términos y Definiciones- Norue
Grupos de Trabajo: Aspectos Ambientales en normas y productos- Alemania

La edición final de la norma BS-7750 se publicó en 1994 y sirve de guía para la evaluación del impacto ambiental. La norma internacional ISO 14000 fue aprobada en septiembre de 1996 y la adopción de la norma a rango de "norma nacional" en Europa se dio en marzo de 1997. La versión oficial en idioma español de la norma internacional fue publicada en mayo de 1997.

Beneficios de la ISO 14000

- Mejora de la imagen de la empresa
- Cumplimiento de la legislación
- Gerenciamiento de riesgos
- Control de accidentes y de los pasivos ambientales
- Mejor control de costos
- Mejor relación con la comunidad
- Mejor relación con lo organismos ambientales
- Mayor participación de los empleados

Terminología y Vocabulario básicos de ISO 14000

Medio Ambiente: El entorno del sitio en que opera una organización, incluyendo el aire, el agua, el suelo, los recursos naturales, la flora, la fauna, los seres humanos y su interrelación. Otra manera de definirlo es como el conjunto de circunstancias principalmente físicas, pero también culturales y sociales, que rodean a los seres vivos. Con la consideración de la naturaleza sistemática que constituye el entorno que rodea al ser humano y con el cual interactúa.

Aspecto ambiental: Elemento de las actividades, productos o servicios de una organización que puede interactuar con el medio ambiente.

Impacto ambiental: Cualquier cambio en el medio ambiente, sea adverso o beneficioso, total o parcialmente resultante de las actividades, productos o servicios de una organización.

Sistema de gestión ambiental: Aquella parte del sistema de gestión global que incluye la estructura organizativa, las actividades de planificación, las responsabilidades, las prácticas, los procedimientos, los procesos y los recursos para desarrollar, implementar, realizar, revisar y mantener la política ambiental.

Objetivo ambiental: Meta ambiental global, cuantificada cuando sea factible, surgida de la política ambiental, que una organización se propone lograr.

Meta ambiental: Requisito de desempeño detallado, cuantificado cuando sea factible, aplicable a la organización o a partes de ella, que surge de los objetivos ambientales y que es necesario establecer y cumplir para lograr aquellos objetivos.

Desempeño ambiental: Resultados medibles del sistema de gestión ambiental, relacionados con el control de una organización sobre sus aspectos ambientales, basado en su política, objetivos y metas ambientales.

Auditoría Ambiental: Es una herramienta de gestión que comprende una sistemática, documentada, periódica y objetiva evaluación de cómo la organización y gestión de bienes de equipo medio ambientales están cumpliendo con el propósito de salvaguardar el Medio Ambiente. Es una especie de evaluación a la empresa, internamente o por medio de terceros, siempre y cuando sea llevada a cabo por un equipo técnicamente capacitado y que no tenga intereses ni ideas preconcebidas sobre ella.

La norma ISO 14010 comprende los principios generales de Auditoría Ambiental, mientras que la ISO 14011 trata de sus procedimientos y la ISO 14012 se ocupa de los criterios de calificación de los auditores.

Sello Ambiental: En base a estas normas es posible la certificación de los productos ambientales sanos. La certificación se dará en forma de sellos o mensajes de tipo ecológico, contenidos en el empaque e incluso en los propios productos certificados.

Actualmente, el sello es uno de los temas de mayor importancia de la serie ya que han llegado a convertirse en un poderoso instrumento de proteccionismo comercial e incluso en un instrumento eficaz de mercadeo.

El uniformar y universalizar los criterios para otorgar el sello ambiental ha sido una tarea compleja, debido a las múltiples diferencias y particularidades que presentan las diversas regiones del globo. La ISO 14000 ha tenido como objetivo sustituir o sumar en grupos por un Sello Ambiental común, basado en los principios de una norma Universal única.

Evaluación del Ciclo de Vida: Es un método analítico que permite el desarrollo de criterios y procedimientos objetivos para la evaluación del efecto ambiental de los productos. Constituye un instrumento valioso en la obtención de información detallada de los procesos y materiales para el proceso de toma de decisiones en ingeniería.

Toma en cuenta el ciclo de vida total, esto es, desde su concepción del término de vida útil, pasando por la evaluación de las materias primas, productos en proceso y el análisis de etapas de manufactura hasta el destino final del producto. La utilización de recursos naturales escasos, la posibilidad de reciclaje y/o la recuperación parcial de la energía en la incineración de desechos, desempeñan un papel determinante en la evaluación del ciclo de vida del producto.

Evaluación del Desempeño Ambiental: Esta norma permite definir los conceptos y procedimientos para que las organizaciones puedan medir, analizar, valorar, describir y comunicar su desempeño ambiental, con miras a un gerenciamiento apropiado. Esta evaluación debe realizarse siempre de igual manera; hasta ahora se dificulta debido

a las diferencias entre las organizaciones ya sea por su ubicación geográfica, las condiciones de mercado y otros múltiples factores. Se realiza el análisis basado en determinados indicadores que miden el desempeño ambiental y se registran los alcanzados por cada organización.

Mejora Continua: Es el proceso de intensificación del sistema de gestión medio ambiental para la obtención de mejoras en el comportamiento medio ambiental global, de acuerdo con la política medio ambiental de la organización.

Aspecto Medio ambiental: Es un elemento de las actividades, productos o servicios de una organización que puede interactuar con el medio ambiente.

Política Medio ambiental: Es la declaración por parte de la organización, de sus intenciones y principios en relación con su comportamiento medio ambiental general, que proporciona un marco para su actuación y para el establecimiento de sus objetivos y metas medio ambientales.

Organización: Es toda compañía, corporación, firma, empresa, autoridad o institución, o parte o combinación de ellas, tengan o no forma de sociedad, sea ésta pública o privada, que tienen sus propias funciones y administración.

La norma ISO 14001

Esta norma contiene únicamente aquellos requisitos que pueden ser auditados objetivamente con propósitos de certificación/registro y/o autodeclaración; no establece requisitos categóricos para el comportamiento medio ambientales más allá del compromiso, declarado en la política medio ambiental, del cumplimiento de la legislación y normativa aplicables y a la mejora continua. Por tanto, dos organizaciones que realizan actividades similares pero que tienen diferentes comportamientos medio ambientales, puedan cumplir con los mismos requisitos.

Especifica los requisitos necesarios para que un sistema de gestión medio ambiental capacite a una organización, para que formule sus políticas y objetivos, tomando en cuenta los parámetros legales y la información acerca de los impactos medio ambientales significativos. Se aplica a aquellos aspectos medio ambientales que la organización puede controlar y sobre los que puede esperarse que tenga influencia. No establece por si misma criterios de actuación medio ambiental específicos.

Para su aplicación se requiere:

- Implantar, mantener al día y mejorar un sistema de gestión medio ambiental
- Asegurarse de su conformidad con su política medio ambiental declarada
- Demostrar a terceros tal conformidad
- Procurar la certificación/registro de su sistema de gestión medio ambiental por una organización externa
- Llevar a cabo una autoevaluación y una autodeclaración de conformidad con esta norma
- Requisitos para implementar un Sistema de Gestión Ambiental:

La alta dirección de la organización debe definir la política medio ambiental de la organización y asegurar que la misma sea:

- Apropiada a la naturaleza, magnitud e impactos medio ambientales de sus actividades, productos o servicios
- Incluya un compromiso de mejora continua y de prevención de la contaminación
- Incluya un compromiso de cumplir con la legislación y reglamentación medio ambiental aplicable y con otros requisitos que la organización suscriba
- Capaz de proporcionar el marco para establecer y revisar los objetivos y metas medio ambientales
- Documentada, implantada, mantenida al día y comunicada a todos los empleados.
- Editada a disposición del público
- El establecimiento de una Política Medio ambiental tiene los siguientes pasos:

a. **Planificación:** La organización debe establecer y mantener al día el o los procedimientos para identificar los aspectos medioambientales, para esto debe: Conocer todos los requisitos, legales o no, existentes

Establecer los objetivos y metas que persigan el lograr estos aspectos medio ambientales

Definir el Programa de Gestión Medio ambiental

b. **Implantación y Funcionamiento:** La organización requiere: Definir su estructura y las responsabilidades de sus miembros

Formar, sensibilizar y capacitar al personal en la línea medio ambiental

Comunicar

Documentar el Sistema de Gestión Medio ambiental

Controlar el manejo de ésta documentación

Realizar el control operacional

Elaborar planes de contingencia y preparar la capacidad de respuesta

c. **Comprobación y Acción Correcta:** En esta fase se requiere establecer: El seguimiento y la medición de acciones

La no conformidad, acción correcta y acción preventiva

Los registros medio ambientales

La auditoría del Sistema de Gestión Medio ambiental

La alta dirección de la organización debe revisar el sistema de gestión medio ambiental, a intervalos definidos, que sean suficientes para asegurar su adecuación y su eficacia continuadas.

Auditorías Medio ambientales

Las auditorías permiten tener una información objetiva y evidente de cómo está la situación medio ambiental total, y permite ayudar a responder a una mayor conciencia de los consumidores y la comunidad en general. Abarca las tareas de búsqueda de información y de recolección de datos, las visitas y reuniones en la planta, la toma de muestras y el balance de materiales. Su objetivo principal es recoger información suficiente, fiable, relevante y útil sobre:

- Información general de la empresa
- Documentación de la planta
- Permisos y autorizaciones
- Descripción de los procesos industriales

En base a esta información puede realizar:

- Análisis de entrada de materiales
- Identificación de materias primas
- Análisis de salidas de productos y subproductos
- Identificación y caracterización de residuos y emisiones
- Análisis de los sistemas y actividades de tratamiento de residuos
- Evaluación de la información recogida

Los elementos considerados en las Auditorías Medio ambientales son:

- Aire: emisiones y fuentes
- Agua: abastecimiento, contaminación
- Residuos: tipo, cantidad, tratamiento, almacenaje
- Suelos: uso, derrames, hidrología, capas freáticas
- Usos de la energía: consumo, utilización, ahorros, cogeneración, aprovechamiento
- Ruido: medición, niveles, información, protección, quejas exteriores
- Flora y fauna: inventario e impacto sobre la zona

Las tareas de la Auditoría Medio ambiental son:

- **Identificar y entender los sistemas internos de control de la planta**
- **Establecer reuniones de comienzo**
- **Visitar y conocer la planta**
- **Revisar el plan de diagnóstico**
- **Evaluar los sistemas internos de control**
- **Identificar fortalezas y debilidades de la planta**
- **Adaptar el plan y distribuir los recursos**
- **Definir las estrategias de verificación**
- **Evaluar los costos de tratamiento de residuos y emisiones**
- **Recoger datos y otras evidencias**
- **Aplicar estrategias de verificación y recolección de datos**
- **Asegurar el cumplimiento de etapas**
- **Revisar "hallazgos" y observaciones**
- **Asegurar que los "hallazgos" se basen en información objetiva**
- **Evaluar los "hallazgos"**
- **Agrupar los papeles de trabajo y otros documentos**
- **Integrar y reunir los "hallazgos"**
- **Preparar el informe de avance de la reunion de despedida**
- **Comunicar los "hallazgos" a los responsables de planta, presentar el informe y discutir**

BIBLIOGRAFÍA

1. **Operation Manual "DP-0802 Dilution Probe Conditioning Assembly & Remote Controller Assembly"**. Graseby STI. 1995.
2. **Instruction Manual "Model 42 Chemiluminescence NO-NO₂-NO_x Analyzer"**. Thermo Environmental Instruments Inc. 1995.
3. **Instruction Manual "Model 43B Pulsed Fluorescence SO₂ Analyzer"**. Thermo Environmental Instruments Inc. 1995.
4. **Instruction Manual "Model 48 GFC Ambient CO Analyzer"**. Thermo Environmental Instruments Inc. 1995.
5. **"Personal Computer-Based Configuration Software"**. User Manual #277877 Rev. A. MAXPRO Leeds & Northrup, Pennsylvania, USA. 1995.
6. **"Distributed Control Systems, Their Evaluations and Design"**. Lukas, Michael P. Van Nostrand Reinhold Company. New York, USA. 1986.
7. **"DATAVUE for Microsoft Windows"**. UFO Systems, Inc. Leeds & Northrup - 277916. New York, USA. 1995.
8. **"Continuous Emission Monitoring"**. Jahuke, James A. Van Nostrand Reinhold. New York, USA. 1993.
9. **"NOM-PA-CCAT-019/93"**. Emergente, México, D. F., 30 de marzo de 1993.
10. **"NOM-PA-CCAT-019-ECOL/1993"**. México, D. F., 18 de noviembre de 1993.
11. **"NOM-085-ECOL/1994"**. México, D. F., 2 de diciembre de 1994.
12. **"Control de una planta piloto industrial empleando un Sistema de Control Distribuido"**. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Eléctrica y Electrónica. F. Avilés y A. Cervantes. Facultad de Ingeniería de la UNAM. México, D. F. (2000).