

AGRADECIMIENTO

Al Ing. Mario Patiño, Director de Tesis, al Ing. Francisco Romay y a todos quienes de uno u otro modo colaboraron al desarrollo de este trabajo.

DEDICATORIA

A mis padres Braulio y María Elena, quienes en todo momento me apoyaron para que culmine con éxito mi carrera profesional.

TRIBUNAL DE GRADUACION

Ing. Eduardo Rivadeneira P.
DECANO DE LA FIMCP

Ing. Mario Patiño A.
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Rodolfo Paz M.
VOCAL

Ing. Jorge Duque R.
VOCAL

DECLARACION EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL”.

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).

Juan Carlos Quiñónez Abril

RESUMEN

El presente trabajo consiste en la rehabilitación de un equipo de monitoreo de monóxido de carbono(CO) con el que cuenta la facultad y que fué adquirido en 1986 por medio del proyecto BID-ESPOL II, siendo las etapas de ajustes y calibración los aspectos más complejos a desarrollarse, pues se debe identificar y adquirir en el exterior varios elementos faltantes pero necesarios, lo que involucra la obtención de financiamiento.

Una vez que se tenga al analizador trabajando perfectamente, se establecerán los parámetros para el desarrollo de un programa de monitoreo de calidad de aire con relación a este contaminante presentando como ejemplo a la ciudad de Guayaquil.

Se incluirá el uso de una hoja electrónica con un formato que facilitará la interpretación de los resultados del monitoreo.

Por último, se realizarán varias pruebas preliminares que además de servir como verificación del buen funcionamiento del equipo, nos proporcionarán valiosa información acerca de este contaminante.

INDICE GENERAL

RESUMEN	II
INDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS	VII
SIMBOLOGIA	VIII
INDICE DE FIGURAS.....	IX
INDICE DE TABLAS	X
INTRODUCCION.....	1
I. CONTAMINACION ATMOSFERICA POR CO, EFECTOS Y LEGISLACION	3
1.1 La contaminación atmosférica.....	3
1.2 Monóxido de carbono. Propiedades químicas y físicas	5
1.2.1 Métodos de Medición de monóxido de Carbono	8
1.2.2 Fuentes de CO en el ambiente	10
1.2.3 Efectos del CO en los materiales, las plantas y los animales	15
1.2.4 Efectos del CO en la salud.....	16
1.2.5 Criterios y Normas sobre la calidad de aire para CO.	19
II. ANALIZADOR DE CO, DESCRIPCION, INSTALACION Y OPERACIÓN ...	24
2.1 Designación de la EPA	24
2.2 Teoría de Operación	25
2.3 Método de Medición.....	26
2.4 Descripción de Sistemas.....	29

2.4.1 Sistema Neumático	29
2.4.2 Sistema Optico.....	31
2.4.2.1 Fuente de Radiación Infrarroja (RI)	31
2.4.2.2 Rueda de Correlación y Filtro de Gas.....	31
2.4.2.3 Filtro de Banda Angosta.....	32
2.4.2.4 Celda de Muestra Optica de Pasos Múltiples.....	33
2.4.2.5 Detector RI.....	33
2.4.3 Sistema Electrónico	35
2.4.3.1 Tarjeta Pre-amplificadora	35
2.4.3.2 Tarjeta Lógica	35
2.4.3.3 Tarjeta de Señal	35
2.4.3.4 Tarjeta Linealizadora	36
2.5 Instalación.....	36
2.5.1 Selección de la Ubicación	37
2.5.2 Conexiones.....	37
2.5.2.1 Conexiones para el ingreso de muestras de aire.....	38
2.5.2.2 Conexiones para suministro de energía	39
2.5.2.3 Conexión del registrador	39
2.6 Instrucciones de Operación	40
2.7 Ventajas y desventajas del analizador	41
III. CALIBRACION.....	47
3.1 Introducción	47
3.2 Errores de los instrumentos	49
3.2.1 Error de Cero	50
3.2.2 Error de Multiplicación	50

3.2.3 Error de Angularidad.....	51
3.3 Procedimiento general de calibración	53
3.4 Calibración del analizador de CO.....	54
3.4.1 Generalidades	54
3.4.2 Métodos de calibración	56
3.4.3 Componentes del sistema de calibración	57
3.4.4 Procedimiento de calibración usando el Método de Dilución Dinámica	59
3.4.5 Procedimiento de calibración usando el Método de Múltiples Cilindros.....	64
3.4.6 Realización de la calibración. Método y equipos seleccionados	65
3.4.7 Resultados de la calibración (registro de datos).....	72
 IV. REHABILITACION, AJUSTES INTERNOS Y MANTENIMIENTO.....	76
4.1 Introducción.....	76
4.2 Rehabilitación.....	77
4.3 Ajuste de controles internos	78
4.3.1 Ajuste de la fuente RI	78
4.3.2 Control de temperatura.....	78
4.3.3 Ajuste del control de la tarjeta de señal	82
4.3.4 Ajuste del control de la tarjeta linealizadora.....	84
4.3.5 Ajuste de flujo	88
4.4 Mantenimiento periódico	90
4.4.1 Limpieza del filtro de partículas	91
4.4.2 Limpieza de líneas.....	92
4.4.3 Limpieza del medidor de flujo	94
4.4.4 Medición de la intensidad de RI.....	95
4.4.5 Chequeo de fugas	97

4.5 Corrección de fallas.....	98
V. RECOMENDACIONES PARA ELABORACION DE UN PROGRAMA DE MONITOREO. PRUEBAS PRELIMINARES	99
5.1 Generalidades.....	99
5.2 Selección de Objetivos.....	100
5.3 Recopilación de Información Necesaria.....	101
5.4 Organización y Recursos	103
5.5 Consideraciones de Diseño	104
5.5.1 Selección del área a ser estudiada	105
5.5.2 Número y distribución de las estaciones de monitoreo.....	106
5.5.3 Frecuencia y duración del muestreo	109
5.6 Criterios para la Localización de las Estaciones	119
5.6.1 Representatividad.....	120
5.6.2 Requerimientos para comparabilidad	121
5.6.3 Requerimientos físicos	123
5.7 Almacenamiento de Datos	124
5.8 Presentación de Resultados y Pruebas Preliminares ..	125
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	128
APENDICES	
BIBLIOGRAFIA	

ABREVIATURAS

AGC	Control Automático de Ganancia
CEMA	Centro de Estudios del Medio Ambiente
CO	Monóxido de Carbono
CO ₂	Dióxido de Carbono
COHb	Carboxihemoglobina
CRM	Material de Referencia Certificado
DAS	Sistema de Adquisición de Datos
EPA	Agencia de Protección del Medio Ambiente
h	hora
HR	Humedad Relativa
LPM	Litros por minuto
mA	Miliamperios
min	minutos
NBS	Instituto Nacional de Estándares
NFPA	Asociación Nacional de Protección de Incendios
Nox	Oxidos de Nitrógeno
OPAMP	Amplificador Operacional
ppm	Partes por millón
psi	Libras por pulgada cuadrada
RI	Radiación Infrarroja
seg	Segundo
SO ₂	Dióxido de Azufre
SRM	Material de Referencia Estándar
TFE	Teflón
Ton	Tonelada
µm	Micra
USEPA	Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos

SIMBOLOGIA

PCO	Presión parcial de CO en los gases inhalados
PO ₂	Presión parcial de O ₂ en los gases inhalados
y	Porcentaje de Carboxihemoglobina
x	Concentración de CO en ppm
t	Tiempo de exposición
VAC	Voltios de corriente alterna
VDC	Voltios de corriente directa
[CO] _{OUT}	Concentración diluida de CO
[CO] _{STD}	Concentración estándar de CO
F _{CO}	Flujo de CO estándar corregido a condiciones normales
F _D	Flujo de aire de dilución corregido a condiciones normales
Z _{CO}	Límite superior del rango nominal de operación analizador
URL	Respuesta del analizador al aire cero, porcentaje de escala
P _I	Presión inicial en el cilindro
P _F	Presión final en el cilindro
Q ₁	Flujo a la salida del cilindro
Q ₂	Flujo en el analizador
CR	Concentración de CO Real (cilindro)
CL	Concentración de CO Leida (analizador)
CA	Concentración de CO Ajustada
E	Error entre el valor ajustado y el ideal
R1 ; R9	Controles de Ajuste
TP1 ; TP10	Puntos de Control
J7-1 ; J7-2	Puntos de Control de Resistencia
Tm	Temperatura ambiente media

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1	Rueda de Correlación y Filtro de Gas	34
Figura 2.2	Panel Frontal. Controles e Indicadores	43
Figura 2.3	Panel Posterior. Conexiones.....	44
Figura 3.1	Errores de los Instrumentos	52
Figura 3.2	Esquema del Sistema de Calibración para el Método de Dilución Dinámica.....	60
Figura 3.3	Esquema del Sistema de Calibración para El Método de Múltiples Cilindros.....	61
Figura 3.4	Sistema de Calibración Implementado. Vista Frontal.....	70
Figura 3.5	Sistema de Calibración Implementado. Vista Posterior.....	71
Figura 3.6	Resultados de la Calibración. Hoja de Calibración	74
Figura 3.7	Curva de Calibración Resultante	75
Figura 4.1	Localización de los Controles de Ajuste Internos.....	81
Figura 4.2	Localización de Ajustes de la Fuente de Poder	85
Figura 4.3	Localización de Ajustes de la Tarjeta de Señal.....	86
Figura 4.4	Localización de Ajustes de la Tarjeta Linealizadora	87
Figura 4.5	Escala del Registrador de Datos.....	89
Figura 4.6	Filtro de Partículas	93

INDICE DE TABLAS

Tabla I	Propiedades Físicas del Monóxido de Carbono.....	6
Tabla II	Niveles de CO en el Ambiente y sus Efectos en la Salud	22
Tabla III	Niveles de COHb en la Sangre y sus Efectos en la Salud	23
Tabla IV	Especificaciones del Analizador de CO	27
Tabla V	Funciones de los Elementos Neumáticos	30
Tabla VI	Funciones de Controles e Indicadores del Panel Frontal.....	45
Tabla VII	Funciones de las Conexiones en el Panel Posterior.....	46
Tabla VIII	Características de los Componentes de Calibración	68
Tabla IX	Costos de Calibración del Analizador de CO	69
Tabla X	Voltajes de Suministro de Poder DC y de Fuente RI.....	79
Tabla XI	Ajuste de Controles Internos.....	80
Tabla XII	Número Promedio de Estaciones por Contaminante	110
Tabla XIII	Guía para la Distribución de las Estaciones de Monitoreo	111
Tabla XIV	Resultados de Pruebas Preliminares	127

RESUMEN

El presente trabajo consiste en la rehabilitación de un equipo de monitoreo de monóxido de carbono(CO) con el que cuenta la facultad y que fué adquirido en 1986 por medio del proyecto BID-ESPOL II, siendo las etapas de ajustes y calibración los aspectos más complejos a desarrollarse, pues se debe identificar y adquirir en el exterior varios elementos faltantes pero necesarios, lo que involucra la obtención de financiamiento.

Una vez que se tenga al analizador trabajando perfectamente, se establecerán los parámetros para el desarrollo de un programa de monitoreo de calidad de aire con relación a este contaminante presentando como ejemplo a la ciudad de Guayaquil.

Se incluirá el uso de una hoja electrónica con un formato que facilitará la interpretación de los resultados del monitoreo.

Por último, se realizarán varias pruebas preliminares que además de servir como verificación del buen funcionamiento del equipo, nos proporcionarán valiosa información acerca de este contaminante.

INDICE GENERAL

RESUMEN.....	II
INDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS.....	VII
SIMBOLOGIA.....	VIII
INDICE DE FIGURAS.....	IX
INDICE DE TABLAS.....	X
INTRODUCCION.....	1
I. CONTAMINACION ATMOSFERICA POR CO, EFECTOS Y LEGISLACION.....	3
1.3 La contaminación atmosférica.....	3
1.4 Monóxido de carbono. Propiedades químicas y físicas.....	5
1.4.1 Métodos de Medición de monóxido de Carbono.....	8
1.4.2 Fuentes de CO en el ambiente.....	10
1.4.3 Efectos del CO en los materiales, las plantas y los animales.....	15
1.4.4 Efectos del CO en la salud.....	16
1.4.5 Criterios y Normas sobre la calidad de aire para CO.....	19
II. ANALIZADOR DE CO, DESCRIPCION, INSTALACION Y OPERACIÓN...24	
2.1 Designación de la EPA.....	24
2.2 Teoría de Operación.....	25
2.3 Método de Medición.....	26
2.4 Descripción de Sistemas.....	29

2.4.1 Sistema Neumático	29
2.4.2 Sistema Optico.....	31
2.4.2.1 Fuente de Radiación Infrarroja (RI)	31
2.4.2.2 Rueda de Correlación y Filtro de Gas.....	31
2.4.2.3 Filtro de Banda Angosta.....	32
2.4.2.4 Celda de Muestra Optica de Pasos Múltiples.....	33
2.4.2.5 Detector RI.....	33
2.4.3 Sistema Electrónico	35
2.4.3.1 Tarjeta Pre-amplificadora	35
2.4.3.2 Tarjeta Lógica	35
2.4.3.3 Tarjeta de Señal	35
2.4.3.4 Tarjeta Linealizadora	36
2.5 Instalación.....	36
2.5.1 Selección de la Ubicación	37
2.5.2 Conexiones.....	37
2.5.2.1 Conexiones para el ingreso de muestras de aire.....	38
2.5.2.2 Conexiones para suministro de energía	39
2.5.2.3 Conexión del registrador	39
2.6 Instrucciones de Operación	40
2.7 Ventajas y desventajas del analizador	41
III. CALIBRACION.....	47
3.1 Introducción	47
3.2 Errores de los instrumentos	49
3.2.1 Error de Cero	50
3.2.2 Error de Multiplicación	50

3.2.3 Error de Angularidad.....	51
3.3 Procedimiento general de calibración	53
3.4 Calibración del analizador de CO.....	54
3.4.1 Generalidades	54
3.4.2 Métodos de calibración	56
3.4.3 Componentes del sistema de calibración	57
3.4.4 Procedimiento de calibración usando el Método de Dilución Dinámica	59
3.4.5 Procedimiento de calibración usando el Método de Múltiples Cilindros.....	64
3.4.6 Realización de la calibración. Método y equipos seleccionados	65
3.4.7 Resultados de la calibración (registro de datos).....	72
 IV. REHABILITACION, AJUSTES INTERNOS Y MANTENIMIENTO.....	76
4.1 Introducción.....	76
4.2 Rehabilitación.....	77
4.3 Ajuste de controles internos	78
4.3.1 Ajuste de la fuente RI	78
4.3.2 Control de temperatura.....	78
4.3.3 Ajuste del control de la tarjeta de señal	82
4.3.4 Ajuste del control de la tarjeta linealizadora.....	84
4.3.5 Ajuste de flujo	88
4.4 Mantenimiento periódico	90
4.4.1 Limpieza del filtro de partículas	91
4.4.2 Limpieza de líneas.....	92
4.4.3 Limpieza del medidor de flujo	94
4.4.4 Medición de la intensidad de RI.....	95
4.4.5 Chequeo de fugas	97

4.5 Corrección de fallas.....	98
V. RECOMENDACIONES PARA ELABORACION DE UN PROGRAMA DE MONITOREO. PRUEBAS PRELIMINARES	99
5.1 Generalidades.....	99
5.2 Selección de Objetivos.....	100
5.3 Recopilación de Información Necesaria.....	101
5.4 Organización y Recursos	103
5.5 Consideraciones de Diseño	104
5.5.1 Selección del área a ser estudiada	105
5.5.2 Número y distribución de las estaciones de monitoreo.....	106
5.5.3 Frecuencia y duración del muestreo	109
5.6 Criterios para la Localización de las Estaciones	119
5.6.1 Representatividad.....	120
5.6.2 Requerimientos para comparabilidad	121
5.6.3 Requerimientos físicos	123
5.7 Almacenamiento de Datos	124
5.8 Presentación de Resultados y Pruebas Preliminares ..	125
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	128
APENDICES	
BIBLIOGRAFIA	

ABREVIATURAS

AGC	Control Automático de Ganancia
CEMA	Centro de Estudios del Medio Ambiente
CO	Monóxido de Carbono
CO ₂	Dióxido de Carbono
COHb	Carboxihemoglobina
CRM	Material de Referencia Certificado
DAS	Sistema de Adquisición de Datos
EPA	Agencia de Protección del Medio Ambiente
h	hora
HR	Humedad Relativa
LPM	Litros por minuto
mA	Miliamperios
min	minutos
NBS	Instituto Nacional de Estándares
NFPA	Asociación Nacional de Protección de Incendios
Nox	Oxidos de Nitrógeno
OPAMP	Amplificador Operacional
ppm	Partes por millón
psi	Libras por pulgada cuadrada
RI	Radiación Infrarroja
seg	Segundo
SO ₂	Dióxido de Azufre
SRM	Material de Referencia Estándar
TFE	Teflón
Ton	Tonelada
µm	Micra
USEPA	Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos

SIMBOLOGIA

PCO	Presión parcial de CO en los gases inhalados
PO2	Presión parcial de O2 en los gases inhalados
y	Porcentaje de Carboxihemoglobina
x	Concentración de CO en ppm
t	Tiempo de exposición
VAC	Voltios de corriente alterna
VDC	Voltios de corriente directa
[CO] _{OUT}	Concentración diluida de CO
[CO] _{STD}	Concentración estándar de CO
F _{CO}	Flujo de CO estándar corregido a condiciones normales
F _D	Flujo de aire de dilución corregido a condiciones normales
Z _{CO}	Límite superior del rango nominal de operación analizador
URL	Respuesta del analizador al aire cero, porcentaje de escala
P _I	Presión inicial en el cilindro
P _F	Presión final en el cilindro
Q ₁	Flujo a la salida del cilindro
Q ₂	Flujo en el analizador
CR	Concentración de CO Real (cilindro)
CL	Concentración de CO Leida (analizador)
CA	Concentración de CO Ajustada
E	Error entre el valor ajustado y el ideal
R1 ; R9	Controles de Ajuste
TP1 ; TP10	Puntos de Control
J7-1 ; J7-2	Puntos de Control de Resistencia
Tm	Temperatura ambiente media

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1	Rueda de Correlación y Filtro de Gas	34
Figura 2.2	Panel Frontal. Controles e Indicadores	43
Figura 2.3	Panel Posterior. Conexiones.....	44
Figura 3.1	Errores de los Instrumentos	52
Figura 3.2	Esquema del Sistema de Calibración para el Método de Dilución Dinámica.....	60
Figura 3.3	Esquema del Sistema de Calibración para El Método de Múltiples Cilindros.....	61
Figura 3.4	Sistema de Calibración Implementado. Vista Frontal.....	70
Figura 3.5	Sistema de Calibración Implementado. Vista Posterior.....	71
Figura 3.6	Resultados de la Calibración. Hoja de Calibración	74
Figura 3.7	Curva de Calibración Resultante	75
Figura 4.1	Localización de los Controles de Ajuste Internos.....	81
Figura 4.2	Localización de Ajustes de la Fuente de Poder	85
Figura 4.3	Localización de Ajustes de la Tarjeta de Señal.....	86
Figura 4.4	Localización de Ajustes de la Tarjeta Linealizadora	87
Figura 4.5	Escala del Registrador de Datos.....	89
Figura 4.6	Filtro de Partículas	93

INDICE DE TABLAS

Tabla I	Propiedades Físicas del Monóxido de Carbono.....	6
Tabla II	Niveles de CO en el Ambiente y sus Efectos en la Salud	22
Tabla III	Niveles de COHb en la Sangre y sus Efectos en la Salud	23
Tabla IV	Especificaciones del Analizador de CO	27
Tabla V	Funciones de los Elementos Neumáticos	30
Tabla VI	Funciones de Controles e Indicadores del Panel Frontal.....	45
Tabla VII	Funciones de las Conexiones en el Panel Posterior.....	46
Tabla VIII	Características de los Componentes de Calibración	68
Tabla IX	Costos de Calibración del Analizador de CO	69
Tabla X	Voltajes de Suministro de Poder DC y de Fuente RI.....	79
Tabla XI	Ajuste de Controles Internos.....	80
Tabla XII	Número Promedio de Estaciones por Contaminante	110
Tabla XIII	Guía para la Distribución de las Estaciones de Monitoreo	111
Tabla XIV	Resultados de Pruebas Preliminares	127

INTRODUCCION

El presente trabajo trata acerca de la rehabilitación del Analizador de Monóxido de Carbono Modelo 8830 con el que cuenta la Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción y que fue adquirido en el año de 1986 por medio del proyecto BID-ESPOL II, el mismo que no ha sido utilizado hasta la fecha y se conoce que no se encuentra en condiciones óptimas de operación.

En la primera parte del trabajo, se trata de adquirir una idea más global de lo que es el monóxido de carbono, sus propiedades, métodos de medición, las fuentes de emisión, los efectos que este causa en los materiales y los seres vivos y principalmente en los seres humanos.

Posteriormente se procede a describir el funcionamiento del Analizador, su teoría de operación, los diferentes sistemas que lo componen, para terminar señalando las instrucciones para su operación.

La tercera parte, nos deja muy en claro la importancia de una adecuada calibración del equipo de monitoreo. Además se hace la selección del método de calificación idóneo identificando los elementos faltantes pero necesarios para llevarla a cabo y que serán adquiridos en el exterior.

Una de las partes más importantes de este trabajo está en la rehabilitación del analizador, lo que comprende la identificación y reemplazo de elementos averiados, ajustes de controles internos y mantenimiento.

Con el equipo de monitoreo trabajando perfectamente, se establecen los trabajos para el desarrollo de un trabajo de monitoreo de calidad de aire usando como ejemplo la ciudad de Guayaquil.

Por último se realizan varias pruebas preliminares, las mismas que aparte de servir como verificación del buen funcionamiento del equipo, nos proporcionan valiosa información acerca del comportamiento de este contaminante. Para esto se incluye el uso de una hoja electrónica con un formato que facilita la interpretación de los resultados de monitoreo.

Capítulo 1

1. CONTAMINACION ATMOSFERICA POR CO, EFECTOS Y LEGISLACION

1.1. La Contaminación atmosférica

La contaminación atmosférica ha llegado a formar parte de nuestra vida, puesto que el hombre en su lucha irreflexible por conquistar la naturaleza ha llegado demasiado lejos, amenazando con esto, romper el equilibrio que existe entre los componentes que conforman nuestra atmósfera.

Además, el hombre no solo está alterando este equilibrio, sino que también está vertiendo en ella enormes cantidades de gases distintos, polvos de desechos, etc.

Todo esto es consecuencia de la manera como se construyen nuestras ciudades, es un residuo de los métodos como se producen

nuestras mercancías, las transportamos junto con nosotros, y generamos la energía para iluminar los lugares donde vivimos, trabajamos y nos divertimos. En general, podemos definir “contaminación del aire” como la presencia en la atmósfera de sustancias puestas allí por la actividad humana, en cantidades y concentraciones capaces de interferir en el bienestar y la salud de las personas, los animales, las plantas.

La causa principal de toda la contaminación del aire es la combustión, y ésta es esencial para el hombre. Cuando ocurre la combustión perfecta o teórica, el hidrógeno y el carbono del combustible se combinan con el oxígeno del aire para producir calor, luz, dióxido de azufre y vapor de agua. Sin embargo, las impurezas del combustible, una incorrecta relación entre el combustible y el aire, o temperaturas de combustión demasiado altas o demasiado bajas son causas de productos secundarios, tales como monóxido de carbono, óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, cenizas finas e hidrocarburos no quemados. Todos estos son contaminantes del aire.

En el presente capítulo nos centraremos en el estudio del Monóxido de Carbono, considerado como el contaminante de mayor peligro para el medio ambiente (5).

1.2. Monóxido de Carbono. Propiedades Químicas y Físicas

El Monóxido de Carbono es un gas incoloro, insaboro e insípido el cual se forma comunmente durante la combustión incompleta de materiales que contienen carbono como las resinas petroleras (gasolina, madera, carbón, propano, petróleo, metano, etc.). Es ligeramente más liviano que el aire y solo ligeramente soluble en agua.

El Monóxido de Carbono absorbe radiación electromagnética en la región infrarroja con la principal absorción en la banda centrada a 4.7 μm ; esta propiedad es usada para la medición de concentraciones de CO en el aire. Algunas otras propiedades de este gas se muestran en la tabla I.

Aún cuando el monóxido de carbono es químicamente inerte bajo condiciones normales de temperatura y presión (25°C ; 1 atm), este empieza a reaccionar a mayores temperaturas y puede actuar como un fuerte agente reductor. A 90°C éste reacciona con pentóxido de yodo para producir vapor de yodo. A 150°C éste libera, además, vapor de mercurio a partir de óxido de mercurio. Ambas reacciones son usadas en el análisis químico del monóxido de carbono.

TABLA I

PROPIEDADES FISICAS DEL MONOXIDO DE CARBONO

Peso molecular	28.01
Punto crítico	-140.2 °c a 34.5 at (3.5 Mapa)
Punto de fusión	-205.1 °c
Punto de ebullición	-191.5 °c
Densidad a 0 °c y 1 at A 25 °c y 1 at	1.250 g/litro 1.145 g/litro
Gravedad específica (relativa al aire)	0.967
Solubilidad en el agua a 0 °c y 1 at A 25 °c y 1 at A 37 °c y 1 at	3.54 ml/100 ml 2.14 ml/100 ml 1.83 ml/100 ml

Tomada de la publicación de la World Health Organization; El Monóxido de carbono; Criterios de salud ambiental; 1979

La oxidación del monóxido de carbono a dióxido de carbono (CO₂) es acelerada por catalizadores metálicos tales como paladio o gel de sílice, o por una mezcla de óxidos de manganeso y cobre.

En la formación de la Carboxihemoglobina (COHb), el monóxido de carbono reacciona con el hierro en el protohemo –un constituyente de la hemoglobina- y forma fuertes enlaces de coordinación. De esta manera la carboxihemoglobina es tóxica porque es aproximadamente 200 veces más estable que la Oxihemoglobina (O₂Hb).

Al igual que otros contaminantes, la cantidad de CO presente en el aire se la expresa en partes por millón (ppm) (6). Así

$$\frac{1 \text{ volumen de CO}}{106 \text{ volúmenes de (CO + aire)}} = 1 \text{ ppm}$$

es decir,

$$0.0001 \% \text{ en volumen} = 1 \text{ ppm}$$

También se la puede expresar en microgramos de CO por metro cúbico de aire. De tal forma que:

$$1 \text{ ppm CO} = 1.145 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ CO}$$

1.2.1. Métodos de medición de monóxido de carbono

Tres métodos son los comúnmente usados para la rutina de estimación de monóxido de carbono en el aire. Estos son: el método de análisis continuo basado en un espectroscopio de absorción infrarrojo no dispersivo (NDIR); el método de análisis semicontinuo usando técnicas de gas cromatográfico y un método semicuantitativo usando tubos detectores. Otros métodos incluyen oxidación catalítica, análisis electroquímico, desplazamiento de mercurio y la técnica del isótopo dual (6).

En el método NDIR, que es el que emplea el equipo con el que cuenta la ESPOL, la radiación infrarroja es dividida en dos rayos (haces) que son dirigidos a través de una referencia y una celda patrón, respectivamente. Algo de monóxido de carbono introducido a la celda patrón va a absorber radiación en la banda característica centrada a $4.67 \mu\text{m}$, causando que el detector produzca una señal de salida proporcional a la concentración de CO en la celda patrón.

Analizadores NDIR son producidos por varios fabricantes en forma de continuos instrumentos automatizados. Buenos instrumentos comerciales tienen una detección límite de aproximadamente 1 mg/m^3 (0.5 ppm). El dióxido de carbono y vapor de agua interfieren, pero hay varias técnicas para minimizar esta interferencia.

En el método cromatográfico, el CO es primero separado del vapor de agua, dióxido de carbono e hidrocarburos. Este es entonces catalíticamente reducido a metano y pasado a través de un detector de ionización de flama, la señal de salida de ésta, es proporcional a la concentración de CO en la muestra de aire. El más común rango de concentración en un instrumento comercial es aproximadamente de 1 a 350 mg/m³ (1 – 300 ppm) pero otros están disponibles con un rango de aproximadamente 0.02 a 1.00 mg/m³ (0.017 – 0.87 ppm). El gas cromatográfico es particularmente apropiado cuando bajas concentraciones de CO tienen que ser medidas con un alto grado de especificidad.

El método del tubo detector es muy simple y puede ser usado para estimar concentraciones sobre los 5 mg/m³. El aire es llevado a través de tubos hechos especialmente que contienen un agente químico que cambia de color si el monóxido de carbono está presente y puede ser usado para estimar concentraciones.

Un buen método conocido está basado en la medición de la elevación de la temperatura causada por la oxidación catalítica

del monóxido de carbono. El límite de detección está cerca del 1 mg/m^3 . La mayoría de los hidrocarburos van a interferir si no son removidos.

Analizadores electroquímicos están basados en la liberación por monóxido de carbono de yodo a partir de pentóxido de yodo (a 150°C), el cual es entonces reducido al cátodo de una celda galvánica. La corriente desarrollada es una medida de la concentración de monóxido de carbono presente en la muestra de aire.

Estos últimos métodos, al igual que otros que de igual forma utilizan las propiedades físicas y químicas del CO para determinar su concentración no son los más recomendados en la práctica pues la presencia de interferencias puede dar origen a dudas sobre los resultados obtenidos.

1.2.2. Fuentes de CO en el ambiente

La cantidad de monóxido de carbono producida globalmente por fuentes naturales es al presente incierta. Varias investigaciones han estimado que las fuentes naturales (principalmente oxidación de metano en la atmósfera y

emisiones desde los océanos) producen cerca de 10 veces más monóxido de carbono que las fuentes producidas por el hombre (1974) (6).

Por otro lado, estudios posteriores han concluido que la producción natural de CO fue mucho más pequeña y quizá sea algo menor que las emisiones de las fuentes hechas por el hombre. Si éste es el caso, las emisiones hechas por el hombre juegan un papel importante en el ciclo global del Monóxido de Carbono.

Varias estimaciones de la producción de monóxido de carbono por reacciones atmosféricas han sido hechas. En 1972 se estimó que en el hemisferio norte únicamente, 3×10^9 toneladas métricas de CO son producidas anualmente por la oxidación de metano (2.5×10^9 ton) y otros elementos orgánicos. Posteriormente se ha calculado que la oxidación del metano solo podría producir 25 veces la cantidad de CO generado por las actividades del hombre.

El nivel de la superficie del océano es una segunda mayor fuente natural de CO. Linnenbom (1973) calculó un límite

superior de 220×10^6 ton. de CO emitidas desde el océano. Usando un modelo del flujo de gases a través de la interface aire-mar, Liss y Slater (1974) estimaron un flujo total de CO de 43×10^6 ton. por año.

Otras fuentes naturales de CO son los incendios forestales, volcanes, gases de pantanos y tormentas eléctricas. Algo de monóxido de carbono es además formado en lo alto de la atmósfera (sobre los 75 Km) por la fotodisociación de dióxido de carbono.

Otra fuente natural es el agua de lluvia, desde la producción de CO en las nubes que son tentativamente atribuidas a la oxidación fotoquímica de sustancias orgánicas o la leve disociación de dióxido de carbono inducida por descargas eléctricas o ambas. Algo de CO es también formado durante la germinación de semillas y crecimiento de plantón, por la acción de microorganismos.

Además el monóxido de carbono se produce en cantidades significativas en hombres y animales durante la respiración como producto del hemocatabolismo.

En cuanto a las emisiones globales de fuentes hechas por el hombre, se puede estimar que superan los 600 millones de toneladas métricas anuales. Los vehículos de motor son definitivamente los más grandes contribuidores, constituyendo el 55% de las emisiones totales.

Los procesos industriales son otra considerable fuente de CO (11%). Los medios de transporte aéreo, marítimo y ferroviario, aportan con el 7%. En menor grado tenemos la eliminación de desperdicios (6%), la combustión de aceites y carbón (2%).

La tasa en la cual el monóxido de carbono es emitido a partir de los vehículos varía no solo con las características de éste, sino con la forma de operación del mismo. Las emisiones de las otras fuentes móviles son relativamente pequeñas pero podrían originar problemas locales.

Dentro de los procesos industriales, las refinerías de petróleo, fundiciones de acero, plantas de carbón y procesos de aglomeración son las mayores fuentes.

La combustión de combustibles fósiles en plantas de generación eléctrica, industrias y el hogar, aunque dan lugar a emisiones más pequeñas de CO en forma individual, pueden constituir una mayor fuente cuando se presentan en forma combinada¹.

En nuestro país, se estima que el 60% de la producción nacional de CO, que se calcula en 50000 ton al año aproximadamente, se origina en los tubos de escape de los vehículos de motores de combustión interna, mientras que las plantas térmicas y las industrias tienen un aporte bajo (cerca del 1% en cada caso).

Algo importante de indicar, es que el tiempo de permanencia del monóxido de carbono en la atmósfera es de

¹ Existen muchos otros procesos, lugares o actividades en donde una incompleta combustión de materiales que contienen carbono ocurre y que pueden ser de mucha significación dependiendo de los niveles de exposición. Fundiciones de oro, fabricación de gas industrial, hornos de coque, fabricación de automóviles, garages, estaciones de servicio y cocinas domésticas son algunos ejemplos. Además hay que enfatizar que el humo de cigarrillo es una de las más importantes fuentes de monóxido de carbono en ambientes cerrados.

aproximadamente 0.2 años. Los niveles en general no parecen estar incrementándose demasiado, indicando la presencia de varios mecanismos de remoción (sumideros). La oxidación en la atmósfera y la asimilación por el suelo, la vegetación y las agua de una región (lluvias, corrientes de ríos y lagos), han sido identificados como los mayores mecanismos de remoción. Los océanos actúan como enormes reservorios para este contaminante, puesto que considerables cantidades son disueltas en el agua dependiendo de la presión parcial de CO en la atmósfera y de la temperatura del agua.

1.2.3. Efectos del CO en los materiales, las plantas y los animales

El monóxido de carbono no parece tener efectos perjudiciales sobre la superficie de los materiales en comparación con otros contaminantes como gases ácidos, compuestos de azufre, compuestos de nitrógeno, etc.

Se ha demostrado que el CO no produce efectos dañinos de ninguna clase en las formas superiores de vida de las plantas a concentraciones por debajo de 100 ppm, durante exposiciones de 1 a 3 semanas (5). Las concentraciones

ambientales del CO rara vez alcanzan este nivel, ni siquiera en períodos cortos.

En cuanto a los animales, cuando son expuestos a concentraciones relativamente bajas (25 ppm) durante varias semanas, se han notado ciertos cambios en el metabolismo, alteraciones en la sangre, o cambios en el comportamiento. También se ha encontrado una gran adaptación a estos niveles de exposición. Concentraciones de 50 ppm pueden originar cambios estructurales en el corazón y cerebro en un período de 6 semanas de exposición.

1.2.4. Efectos del CO en la salud

Muchos estudios señalan que las altas concentraciones de monóxido de carbono pueden causar cambios fisiológicos y patológicos y finalmente la muerte. El monóxido de carbono es un veneno que inhalado priva a los tejidos del cuerpo del oxígeno necesario.

Se sabe que el monóxido de carbono puede causar la muerte cuando se encuentra expuesto a una alta concentración (> 750 ppm). La combinación del CO con la hemoglobina de la sangre conduce a la formación de carboxihemoglobina COHb; la combinación del oxígeno y la hemoglobina produce la oxihemoglobina, O₂Hb. La hemoglobina tiene una afinidad por el CO que es aproximadamente 210 veces su afinidad por el oxígeno. Es decir, la presión parcial del CO requerido para

saturar totalmente la hemoglobina es solo de 1/200 a 1/250 de la presión parcial de oxígeno requerido para la completa saturación con el oxígeno. La exposición a una mezcla de ambos gases lleva concentraciones de equilibrio de COHb y O₂Hb dadas por

$$\frac{\text{COHb}}{\text{O}_2\text{Hb}} = M \frac{\text{PCO}}{\text{PO}_2}$$

Donde PCO y PO₂ representan las presiones parciales de CO y O₂ en los gases inhalados, y M es una constante que varía de 200 a 250 en la sangre del hombre. Por lo tanto, la cantidad de COHb es una función de la concentración de CO en el aire respirado. En este aspecto, se han realizado muchos estudios para tratar de determinar de una manera exacta el porcentaje de hemoglobina como una función de la concentración de CO en el ambiente y el tiempo de exposición. Es así que existen gráficos y tablas que nos dan esta información. Además, con estos datos, se ha obtenido una relación empírica muy fácil de manipular (5).

$$\text{Log}_{10}y = 0.85753\text{log}_{10}x + 0.62995\text{log}_{10}t - 2.29519$$

Donde, y = % de carboxihemoglobina

x = concentración de monóxido de carbono en ppm

t = tiempo de exposición en minutos

Afortunadamente, la formación del COHb en el torrente sanguíneo es un proceso reversible. Cuando cesa la exposición, el CO que se combinó con la hemoglobina es liberado espontáneamente, y la sangre queda libre de la mitad de su monóxido de carbono, en pacientes saludables y en un período de 3 a 4 horas. Se mantiene en la sangre un nivel normal de COHb de 0.4 %, por el CO producido dentro del cuerpo, independientemente de las fuentes externas.

El efecto directo del COHb es que reduce la capacidad de conducción del oxígeno en la sangre. No obstante, está presente también un aspecto secundario. El COHb interfiere con la liberación del oxígeno que lleva el resto de la hemoglobina. Esto reduce efectivamente aún más la capacidad de transporte de oxígeno. Algunos casos de exposición de 8 horas o más a concentraciones de 10 a 15 ppm (2.5 % COHb) han causado el deterioro de la discriminación de intervalos y disminución de agudeza visual

con respecto al umbral de luminosidad. Este rango es común durante el día en las calles del centro urbano.

La evidencia indica que la exposición durante 8 horas o más a concentraciones de 30 ppm (5 % COHb) altera ciertas pruebas psicomotoras.

En las tablas II y III se presenta una lista de los efectos sobre la salud atribuidos a ciertos niveles de CO en el ambiente y a niveles de COHb en la sangre.

En general, se considera 100 ppm como el límite superior de seguridad en la industria para individuos saludables dentro de ciertos rangos de edad, y para una exposición de 8 horas.

En términos de la exposición al CO, se debe notar que el humo de cigarrillo contiene de 400 a 450 ppm de CO. El porcentaje de COHb en la sangre de los fumadores de cigarrillos aumenta con el número de cigarrillos fumados al día.

1.2.5. Criterios y Normas sobre la calidad del aire para CO

Los criterios de la calidad del aire son expresiones de los conocimientos científicos más recientes, basados en la experiencia de los expertos. Indican cualitativa y

cuantitativamente la relación entre los diversos niveles de exposición a los contaminantes, y los efectos a corto y largo plazo sobre la salud y el bienestar.

Los criterios de calidad de aire son descriptivos, ya que dan una idea de los efectos que son de esperar que puedan ocurrir cuando los niveles de contaminantes alcanzan o sobrepasan los valores específicos para un determinado período (5).

En este sentido, ante la evidencia de los efectos del CO sobre la salud, las normas de calidad del aire para monóxido de carbono emitidas por la EPA (Registro Federal de los Estados Unidos; 1978), son:

- 9 ppm (10 mg/m³) para un período promedio de 8 h.
- 35 ppm (40 mg/m³) para un período promedio de 1h.

Esta selección se baso en el hecho de que la contaminación del aire de la comunidad no deba contribuir más del 2 por ciento de COHb. En comparación con las normas primarias sobre la calidad del aire ambiente ya citadas, el nivel de “daño significativo”, definido por la EPA para un promedio de 8 h es

de (50 ppm). Esto es aproximadamente igual a un nivel de 10% de carboxihemoglobina. La norma de calidad de aire de 9 ppm parece ser mucho más baja que el nivel correspondiente a cualquier efecto perjudicial medido.

En nuestro país, el artículo 17 de la Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, establece las mismas normas que la EPA, indicando como método de medición el uso de un analizador infrarrojo no dispersivo.

TABLA II

NIVELES DE CO EN EL AMBIENTE Y SUS EFECTOS EN LA SALUD

CONCENTRACION (ppm)	TIEMPO DE EXPOSICION	EFECTOS
9	8 h	Norma sobre la calidad de aire ambiente
30	8 h	Alteración de ciertas pruebas psicomotoras
50	50 min	Cambios en el umbral de la luminosidad relativa y agudeza visual
50	8 – 12 h	Impedimentos en el funcionamiento de las pruebas psicomotoras
100	8 – 12 h	Mareos, dolores de cabeza y cansancio
200	2 – 3 h	Dolor de cabeza ligero
400	1 – 2 h	Dolor de cabeza y náuseas
800	45 min	Dolor de cabeza, náuseas y mareo
800	2 h	Lo mismo más postración
1000	1 h	Pérdida del conocimiento
1600	20 min	Dolor de cabeza, náuseas y mareo
1600	30 min	Pérdida del conocimiento
3200	5 – 10 min	Dolor de cabeza, náuseas y mareo
12800	1 – 3 min	Efectos fisiológicos inmediatos; perdida del conocimiento y peligro de muerte

Elaborada en base de la publicación realizada por la National Fire Protection Association (NFPA) en septiembre de 1997, así como de la publicación de la EPA correspondiente a agosto de 1997 (<http://www.epa.gov/iaq/pubs/coftspan.html>).

TABLA III

NIVELES DE COHb EN LA SANGRE Y EFECTOS EN LA SALUD

COHb (%)	EFFECTOS
< 1.0	No hay efectos aparentes
1.0 – 2.0	Hay alguna evidencia de efectos sobre la conducta
2.0 – 5.0	Efectos sobre el sistema nervioso central. Efectos en el discernimiento de los intervalos de tiempo, agudeza visual, discernimiento de la luminosidad, y algunas otras funciones psicomotoras.
5.0 – 10.0	Cambios funcionales cardiacos y pulmonares
10.0 – 20.0	Tensión en la frente, dilatación de los vasos sanguíneos
20.0 – 30.0	Dolor de cabeza, latido en la sien
30.0 – 40.0	Dolor de cabeza agudo, cansancio, mareo, vista cansada, náuseas, vómitos, postración
40.0 – 50.0	Lo mismo que lo anterior, más respiración y pulsos acelerados, asfixia y postración
50.0 – 60.0	Lo mismo que lo anterior más coma, convulsiones, respiración Cheyne-Stokes
60.0 – 70.0	Coma, convulsiones, respiración y pulso débiles. La muerte es posible
70.0 – 80.0	Desaceleración y arresto de la respiración, muerte en horas
80.0 – 90.0	Muerte en menos de 1 hora
90.0 – 100.0	Muerte en pocos minutos

Elaborada en base de la publicación realizada por la National Fire Protection Association (NFPA) en septiembre de 1997, así como de la publicación de la EPA correspondiente a agosto de 1997 (<http://www.epa.gov/iaq/pubs/coftspan.html>).

Capítulo 2

2. ANALIZADOR DE CO. DESCRIPCION, INSTALACION Y OPERACIÓN

2.1. Designación de la EPA

El analizador de monóxido de carbono con el que cuenta la Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la producción, fue adquirido en el año de 1988 por medio del proyecto BID – ESPOL II; y suministrado por “Monitor Labs” una división de “Lear Siegler Measurement Control Corporation”. Este analizador corresponde al modelo 8830 y está diseñado bajo regulaciones de la EPA como una referencia del método de análisis continuo basado en un espectroscopio de absorción infrarroja no dispersivo (NDIR), publicado en el Registro Federal de los Estados Unidos en 1975. La EPA ha designado a éste analizador con el número de referencia RFCA – 00388066 y ha definido los siguientes requerimientos de operación:

- ◆ Rango: 0 – 50 ppm
- ◆ Temperatura ambiente: 20 – 30 °C
- ◆ Voltaje de línea: 105 – 125 VAC
- ◆ Flujo nominal: 500 cm³/min

Es importante señalar que para el correcto funcionamiento del equipo se debe cumplir con las especificaciones que se muestran en la tabla IV tanto en condiciones de operación como de almacenamiento.

2.2. Teoría de Operación.

El monóxido de carbono absorbe una cantidad variable de radiación infrarroja (RI) en un rango de longitudes de onda de 4.5 a 4.9 μm .; por lo tanto, la presencia y la cantidad de CO puede ser determinada por la cantidad de absorción de RI.

En este sentido, el analizador opera generando una RI de intensidad conocida y midiendo la cantidad de la misma que pasa a través del aire. Esto se mide con un detector, el cual convierte ésta radiación en una señal electrónica proporcional a la cantidad de RI transmitida.

En la práctica, otros gases y partículas en el aire pueden también absorber o interferir con la transmisión de la RI; y por lo tanto, el

analizador debe distinguir entre la RI absorbida por CO o por las interferencias. Esto se lo hace por la separación y transmisión de ondas sensibles e insensibles al CO. La absorción de estas últimas indica la presencia de interferencias. Una diferencia en la fuerza de las dos señales dividida por la intensidad de la RI en su fuente, es la medida o concentración de CO en el aire. Si no hay diferencia, de seguro no hay CO en el aire.

2.3. Método de Medición.

El método de medición en el que se basa el funcionamiento del equipo, es el NDIR, que fue mencionado en el capítulo 1.

Una señal electrónica proporcional al CO empieza como una radiación infrarroja emitida por una fuente RI. Esta irradia sobre una Rueda de Filtro de Gas la cual rota continuamente. La rueda modula la RI por varias proporciones dependiendo de la porción de la rueda que esté en frente de la fuente RI. Un sincronizador unido al motor, el cual hace mover la rueda, indica a la tarjeta lógica que porción de rueda está frente a la fuente de radiación.

La RI modulada encuentra un Filtro de Banda Angosta y únicamente una porción de la banda que el CO puede absorber logra cruzar.

TABLA IV
ESPECIFICACIONES DEL ANALIZADOR DE CO

CONCEPTO	ESPECIFICACION	CONDICIONES
ENERGIA Voltaje Consumo	115 +- 10 VAC 60 Hz 230 +- 20VAC 50 Hz 175 watts máximo	Local Europa 125 W nominal
RANGOS DE TEMPERATURA Almacenamiento Operación EPA	-20 °C a 50 °C 5 °C a 40 °C 20 °C a 30 °C	
HUMEDAD	5% a 95% HR	Sin condensación
FLUJO DE AIRE	500 +- 50 ml/min	
ERROR DE LINEALIDAD	1% de la recta ideal	
TIEMPO DE ELEVACION Y CAIDA (95%)	180 seg. máximo	500 ml/min
TIEMPO DE RESPUESTA	< 10 segundos	
RANGO	0 – 50 ppm	
PRESICION	+ - 1% de la escala completa	
ESTABILIDAD DEL CERO	+ - 1% de la escala completa	Medida sobre 24 h. (EPA)
ESTABILIDAD DEL SPAN	+ - 1% de la escala completa	Medida sobre 24 h. (EPA)
CAIDA DEL CERO POR TEMPERATURA	0.5 ppm / 10 °C	Voltaje de línea constante, 5 – 40 °C
CAIDA DEL SPAN POR TEMPERATURA	2% / 10 °C	Voltaje de línea constante, 5 – 40 °C
SEÑAL PARA REGISTRADOR O DAS	0 – 10 V, 0 – 5 V 0 – 1 V, 0 – 100 mV	Puente conector seleccionable
DIMENSIONES	8.75" x 17" x 24"	
PESO	45 lbs	

Tomada del manual de información suministrado con el analizador

Luego, la angosta banda de RI entra a una Celda de Muestra Optica de paso múltiple donde es absorbida por la muestra de aire fluyendo a través de la celda.

La RI que no es absorbida, sale de la celda e irradia un resistor enfriado en el detector y modulo preamplificador cambiando el voltaje a través de éste en proporción a la intensidad de la radiación. Esta es la señal electrónica a ser procesada.

Esta señal va a la tarjeta de señal para procesamiento utilizando "referencia", "medida" y "obscuridad" de la tarjeta lógica. Estas señales de referencia, medida y obscuridad corresponden a la porción de la rueda en frente de la fuente RI en el momento de una medición particular de la intensidad de la radiación por el detector y módulo amplificador.

La señal procesada, la cual ahora representa la cantidad de RI absorbida por el CO en la muestra, es a continuación enviada a la tarjeta linealizadora para ajustes por variaciones de la temperatura de la muestra y compensaciones por la no linealidad de la absorción versus la concentración.

2.4. Descripción de Sistemas

Es importante, para tener una mejor comprensión de cómo funciona el analizador, conocer la función principal tanto de los sistemas con los que cuenta, así como de los elementos que los constituyen (4).

2.4.1. Sistema Neumático.

El propósito del sistema neumático es el de suministrar continuamente muestras de aire, y solo muestras de aire, libre de partículas dañinas, a la celda de prueba en un régimen que permita que la muestra sea analizada antes de salir. En la tabla V se indica la función de los principales elementos neumáticos.

La bomba produce un ligero vacío, el cual provoca que la muestra de aire sea arrastrada hacia la “entrada de muestra” y al filtro de 5 micras. La muestra fluye continuamente a través de la celda de nuestra óptica de paso múltiple mientras la intensidad de luz está siendo medida. La muestra pasa entonces a través de un detector de temperatura montado a la salida de la celda de muestra. Este pasa entonces a través del flujómetro el cual indica el flujo de la muestra en LPM.

TABLA V

FUNCIONES DE LOS ELEMENTOS NEUMATICOS

NOMBRE	FUNCION
Entrada de Muestra Acoples y línea.	El analizador usa acoples de gran calidad y líneas de (TFE) teflón a lo largo de toda la trayectoria de la muestra. Las líneas y acoples son químicamente inertes y no contaminarán la muestra de aire.
Filtro de Partículas	El filtro de 5 micras reduce la acumulación de polvo en el sistema óptico y retiene la interferencia de partículas al mínimo.
Flujómetro	Regula la razón de flujo y ha sido ajustada en 500 +-50 cm ³ /min.
Bomba	La bomba de muestreo provee el vacío necesario para arrastrar la muestra de aire a través del sistema neumático. La salida de la bomba se conecta al escape (descarga) por medio de una tubería de 1/4" de diámetro.
Escape (Descarga)	Conduce a la muestra que ha sido analizada hacia el exterior.

Basada en el manual de información suministrado con el analizador

La muestra pasa a través de la bomba al final, para evitar una posible contaminación por causa de la bomba.

2.4.2. Sistema Optico

Este sistema dirige la radiación infrarroja a través de la muestra de aire hacia el sistema electrónico para análisis y reporte.

2.4.2.1. Fuente de Radiación Infrarroja (RI)

Está constituida por un resistor, calentado a 1200°F, que genera una amplia banda de radiación infrarroja la cual irradia en la Rueda filtro de gas.

2.4.2.2. Rueda de Correlación y Filtro de Gas

La rueda ilustrada en la figura 2.1, hace girar un par de cámaras o celdas de zafiro llenas de gas y una máscara o marco delante de la fuente RI a 1800 RPM.

Cuando la RI pasa a través de la celda de medida, las ondas sensibles al CO no son absorbidas por el nitrógeno. Cuando la RI pasa a través de la celda de referencia, el CO presente en

la celda absorbe las ondas sensibles al CO las cuales están centradas en 4.7 micrones.

Cuando la máscara bloquea la transmisión de RI, el detector genera la señal oscura usada para sincronizar la temporización (regulación del tiempo) de las otras dos señales generadas a partir de la RI que pasa a través de las celdas de medida y referencia. La señal oscura es también usada para determinar la fuerza de las otras 2 señales. La señal de voltaje generada desde la máscara es restada de cada voltaje de las otras señales. Las diferencias son usadas para computar la concentración de CO como se indicó en la teoría de operación.

Una rueda de sincronización está montada en el mismo eje que la rueda de correlación. La rueda de sincronización interrumpe un interruptor óptico, el cual genera una señal indicando cuando el centro de las celdas de medida y referencia y la máscara están enfrente de la fuente RI.

2.4.2.3. Filtro de Banda Angosta

Las bandas de longitud de onda que pasan a través de la Rueda Filtro de Gas son filtradas nuevamente por el Filtro de

la Banda Angosta. Solamente la porción de la banda sensible al CO. Centrada en 4.7 micrones y aproximadamente 1.6 +- 0.015 micras de ancho, pasa a través. La remoción de ondas sensibles a otros gases reduce interferencias.

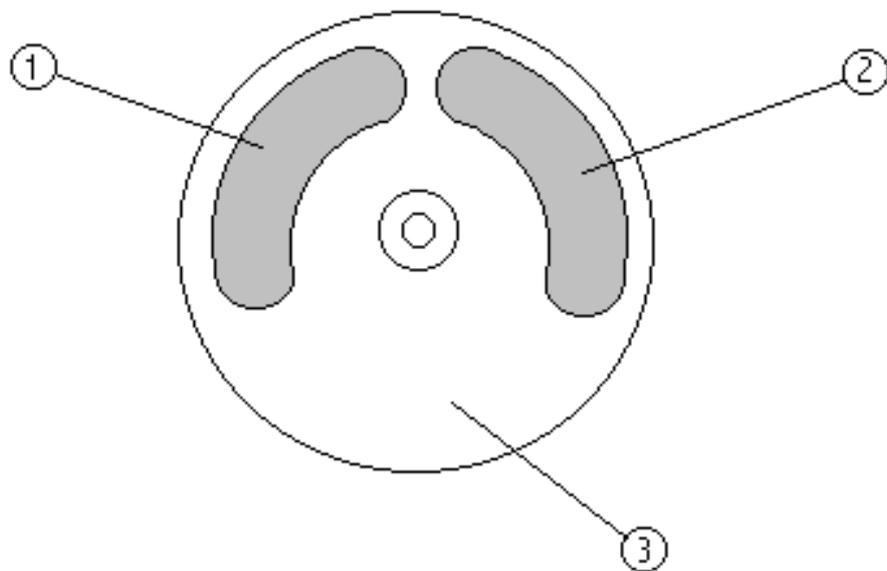
2.4.2.4. Celda de Muestra Óptica de Pasos Múltiples

A continuación la RI entra a la celda de muestra óptica de paso Múltiple donde esta viaja 5 metros a través de la muestra de aire antes de salir.

El resonador confocal, dentro de este elemento consiste de un espejo de entrada, un espejo de salida y tres espejos focales (el centro de curvatura de un espejo está en la superficie de otro). La RI generada por la fuente de radiación atraviesa la celda 20 veces.

2.4.2.5. Detector RI

El detector RI es un resistor de seleniuro de plomo (Pb_2S) enfriado a $-20^{\circ}C$. Cuando RI de 4.7 μm incide en el resistor, este cambia la corriente que fluye a través de él. Este cambio produce la señal detectada.



1. Celda de Medida con 100% de Nitrógeno
2. Celda de Referencia con Nitrógeno y Monóxido de Carbono
3. Máscara

Fig. 2.1

RUEDA DE CORRELACION Y FILTRO DE GAS

2.4.2.5. Detector RI

El detector RI es un resistor de seleniuro de plomo (Pb_2S) enfriado a -20°C . Cuando RI de $4.7\ \mu\text{m}$ incide en el resistor, este cambia la corriente que fluye a través de él. Este cambio produce la señal detectada.

2.4.3. Sistema Electrónico

2.4.3.1. Tarjeta Pre-amplificadora

Esta tarjeta produce juegos de señales en los que cada uno contiene un pico de voltaje de referencia, un pico de voltaje de medida y el valle de voltaje de la máscara; los mismos que van a ser procesados en la tarjeta de señal.

2.4.3.2. Tarjeta Lógica

Esta tarjeta descodifica dos entradas en tres salidas. Una entrada la constituyen las señales desde la tarjeta pre-amplificadora; mientras que la otra entrada viene desde el interruptor óptico en frente de la rueda de sincronización. El interruptor óptico indica cuando el centro de cada celda está ante la fuente RI al mismo tiempo. La tarjeta lógica determina qué celda genera qué señal. Las tres salidas representan las

tres señales: Referencia, Medida y Oscuridad. Estas son enviadas a la tarjeta de señal.

2.4.3.3. Tarjeta de Señal

La tarjeta de señal procesa la información desde la tarjeta pre-amplificadora usando las tres señales enviadas por la tarjeta lógica. La señal pre-amplificada es separada en dos voltajes DC: uno representa la señal de referencia y la otra la señal de medida. Estos voltajes son entonces restados y la diferencia es la salida, la cual es una función de la concentración de CO.

2.4.3.4. Tarjeta Linealizadora

La tarjeta linealizadora realiza la correlación de la fuerza de la señal a concentración. La correlación compensa la absorción exponencial de RI versus concentración que ocurre en la celda de muestra generando para esto una función de transferencia logarítmica fraccional.

Esta tarjeta además compensa la concentración para variaciones en la temperatura del gas. Esto es necesario puesto que la absorción es proporcional a la densidad del gas

y a su vez ésta varía con los cambios de temperatura siguiendo la ley de los gases².

2.5. Instalación

En esta parte nos referimos a los aspectos más importantes a tenerse en cuenta durante la instalación de este analizador previo a algún trabajo de monitoreo. Además se explicará, como conectar el registrador de datos (4).

2.5.1. Selección de Ubicación

La ubicación idónea para el analizador, es en donde las variaciones de temperatura, polvo y humedad sean mínimas, es decir, cumpliendo con las especificaciones. Es necesario que el equipo permanezca en un lugar ventilado apropiadamente. La temperatura en lugares cerrados que no están apropiadamente ventilados pueden elevarse hasta 15°C sobre la temperatura del aire ambiente en el laboratorio. Por lo tanto, la temperatura del analizador puede elevarse sobre los límites especificados.

² Por ejemplo, si en una habitación en la que la temperatura es de 300°K hay un incremento de 10°C, la concentración decrece en cerca del 3.35% (10/300). Este valor es compensado por la tarjeta-linealizadora.

Debe tenerse en cuenta que el analizador es un equipo de banco, diseñado para trabajar sobre una superficie estable (libre de vibraciones) y que facilite un cómodo acceso al panel frontal por parte del operario.

2.5.2. Conexiones

Luego que el analizador ha sido montado en un lugar con fines de toma de datos, tanto las conexiones neumáticas como eléctricas deben ser correctamente llevadas a cabo (4).

2.5.2.1. Conexiones para el ingreso de muestras de aire

Para permitir el ingreso de la muestra de aire, tanto para fines del monitoreo como de calibración, debe usarse tubería de ¼" DE que conecte la muestra de aire con la "entrada de muestra" en la parte posterior del analizador. Se puede usar líneas de acero inoxidable, TFE o vidrio. Todos los acoples que se usen para el analizador deben ser de hacer inoxidable o TFE.

Para fines de monitoreo, se recomienda no usar una línea mayor a 6 pies de largo, de manera que la muestra ingrese al monitor con un flujo igual al nominar ($500\text{cm}^3/\text{min}$). Se podría

usar una línea de mayor longitud, si se usa una bomba adicional para forzar en mayor grado el ingreso de la muestra.

Para la salida de la muestra de aire que ha sido analizada, se debe usar una línea de ¼" DE desde el puerto de escape en la parte posterior del analizador hasta el exterior o hacia una bomba de vacío usada para aumentar el flujo de ingreso de la muestra al analizador. En todo caso, la salida de aire debe localizarse lejos de la toma de la muestra y de áreas cerradas ocupadas por personas.

En este caso no es necesario que las tuberías y acoples sean de acero inoxidable o TFE.

2.5.2.2. Conexiones para suministro de energía

Se requiere una fuente de poder de 105 – 125 VAC, 50 o 60 Hz y con una capacidad hasta de 5.0 amps. Además, el analizador necesita una adecuada conexión a tierra para su apropiado funcionamiento y para seguridad del personal que lo opere.

2.5.2.3. Conexión del registrador

El analizador provee una señal que puede controlar al registrador de datos. La salida de esta señal se encuentra en la regleta de terminales en el panel posterior del monitor. Esta salida se ha fijado en 10 voltios correspondientes a la escala completa del registrador.

Para que el registrador responda a la señal, solo se debe conectar el cable positivo del registrador al terminal "+", y el cable negativo al terminal "-".

2.6. Instrucciones de Operación

Antes de operar el analizador, se debe estar seguro de haber llevado a cabo una correcta instalación.

Luego, al poner en funcionamiento el analizador (interruptor "Power"), inmediatamente debe encenderse la pantalla, mientras que el indicador de la fuente RI deberá permanecer apagado.

Al inicio, las lecturas tenderán a salirse de rango, pero paulatinamente se irán estabilizando hasta tener lecturas con una linealidad del 5% a los cinco minutos.

El analizador deberá operar por dos horas antes de medir concentraciones con una linealidad del 1%.

Si el equipo no mide exactamente después de este tiempo, es necesario llevar a cabo una calibración (capítulo 3). Si ésta ha sido previamente realizada, debe procederse a un chequeo del equipo con el propósito de corregir fallas o realizar ajustes que permitan que el analizador continúe con su normal operación. Ver el capítulo 4.

En la figura 2.2 se muestra la ubicación de los controles e indicadores en el panel frontal, mientras que en la tabla VI se explica la función de cada uno de ellos.

De igual forma, en la figura 2.3 se muestra el panel posterior con la ubicación de los puntos en los que se realizan las conexiones durante la etapa de instalación. La tabla VII explica la función de dichos puntos.

2.7 Ventajas y desventajas del analizador

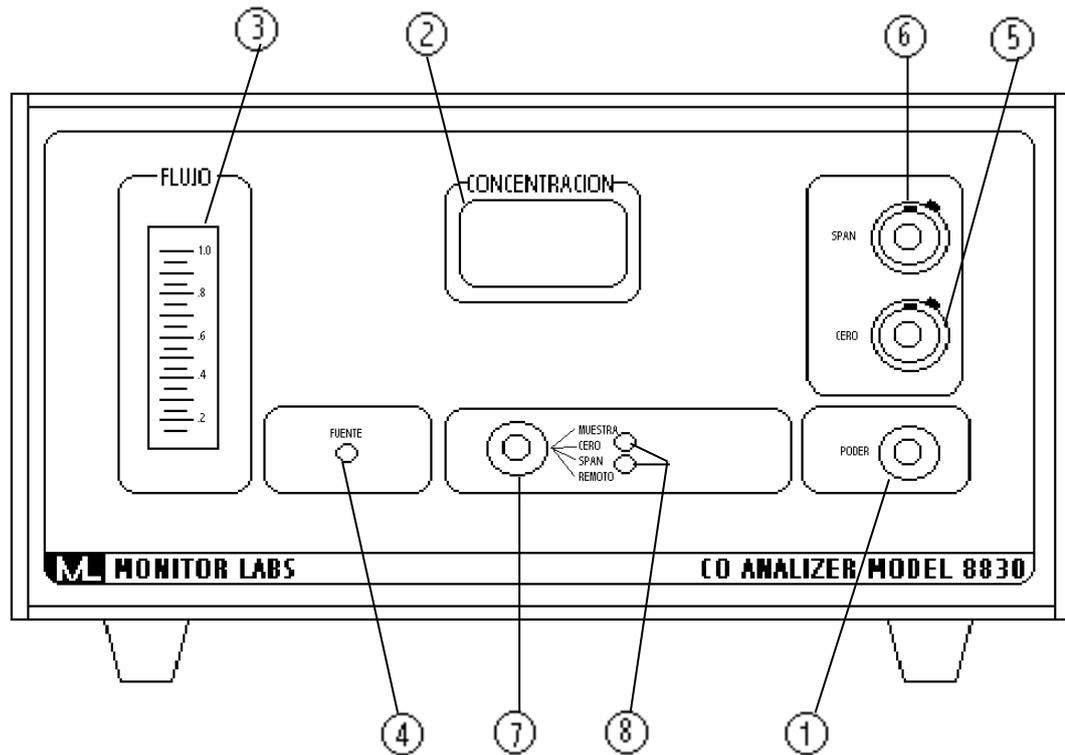
Las principales ventajas en el uso del analizador en un programa de monitoreo son:

1. Fácilmente transportable
2. Cómoda recolección de datos

3. Permite una fácil comparación de los resultados obtenidos con las normas de calidad de aire, por emplear el método recomendado por la EPA.

Por otro lado, las desventajas son:

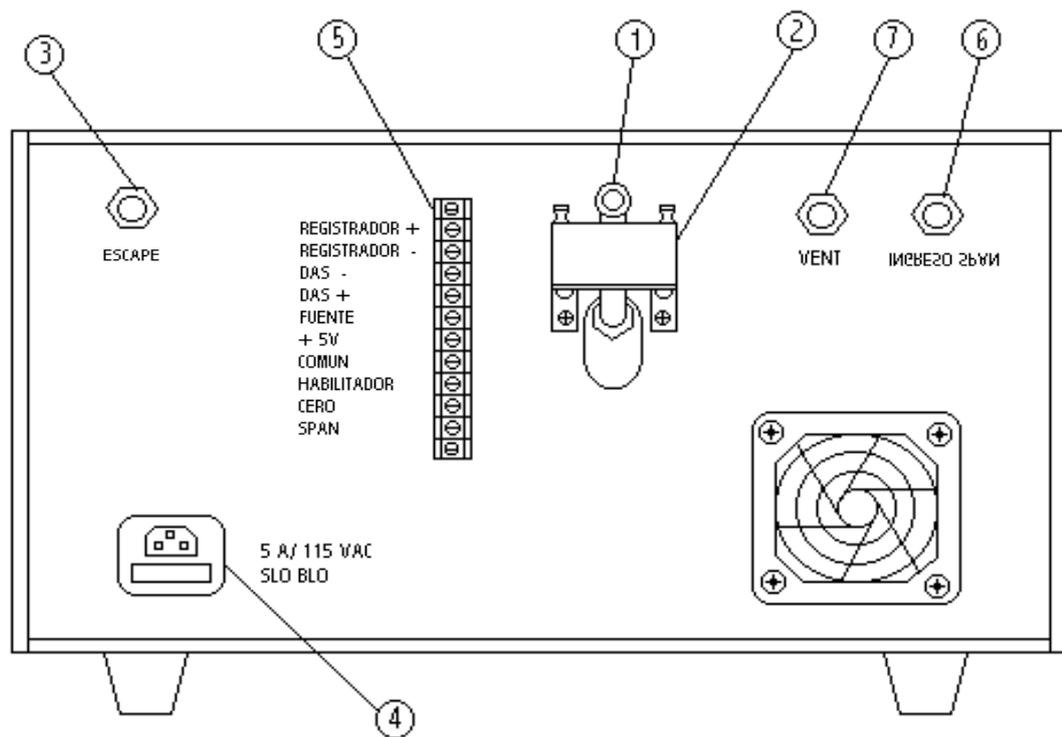
1. Requiere de mucho cuidado en su manipulación
2. Los elementos necesarios para su calibración deben ser adquiridos en el exterior
3. El rango de medición (0-50 ppm) solo permitiría hacer evaluaciones de calidad de aire, sin embargo, se pueden obtener lecturas hasta 199.99 ppm las mismas que podrían estar fuera de la precisión especificada. En todo caso nos daría una idea de ciertos niveles de emisión con una confiabilidad razonable.



1. Interruptor de poder
2. Pantalla de lectura
3. Medidor de flujo
4. Indicador de fuente RI
5. Control para ajuste de cero
6. Control para ajuste de span
7. Control de válvulas de cero y span
8. Indicadores de cero y span

Fig. 2.2

PANEL FRONTAL. CONTROLES E INDICADORES



1. Entrada de muestras
2. Filtro de partículas
3. Escape
4. Conexión para suministro de energía
5. Regleta de terminales
6. Ingreso de span para chequeo
7. Escape de exceso de span

Fig. 2.3

PANEL POSTERIOR. CONEXIONES

TABLA VI

FUNCIONES DE CONTROLES E INDICADORES DEL PANEL FRONTAL

NOMBRE	FUNCION
Interruptor de Poder	Enciende o apaga el analizador.
Pantalla de lectura	Es del tipo LED y consta de tres dígitos numéricos; sin embargo, un cuarto dígito aparecerá para concentraciones sobre 100 ppm. La máxima lectura es 199.9 ppm. Esto se aplica solo a la pantalla. Las salidas de voltaje a escala completa para los conectores del registrador permite lecturas hasta de 50 ppm.
Medidor de flujo	Indica el flujo a través de la celda de muestra. El flujo nominal es de 500 cm ³ /min.
Indicador de Fuente RI	El indicador se enciende en el momento que la fuente RI falla
Control para ajuste de cero *	Se lo usa para calibrar la pantalla a una lectura de 00.0 (o muy cercana a cero), cuando aire cero de una fuente conocida está ingresando al analizador.
Control para ajuste de span *	Se lo usa para calibrar la pantalla a una lectura correspondiente a una concentración conocida de CO.
Control de válvulas de cero y span **	Este control selecciona Muestra, Aire cero, gas Span o permite la selección Remoto para trabajar con las conexiones en el panel posterior.
Indicadores de cero y span **	Estas luces indican que gas está siendo medido. Si permanecen apagadas es porque se está midiendo muestras de aire.

* Revisar el capítulo 3 (Calibración) para mejor comprensión.

** Estos elementos solo se usan en el caso de que se desee realizar un chequeo del funcionamiento del equipo para determinar si una calibración sería necesaria. Para esto se debe contar con varios dispositivos que pueden ser adquiridos con el fabricante. (Ver referencia. Opción Cero/Span).

TABLA VII

FUNCION DE LAS CONEXIONES EN PANEL POSTERIOR

NOMBRE	FUNCION
Entrada de muestras	Permite el ingreso de muestras de aire para fines de monitoreo o de calibración.
Escape	Permite la salida de la muestra al exterior o la conexión a una bomba extra.
Conexión para suministro de energía	Conexión a la fuente de poder (115 VAC, 5 amps).
Registrador	Conexión eléctrica para el registrador de datos
DAS	Conexión eléctrica para un sistema de adquisición de datos.
Ingreso de Span **	Permite el ingreso de gas span a 40 psi para chequeo.
Ventilación **	Facilita la salida de un exceso de gas span.
Fuente	Abre la salida del colector. Desempeña la misma función del indicador de fuente en el panel frontal.
+ 5 V	Voltaje auxiliar para arranque de la fuente
Común	Conexión aterrizada para +5V, Fuente, Habilitador, Cero y Span.
Habilitador **	Permite la selección de aire cero y gas span si es conectada al Común. Desempeña la misma función que el interruptor Remoto en el panel frontal.
Cero **	Con conexión a Común, selecciona aire cero.
Span **	Con conexión a Común selecciona gas span.

**** Estas opciones son para chequeo de funcionamiento, tal como se indicó al final de la tabla 2.3.**

Capítulo 3

3. CALIBRACION

3.1. Introducción

Como sabemos, los instrumentos industriales pueden medir, transmitir y controlar las variables que intervienen en un proceso.

Cada instrumento o una de sus partes pueden considerarse como dispositivos de conversión de señales (transductores) que pasan de una variable de entrada (presión, caudal, nivel, temperatura, posición, pH, conductividad, posición, etc. A una o varias de las siguientes funciones de salida: indicación de la variable de entrada, lectura de un índice o de una pluma de registro; transmisión de la variable de entrada en señal neumática o eléctrica; fijación de una palanca o de un vástago de una varilla interna de un instrumento o del vástago del obturador de una válvula (2).

Existirá pues una correspondencia entre la variable de entrada y la de salida, representando esta última el valor de la variable de entrada. Siempre que el valor representado corresponda exactamente al de la variable de entrada el instrumento estará efectuando una medición correcta. En la práctica, los instrumentos determinan en general unos valores inexactos en la salida que se apartan en mayor o menor grado del valor verdadero de la variable de entrada, lo cual constituye el error de la medida.

El error es universal e inevitable y acompaña a toda medida, aunque ésta sea muy elaborada, o aunque se efectúe un gran número de veces. Es decir, el valor verdadero no puede establecerse con completa exactitud y es necesario encontrar unos límites que lo definan, de modo que sea práctico calcular la tolerancia de la medida.

Por último, se debe tener claro que se procede a la calibración de un instrumento una vez que se ha realizado un chequeo general del buen estado del mismo, pero se duda sobre la exactitud con la que realiza una medición. De presentarse algún inconveniente en el normal funcionamiento del equipo, deberá realizarse el respectivo mantenimiento incluyendo un chequeo más minucioso (conexiones, elementos internos), con el propósito de detectar y corregir las posibles fallas.

3.2. Errores de los instrumentos.

Un instrumento representativo, se considera que está bien calibrado cuando en todos los puntos de su campo de medida, la diferencia entre el valor real de la variable y el valor indicado, registrado o transmitido, está comprendida entre los límites determinados por la precisión del instrumento (2).

En un instrumento ideal (sin error), la relación entre los valores reales de la variable comprendidos dentro del campo de medida, y los valores de lectura del aparato, es lineal. En la figura 3.1a. puede verse esta relación³.

En condiciones de funcionamiento estático, las desviaciones respecto a la relación lineal indicada, dan lugar a los errores de calibración de los instrumentos, suponiendo que estas desviaciones no superan la exactitud dada por el fabricante del instrumento ya que en este caso consideraríamos el instrumento calibrado aunque no coincidiera exactamente la curva variable-lectura con la recta ideal.

³ En particular, si el instrumento es un transmisor neumático, cuando el índice adopta las posiciones 0, 50, 100 % de la escala, las señales de salida correspondientes son: 3, 9 y 15 psi respectivamente. Si el instrumento fuera electrónico, las señales de salida serían: 4, 12 y 20 mA c.c., respectivamente.

Las desviaciones de la curva variable real-lectura de un instrumento típico, tal como el de la figura 3.1b, con relación a la recta ideal representan los errores de medida del aparato. Esta curva puede descomponerse en tres de los diferentes tipos de errores que pueden encontrarse aislados o combinados en el instrumento.

3.2.1. Error de cero

Todas las lecturas están desplazadas un mismo valor con relación a la recta representativa del instrumento. Este tipo de error puede verse en la figura 3.1c, en la que se observará que el desplazamiento puede ser positivo o negativo. El punto de partida o de la base de la recta representativa cambia sin que varíe la inclinación o la forma de la curva.

3.2.2. Error de multiplicación

Todas las lecturas aumentan o disminuyen progresivamente con relación a la recta representativa, como se ve en la figura 3.1d, en la que se observará que el punto base no cambia y que la desviación progresiva puede ser positiva o negativa.

3.2.3. Error de angularidad

La curva real coincide con los puntos 0 y 100 % de la recta representativa, pero se aparta de la misma en los restantes.

En la figura 3.1e puede verse un error de este tipo. El máximo de la desviación suele estar hacia la mitad de la escala.

Los instrumentos pueden ajustarse para corregir estos errores, aunque algunos instrumentos, no poseen el error de angularidad (2).

En general, el error de cero se corrige con el control (tornillo) de cero, que modifica directamente la posición del índice o de la pluma de registro cambiando la curva variable-lectura paralelamente a sí misma, o bien sacando el índice y fijándolo al eje de lectura en otra posición.

El error de multiplicación se corrige con el control (tornillo) de multiplicación (span) que modifica directamente la relación de amplitud de movimientos de la variable al índice o a la pluma, es decir, que aumenta o disminuye progresivamente las lecturas sobre la escala.

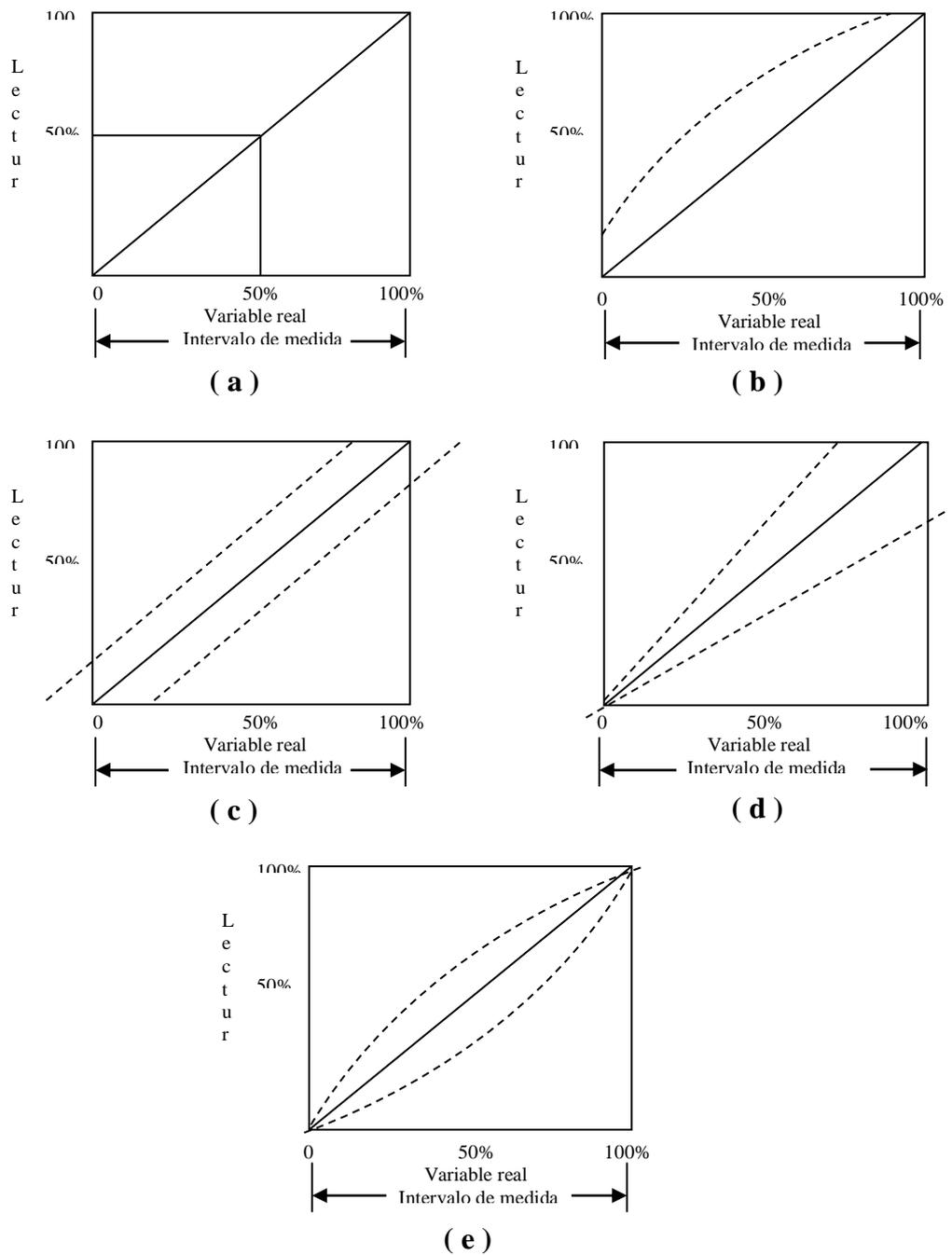


Fig. 3.1

ERRORES DE LOS INSTRUMENTOS

(a) Relación de calibración, (b) Relación medida real – lectura en un instrumento descalibrado, (c) Error de cero, (d) Error de multiplicación, (e) Error de angularidad

En cuanto al error de angularidad, es debido fundamentalmente a la transmisión por palancas del movimiento del elemento primario o de la variable medida al índice de lectura o de registro (2). Los instrumentos con lectura digital no presentan este error.

3.3. Procedimiento general de calibración.

El procedimiento general para calibrar un instrumento es el siguiente:

1. Situar la variable en el valor mínimo del campo de medida, y en este valor ajustar el control de cero del instrumento hasta que la señal de salida coincida con el punto de base.
2. Colocar la variable en el valor máximo del campo de medida, y en este valor ajustar el control de multiplicación (span) hasta que la señal de salida coincida con el valor máximo de la variable.
3. Repetir los pasos 1 y 2 sucesivamente, hasta que las lecturas sean correctas en los valores mínimo y máximo.
4. Colocar la variable en cincuenta por ciento del intervalo de medida, y en este punto ajustar el control de angularidad hasta

mover la señal de salida cinco veces el valor del error en la dirección del mismo (la curva se aplana).

5. Reajustar sucesivamente el control de cero y el de span, hasta conseguir la exactitud deseada o requerida. Si fuera necesario, realizar una nueva corrección de angularidad.

Si el instrumento es digital, el procedimiento general se limita a los tres primeros pasos.

3.4. Calibración del Analizador de CO

3.4.1. Generalidades

El Analizador de monóxido de carbono modelo 8830 es un medidor de precisión el cual debe ser calibrado frente a una fuente conocida de CO atribuida a los estándares NBS (4).

Antes de proceder a la calibración, se debe dejar establecido el cumplimiento de los siguientes aspectos:

1. Chequeo preliminar del estado del analizador (ver capítulo 2. Instalación y Operación).

2. Establecimiento de una confiable y estable fuente de calibración.
3. Selección del método adecuado.
4. Proveer una conexión satisfactoria entre la fuente de calibración y el analizador.
5. Calibrar el analizador frente a la fuente de calibración.

Una calibración ideal involucra la introducción de al menos cinco concentraciones conocidas incluyendo el cero y registrando la respuesta del analizador, especialmente si se tiene dudas sobre la linealidad del equipo. De no existir problemas en este aspecto, es suficiente el uso de dos concentraciones conocidas.

La calibración puede ser llevada a cabo cada vez que el analizador vaya a ser o haya sido largamente usado (programa de monitoreo), haya trabajado fuera de las condiciones requeridas, hayan sido manipulado

indiscriminadamente tanto interna como externamente, o cuando se piense que sus características han cambiado.

Se puede hacer la calibración cada tres meses hasta tener seguridad que se ha llegado a un nivel donde una menor frecuencia de calibración va a ser satisfactoria.

3.4.2. Métodos de calibración.

La selección del método a emplearse, dependerá exclusivamente de la disponibilidad de los elementos adicionales que requiere cada método para llevar a cabo la calibración. Existen dos métodos:

1. **Método de Dilución Dinámica.-** Este método usa un único cilindro estándar de CO certificado diluido hasta lo necesario con aire cero para obtener las diferentes concentraciones.
2. **Método de Múltiples cilindros.-** Este método usa un individual cilindro estándar de CO certificado para cada concentración requerida.

Los principales componentes y la típica configuración del sistema de calibración para cada uno de los métodos están indicados en las figuras 3.2 y 3.3.

3.4.3. Componentes del sistema de calibración.

Los elementos que se muestran a continuación se utilizarán dependiendo del sistema de calibración que se seleccione.

1. **Regulador de flujo.**- Dispositivo capaz de ajustar y regular un régimen de flujo. Para el método de dilución debe estar regulado a $\pm 1\%$.

2. **Medidor de flujo.**- Dispositivo calibrado y capaz de medir y monitorear regímenes de flujo superiores a 1 lpm. Para el método de dilución, el flujómetro debe medir con una exactitud de $\pm 2\%$.

3. **Regulador (es) de presión para cilindro(s) estándar.**- Este regulador debe tener diafragma y partes internas no reactivas, además de una apropiada liberación de presión.

4. **Cámara de mezcla.-** Equipo diseñado para proveer una adecuada mezcla de CO y aire diluidor para el método de dilución.

5. **Múltiple de salida.-** Debería ser del suficiente diámetro para garantizar una insignificante caída de presión cuando sea conectado a la entrada de la muestra en el analizador. El sistema debe tener un desahogo diseñado para asegurar presión atmosférica en el múltiple y para prevenir la entrada de aire ambiente.

6. **Concentración(es) estándar de CO.-** Cilindros de CO en aire conteniendo apropiada concentración(es) de CO conveniente para el rango de operación del analizador; El CO estándar puede estar contenido en una matriz de nitrógeno. El ensayo de los cilindros debe ser atribuible ya sea a un NBS para CO en aire SRM, o a un NBS/EPA aprobado y disponible comercialmente con CRM.

7. **Gas de dilución (Aire cero).-** Cilindro con aire libre de contaminantes, pues estos causarán una respuesta en el

analizador. El aire cero debería contener menos de 0.1 ppm CO.

3.4.4. Procedimiento de calibración usando el método de dilución dinámica

1. Ensamble el sistema de calibración tal como se indica en la figura 3.2. Todos los gases de calibración incluyendo el aire cero deben ser introducidos por la entrada de la muestra del analizador.
2. Asegurarse que los medidores de flujo están calibrados apropiadamente, bajo las condiciones de uso.
3. Conectar la señal de salida del analizador a la entrada del registrador. Todos los ajustes al analizador deberían estar basados en apropiadas lecturas del registrador.
4. Ajuste el sistema de calibración para entregar aire cero al múltiple de salida. El flujo total de aire debe exceder la demanda total del analizador conectado al múltiple para asegurarse de que aire ambiente no sea llevado al interior.

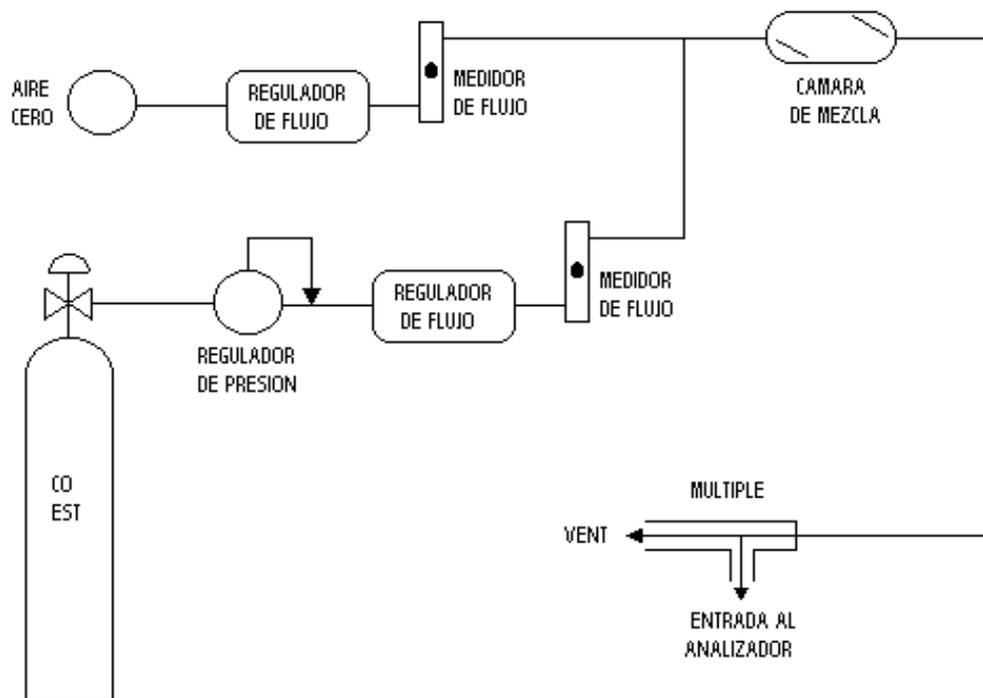


Fig. 3.2

ESQUEMA DEL SISTEMA DE CALIBRACION PARA EL METODO DE DILUCION DINAMICA

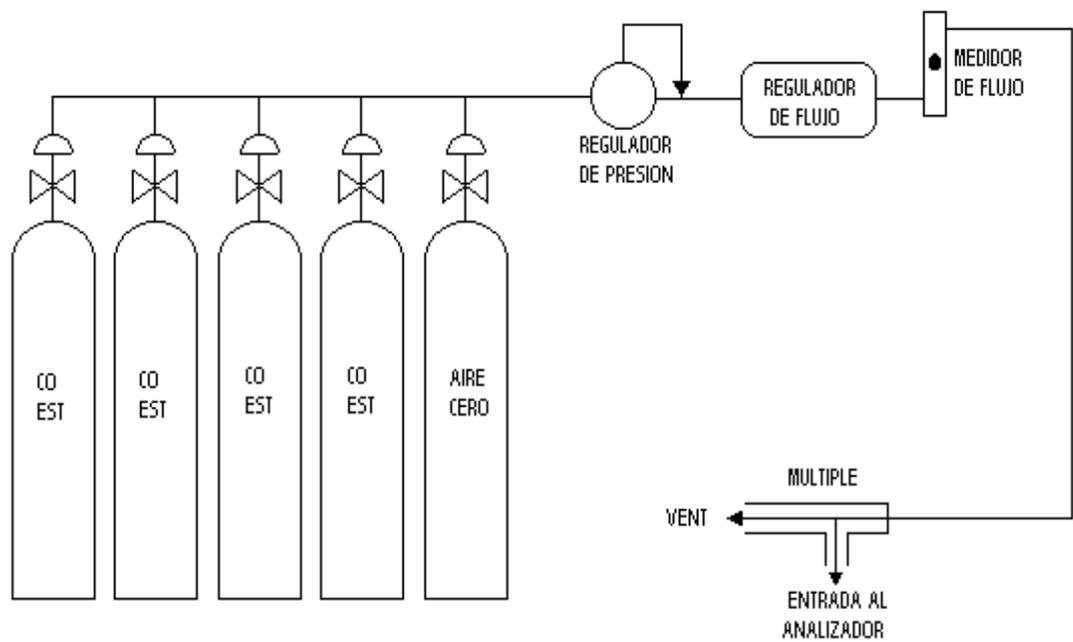


Fig. 3.3

ESQUEMA DEL SISTEMA DE CALIBRACION PARA EL METODO DE MULTIPLES CILINDROS

Mantenga el suministro de aire cero al analizador hasta que una respuesta estable sea obtenida. Luego, ajuste el control de cero. Se recomienda ajustar el cero del registrador a + 5% de la escala para facilitar la lectura de fluctuaciones negativas. Anote este valor como Zco.

5. Ajuste el flujo de aire cero y el flujo de CO a partir del cilindro estándar para proveer una concentración de CO de aproximadamente 80% del límite superior (URL) del rango de operación del analizador. El flujo total de aire debe exceder la demanda total del analizador. La concentración exacta de CO se la calcula así:

$$[\text{CO}]_{\text{OUT}} = \frac{[\text{CO}]_{\text{STD}} \times F_{\text{CO}}}{F_{\text{D}} + F_{\text{CO}}} \quad (1)$$

[CO]OUT = concentración diluida de CO en el múltiple de salida, ppm

[CO]STD = concentración estándar de CO, ppm;

FCO = flujo de CO estándar corregido a 25°C y 760 mm Hg, lt/min; y

FD = flujo de aire de dilución corregido a 25°C y 760 mm Hg, lt/min.

Se debe suministrar esta concentración hasta que una respuesta estable sea obtenida. Luego ajuste el control de span hasta obtener una respuesta del registrador como se indica a continuación:

$$\text{Respuesta Registrador} = \frac{[\text{CO}]_{\text{OUT}}}{\text{URL}} \times 100 + Z_{\text{co}} \quad (2)$$

(% escala)

donde,

URL = límite superior del rango nominal de operación del analizador, y

Zco = respuesta del analizador al aire cero, porcentaje de escala

Si se requiere un ajuste substancial del control de span, puede ser necesario volver a realizar ajustes de cero y span por repetición de los pasos 4 y 5. Registrar los valores de concentración de CO y las respuestas del analizador.

6. Generar varias concentraciones adicionales (al menos tres puntos igualmente espaciados dentro del rango de medición sí se desea verificar linealidad) por decrecimiento de FCO o incremento de FD. El flujo total debe exceder la

demanda del analizador. Para cada concentración generada, calcule la concentración exacta de CO usando la ecuación (1).

3.4.5. Procedimiento de calibración usando el método de múltiples cilindros.

1. Disponga un sistema de calibración como el de la figura 3.3.
2. El medidor de flujo no necesita ser cuidadosamente calibrado, debiendo únicamente asegurarse que el flujo en el múltiple de salida exceda la demanda de flujo del analizador.
3. Tanto el aire cero como las diferentes concentraciones de CO requeridas para realizar los ajustes de cero y span, se obtienen por la selección de los apropiados cilindros estándar certificados. Los ajustes de cero y span en el registrador se realiza de la misma manera que en el método anterior.

4. Registrar la concentración y la respuesta del analizador para cada cilindro usado. Grafique la curva de calibración.

Si se descubre, mientras se siguen estos procedimientos, que el rango de ajuste de los controles de cero y span en el panel frontal es insuficiente, debe realizarse un ajuste grueso con los controles de cero y span en el interior del analizador. (Capítulo 4. Ajuste de Controles Internos).

3.4.6. Realización de la calibración. Método y equipos seleccionados.

En nuestro caso, para poder llevar a cabo la calibración del analizador, fue necesaria la consideración de varios aspectos así como la ejecución de varios pasos.

Primero, se seleccionó el método de Múltiples Cilindros, puesto que al no contar con componente alguno para el ensamblaje de cualquiera de los métodos de calibración mostrados, representaba la alternativa más económica por requerir un número menor de elementos. Además se consideró que para fines de calibración y determinación de la linealidad del analizador, basta con el establecimiento de dos o

tres fuentes de concentración conocida (cilindros estándar), haciéndose innecesario el uso de una cámara de mezcla para generación de diversas concentraciones.

Es así como se planteó de necesidad de adquirir un cilindro de 50 ppm de CO y otro de 25 ppm de CO así como de los demás componentes necesarios para la aplicación del método seleccionado. El cero se lo establecería sobre la base de alguna fuente de aire "limpio".

Se decidió que la compra de los cilindros se la realizaría en Estados Unidos a la compañía "Scott Specialty Gases Inc.", luego de una búsqueda sin éxito en el mercado local y en Colombia.

El establecimiento de estos parámetros, condujo a la inmediata búsqueda del financiamiento necesario para la compra de los elementos, gastos de envío y trámites de desaduanización. En este aspecto, se consiguió la total colaboración del CEMA (Centro de Estudios del Medio Ambiente) y de su director, el Ingeniero Francisco Torres,

quién consideró de suma importancia la pronta rehabilitación de un equipo con las características del analizador de CO.

En la tabla VIII se muestra las características los elementos adquiridos, mientras que la tabla IX se presenta un desglose de todos los gastos que fueron cubiertos por el CEMA y que representan el costo de calibración del analizador de CO.

Una vez que se pudo contar con todos los componentes, se armó el sistema de calibración como se muestra en las figuras 3.4 y 3.5 siguiendo el esquema del método de múltiples cilindros.

Es importante señalar que al momento de iniciarse a la calibración, se presentó un problema, pues el analizador no respondía a los gases estándar que estaban siendo ingresados, por lo que se suspendió la calibración y procedió a un chequeo minucioso del equipo con el que se determinó la causa y la solución del problema (Capítulo 4. Ajustes Internos y Mantenimiento).

Superado el inconveniente, se reanudó la calibración.

TABLA VIII
CARACTERISTICAS DE LOS COMPONENTES DE CALIBRACION

ELEMENTO	CARACTERISTICAS
CILINDRO CON CO (50 ppm)	Concentración: 50.1 ppm +- 5% Tamaño: 5V Contenido de gas: 105 lt. Volumen interno: 1491 ml. Presión interna: 1025 psig.
CILINDRO CON CO (25 ppm)	Concentración: 25.0 ppm +- 5% Tamaño: 5V Contenido de gas: 105 lt. Volumen interno: 1491 ml. Presión interna: 1025 psig.
REGULADOR DE FLUJO	Modelo: 27A 1-ST Flujo regulado: 1.5 lt/min.
ROTAMETRO	Rango: 0 – 2.5 lt/min Exactitud: 2% Válvula de acero inoxidable
ACOPLE TIPO "T" *	DI: 1/4"
TUBO FLEXIBLE DE TEFLON	12 pies, 1/4"

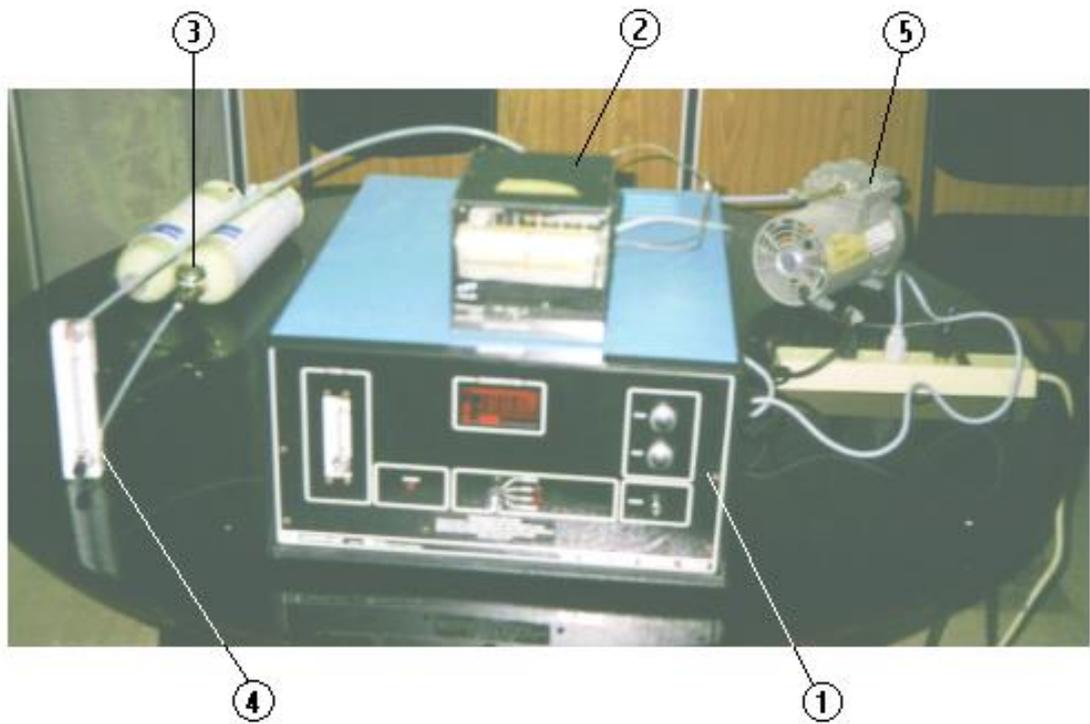
* Este acople hace la función del múltiple de salida.

TABLA IX

COSTOS DE CALIBRACION DEL ANALIZADOR DE CO

CONCEPTO	COSTO (\$)*
Compra de elementos (Scott Specialty Gases Inc. , E.E.U.U.)	
Cilindro de CO, 50 ppm	166.00
Cilindro de CO, 25 ppm	166.00
Regulador de flujo, rotámetro, "T" y tubo de teflón	75.00
Envío de elementos (Challenge Air Cargo Inc.)	250.00
Desaduanización	
Verificación (Verificadora Cotecna)	90.00
Liquidación Aduana (Dirección Nacional de Servicio de Aduanas)	126.00
Bodegaje, despacho, documentación y demás	66.00
TOTAL	939.00

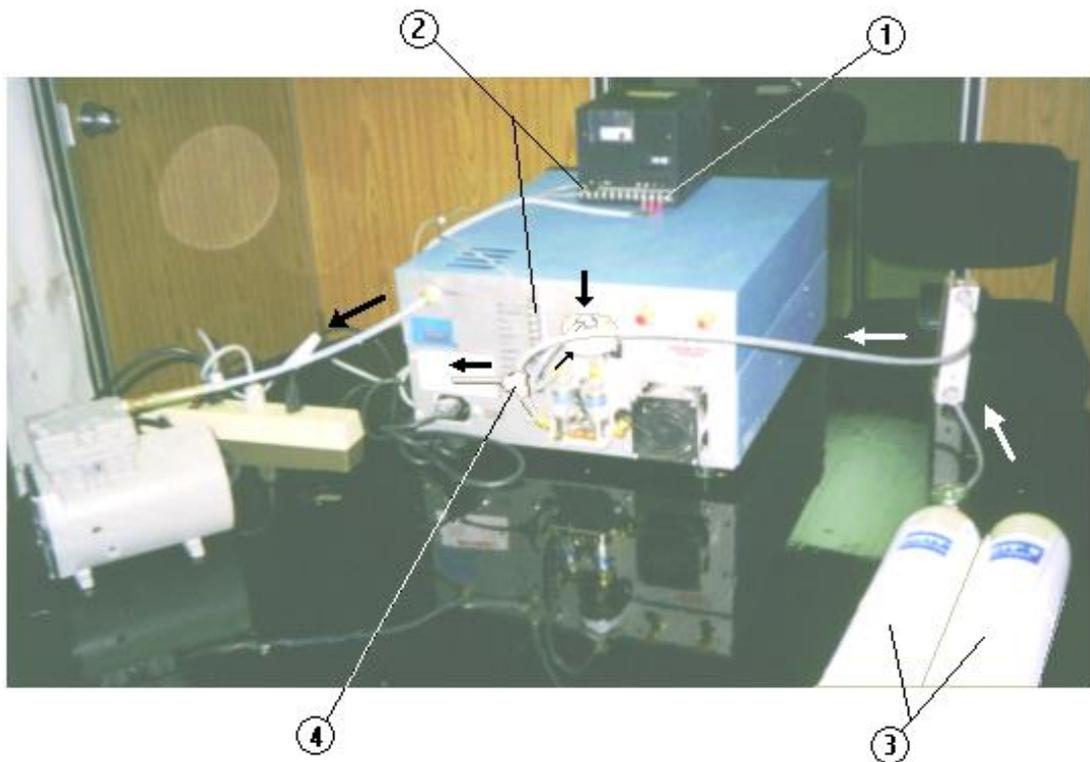
* Para la fecha en que se realizaron estos Trámites, el dólar tenía un valor de 4540 sucres.



1. Panel frontal. Controles e indicadores
2. Registrador de datos
3. Regulador de flujo
4. Rotámetro
5. Bomba extra

Fig. 3.4

**SISTEMA DE CALIBRACION IMPLEMENTADO. VISTA
FRONTAL**



1. Conexión Regulador – fuente de energía
2. Conexiones Regulador - analizador
3. Cilindros estándar (50 y 25 ppm)
4. Rotámetro

Fig. 3.5

SISTEMA DE CALIBRACION IMPLEMENTADO. VISTA POSTERIOR

3.4.7. Resultados de la calibración (registro de datos)

Una correcta calibración del analizador de CO, involucra el adecuado control y registro de los parámetros que entran en juego en este trabajo. La importancia de dicho control radica en que:

1. Permite verificar si un apropiado sistema de calibración se ha establecido.
2. Se puede comprobar si el analizador se encuentra operando dentro de especificaciones.
3. Se tiene control de la cantidad de gas estándar que se está utilizando durante la calibración. Recordemos que los cilindros empleados poseen 105 litros de gas, el mismo que al salir con un régimen de 1.5 lt/min, nos dan un tiempo máximo de uso de unos 70 minutos. A medida que el operador se vaya familiarizando con el procedimiento usado, irá reduciendo el tiempo de calibración y con eso se minimizarán las pérdidas de gas.
4. Permite graficar la curva de calibración.

La forma más práctica de realizar la toma de datos sería con el uso de una “Hoja de Calibración” que permita un rápido registro e interpretación de los mismos. La figura 3.6 presenta de hoja llenada durante la calibración del analizador. La hoja de calibración ha sido desarrollada en Microsoft Excel y basta con poner en la celda que corresponda los valores de los parámetros observados, para obtener inmediatamente la curva de calibración así como el error del instrumento y la cantidad de gas sobrante en los cilindros.

En la figura 3.7 se muestra la curva de calibración resultante.

En la hoja de calibración se puede observar que en al inicio el cilindro de 50 ppm tenía una presión interna de 900 psig. Esto se dio como resultado del consumo de gas durante el primer intento de calibración en el que se determinó que el analizador tenía un desperfecto⁴.

⁴ Es importante recordar que la cantidad de ajustes en los controles de cero o span que se realicen depende de la destreza del operario, pues se considera que el equipo está calibrado cuando en los puntos de análisis, el error entre el valor real del cilindro (CR) y el valor real indicado por el analizador (CL), sea menor o igual a su precisión.

HOJA DE CALIBRACION							
DAIOS GENERALES							
EQUIPO:	Analizador de CO modelo 8830	HORA INICIO:	19:00				
RANGO:	0 - 50 ppm	HORA FINALIZACION:	20:15				
PRECISION:	1% de la escala completa	TEMPERATURA:	25 C (20-30 C) Ideal				
METODO:	Múltiples cilindros	HUMEDAD:	(5-95 %) Ideal				
CILINDROS USADOS:	25 ppm y 50 ppm	P. ATMOSFERICA:	1 atm				
FECHA:	5 de abril de 1998						
LUGAR:	Oficina en las afueras con acondicionamiento de aire						
INFORMACION ADICIONAL:	Adicional a los cilindros indicados se ha tomado como referencia para el establecimiento del cero, el aire puro en el lugar de calibración (0.1-0.2 ppm)						
CALIBRACION							
SIMBOLOGIA							
PRESION INICIAL EN EL CILINDRO (psig)	PI						
PRESION FINAL EN EL CILINDRO (psig)	PF						
FLUJO A LA SALIDA DEL CILINDRO (lt/min)	Q1						
FLUJO EN EL ANALIZADOR (lt/min)	Q2						
CONCENTRACION REAL (cilindro) (ppm)	CR						
CONCENTRACION LEIDA (analizador) (ppm)	CL						
CONCENTRACION AJUSTADA (ppm)	CA						
TIEMPO DE LIBERACION DE GAS (min)	t						
ERROR ENTRE EL VALOR AJUSTADO Y EL IDEAL (%)	E						
TABLAS DE DATOS							
1.- (50ppm)		2.- (25ppm)		3.- (50ppm)		4.- (25ppm)	
PI	900	PI	1025	PI	820	PI	950
PF	820	PF	950	PF	750	PF	860
Q1	1.5	Q1	1.5	Q1	1.5	Q1	1.5
Q2	1	Q2	1	Q2	1	Q2	1
C	50.1	CR	25	CR	50.1	CR	25
CL	48	CL	27.4	CL	49.3	CL	23.8
CA	50	CA	25	CA	50	CA	25
t	7	t	7	t	7	t	8
E	4.2	E	4.8	E	1.6	E	2.4
5.- (50ppm)		6.- (25ppm)		7.- (50ppm)		8.- 25ppm)	
PI	750	PI	860	PI		PI	
PF	700	PF	780	PF		PF	
Q1	1.5	Q1	1.5	Q1		Q1	
Q2	1	Q2	1	Q2		Q2	
CR	50.1	CR	25	CR		CR	
CL	50.6	CL	25.4	CL		CL	
CA		CA		CA		CA	
t	4	t	7	t		t	
E	1	E	0.8	E	0	E	0
CONTENIDO DE LOS CILINDROS				CURVA DE CALIBRACION			
Vi = Volumen inicial = 105 lt				CERO →			
Vf = Volumen final = Vi -SUM(Q1xt)				SPAN →			
Q1= flujo a la salida del cilindro = 1.5 lt/min				SPAN →			
CILINDRO DE 25 PPI	Vf =	72 lt		CR	CL	E	
CILINDRO DE 50 PPI	Vf =	67.5 lt		0	0.300398	0.60079681	
				25	25.4	1	
				50.1	50.6	0.8	
				EQUACION			
				CL =	1.003984	CR +	0.30039841

Fig. 3.6

RESULTADOS DE LA CALIBRACION. HOJA DE CALIBRACION

CURVA DE CALIBRACION

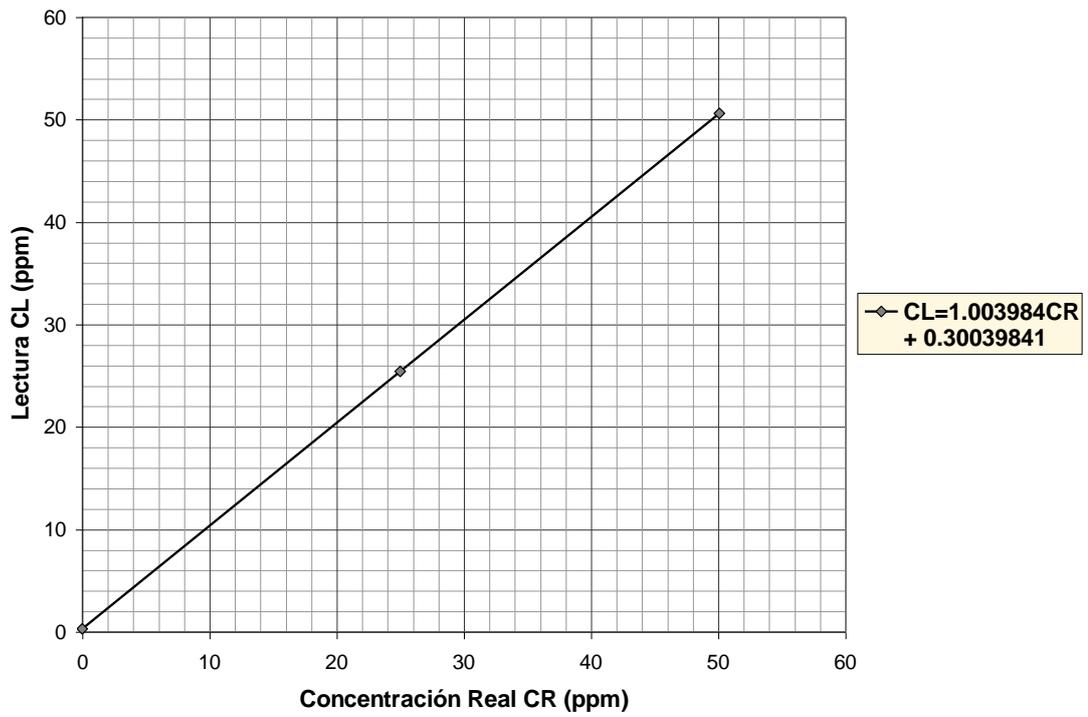


Fig. 3.7

CURVA DE CALIBRACION RESULTANTE

Capítulo 4

4. REHABILITACION , AJUSTES INTERNOS Y MANTENIMIENTO

4.1. Introducción

Este capítulo contiene la descripción de los problemas de funcionamiento del analizador de CO encontrados previo a su calibración, así como los procedimientos llevados a cabo para su solución los cuales involucran una serie de ajustes de controles necesarios para mantener condiciones de operación óptimas.

Adicionalmente, se presenta una información para un mantenimiento periódico, el mismo que hará que el analizador permanezca libre de problemas, además de una guía de diagnóstico para la corrección de anomalías que podrían ocurrir.

4.2. Rehabilitación

La tabla X muestra los voltajes de referencia de la fuente de poder DCy de suministro de la fuente RI así como los respectivos puntos de prueba utilizados para polarizar y alimentar los diferentes circuitos integrados vitales para el buen funcionamiento del equipo. Luego de de una completa revisión, se encontró que entre los puntos TP2 (-15 v) y el punto TP5 (tierra), existía una diferencia de potencial de 0 voltios, mientras que el voltaje de la fuente debió ser $-15v \pm 0.75$. En los restantes puntos, los valores se encontraban dentro de los parámetros adecuados .

Existían dos posibilidades, que la fuente de voltaje se encuentre averiada, o que algún elemento de las tarjetas electrónicas se encuentre en corto circuito. Aislando una por una las tarjetas, se determinó que el problema se localizaba en la tarjeta de señal.

Una vez identificado el problema se probó uno a uno los elementos encontrándose un capacitor cuya función es la de mejorar el voltaje de polarización de un amplificador operacional (OPAMP) en corto circuito. Al sustituir este capacitor ($6.8 \mu f ; 35 v$) por uno adquirido en el mercado y al volver a realizar el chequeo, se obtuvo los valores

esperados. El equipo quedó en óptimas condiciones para ser calibrado posteriormente.

4.3 Ajuste de Controles Internos

Un ajuste en los controles internos permite ubicar los diferentes parámetros en sus valores óptimos. Esto nos asegurará que el instrumento sea lo menos ruidoso, susceptible a vibraciones mecánicas, y propenso a tener una mala función de circuito, etc (4).

En la figura 4.1, se muestra la localización de los Controles de ajuste, mientras que la tabla XI muestra un compendio de Ajustes Internos que pueden realizarse.

4.3.1. Ajuste de Fuente RI

Debe ajustarse el control R9 de la fuente RI para $5 \pm 0.1V$ en los terminales de suministro. En la figura 4.1 se indica la fuente de suministro de RI.

4.3.2. Control de Temperatura

Debe identificarse la tarjeta de suministro de poder principal en la figura 4.2 además de encontrar el indicador de neón y el conector J7 (Control de Resistencia).

TABLA X

VOLTAJES DE SUMINISTRO DE PODER DC Y DE FUENTE RI

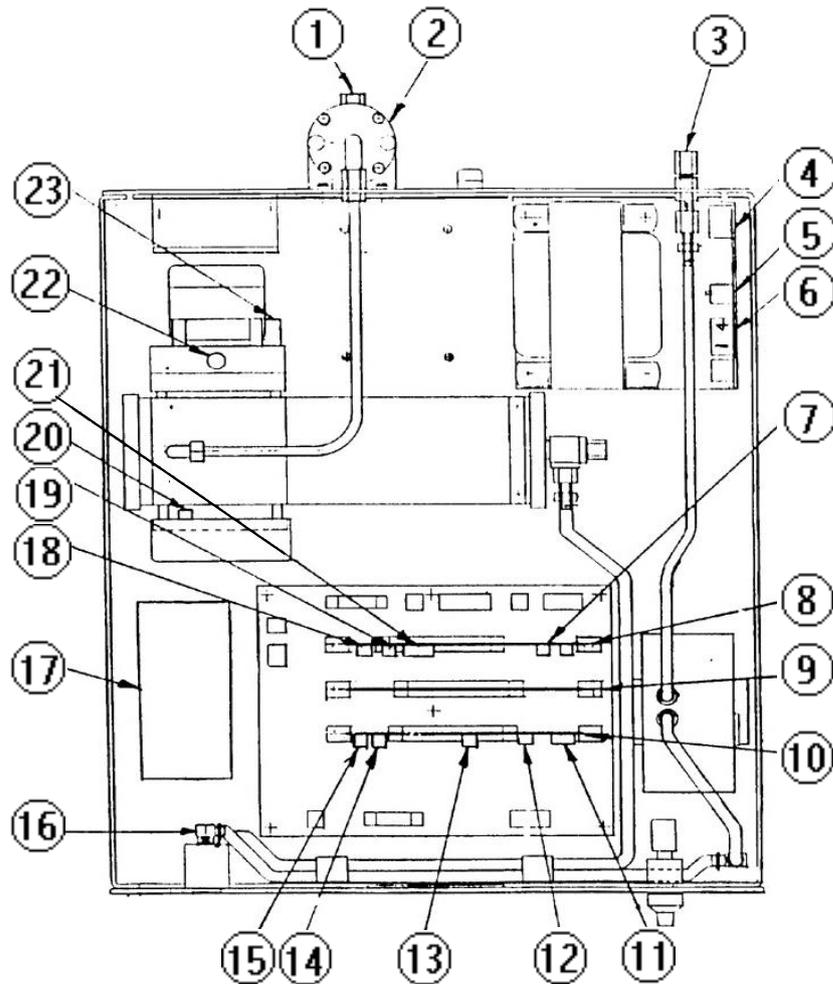
SUMINISTRO	PUNTOS DE PRUEBA		RESPUESTA
	(-)	(+)	
+5	TP2	TP1	+5 \pm 0.25
+15	TP2	TP3	+15 \pm 0.75
-15	TP2	TP5	-15 \pm 0.75
+5	Fuente (-)	Fuente (+)	4.9 A 5.1

Tomada del manual de información suministrado con el analizador

TABLA XI
AJUSTE DE CONTROLES INTERNOS

CONTROL	AJUSTE	FUNCION
Tarjeta de Señal		
R1	2 V @ TP2	Regulación de salida del pre-amplificador
R2	Lectura Span (Potenciómetro en 5.0)	Ajuste grueso de span
R7	Lectura Cero (Potenciómetro en 5.0)	Ajuste grueso de cero
R7	0 V @ TP9	
R8	0 V @ TP10	Desviación DC
Tarjeta Linealizadora		
R3	0 V @ TP4	Ajuste cero del registrador
R5	+6 V @ R4,R5	Punto de referencia
R8	+11 V @ TP4	Ajuste span del registrador
Fuente de Suministro		
R9	+5 V @ Terminales de suministro	Intensidad de fuente RI
Suministro de Poder DC		
R6	Resistencia correcta Desde J7-1 a J7-2	Control de temperatura

Tomada del manual de información suministrado con el analizador



- | | |
|-----------------------------------|-------------------------------------|
| 1. Ingreso de gas | 13. Punto de referencia |
| 2. Filtro | 14. Cero del registrador |
| 3. Salida de gas | 15. Compensación de cero |
| 4. Tarjeta de suministro de poder | 16. Control de flujo |
| 5. Ajuste de temperatura | 17. Fuente de suministro de RI |
| 6. Sensor termistor J7-1/J7-2 | 18. Nivel de pre-amplificación (R1) |
| 7. Ajuste grueso de Cero (R7) | 19. Ajuste grueso de span |
| 8. Tarjeta de señal | 20. LED del pre-amplificador |
| 9. Tarjeta lógica | 21. Interruptor de prueba |
| 10. Tarjeta linealizadora | 22. Fuente RI |
| 11. Interruptor de prueba | 23. Sincronización |
| 12. Span del registrador (R8) | (Interruptor óptico) |

Fig. 4.1

LOCALIZACION DE LOS CONTROLES DE AJUSTE INTERNOS

Controle la temperatura usando el sensor incorporado como sigue:

1. Encienda en analizador y espere aproximadamente 15 minutos por el ciclo encendido/apagado del indicador de neón.
2. Apague el analizador y desconecte J7
3. Dentro de 10 segundos de apagado, mida la resistencia entre J7-1 y J7-2. El valor debe ser 5.13 k ohms aproximadamente. Ajuste R6 en el sentido de las manecillas del reloj para disminuir el valor la resistencia, cerca de 250 ohms por vuelta.
4. Conecte J7.

4.3.3. Ajuste del Control de la tarjeta de Señal

Este procedimiento ajusta la señal desde el pre-amplificador a un valor el cual permita al circuito AGC la máxima corrección de ganancia y centrar los controles de panel Frontal. Después del ajuste, los controles de cero y span deberán estar cerca

del valor 5.0 tanto para concentraciones de 0 ppm como del span seleccionado. Ver las figuras 4.1 y 4.3 para localizar la tarjeta y sus controles de ajuste. El procedimiento del ajuste es el siguiente:

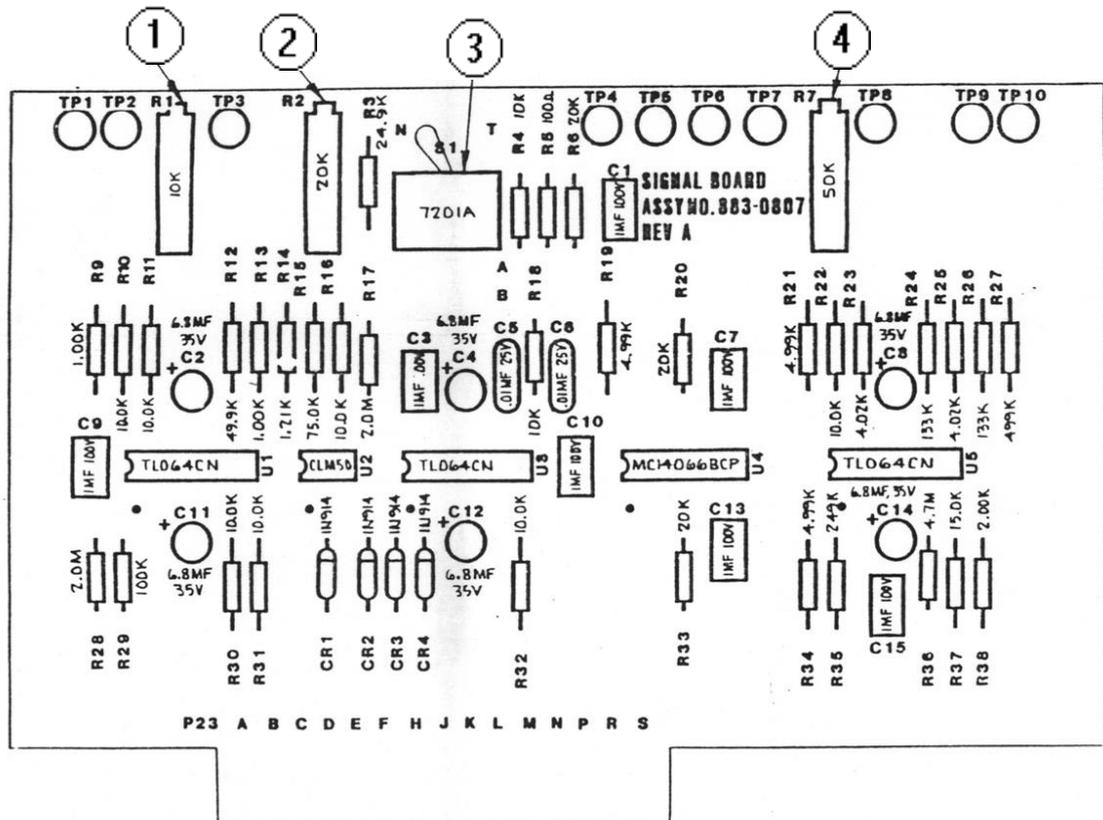
- 1.** Conecte la fuente de aire cero al analizador.
- 2.** Asegúrese que los interruptores de Prueba en las tarjetas de señal y linealizadora estén en la posición Normal (conmutado hacia el lado de la Fuente de RI o a la izquierda del analizador teniendo como referencia al panel frontal).
- 3.** Encienda el analizador y permita que funcione cerca de 30 minutos.
- 4.** Ajuste R1, el nivel del pre-amplificador, para 2 v pico a pico a TP1 (TP5 es tierra).
- 5.** Ubique el potenciómetro del panel Frontal en el valor de 5.0.

6. Ajuste R7 para una lectura en pantalla de 00.0 ± 0.2 (gire en el sentido de las manecillas del reloj para obtener lecturas mayores en el sentido positivo).
7. Conecte la fuente de 50 ppm a la entrada del analizador.
8. Ubique el potenciómetro de span del panel frontal en el valor de 5.0
9. Ajuste R2 para una lectura en pantalla de 50.0 ± 0.2 (gire en sentido de las manecillas del reloj para incrementar la lectura).

4.3.4. Ajuste de controles de la Tarjeta Linealizadora

Este procedimiento permitió ajustar la salida del cero, el voltaje de referencia y el span del registrador. Referirse a la figura 4.4 para localizar los ajustes. El procedimiento es el siguiente:

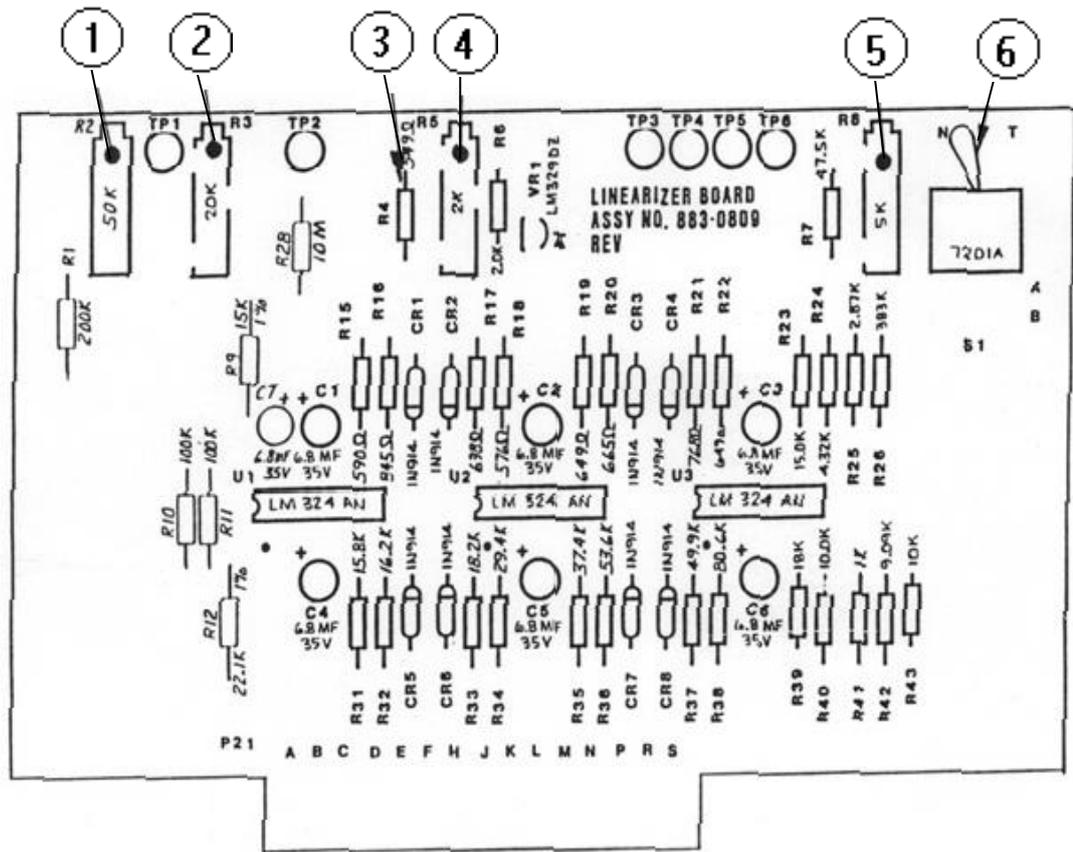
1. Encienda el analizador.
2. Coloque el interruptor en la posición de prueba.



1. Nivel de Pre- amplificador
2. Control de Span
3. Interruptor de Prueba
4. Control de Cero

Fig. 4.3

LOCALIZACION DE AJUSTES DE LA TARJETA DE SEÑAL



1. Compensación de Cero
2. Cero del Registrador
3. 6 v para punto de referencia
4. Ajuste de punto de referencia
5. Span del Registrador
6. Interruptor de Prueba

Fig 4.4

LOCALIZACION DE AJUSTES DE LA TARJETA LINEALIZADORA

3. Ajuste R3, cero del registrador, para ± 10 mv en TP4.
4. Regrese el interruptor a la posición Normal.
5. Ajuste R5, voltaje de referencia, para +6v en TP2. Fig 4.4.
6. Conecte la fuente de 50 ppm a la entrada del analizador.
7. Ajuste R8, span del registrador, al valor correspondiente a su escala completa. Este valor es de 11 v $\pm 3\%$ en TP4.

Luego de este ajuste, las lecturas del analizador pueden ser registradas en un rollo de papel semejante al de la figura 4.5 en la que también se indica la escala fijada.

4.3.5. Ajuste de Flujo

Este instrumento ha sido calibrado para trabajar con un Flujo nominal de 500 cc/min, lo cual concuerda con los requerimientos del método de referencia de la USEPA. Variaciones de este valor tienen efectos en el tiempo de respuesta del instrumento, así como en los niveles de consumo de los cilindros (en el caso de una calibración).

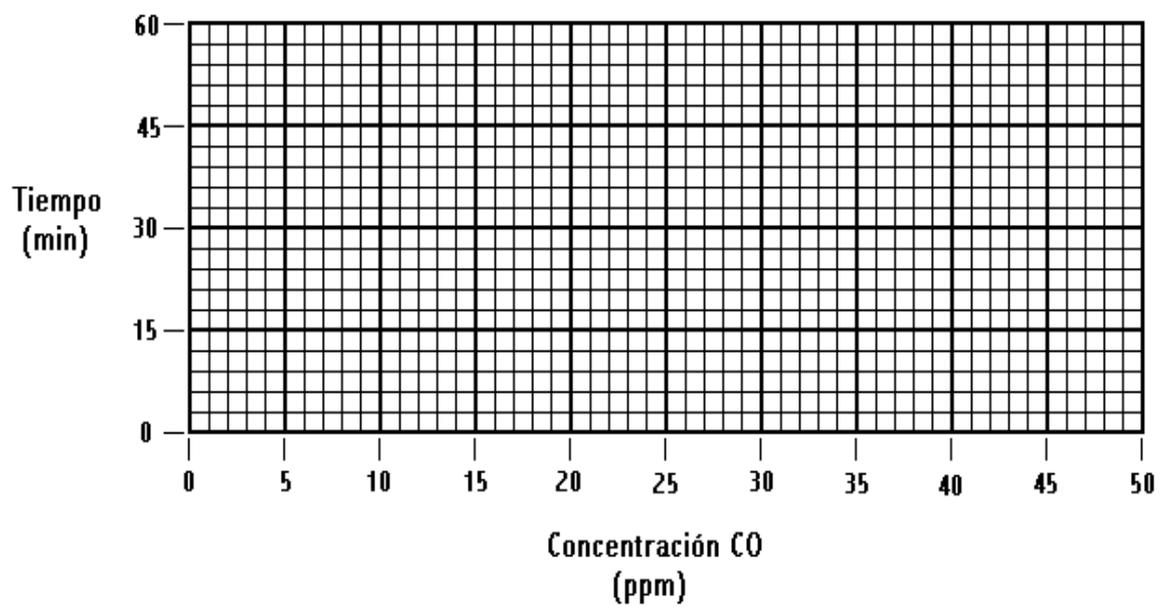


Fig. 4.5

ESCALA DEL REGISTRADOR DE DATOS

En la figura 4.1 se puede ver la ubicación de el tornillo de ajuste de flujo. Debe removerse la tapa del analizador para acceder a este control.

4.4. Mantenimiento periódico

El mantenimiento periódico consiste en evitar contaminación del sistema, el cual si no es prevenido, conducirá a lecturas ruidosas e inestables.

La acción de mantenimiento que más frecuentemente debe realizarse, es el chequeo del filtro de partículas. Un filtro sucio causará una caída de presión que hará que el analizador presente lecturas ruidosas y lecturas de bajo span. Adicionalmente, un filtro sucio puede admitir algo de esta suciedad a través de él, la cual contaminará los espejos en la celda de muestra⁵.

El filtro debería ser inicialmente chequeado una vez por semana. Un filtro sucio indicará una decoloración gris dentro del área circular bajo el O-ring.

⁵ Esta condición originaría un paulatino incremento en ruido y eventualmente requerirá que la celda de muestra sea regresada a la Fábrica para su limpieza.

Si esta decoloración no ocurre en el intervalo de una semana, los chequeos pueden hacerse en intervalos más largo hasta que el correcto intervalo se establezca para las condiciones locales.

Una inspección relacionada con el mantenimiento del filtro, es la medición absoluta de la intensidad de la fuente RI. Esta es una medida de la limpieza de la celda de muestra.

Ajustes de los controles internos deberían ser realizados ocasionalmente para compensar el envejecimiento de componentes. Los ajustes deben ser siempre realizados si un componente o una tarjeta PC es reemplazada.

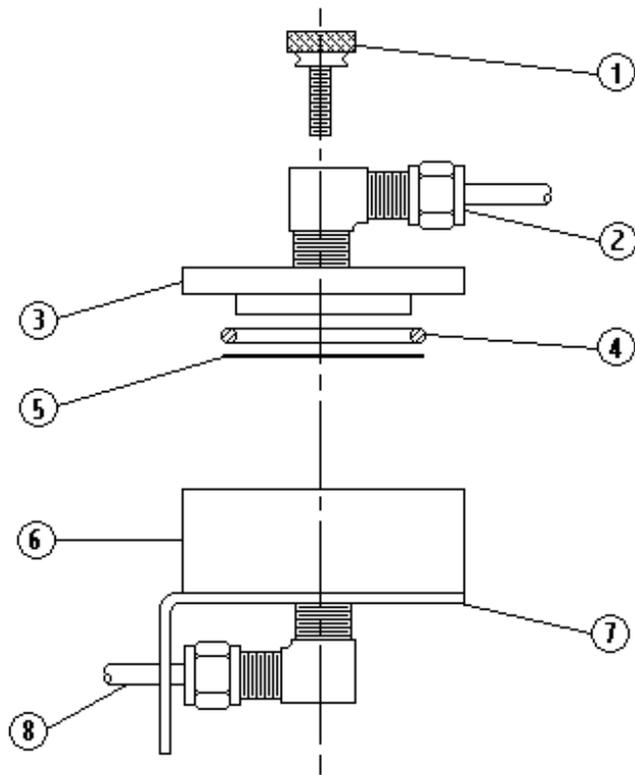
4.4.1. Limpieza del Filtro del Partículas

1. Remover los dos tornillos (de cabeza estriada) de la cubierta del filtro.
2. Levantar la tapa de la cubierta.
3. Remover cuidadosamente el O-ring y el elemento filtrador de la cubierta; cuidando de no dejar caer partículas dentro de la cubiertas. Dependiendo del estado que presente el elemento, soplelo o deséchelo.

4. Frote las superficies internas del soporte del filtro con un paño limpio. No raspar la superficie de Teflon. Remover alguna pelusa resultante.
5. En caso de reemplazo, coloque un nuevo filtro de teflón 5 μm . en la cubierta.
6. Examine el O-ring. Si está limpio y no presenta deterioro, lo puede volver a usar.
7. Coloque la tapa en la cubierta y asegure los tornillos hasta dejarlo completamente insertada. Ajuste los tornillos con la mano unicamente.

4.4.2. Limpieza de Líneas

Las líneas neumáticas (entrada de muestra y escape) se pueden limpiar removiéndolas y lavándolas con un algodón humedecido en metanol y exprimido completamente y secado soprándolo con aire cero (limpio).



1. Tornillo de cabeza estriada (2)
2. Ingreso al filtro (1/4" – Teflón)
3. Tapa
4. O-ring
5. Elemento filtrador (5 µm)
6. Cubierta
7. Soporte

Fig. 4.6

FILTRO DE PARTICULAS

4.4.3. Limpieza del Medidor de Flujo

Un acúñamiento del flotador esférico puede ser causado por electricidad estática o por la presencia de pequeñas partículas sólidas (tales como pelusas). Para desmontar y limpiar el medidor de flujo debe seguir los siguientes pasos:

- 1.** Apague el analizador, remueva la toma de fuerza y la tapa del equipo. Retire ambas líneas del medidor de Flujo (marque las líneas para su identificación posterior), y tápelas para evitar el ingreso de contaminantes.
- 2.** Remueva los tornillos de Fijación del medidor de Flujo y la ventanilla al panel frontal. Retire el medidor de flujo.
- 3.** Libere los tornillos de cabeza hueca en el tope del medidor de flujo y remueva el tubo completo con la esfera y los topes.
- 4.** Lave el tubo del medidor de Flujo con agua y detergente en ambas direcciones. Enjuáguelo en agua destilada y después en alcohol isopropílico. Séquelo con aire seco.

5. De igual forma, lave con abundante agua los múltiples superior e inferior del medidor.
6. Vuelva a colocar el tubo en el medidor, con la escala hacia el Frente y centrado en arandelas de goma de los extremos.
7. Ajuste suavemente los tornillos de cabeza hueca en el múltiple superior hasta que queden correctamente asentado.
8. Reinstale el medidor de Flujo y la ventanilla detrás del panel Frontal y reconecte los acoples de las líneas.

4.4.4. Medición de la Intensidad de RI

La intensidad de la Fuente RI puede ser medida colocando los dos interruptores de prueba de las tarjetas de señal y linealizadora en la posición de PRUEBA la cual es hacia la bomba o a la derecha del analizador teniendo como referencia el panel frontal (4). El Interruptor de Prueba en la tarjeta de señal selecciona la señal de referencia sin control automático de ganancia (AGC).

Esta señal es una medida directa de la intensidad de la fuente RI independiente del CO en la celda de muestra. El Interruptor de PRUEBA en la tarjeta linealizadora conduce esta señal directamente a el medidor del panel frontal.

Una baja lectura de la intensidad significa que el potenciómetro en la tarjeta señal, que controla el nivel de la señal desde el pre-amplificado, necesita ser ajustado. Si la señal de la intensidad RI continua débil después de ajustar el potenciómetro tanto como se pueda, siguiendo los pasos que se mostrarán posteriormente, debe consultarse la sección de Diagnóstico de Fallas.

Chequee la intensidad de la Fuente RI como sigue:

1. Encienda el analizador y permita que funcione durante 15 minutos.
2. Remueva la tapa del analizador y coloque los interruptores de prueba de las tarjetas de señal y linealizadora en la posición de PRUEBA.

3. Observe una lectura de 40 a 50 en el medidor del panel Frontal. Si la lectura es menor que 40, ajuste el control R1 de la tarjeta de señal para una lectura de 50. Si esta lectura no puede ser alcanzada, debe acudir a la sección de diagnóstico de fallas.

4. Coloque los interruptores de prueba de señal y linealización en la posición NORMAL.

4.4.5. Chequeo de Fugas

Una infiltración de aire ambiente al interior del instrumento diluirá el gas que está siendo medido y provocará una lectura inestable, por lo que debe hacerse chequeos de fugas periódicamente.

1. Debe observarse el medidor de flujo del panel Frontal. El flujo debería estar cerca de la mitad de la escala (500 cc/min).

2. Colocar el dedo tapando la entrada de gas en el panel posterior. La "esfera" del medidor debería caer a un flujo de cero sin oscilación en menos de 30 segundos.

4.5. Corrección de fallas

En el Apéndice A, se muestra una guía que tiene como propósito ofrecer soluciones a posibles fallas que podrían ocurrir en el analizador. En algunos casos, el problema puede ser rápidamente identificado, mientras otros pueden requerir más investigación antes de obtener conclusiones.

Capítulo 5

5. RECOMENDACIONES PARA LA ELABORACION DE UN PROGRAMA DE MONITOREO. PRUEBAS PRELIMINARES

5.1. *Generalidades*

En el presente capítulo, nos centraremos en delinear los aspectos más importantes que se deben tener en consideración para la elaboración de un programa de monitoreo de monóxido de carbono en general. Al mismo tiempo, aplicaremos dichos aspectos para dar la pauta en la ejecución de un programa de monitoreo de CO en la ciudad de Guayaquil.

Adicionalmente se plantea el uso de una hoja electrónica la cual facilitará el almacenamiento e interpretación de datos. Se incluyen varios ejemplos de aplicación.

5.2. Selección de objetivos

El desarrollo de un eficiente programa de monitoreo, depende del adecuado planteamiento de nuestras necesidades, es decir, radica en establecer claramente el o los objetivos de nuestro trabajo (7).

Algunos de ellos podrían ser:

1. Para juzgar el cumplimiento con los estándares de calidad de aire y evaluar estrategias de control.
2. Para establecer procedimientos de control de emergencia.
3. Para juzgar riesgos en la salud humana.
4. Para evaluar otros riesgos en el medio ambiente.
5. Para planificar un uso futuro de tierras.
6. Para validar modelos de dispersión.
7. Para investigar quejas o reclamos específicos.
8. Para llevar a cabo estudios o investigaciones iniciales.

5.3. Recopilación de información necesaria.

Uno de los primeros pasos en el diseño de un programa de monitoreo, es la obtención de información concerniente a las fuentes y sus emisiones en la región de estudio. Información referente al número de fuentes, su tipo, tamaño y localización pudiéndose además incluir datos de los tipos y cantidades de combustibles utilizados.

El tipo de información más importante sin duda alguna, es la referente a la salud y a la distribución demográfica. El conocer la distribución de la población dentro del área es particularmente necesario en donde el objetivo es evaluar los efectos de la exposición a estas emisiones por parte del hombre. Muy ligado a este aspecto estaría el referente la clasificación de las tierras usadas, es decir, identificando a cada lugar en el que se vaya a realizar el monitoreo como residencial, comercial, industrial, o mixto, teniendo en cuenta detalles como densidad habitacional o sitios con parques u otros espacios abiertos cerca.

La información meteorológica: Aporta con datos sobre condiciones climáticas en el área, dirección y velocidad del viento, variaciones de temperatura, cantidad de precipitaciones, horas de luz solar,

humedad relativa. Esta información se obtiene con ayuda de la instrumentación adecuada.

La información topográfica: Juega un rol importante en la selección de los sitios de monitoreo, puesto que la complejidad del terreno afecta la distribución de los contaminantes. Algunos elementos topográficos lo constituyen ríos, lagos, océanos, montañas.

En todo caso, al no haberse establecido todavía un programa de monitoreo, debe recurrirse a alguna información en cuanto a calidad de aire que ha sido colectada de forma esporádica por universidades, compañías consultoras, etc. Esto permitirá tener una primera estimación de la magnitud del problema.

En el caso específico de la ciudad de Guayaquil, según un estudio sobre la situación ambiental de la ciudad efectuado en 1997 por la consultora norteamericana Espey Huston & Associates, las zonas de mayor contaminación en la urbe son el km 16 de la vía a la costa, el sector industrial de Pascuales (km 16 de la vía a Daule), el centro de la ciudad y los alrededores de la Universidad Católica. El estudio establece que la mayor afectación ambiental de la ciudad proviene de los automotores, con 33405 ton. métricas de CO por año, 135 ton

correspondientes a las 540 industrias que existen, y 275 ton emitidas por plantas térmicas.

En otro estudio realizado por la ESPOL en el mismo año, se determinó que las concentraciones de CO eran menores a 1 ppm en el sur de la ciudad y menores a 5 ppm en el centro para un período de 8 horas. En este monitoreo se utilizó un dispositivo de medición por difusión denominado “Passive Dosimeter Tubes”.

5.4. Organización y Recursos

Son muchos los tipos de organizaciones que deberían ser responsables por un monitoreo de calidad de aire, entre ellos tenemos: ministerios de salud, agencias especializadas en estudios del medio ambiente, instituciones de carácter científico y/o educacional, municipios, agencias de planeamiento urbano, etc.

En todo caso, es una real necesidad la del grupo responsable, el involucrar otra u otras organizaciones en el planeamiento, diseño y operación del monitoreo, no solo por la información que se puede obtener en cuanto a emisiones, densidad y distribución poblacional, localización de fuentes de contaminantes, distribución del tráfico, etc, sino por la colaboración que puedan brindar en el financiamiento del

proyecto. Los gastos más importantes lo constituyen el mantenimiento de los equipos utilizados (calibración), transportación de dichos equipos y honorarios del personal encargado del monitoreo.

En la ciudad de Guayaquil, para el desarrollo del proyecto se podría contar con la ayuda del municipio, quien en algunas ocasiones se ha mostrado interesado en estudios de este tipo, de instituciones como el CEMA (Centro de Estudios de el Medio Ambiente), o de Universidades que pueden realizar dichos estudios considerándolos proyectos de graduación para sus estudiantes.

5.5. Consideraciones de diseño

Una vez que toda la información recopilada ha sido evaluada, se puede desarrollar la estructura básica del programa de monitoreo. Esto incluye:

1. Selección del Area de estudio.
2. Determinación del número y distribución de las estaciones.
3. Determinación de la frecuencia y duración del muestreo.

Estas decisiones dependerán de los objetivos planteados así como del tipo de información obtenida. Una vez alcanzada cierta experiencia con los años, se podrá mejorar el programa y así responder más exactamente a las necesidades para el cual fue establecido.

5.5.1. Selección del Area a ser estudiada

En la mayoría de los casos, las redes de monitoreo de aire deberían cubrir totalmente un entero complejo urbano. Las razones para estas son obvias; la contaminación del aire puede viajar por largas distancias y sus efectos pueden cubrir muchos kilómetros desde el punto de emisión, particularmente en casos donde las emisiones son descargadas de grandes chimeneas.

Ciertas características de una región urbana son importantes en la definición del área de estudio. Por ejemplo, altas cadenas de montañas o largos cuerpos de agua pueden servir efectivamente como fronteras del área. En casos donde un sistema de monitoreo debería proveer información acerca de las concentraciones de ambiente alrededor de un simple recurso, la selección del área de estudio depende

principalmente en la “ altura de la chimenea” y las condiciones topográficas y meteorológicas. Algunos de los sitios de prueba deberían ser localizados donde las concentraciones máximas del ambiente deban ser esperadas. En general, los máximos niveles de aumento de concentraciones deben ser esperadas a favor del viento desde el recurso a la distancia de 10 a 20 veces la altura de la fuente.

5.5.2. Número y distribución de las estaciones de monitoreo

El número de sitios de prueba dependen de:

1. El tamaño del área a ser cubierta por la red.
2. La variabilidad de concentraciones de contaminación, y
3. Los requerimientos de datos, que van relacionados con los objetivos de monitoreo.

La tabla XII presenta una guía general de el número de estaciones de monitoreo necesitadas para los contaminantes más comunes en áreas urbanas. El número de estaciones recomendadas está basada en experiencia ganada en algunas ciudades y debería ser considerada solamente como una guía.

Esto incluye un número de factores modificantes que resumen situaciones particulares donde el número recomendado debería ser incrementado o decrecido.

En cuanto a la distribución de un número dado de estaciones de monitoreo sobre una cierta área, puede básicamente ser de uno o dos tipos:

1. Una red geométrica en donde los puntos de prueba son localizados en la intersección de rejilla o entre cada rectángulo, o
2. Una más selectiva red que refiera a la elección de los sitios dentro de la región a ser observada, teniendo consideración la distribución de recursos, población, etc.

Redes geométricas han sido usadas en un número de países para una variedad de propósitos. En muchos casos cada una de las redes fueron parte de grandes estudios para determinar el número de estaciones requerida para caracterizar adecuadamente los niveles de contaminación del aire en un

área; otros están siendo usadas para hacer rutinas de mediciones de contaminación del aire (7).

Una mas selectiva red involucra la elección de más puntos de muestras representativas y que proporcionen un cuadro más detallado de niveles de contaminación de aire en las áreas más pobladas y contaminadas para lo cual se incrementará la densidad de la red en dichos puntos, con una concurrente reducción en las afueras donde la calidad del aire es generalmente mejor (7).

El número de estaciones de medición de calidad de aire que pueden ser instaladas generalmente no permitirán una completa resolución de modelos de contaminación ambiental para la región interesada. El uso de modelos de dispersión, como quiera, pueden proveer información adicional a través de interpolación.

La tabla XIII da un ejemplo de la distribución de la muestra ubicadas entre el centro de la ciudad o áreas industriales y áreas residenciales. En todo caso una distribución diferente puede ser adoptada puesto que el monóxido de carbono exige que casi todos los puntos de muestreo deben ser ubicados en áreas de tráfico de alta densidad, porque las concentraciones de este contaminante podría disminuir raídamente lejos de ellas.

Las estaciones móviles son más recomendadas que las fijas para aumentar substancialmente la información aprovechable desde las redes. Como quiera, debe tenerse un particular cuidado en la manipulación del equipo durante los cambios de ubicación para que su desempeño no se vea afectado. Una frecuente calibración podría solucionar este inconveniente.

Debe considerarse que la información de la distribución de contaminación proveniente de estaciones móviles está basada en muestras usualmente reunidas durante una pequeña fracción del año, por lo tanto se deberían tomar precauciones para asegurarse que las mediciones representan las condiciones de contaminación actual durante los períodos de muestras, y que ellas no son aplicadas a otros períodos del año.

5.5.3. Frecuencia y duración del muestreo

La duración de muestreo de un programa de monitoreo puede ser visto en tres escalas de tiempo; término corto, intermitente y permanente.

TABLA XII

NUMERO PROMEDIO DE ESTACIONES POR CONTAMINANTE

POBLACION URBANA (millones)	NUMERO DE ESTACIONES					
	Partículas Suspendidas	SO2	Nox	Oxidantes	CO	Velocidad y Dirección del viento
< 1.0	2	2	1	1	1	1
1.0 – 4.0	5	5	2	2	2	2
4.0 – 8.0	8	8	4	3	4	2
> 8.0	10	10	5	4	5	3

En ciudades con tráfico extremadamente pesado, el número de estaciones necesitaría ser duplicado

Tomada del “Diseño de programa de monitoreo de aire para áreas urbanas e industriales” de la Organización Mundial de la Salud.

TABLA XIII

GUIA PARA LA DISTRIBUCION DE LAS ESTACIONES DE MONITOREO

NUMERO TOTAL DE ESTACIONES	NUMERO DE ESTACIONES	
	CENTRO DE LA CIUDAD O AREAS INDUSTRIALES	AREAS RESIDENCIALES
1	1	0
2	1	1
3	2	1
4	2	2
5	3	2
8	5	3
10	6	4

Tomada del "Diseño de programa de monitoreo de aire para áreas urbanas e industriales" de la Organización Mundial de la Salud.

El monitoreo de término corto es normalmente llevado a cabo para propósitos especiales tales como una evaluación preliminar de niveles de contaminación anteriores para luego empezar un más extensivo esfuerzo en las observaciones. Una limitación de éste tipo de programa de monitoreo es que el dato obtenido puede no ser completamente representativo debido a las particulares condiciones de emisión o meteorológicas que pueden haber regido durante el período de muestreo.

El monitoreo intermitente (por ejemplo 1 mes por estación o 1 día dentro de 6) puede salvar costos, especialmente cuando equipos manuales son empleados. Si el registro del muestreo es demasiado largo (por ejemplo varios años) el dato puede ser muy provechoso para dirigir análisis y evaluación de estrategias de control.

El monitoreo permanente es usualmente llevado a cabo donde una acción de contaminación del aire ha sido determinada en base de alguna medición intermitente o de término corto. En la mayoría de los casos, una pequeña red de monitoreo será establecida inicialmente con vista a aumentar el número de

estaciones en el futuro en nuevas áreas urbanas e industrializadas.

Debe entenderse que con un monitoreo permanente (de término largo) dirigido al análisis de los datos es muy importante para permitir la institución de un necesario programa de control de contaminación de aire con su respectiva legislación y/o regulaciones. Es esencial que los sitios de mediciones sean los mismos por largos períodos de tiempo.

Respecto a la frecuencia del muestreo, dos factores juegan un papel dominante: La inherente variabilidad de la contaminación (depende de la hora del día, el día de la semana, la estación, etc.), y la precisión requerida del dato de calidad del aire, el cual está relacionado con el objetivo de la medición.

Las concentraciones de monóxido de carbono, por otro lado, muestran variaciones diurnas basadas primordialmente en los patrones de flujo y densidad de tráfico. Muchas diferencias en los niveles de contaminación ambiental están relacionadas a la fuente de emisión y a las variaciones meteorológicas.

Muestreos de fin de semana deben ser muy usados en evaluaciones de emisiones industriales, a medida que la mayoría de las fuentes industriales han cesado o disminuido

sus operaciones. Muestras de contaminación del aire durante el fin de semana pueden también dar muy buena información sobre los efectos del tráfico de automóviles sobre los niveles de contaminación.

Para determinar fluctuaciones de concentración de contaminante características, las muestras deben ser más frecuentes que la frecuencia de variación esperada. Por ejemplo, para medir la variación diurna, deben tomarse muestras cada hora.

Si las mediciones no son continuas las observaciones individuales deben ser uniformemente distribuidas a través del día, para conseguir un modelo representativo.

Si un promedio anual es computado a partir de los datos, entonces, es esencial que todas las porciones del año estén representadas igualmente. Como una regla general, se puede asumir que el programa de muestreo está adecuadamente balanceado si cada cuarto del año contiene no menos de 20 % del número total de observaciones hechas. La precisión del promedio asociado con varias frecuencias de muestreo ha sido

calculado teóricamente y determinado empíricamente en un número de ubicaciones a través del mundo. Obviamente la precisión disminuye con la frecuencia del muestreo. Por ejemplo si las muestras son reunidas día a día, la desviación del promedio anual es menor al $\pm 2\%$. El muestreo de sólo todos los doceavos días produce un valor dentro del $\pm 10\%$ del promedio obtenido con muestreos diarios.

Si el dato de la calidad de aire va a ser usado para compararlo con los valores estándar de calidad de aire, el período de muestreo debe estar relacionado al tiempo promedio de los estándares aplicados. Debe enfatizarse que diferentes tiempos promedios producen resultados que no son directamente comparables. La razón de esto es la fuerte influencia del tiempo promedio sobre la variación de una muestra y a través de esto sobre los valores máximo y percentil (7).

Apliquemos a la ciudad de Guayaquil las consideraciones de diseño explicadas.

Teniendo en cuenta que nuestra ciudad tiene poco más de tres millones de habitantes, la tabla XII nos recomienda el

establecimiento de dos estaciones para el caso de un monitoreo de CO. Pero, considerando el alto crecimiento demográfico y el hecho que dos estaciones son muy pocas para una ciudad en continuo crecimiento industrial como Guayaquil se optó por elegir cuatro estaciones. Si a todo esto se suma que tenemos un tráfico extremadamente pesado, la misma tabla nos recomienda el duplicar el número de estaciones, fijándolo finalmente en ocho.

Nos inclinaremos por establecer una red selectiva en lugar de una geométrica, puesto que la información de emisiones que poseemos nos induce a seleccionar puntos que nos proporcionen mayor información de los niveles de contaminación de aire en las áreas más pobladas y contaminadas.

Siguiendo lo señalado en la tabla XIII, de las ocho estaciones a ser seleccionadas, cinco deben ser ubicadas en el centro de la ciudad y áreas industriales, mientras que las tres restantes en áreas residenciales. De acuerdo a esto y a los resultados y experiencia en trabajos anteriores, las estaciones pueden estar ubicadas en :

1. Puerto Hondo (Km. 16 ½ vía a la costa).
2. Parque industrial de Pascuales (Km. 16 vía a Daule).
3. ESPOL, Campus Prosperina.
4. Universidad Católica.
5. Alborada, Centro Comercial “La Rotonda”.
6. Centro de la ciudad.
7. Base Naval Sur.
8. Planta Diario “El Universo”.

En cuanto a la frecuencia de las mediciones se deberá optar por un monitoreo intermitente en vista que ya se tienen evaluaciones preliminares (monitoreo de término corto). Esto permitirá eliminar o aumentar estaciones para así identificar las más críticas dando la pauta para el desarrollo de un programa de monitoreo permanente en el futuro.

Si consideramos que las emisiones de CO son mayores durante el día debido principalmente al flujo y densidad de tráfico y que para comparar nuestros datos con el valor estándar de calidad de aire el período de monitoreo debe ser de 8 horas, lo conveniente sería realizar las mediciones entre las 09H00 y las 17H00.

El equipo trabajaría tres días en cada estación de los cuales dos días son laborables y el otro es el Domingo (para notar la influencia del tráfico en los resultados).

Es de suma importancia para la obtención de un promedio anual que el 50 % de los datos sean recolectados durante la estación invernal y el otro 50 % en verano. Podría escogerse los meses de Enero o Febrero en invierno y Agosto o Septiembre en verano.

Pese a que el registrador de datos anexo al analizador nos proporciona una medición continua, para facilidad de análisis se podría considerar los datos obtenidos cada cinco minutos.

5.6. Criterios para la localización de las estaciones

La localización exacta de cada estación de monitoreo es un aspecto muy importante del desarrollo del proyecto pues una defectuosa elección pueden causar que los datos obtenidos sean de un muy limitado valor.

La localización para un monitoreo de calidad de aire puede satisfacerse de la siguiente manera:

1. El sitio debe ser representativo del área seleccionada en el diseño general.
2. La estación debe ser colocada y operada de tal forma que proporcione datos que puedan ser comparados con los de las otras estaciones dentro del proyecto.
3. Ciertos requerimientos físicos deben ser satisfechos en el sitio.

La última elección de cada lugar será un compromiso de optimización de estas consideraciones.

5.6.1. Representatividad

Una estación es representativa si los datos obtenidos, reflejan niveles de concentración y fluctuaciones de contaminantes del aire dentro del área dada. En la práctica, los lineamientos para esto son difíciles de especificar.

La estación debería estar localizada en un lugar donde son menos probables las interferencias con las inmediaciones, como:

1. Proximidades de fuentes de contaminación de aire. La distancia recomendada dependerá de la altura y fuerza de la emisión de las fuentes: la estación debería estar al menos 25 m de las chimeneas domésticas, especialmente si las chimeneas son más bajas que el punto de medición; con fuentes más grandes, la distancia debería ser mayor.
2. Superficies absorbentes (Follaje de árboles y materiales absorbentes de los edificios). La distancia permitida dependerá de las propiedades de los materiales para el contaminante en cuestión, pero normalmente es de mínimo 1m.

3. Areas donde reedificaciones o cambios substanciales en el uso de las tierras son previstos en un futuro cercano, especialmente si se planifica observaciones en largos períodos.

La medición de contaminación ambiental proveniente del tráfico de motores necesita atención especial por los pronunciados gradientes de concentración que son comunmente encontrados. Esto no necesita ser hecho en todas las estaciones de la red. Las más altas concentraciones son comunmente encontradas en las calles del centro de la ciudad, particularmente donde hay altos edificios a lo largo de ambos lados, limitando la ventilación natural. Si la calle es muy frecuentada por peatones, entonces es apropiado colocar una estación de medición cerca siempre y cuando se pueda encontrar un sitio adecuado.

5.6.2. Requerimientos para comparabilidad.

Para facilitar la comparación de los datos de calidad ambiental obtenido en diferentes sitios, los detalles de cada ubicación debe ser estandarizados tanto como sea posible.

Si los contaminantes originarios de fuentes estacionarias están siendo medidos, la toma del muestreo debe ser preferentemente a unos 3 o 4 metros por encima de la tierra y de 1 a 1.5 metros desde la superficie horizontal o vertical más cercana. Los otros lados deben permanecer despejados, lo que quiere decir que la toma no debe estar dentro de un espacio limitado (patios cerrados), en una esquina, debajo o sobre un balcón, etc.

Para mediciones de contaminación por tráfico, la toma del muestreo debe ser por arriba de los 3 metros del nivel de la calle y a una distancia horizontal de 1 metro desde el bordillo.

Cualquier desviación a partir de dichos requerimientos es crítica, y si ella tiene que ser hecha, debe ser aplicada a todas las estaciones dentro de la red. La altura de 3 m. es recomendada para evitar el re-arrastre de partículas desde la calle, para permitir el libre paso de caminantes y para proteger el equipo del vandalismo. Algunos instrumentos de medición, (de gran volumen) tienen que estar al aire libre y por prácticas razones frecuentemente son localizados sobre los techos de construcciones pequeñas.

Es bien conocido que los niveles de contaminación ambiental en una área urbana cambian de acuerdo al tipo de vecindario en la cual las mediciones son hechas. Por esta razón es provechoso proporcionar una descripción del entorno físico de cada lugar, pues puede ser usado cuando se están analizando los datos⁶.

5.6.3. Requerimientos físicos.

El lugar donde la estación estaría ubicada debe cumplir con la mayoría de estos requerimientos, dependiendo del tipo de instrumentos usado:

1. Debe estar disponible para largos períodos.
2. Debe preferiblemente ser accesible las 24 hrs. del día durante el año.

⁶ La descripción debe ser hecha de una forma especial, la cual además de la dirección del lugar, identifica si la estación está localizada en el centro o en el suburbio de la ciudad y si es un área industrial, residencial ó comercial.

Puede incluirse información adicional respecto al clima y topografía de la zona.

3. Debe contar con las fuentes eléctricas necesarias.
4. Debe disponer de guardianía.
5. Necesita estar protegida de temperaturas extremas, así como de la lluvia.

5.7. Almacenamiento de datos.

El correcto almacenamiento de datos, estará enmarcado en el cumplimiento de los siguientes aspectos:

1. **Recopilación de datos no evaluados:** Comprende los datos recogidos en el rollo de papel del registrador y otros datos útiles para un análisis posterior tales como velocidad de flujo, observaciones de condiciones climáticas, calibración de datos, observaciones de eventos excepcionales, recalibración con o sin el ajuste de los instrumentos apropiados o reubicación de las partes del equipo.
2. **Validación:** Rechazo de datos erróneos, corrección de datos de acuerdo a los resultados de la calibración o a condiciones normales y la propia coordinación con el tiempo de observación.

3. **Almacenamiento y análisis:** Consiste en ingresar la información en un programa de computador que permita procesarla con la aplicación de rutinas estadísticas para obtener los resultados que serán posteriormente analizados.

En nuestro caso, se ha utilizado una hoja electrónica (Excel) para desarrollar un formato de hoja en la cual basta con ingresar los datos de concentración registrados, temperatura ambiente, humedad relativa y presión atmosférica en cada estación, para obtener automáticamente valores corregidos (condiciones normales), promedios, comparaciones con las normas e inclusive información sobre los niveles de carboxihemoglobina en la sangre en función del tiempo de exposición a estas concentraciones. Con este último valor y la ayuda de las tablas II y III se puede determinar posibles efectos en la salud.

5.8 Presentación de resultados y pruebas preliminares.

La presentación de resultados debe permitir una clara interpretación de datos de acuerdo con el objetivo esencial de la red de muestreo. Es por esto que se ha considerado conveniente presentar todos los datos registrados y los resultados obtenidos en la misma hoja.

Adicionalmente, se genera un gráfico que facilita una visualización rápida de los niveles de concentración alcanzados.

Con la finalidad de verificar el perfecto estado del equipo, la gran utilidad del mismo y la valiosa ayuda que presta el uso de una hoja electrónica en el análisis de resultados, se realizó algunas pruebas, las mismas que se muestran en detalle en los apéndices del B al I.

Estas son:

1. Prueba # 1: Programa de monitoreo de CO / ESPOL / Campus Prosperina.
2. Prueba # 2: Niveles de concentración de CO en una habitación cerrada con fumadores.
3. Prueba # 3: Niveles de concentración de CO / Garaje semiabierto.
4. Prueba # 4: Niveles de concentración de CO a 1 m. de un fumador.

Los resultados de dichas pruebas se muestran en la Tabla XIV.

TABLA XIV

RESULTADOS DE PRUEBAS PRELIMINARES

# PRUEBA	CONCENTRACION DE CO (ppm)	TIEMPO DE EXPOSICION (horas)	% COHb
1	1.6467	8.00	0.3798
2	1.6467	2.20	0.1684
3	104.1604	0.33	1.7973
4	34.5124	0.25	0.5814
5	10.0495	8.00	1.7915

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Como uno de los aspectos más importantes durante el desarrollo de la tesis y que debe tenérselo muy en cuenta al momento de realizar algún proyecto de monitoreo, es el uso del método de calibración de Múltiples Cilindros por ser el más económico, siendo necesario únicamente, la adquisición en Estados Unidos de dos cilindros de concentración conocida, cada vez que se estime necesario realizar una calibración, y ya no se cuente con dichos gases.
2. Otra alternativa a la compra de estos cilindros, podría ser la de dialogar con alguna compañía especializada en gases en el Ecuador o en alguno de los países vecinos para ver la probabilidad de preparar una mezcla con las especificaciones de los gases necesarios en sus instalaciones. Esta opción podría ser útil en caso que se establezca un programa de monitoreo permanente, puesto que dichas compañías realizan este tipo de trabajos con volúmenes relativamente grandes.

3. Por otra parte, debemos hacer hincapié en la destreza del operador para la realización de la calibración, pues mientras menos tiempo se emplee, menos gas de calibración se desperdiciará. Lo importante es conseguir que el error entre el valor ajustado y el real sea menor o igual a la precisión del analizador (1%).
4. En nuestro caso, (Fig. 3.6 y 3.7), observamos que el analizador quedó calibrado en 3 pasos consiguiéndose errores de 0.8% y 1% para los cilindros de 25ppm y 50ppm respectivamente.
5. El cilindro de 25 ppm se lo utilizó por un total de 22 minutos que a un régimen de 1.5 lt/min representa 33 lt. de gas, es decir, el 31% del contenido total. Mientras para el cilindro de 50 ppm, el tiempo empleado fue de 25 minutos, consumiéndose el 35% del contenido total.
6. En tales circunstancias, podríamos decir que la capacidad de los cilindros, nos permitirían realizar 3 calibraciones completas, cosa que no es necesaria, puesto que luego de realizada la primera, cualquier ajuste se lo podría realizar en un solo paso de calibración. En todo caso, es importante resaltar lo útil del manejo de la Hoja de Calibración para una rápida interpretación de los resultados obtenidos.

7. Algo que va ligado con la calibración, es lo concerniente a la manipulación y mantenimiento del equipo. Si el analizador es cuidadosamente transportado, almacenado y operado dentro de las especificaciones señaladas. Se reducirá en gran medida la frecuencia de las calibraciones. De igual forma, si se realiza un mantenimiento periódico, se evitará obtener en ciertos casos lecturas erróneas que podrían hacer pensar que una calibración es necesaria.
8. En el caso de desarrollarse un programa de monitoreo, considero indispensable la presencia en todo momento de una persona involucrada en el programa que se encuentre familiarizada con el funcionamiento del equipo y que haga énfasis en el cumplimiento de los requerimientos físicos con los que debe contar la estación seleccionada.

En cuanto a los resultados de las pruebas preliminares son varias las conclusiones que podemos obtener.

9. En la prueba #1, realizada en el parqueadero de la FIMCP, se observó niveles de CO muy por debajo de los estándares establecidos por la EPA, sin embargo se nota un ligero incremento en la concentración entre las 09H00 y las 11H00, debido al aumento del flujo de vehículos que entran y salen del parqueadero. A medida que pasan las horas y el flujo de

vehículos disminuye, la concentración va decreciendo hasta obtener el valor más bajo del cierre del monitoreo (1.02 ppm).

10. Los niveles de carboxihemoglobina que se alcanzan luego de 8 horas de exposición a estas concentraciones (0.3798%), de acuerdo a la tabla 1.3, no presentará efectos aparentes en la salud.
11. En la prueba #2, los niveles de concentración de CO en una habitación cerrada con dos fumadores presentan dos etapas bien definidas. La primera es la que corresponde al período de emisión de 42 minutos en donde se alcanzó una concentración hasta de 3.30 ppm. Mientras que la segunda etapa es la de dilución, en la cual la ventilación proporcionada por el acondicionador de aire se encarga de eliminar todo el CO en aproximadamente 3 horas.
12. Si realizamos una extrapolación en el gráfico, nos damos cuenta que se rebasaría la norma para 8 horas de la EPA, si el período de emisión fuera de 2 horas.
13. Indudablemente, que los lugares en los que se encuentra los más altos valores de concentración de CO son los garajes. Esto nos lo confirma los resultados de la prueba #3, en donde observamos cómo los niveles pueden alcanzar tranquilamente los 130 ppm en un tiempo de emisión relativamente corto. Tan solo en 25 minutos de exposición, el nivel de

COHb llega a ser de 1.7973% pudiendo producir ciertos efectos sobre la conducta de la persona.

14. Una persona que se encuentre expuesta a estas concentraciones solamente por el lapso de 1 hora, alcanzaría niveles de COHb hasta de 4.4%, causando efectos sobre el sistema nervioso central, efectos en el discernimiento de los intervalos de tiempo, agudeza visual, y algunas otras funciones psicomotoras.
15. La situación se agrava más todavía si la persona se expone durante una jornada entera de 8 horas, puesto que el nivel de COHb puede llegar a ser del 16%, lo que producirá tensión en la frente y dilatación de los vasos sanguíneos.
16. Luego de este análisis, sería bueno prevenir a las personas que trabajan en estos lugares, de los problemas a los que están expuestos y sugerirles que periódicamente abandonen estos sitios y se dirijan a otros donde el aire este menos contaminado.
17. Por último, al analizar los resultados de la prueba #4, nos podemos dar cuenta que al estar a 1 metro de distancia de un fumador, el aire puede llegar a tener concentraciones de hasta 35 ppm, el cual no causaría efectos aparentes en períodos cortos como el de la prueba, pero de

prolongarse a 1 hora o más, estaría sobre la norma de calidad de aire para CO emitida por la EPA.

18. En este punto es importante recordar que el Análisis de los valores de concentración de CO, deben ser sometidos a corrección a condiciones normales (1atm, 25°C), de acuerdo al artículo 16 de las “Normas de Calidad de Aire y sus métodos de Medición”, establecidos en la Legislación Ambiental Ecuatoriana.
19. Debe quedar claro que las sugerencias para establecimiento de las estaciones se las han hecho sobre la base de una análisis de las áreas donde se presentan las mayores emisiones de CO, escogiendo locales o instituciones que en ocasiones anteriores han prestado facilidades para el desarrollo de este tipo de proyectos.
20. Refiriéndonos al establecimiento de futuros programas de monitoreo, estos deberían proyectarse como una actividad permanente, pese a que los primeros resultados revelen que el problema es todavía de poca importancia.
21. En todo caso, el desarrollo de un programa definitivo debe ser gradual, en lugares seleccionados, reduciendo a aumentando el número de estaciones con los años. A medida que se gane más experiencia en el

programa, éste responderá con más exactitud a las necesidades para las que fue establecida.

22. La importancia de un proyecto de monitoreo o control permanente, es que permitiría darnos cuenta de la tendencia del problema a lo largo del tiempo, mostrándonos el éxito o el fracaso de las medidas preventivas que se hayan tomado y en caso que los niveles se acerquen a los límites permisibles se podrá tomar medidas más severas.

En cuanto a las medidas inmediatas que podrían tomar los organismos del Estado, que legislan, controlan y brindan servicios, para prevenir un incremento de los niveles de contaminación, sería conveniente:

23. Evitar las aglomeraciones de empresas industriales con zonas residenciales cercanas. Además de poner énfasis en programas de reforestación y arborización de las ciudades.

24. Exigir que toda nueva industria potencialmente emisora, que se desee instalar, cuente con un permiso, en el cual se le exige la inclusión de medidas de control durante su etapa de instalación.

25. En vista de que cada ciudad presenta niveles de contaminación diferentes, los programas de reglamentación deben ser adaptadas a las condiciones de cada ciudad.

26. Por otro lado, si consideramos el incremento anual de vehículos en la ciudad, tarde o temprano estaremos alcanzando o sobrepasando los límites estándar de calidad de aire.
27. Recordemos que las grandes o pequeñas cantidades de CO que se puedan formar, dependen de la clase de mezcla aire-combustible, tipo de combustible, así como también de las condiciones de marcha que llevan los vehículos.
28. En este aspecto, la Comisión de Tránsito del Guayas, es la institución llamada a realizar una revisión de los vehículos que circulan en la ciudad, controlando los niveles de sus emisiones exigiendo el uso y buen estado de funcionamiento de los equipos de control de contaminantes que son requeridos en sus países de origen.
29. Los vehículos que no pasen la inspección deberían ser sacados de circulación hasta que se realice, por parte de su propietario, una regulación del motor, con el objeto de que se produzca una buena combustión.
30. Paralelamente al establecimiento de un programa de monitoreo permanente, debe emprenderse una campaña de concientización de los problemas que trae consigo la contaminación del aire en todos los niveles de educación a nivel nacional.

31. Como un complemento a esto, debe seguir apoyándose el desarrollo de la especialización en el Area de Medio Ambiente que actualmente se está dictando en la FIMCP de la ESPOL, y así a corto plazo contar con profesionales que presten sus servicios enfrentando los problemas de contaminación del aire en todo el país.

APENDICES

APENDICE A

GUIA PARA CORRECCION DE FALLAS

SINTOMA	POSIBLE CAUSA	FALLA/SOLUCION
No hay respuesta visual (Instrumento muerto)	Fuente AC	<ol style="list-style-type: none"> 1. Verifique que el cordón de alimentación este conectado. 2. Chequee el fusible de línea. 3. Verifique el suministro de corriente alterna a través de los pines 1 y 3 de TP1 en la fuente de energía. (graf. 883-0202/manual de operación) 4. Chequee un cable suelto en el conector de energía en el panel posterior. Anexo 1. 5. Interruptor de poder averiado.
No hay respuesta visual	Fuente DC	<ol style="list-style-type: none"> 1. Verifique el suministro de corriente directa de acuerdo a los votajes de la fuente DC en la tabla X. 2. Chequee conectores P4 y P14 en la tarjeta principal (graf. 883-0202 883-0801/manual de operación) 3. Chequee un cable suelto en el módulo de energía en el panel posterior.
No hay respuesta visual	Pantalla de lectura	<ol style="list-style-type: none"> 1. Chequee el cable de interconexión entre J16 en la tarjeta principal y la pantalla de lectura.
No hay respuesta visual	Mala conexión en el tablero de circuitos impresos.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Remover los tres tableros de circuitos impresos que conectan a la tarjeta principal. Inspeccione los dedos dorados y limpie ligeramente con un borrador si es necesario. Reinstale los tableros.
Indicador de fuente encendido	Cable suelto	<ol style="list-style-type: none"> 1. Chequee el conector Fuente J19 en la tarjeta principal. (graf. 883-00801/manual de operaciones) 2. Chequee el conector de suministro de fuente J18 en la tarjeta principal.
Indicador de fuente encendido	Fuente averiada	<ol style="list-style-type: none"> 1. Reemplazar la fuente.
No hay indicación de flujo de aire	La bomba ha fallado	<ol style="list-style-type: none"> 1. Verificar la presencia de 115 VAC en J8, en los pines P1 y P2 sobre el tablero abastecedor de energía. (graf. 883-0202/manual de operaciones) Tenga precaución. 2. Reemplace la bomba.

No hay flujo de aire	Válvula	1.Revisar la válvula en la parte superior del medidor de corriente. Debe estar abierta.
No hay flujo de aire	Filtro	1. Chequee posible filtro obstruido
Ruidos o lecturas inestables	Fugas	1.Una fuga diluiría el flujo de la muestra y causa lecturas de bajos intervalos. Variaciones en la fuga podrían causar ruido.
Ruido	Filtro de partículas	1. Un filtro obstruido causaría una caída de presión, lo cual varía la densidad de la muestra. Referirse a “Limpieza del filtro de partículas” para inspeccionar el teflón.
Ruido	Gobernador o control de detector de temperatura.	1. Una falla en el control de temperatura permitiría al zero del instrumento para variar con la temperatura del ambiente. Revisar para ver si la luz de neón está centelleando. Verificar que el LED del control de temperatura esté centelleando. Referirse a la figura 4.2. Ubicación de los ajustes de la fuente de poder .
Ruido	Cables flojos	1. Una conexión floja para el termistor de compensación de Span causaría variaciones en la duración de las lecturas. Revisar la conexión a J13 sobre la tarjeta principal. (graf. 883-0801/manual de operaciones). 2. Una conexión floja a la fuente RI o al abastecedor de la fuente RI provocaría que la intensidad de la fuente cambie demasiado rápido para el AGC la siga. Revisar las conexiones a J18 y J19 sobre la tarjeta principal. 3. Una conexión floja al detector de enfriamiento causaría cambios al detector de sensibilidad. Revisar el conector J31sobre la tarjeta principal. (graf. 883-0801/manual de operaciones).
Ruido	Modulo detector	1. Un capacitor en mal estado en el pre-amplificador puede originar una amplificación que al ser polarizada cierra sus abastecimiento de energía y detiene la radiación inflarroja detectada. Revise el pre-amplificador para corregir la polarización. 2. La alimentación de +90V lo cual polariza el detector puede convertirse en ruido debido a un diodo en mal estado o a un mal capacitor electrolítico. Revise la alimentación a +90V para ruido.

Ruido	Capacitor de motor flojo	1. El motor trabajará a 10 Hz o puede detenerse. El detector de ruido sube por arriba de tres veces a 10 Hz.
Ruido	Insuficiente Intensidad de RI	1. La baja intensidad RI causa cambios de señal al ser comparados con el detector de ruido. Ejecute las pruebas de intensidad RI. 2. Un disco de correlación sucio o un filtro RI podrían causar que la intensidad de la fuente disminuya. Limpie el disco de correlación y el filtro con alcohol. (graf. 883-0500/manual de operaciones). 3. Espejos sucios en las celdas de la muestra causarían que la intensidad de la fuente RI disminuya. Consulte con la fábrica o el taller para limpiar o alinear los espejos en las celdas a la muestra. No abra la celda. Esta contiene partes sensibles. 4. Un espejo desalineado causarían que la RI no haga contacto con el detector. Una alineación será requerida. Consulte con la fábrica o el taller para limpiar o alinear el banco.
Bajo Span	Potenciómetro del span en el Panel frontal	1. Ajuste usando el procedimiento de calibración del capítulo de calibración.
Bajo Span	Selección incorrecta del cable de puente del Span instalado.	1. El indicador visual se leería correctamente, pero la potencia de salida del registrador podría estar baja. Referirse a "Conexiones del registrador".
Bajo Span	Potenciómetro de Span del registrador mal ajustado	1. Ajuste el potenciómetro del linealizador R8 para un valor correcto del span. Referirse al procedimiento de "Control de ajuste de tarjeta linealizadora".
Bajo Span	No hay flujo	1. Referirse a la indicación de que no hay flujo de aire en esta tabla.
Bajo Span	Fugas	1. Una fuga diluiría el flujo de la muestra y causa lecturas de bajos intervalos. Variaciones en la fuga podrían causar ruido.
Bajo Span	Cables	1. Un cable de compensación de sapan flojo bajaría las lecturas en un 30 %. 2. Un cable del registrador recortado parcialmente causarían que la potencia de salida del registrador sea baja cuando las lecturas del panel frontal sean correctas.
Bajo Span	Error de fase	1. Tornillos de ajustes sueltos sobre el disco de correlación o el disco de tiempo podrían causar que los electrónicos al medir la

		intensidad RI lo hagan en el tiempo equicovado
Bajo Span	No AGC	<ol style="list-style-type: none"> 1. El interruptor de prueba está en la posición de prueba. Ponga el interruptor en la posición normal (alrededor de la bomba). 2. El AGC falló. Reemplace el AGC averiado o la tarjeta de señal.
Bajo Span	Fuente RI quemada	<ol style="list-style-type: none"> 1. Revise la luz de fuente sobre el panel frontal. Reemplácela si es necesario.
Bajo Span	Concentración de Co > 200ppm	<ol style="list-style-type: none"> 1. La máxima lectura del panel es 199.9 ppm
Lecturas fuera de rango en el medidor del panel o lecturas aleatorias.	No hay señal	<ol style="list-style-type: none"> 1. Revise la tarjeta de señal TP2 para la salida del pre-amplificador. Revise la tarjeta lógica TP4 para la salida del sincronizador. 2. Si no hay señal en el sincronizador, revise la tarjeta principal, J11 para +5V sobre el pin 2 y +3.5V sobre el pin 3. Revise el módulo del sincronizador. Reemplace el módulo del sincronizador si se requiere. 3. Revisar que el disco de tiempo gire libremente. 4. Si no hay señal en el pre-amplificador, revise la tarjeta principal, diagrama 883-0801, J10 para el pre-amplificador de energía. El "cooler Hi" debe estar cerca de +1V. 5. Revise el tablero pre-amplificador 883-0811 para +90VDC sobre R7. 6. Mando del disco de correlación. Si el disco de tiempo gira libremente como fue probado en el paso 3 arriba, entonces el disco de correlación giraría libremente hasta que ambos discos estén sobre el mismo eje. 7. Motor de sincronismo falló o el capacitor de arranque está suelto. Verificar que el disco de tiempo esté rotando cuando energía AC sea aplicada. Reconecte el capacitor de arranque o reemplace el motor si se requiere. 8. Espejos de la celda de la muestra está fuera de alineamiento. Esto es extremadamente difícil y pesado para probar

BIBLIOGRAFIA

1. COOPER C.DAVID, ALLEY F.C., Air Pollution Control a design approach, Waveland Press Inc., Second Edition, U.S.A., 1994.
2. CREUS SOLE ANTONIO, Instrumentación Industrial, Editorial Alfaomega Marcombo, España, 1993.
3. LODGE JAMES P. JR., Methods of Air Sampling and Analysis, Lewis Publishers Inc, Third Edition, U.S.A., 1988.
4. MONITOR LABS, A DIVISION OF LEAR SIEGLER MEASUREMENT CONTROLS CORPORATION, Model 8830 CO Analyzer Operation Manual, U.S.A, 1988.
5. WARK KENNETH, WARNER CECIL F, Contaminación del aire: Origen y Control, Editorial Limusa, Primera Edición, México, 1990.

6. WORLD HEALTH ORGANIZATION, Carbon Monoxide, Office of Publications WHO, Geneva, 1979.

7. WORLD HEALTH ORGANIZATION AND THE WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, Air monitoring programme design for Urban and Industrial Areas, Office of Publications WHO, Geneva, 1977.

