



196
24



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL
ELECTRONICO PARA UN MINITUNEL DE DILUCION PARA ANALIZAR
EMISIONES DE MOTORES A DIESEL**

TESIS
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
(AREA ELECTRICA Y ELECTRONICA)
PRESENTA:

ABIGAIL MARIA ELENA RAMIREZ MENDOZA

**DIRECTOR DE TESIS:
DR. ALEJANDRO F. ROMERO LOPEZ**

DEPARTAMENTO DE MECANICA, TERMICA Y FLUIDOS
INSTITUTO DE INGENIERIA
CIUDAD UNIVERSITARIA, MEXICO D.F. 1996

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Agradecimientos

Dedico este trabajo a mi mamá María Elena Mendoza, a mi abuelita Alfonsina García, a mi papá Mario Ramírez y a mi abuelo José Mendoza, quienes siempre me han brindado todo su cariño, apoyo, dedicación, conocimiento y experiencia, sin los que no hubiera sido posible culminar mis estudios profesionales.

Agradezco al Ing. Larry Escobar Salguero y al M.I. Lauro Santiago Cruz por su apoyo, orientación y conocimientos transmitidos.

Especialmente agradezco al Dr. Alejandro F. Romero López por su apoyo, asesoría, orientación y conocimientos brindados para la realización de este trabajo.

I N D I C E

CAPITULO I	INTRODUCCION
CAPITULO II	GENERALIDADES DE LOS CONTAMINANTES
CAPITULO III	ANTECEDENTES TEORICOS PARA LOS METODOS DE MEDICION
CAPITULO IV	DESCRIPCION DE LOS METODOS DE MEDICION
CAPITULO V	DISEÑO GENERAL DEL SISTEMA
CAPITULO VI	RESULTADOS Y CONCLUSIONES
CAPITULO VII	BIBLIOGRAFIA
APENDICE A:	HOJAS DE ESPECIFICACIONES DE LOS SENSORES DE GASES FIGARO
APENDICE B:	HOJAS DE ESPECIFICACIONES Y COTIZACIONES DE LOS ANALIZADORES DE GASES HORIBA INSTRUMENTS.
APENDICE C:	HOJAS DE ESPECIFICACIONES DE: LOS TRANSDUCTORES DE PRESION, FLUJO Y TEMPERATURA, Y DE LA BALANZA ANALITICA.

CAPITULO I

INTRODUCCION

La contaminación atmosférica producto de la actividad de la vida moderna, es uno de los más graves problemas en las grandes ciudades alrededor del mundo.

La contaminación atmosférica puede definirse como: "La presencia en el aire de uno o más contaminantes tales como partículas, gases, humos, olores o vapores, en concentraciones tales que mantenidas el tiempo suficiente pueden causar molestias a la vida humana, vegetal o animal, dañar la propiedad o interferir en la comodidad de la vida".

La vida actual, requiere del uso de cantidades desmedidas de combustibles, productos químicos, materiales de construcción, etc; los cuales durante su elaboración, transporte y aplicación, contaminan el ambiente, ya sea por escape directo a la atmósfera de esos mismos productos o por formación de sus derivados.

En los últimos años se ha visto la necesidad de preservar el equilibrio ecológico del planeta, por lo cual en los países de alta industrialización donde se agudiza este problema, se han promulgado leyes que tienden a controlar y a establecer límites para evitar el desprendimiento de cantidades nocivas de productos contaminantes al medio ambiente.

Las causas principales que producen la contaminación atmosférica son dos, una natural propia de los procesos físicos y químicos que ocurren en la tierra y otra artificial producida por los desperdicios de los procesos industriales y de las actividades humanas, que se dispersan o difunden en la atmósfera. Se pueden clasificar los contaminantes como de:

1) Primera importancia.- a todos aquellos que son tóxicos, peligrosos y venenosos, por ejemplo, el monóxido de carbono, el ozono, los óxidos de nitrógeno y el benceno. Y que llegan a producir efectos crónicos en el hombre como son: problemas respiratorios a largo plazo, bronquitis, enfisema, disminución del período de vida, entre otros; o efectos agudos que son a corto plazo, como el envenenamiento.

2) Segunda importancia.- aquellos que molestan o interfieren con la vida cotidiana y la felicidad del individuo, como los malos olores y el humo-niebla (smog). Estos producen angustia, temor, preocupación, inquietud, dolencias, pérdida del sueño debido a los olores, pérdida de la propia estima, pérdida en la paz mental e impiden una buena visibilidad.

Las emisiones producidas por el hombre y sus principales contaminantes son:

a) Fuentes estacionarias:

- Plantas de manufactura y refinera
- Plantas generadoras de energa
- Calentadores y estufas domsticos
- Motores de combustin
- Fbricas para la construccin y agricultura.

Contaminantes: xidos de nitrgeno y azufre, hidrocarburos, partculas de carb3n y polvo, entre otros.

b) Fuentes mviles:

- Autos
- Camiones de servicio pesado
- Autobuses
- Ferrocarriles
- Aeronaves

Contaminantes: monxido de carbono, xidos de nitrgeno y azufre, hidrocarburos y partculas de carb3n, entre otros.

La contaminacin se presenta cuando los volmenes de los contaminantes se acumulan, debido a que la velocidad de dispersin y difusin es menor que la de la aparicin de los mismos.

La atm3sfera es el medio propagador de las impurezas emitidas y para una fuente contaminadora de intensidad dada, los movimientos atmosf3ricos determinan la frecuencia, duracin y concentracin de los contaminantes a que estar3n expuestos los posibles receptores.

Los par3metros fundamentales del transporte de contaminantes en la atm3sfera son la velocidad y direccin del viento, que dependen a su vez de los gradientes de temperatura. Cuanto mayor sea la velocidad del viento, mayor ser3 la turbulencia y m3s r3pida y completa la dispersin de los contaminantes en la atm3sfera.

La atm3sfera de la Ciudad de M3xico y la de zonas aledaas est3 muy contaminada y este problema se agudiza cada vez m3s. Este problema tiene or3genes diferentes al de otras ciudades del mundo, ya que adem3s de estar situada a 2,240 m. sobre el nivel del mar, la cuenca del Valle de M3xico se halla limitada, en sus cuatro puntos cardinales, por cordilleras que tienen una altura aproximada de 3,100 m.; y volcanes con una altura de 5,400 m., por lo que los gases y contaminantes lanzados a la atm3sfera se quedan recluidos dentro de la gran Cuenca, a menos que soplen vientos suficientemente fuertes como para arrastrarlos hacia los valles vecinos. Adem3s, por lo anterior la Ciudad de M3xico siempre ha tenido inversiones t3rmicas, de las que se da una breve explicacin a contiuncin.

El aire de la atm3sfera no se calienta por los rayos del Sol, sino por la irradiacin que emana de la Tierra. El Sol enva todo tipo de ondas, que atraviesan la atm3sfera, y al calentarse la

Tierra, ésta regresa cierta radiación a la atmósfera. Cuando el Sol emite radiación y ondas de todo tipo, algunas se suspenden en el aire y otras pasan; en ese caso, la Tierra como cuerpo negro absorbe la radiación y la emite, pero no en la misma cantidad, es decir, cambia la longitud de onda. Por su parte, la radiación regresada por la Tierra no es la misma que recibe, sino que es diferente y la absorben los gases que conforman la atmósfera; por ejemplo: el metano, el ozono, el dióxido de carbono y el oxígeno.

En esta forma, las capas de gas o de aire más cercanas a la Tierra son las que se calientan más rápido, porque a la hora de emitir calor el suelo es más caliente que arriba. Eso provoca que, conforme aumenta la altura sobre el nivel del piso, la temperatura es menor. Por cada 100 metros de ascenso la temperatura disminuye en 1°C y esto se conoce como gradiente adiabático.

Así, cuando existe un gradiente fuerte de temperatura, los gases calientes son menos densos y suben, al suceder esto, el gas de arriba baja, lo cual quiere decir que entre más gradiente de temperatura exista, el aire de abajo sube más rápido. Por otra parte, cuando la temperatura al nivel de la superficie terrestre es prácticamente igual a la de arriba, el gas no sube y la atmósfera no circula; se puede mover por el viento pero no se mezcla por el gradiente de temperatura.

La inversión térmica se da cuando el aire de abajo está más frío que el de arriba, pues no hay ninguna razón física para que ese aire suba.

Existen diferentes tipos de inversión térmica:

Por radiación o efecto valle-montaña, esto sucede cuando en la altura de una montaña durante el día hay dos puntos de referencia, uno arriba de la montaña y otro en el valle; la temperatura es más caliente en la montaña que en el valle, por lo que el aire caliente del valle se desplaza hacia la montaña y el aire de ésta ocupa el vacío dejado por el aire caliente. Sin embargo, en la noche sucede lo contrario, el aire frío de la montaña baja al valle y se le conoce como efecto montaña-valle, esto precisamente sucede en la Ciudad de México.

Por advección es cuando una masa de aire tibio atrapa al aire frío y no lo deja subir, entonces se forma una capa de inversión, esto también ocurre en el Valle de México y más cuando existen aires provenientes del Noreste o del Este.

Estacional o nocturno, sucede por las mañanas cuando la radiación solar calienta la Tierra y ésta empieza a emitir calor. En un día de invierno, por ejemplo, la radiación solar tarda en calentar la Tierra y ésta empieza a ceder calor por la noche, por lo cual la superficie no está más caliente que las capas de arriba,

originando la inversión térmica. Esta se rompe cuando llega la radiación solar que en invierno se da entre las 9 y 10 de la mañana.

Cuando existe inversión térmica la emisión de contaminación es la misma, pero está más concentrada en las capas inmediatas a la superficie, por lo que se registran valores de concentración más altos.

En la República Mexicana las emisiones anuales de contaminantes rebasan los 16 millones de toneladas, de las cuales el 65% es de origen vehicular y el 35% de fuentes industriales. Tan sólo en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México se generan poco más del 30% del total anual de contaminantes a nivel nacional. Estos datos aparecen en el artículo "La calidad del aire en la cuenca de México", que fue publicado por la revista "Desde el Sur" en el mes de octubre de 1995.

Del total de vehículos, el 95% utiliza gasolina como combustible y el 5% restante utiliza Diesel¹. La combustión en automóviles y camiones que queman gasolina y Diesel a una altura de 2,240 m. se efectúa en forma incompleta, puesto que los motores fueron diseñados para operar a nivel del mar y no en una atmósfera en la que el aire contiene menos oxígeno por unidad de volumen.

Por consiguiente, se producen y arrojan a la atmósfera constantemente grandes cantidades de contaminantes como son: monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), hidrocarburos (HC), óxidos de nitrógeno (NO_x) y plomo, éstos se generan principalmente en los automotores que utilizan gasolina como combustible. Los que usan Diesel emiten menor cantidad de estos contaminantes, aunque adicionados con dióxido de azufre (SO₂) y partículas suspendidas totales que generan emisiones visibles.

Estas emisiones, si no son controladas, pueden llevar los niveles de contaminación hasta límites intolerables para el ser humano, poniendo en serio peligro su salud.

Actualmente no existe una institución u organismo que se encargue de controlar de manera real y eficaz los niveles permisibles de contaminantes atmosféricos, de acuerdo a las normas establecidas por la EPA (Environmental Protection Agency), las cuales rigen el Código Federal Mexicano, ya que en el país sólo las compañías fabricantes de motores o el monopolio paraestatal PEMEX-IMP, cuentan con laboratorios de este tipo, sin que ningún otro organismo pueda verificar si sus afirmaciones son correctas, por tal motivo en el Instituto de Ingeniería de la UNAM se pretende diseñar un sistema que permita implementar un Laboratorio de

¹En respetuoso homenaje al Dr. Rudolph Christian Karl Diesel, todas las referencias a este tipo de motor y al combustible mismo, se escriben con mayúscula y en su ortografía original.

Control de Emisiones para la Facultad de Ingeniería.

Por lo anterior, el objetivo de esta tesis es diseñar un sistema de monitoreo y control electrónico para un minitunel de dilución parcial de gases de escape de motores a Diesel. Cabe mencionar que el minitunel de dilución, que se requiere para simular las cantidades de contaminantes que usualmente se encuentran en la atmósfera debidas a las emisiones de motores Diesel, ya ha sido diseñado en el II y que actualmente se está implementando.

El sistema de monitoreo permitirá llevar a cabo las mediciones cuantitativas (en ppm), de monóxido de carbono (CO), hidrocarburos sin quemar (HC), óxidos de nitrógeno (NOx) y partículas sólidas (PM por sus siglas en inglés) a la salida del minitunel de dilución. También el sistema realizará un monitoreo de diversas variables, como son presión, temperatura y flujo en diferentes puntos del minitunel de dilución. Tanto las mediciones de los contaminantes, como el monitoreo de las variables se llevará a cabo mediante una tarjeta adquisidora de datos y un software de medición con el que se pueden desplegar las lecturas en el monitor de una computadora. Además, el sistema controlará la regulación de válvulas electrónicas de las que depende la dilución parcial óptima de las emisiones del motor a Diesel.

Para tal efecto se analizarán diferentes sensores y métodos de medición, para así elegir los óptimos y en base a ellos diseñar el sistema de medición de contaminantes. Con base en las características de las señales de salida de cada analizador se elegirá una tarjeta adquisidora de datos, un software de medición para el despliegue de las señales de cuantificación proporcionales a la cantidad de contaminantes en los gases de combustión del motor Diesel y un software de control para un buen control de flujo del minitunel de dilución.

CAPITULO II

GENERALIDADES DE LOS CONTAMINANTES

La gasolina, es el combustible de mayor uso en los vehículos automotores y debido a la baja eficiencia de los motores de combustión interna, hacen de este combustible el principal contribuyente de contaminantes a la atmósfera.

Se reconoce generalmente que los componentes de los gases de escape más perjudiciales o potencialmente perjudiciales son los productos de combustión incompleta. Es sabido que la combustión es la oxidación de un combustible en presencia de un comburente y que los productos o sustancias que de ésta emanen dependerán de la eficiencia de la oxidación y de la composición del combustible.

Para producir energía los motores toman aire, usan oxígeno para quemar el combustible y expulsan la parte de aire no utilizada, junto con los productos de la combustión. Los elementos del aire y del combustible no pueden consumirse completamente en ningún motor ni organismo que produzca calor y energía. Siempre hay residuos de la combustión y estos son emitidos de los cilindros del motor y descargados a la atmósfera.

La combustión en un motor, es una reacción química entre los elementos activos del aire, y el carbono e hidrógeno del combustible, se mezclan y se efectúa la ignición, ocurriendo dos reacciones principales:

- 1) El oxígeno y el hidrógeno reaccionan desprendiendo calor y produciendo vapor de agua.
- 2) El oxígeno y el carbono reaccionan produciendo calor, y dando lugar a dos diferentes combinaciones gaseosas, el bióxido de carbono y el monóxido de carbono.

Cuando la combustión se realiza en forma completa, los gases de escape consisten especialmente de agua y CO_2 ; si no es así se encuentran también CO , HC y NO_x entre otros. Las cantidades existentes de estas sustancias dependen de las condiciones de operación, condiciones del motor y composición del combustible empleado.

Los cambios en las condiciones de operación de los motores afectan tanto la composición, como la concentración de los gases de escape y su volumen. A velocidad uniforme se producen relaciones altas de aire-combustible, un avance del tiempo de ignición, un bajo o moderado vacío en el múltiple de admisión y alto flujo de gases de combustión; la aceleración produce relaciones moderadas de aire-combustible, avance del tiempo de ignición, presión reducida en el múltiple de admisión y un flujo

rápido de gases de combustión; la desaceleración produce baja relación aire-combustible, retarda el tiempo de ignición, se tiene un elevado vacío en el múltiple de admisión y un flujo lento de gases de combustión.

Las emisiones en motores de gasolina se originan en cuatro puntos principales: carburador, tanque de combustible, carter y escape. Las características químicas de las emisiones en los tres primeros puntos, están relacionados directamente con la composición del combustible. El escape es la principal fuente de emisiones. Los diferentes constituyentes de los escapes en vehículos automotores, van a la atmósfera y ahí reaccionan con otros contaminantes efectuándose entonces reacciones fotoquímicas, que a su vez dan lugar a otros contaminantes.

Los motores Diesel emiten contaminantes exclusivamente por el escape, ya que la tensión de vapor del combustible Diesel es mucho más alta que en la de la gasolina, por lo cual se consideran despreciables las emisiones por evaporación del tanque de combustible Diesel. Además, el motor Diesel no tiene carburador por lo cual no hay emisiones debidas a éste. También en este motor se elimina completamente la emisión de gases contaminantes del carter, ya que no tiene respiración a la atmósfera y es más, en algunos motores la varilla para la medición de aceite tiene tapón de rosca hermético.

Por otra parte, este tipo de motor trabaja siempre con un gran exceso de aire, tiene muy pequeñas partes frías dentro de la cámara de combustión, trabaja a alta temperatura, por lo cual la emisión de hidrocarburos y monóxido de carbono es menor que en los motores a gasolina o de ciclo Otto, que trabajan para dar mayor potencia con cantidades de aire menores a la estequiométrica, la temperatura de trabajo de estos motores es de 200 a 300°C menor que en los motores Diesel y por el sistema de bujías para combustión, tienen mayor superficie de partes frías.

El mayor problema del motor a Diesel es la producción de humo visible, compuesta por partículas sólidas de carbón. Este motor tiene la ventaja de no tener problemas de ignición, debido a no tener platinos, distribuidor, bujías, etc., pero en cambio la eficiencia de combustión depende fundamentalmente del sistema de inyección del combustible constituido por la bomba de inyección y los inyectores, siendo importante la calibración y limpieza con objeto de disminuir el humo visible.

Se considera que la emisión en un motor ciclo Diesel es aproximadamente el 10% de la emisión de hidrocarburos en el motor ciclo otto.

TABLA 2.1

COMPOSICION NORMAL DE LOS ESCAPES DE MOTORES DE CICLO DIESEL

Constituyentes principales (más de 1%)	Constituyentes en pequeña cantidad (menos de 1%)
Agua Bióxido de carbono Nitrógeno Oxígeno	Monóxido de carbono Hidrógeno Oxidos de azufre Oxidos de nitrógeno Hidrocarburos no quemados Aldehídos Acidos orgánicos Alcoholes Partículas de carbón

ASPECTOS TOXICOLOGICOS

Como se dijo anteriormente, al quemar un combustible fósil se combina el carbono que este contiene con el oxígeno del aire y se libera calor. Sin embargo, este proceso también crea subproductos o residuos que son potencialmente peligrosos. Además, los combustibles usados en los transportes como son gasolina o Diesel, no son sustancias simples, sino que contienen una mezcla de compuestos químicos como el butano, el propano y el benceno.

Los productos petroquímicos basados en el carbono se disocian en la combustión para formar, muchos otros productos tales como: bióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), compuestos orgánicos volátiles (volatile organic compounds VOCs), óxidos de nitrógeno (NOx), óxidos de azufre (SOx) y partículas sólidas muy finas. Además, los hidrocarburos no quemados, que se evaporan directamente de los tanques de combustible de los autos y camiones, también las emisiones antes y después de la combustión que forman otros COVs (Compuestos orgánicos volátiles) en el aire.

Cuando existe una concentración suficiente de óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno e hidrocarburos en la atmósfera, y estos son bombardeados por la luz solar, una compleja serie de reacciones químicas se llevan a cabo, formando así otros compuestos químicos, incluyendo el dióxido de nitrógeno (NO₂) y el ozono (O₃). También se forman partículas muy finas de ácido nítrico y sulfídrico. Estas partículas finas son tan pequeñas que al ser aspiradas por nuestros pulmones, causan tensión en nuestro sistema cardiopulmonar.

Para poder comprender el daño que causan estos contaminantes, es preciso considerar el uso industrial que se les da en mayores concentraciones. El dióxido de nitrógeno es un gas tóxico, color café que se usa como catalizador y agente oxidante. El ácido

nítrico es un líquido corrosivo, transparente, despidiendo vapores y es un agente oxidante altamente reactivo usado en la producción de fertilizantes, explosivos y combustibles para cohetes. El ozono es un agente oxidante inestable, tóxico en altas concentraciones, con un olor picante e irritante. En bajas concentraciones, el ozono se usa como blanqueador y para esterilizar el agua.

De hecho, al respirar aire que contiene estos químicos es como respirar cantidades diluidas de gases tóxicos, ácidos y desinfectantes.

EFFECTOS:

Los humanos pueden ser afectados desfavorablemente tanto antes como después de quemar los combustibles fósiles. Antes de quemarse, los gases de las evaporaciones de los combustibles derivados del petróleo, pueden ser venenosos y cancerígenos en altas concentraciones, al igual que los productos de la combustión de los mismos. Un tercer grupo de residuos químicos tóxicos (incluyendo el ozono y partículas finas secundarias), se forman a partir de diversas reacciones fotoquímicas de los productos de la combustión en la atmósfera.

Partículas finas (PM10 y PM2.5)

Estas partículas sólidas de carbón muy pequeñas son el resultado de la combustión incompleta del combustible, que permanecen suspendidas en el aire donde pueden inhalarse fácilmente y depositarse profundamente en el sistema respiratorio. Las partículas finas primarias se liberan directamente en el aire por los escapes. Las partículas finas secundarias son formadas por reacciones físicas y químicas que involucran gases tales como el NOx, SOx y COVs, que fueron emitidos a la atmósfera.

PM10 se refiere a partículas que miden 10 micras o menos de diámetro. PM2.5 son partículas muy finas que miden 2.5 micras o menos de diámetro. La mayoría de las partículas secundarias son del tipo PM2.5.

Estas partículas están asociadas con síntomas respiratorios, como el incremento de casos de emergencia de asma, hospitalizaciones, mal funcionamiento pulmonar, faltas a los trabajos y escuelas, incremento de mortandad por daños cardiopulmonares y cáncer pulmonar. Niños, ancianos, fumadores, asmáticos y otras personas que sufren enfermedades respiratorias son especialmente vulnerables a este tipo de contaminantes. Además, estas partículas llevan a una mayor reducción en la visibilidad.

OZONO (O₃)

Ya que este es un gas altamente reactivo y con una corta vida, el ozono a nivel de la superficie terrestre no reemplaza la capa superior de ozono que se encuentra entre 20 y 50 kilómetros sobre

la superficie de la Tierra, que protege a plantas y animales de los niveles excesivos de las radiaciones ultravioletas del Sol. En cambio, a nivel de la troposfera, es un contaminante poderoso e irritante que perjudica la salud humana, las cosechas y los materiales de las estructuras. En los hospitales se registra un mayor ingreso de pacientes con enfermedades respiratorias, incluyendo el asma, cuando la concentración de ozono sobrepasa las 80 partes por millón (ppm). Investigadores afirman que el ozono es la segunda gran causa de enfermedades pulmonares, después de las partículas primarias y secundarias, emisiones vehiculares e incendios forestales.

OXIDOS DE NITROGENO Y DIOXIDO DE AZUFRE (NO_x Y SO_2)

El NO_2 es el más relevante de los óxidos de nitrógeno, es el que da el color amarillo-café al humo-niebla (smog), por lo que puede reducir la visibilidad atmosférica. Se forma como resultado de los procesos de combustión a altas temperaturas, que se dan en vehículos automotores por ejemplo. Juega un papel importante en las reacciones atmosféricas. En la atmósfera, el NO puede convertirse en NO_2 y este interviene en reacciones fotoquímicas, que se mencionaran más adelante, con algunos hidrocarburos reactivos para formar el smog y diversos oxidantes (fig. 2.1). Afecta al sistema respiratorio, causa bronquitis, neumonía e infecciones pulmonares.

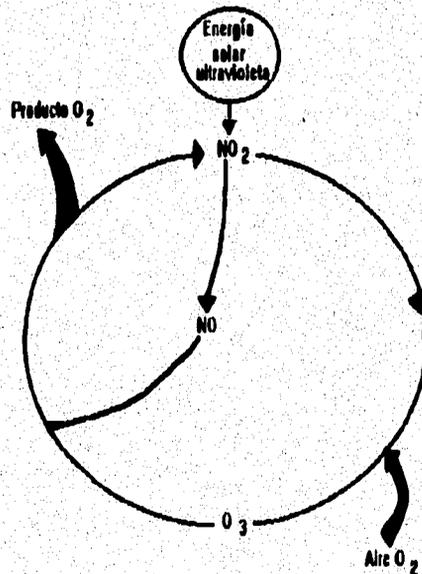


Figura 2.1 Ciclo fotoquímico del NO_2 en la atmósfera.

Tanto el dióxido de nitrógeno como el dióxido de azufre incrementan la susceptibilidad a las infecciones respiratorias y a la constricción de las vías respiratorias en casos de asma. También ambos gases pueden alterarse en la atmósfera para convertirse en partículas finas en forma de sulfatos y nitratos, o en lluvia ácida

cuando se combinan con agua. Estos contaminantes ácidos afectan la salud humana directamente cuando son inhalados, e indirectamente cuando llueve sobre el agua, tierra y plantas.

COMPUESTOS ORGANICOS VOLATILES (COVs)

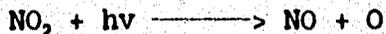
Dichas sustancias se evaporan fácilmente a temperatura y presión ordinarias. Los hidrocarburos que forman parte de este grupo, son componentes primarios de combustibles, tales como el metano, propano, gas natural, gasolina y kerosina. Los VOCs contribuyen a la formación de niveles de ozono en la atmósfera.

REACCIONES FOTOQUIMICAS

Los hidrocarburos son sustancias que pueden intervenir en una serie de reacciones primarias y secundarias en una atmósfera contaminada con otros compuestos, como son el ozono y los óxidos de nitrógeno. Es conocido que estas mezclas de compuestos en presencia de los rayos solares ultravioleta, son los agentes del conocido humo-niebla (smog) fotoquímico.

La contaminación fotoquímica fué reconocida como un problema serio aproximadamente en el año de 1940, y se iniciaron estudios que gradualmente han venido explicando el fenómeno. Las ciudades reciben cierta cantidad de luz solar, que provee luz ultravioleta e inicia las reacciones fotoquímicas.

Las reacciones fotoquímicas primarias, según Leighton & Perkins son:



La cantidad de átomos de oxígeno variará con la concentración de NO_2 , y la intensidad de la radiación solar.

Para el bióxido de nitrógeno, Blacet ha propuesto una serie de reacciones fotoquímicas, que consisten en la ruptura de un enlace para dar oxígeno atómico y óxido nítrico, en la formación de ozono, por reacción de oxígeno atómico con oxígeno diatómico ordinario y regeneración de bióxido de nitrógeno, con lo cual el proceso puede volver a repetirse. El resultado final de esta cadena de reacciones es la formación continua de ozono.





En la gran mayoría de las reacciones fotoquímicas que han estudiado los investigadores encontraron que las reacciones primarias siempre incluyen una disociación de la molécula en radicales o átomos libres.

Algunos COVs son también tóxicos y se describen a continuación como contaminantes atmosféricos peligrosos (Hazardous Air Pollutants HAPs).

CONTAMINANTES ATMOSFERICOS PELIGROSOS (CAPs)

Un buen número de otros contaminantes exóticos provocan preocupación debido a su habilidad de causar serios problemas en la salud. En estos químicos están incluidos los hidrocarburos no quemados, tales como los hidrocarburos aromáticos policíclicos y el benceno, compuestos como el arsénico y los formaldehídos, además de metales pesados como el zinc.

MONOXIDO DE CARBONO (CO)

El CO es un gas incoloro, inodoro y venenoso causado por la combustión incompleta del combustible. La mayoría de este gas proviene de vehículos automotores y en consecuencia es especialmente dañino en áreas urbanas. El CO al ser inhalado por nuestros pulmones, entra en el flujo sanguíneo y se adhiere a la hemoglobina y forma un compuesto denominado carboxihemoglobina, reduciendo el transporte de oxígeno en la sangre.

Aún a bajos niveles de CO, este puede afectar las funciones mentales y a la agudeza visual. Concentraciones de 0.1% pueden causar la muerte, mientras que en dosis menores como las que se encuentran comúnmente en las calles en una congestión de tráfico pueden dañar la percepción y los reflejos. A las personas enfermas puede afectarlas más severamente.

En la tabla 2.2 se muestran los síntomas y efectos desarrollados en personas estacionarias expuestas a CO, obtenida de las especificaciones de un sensor de estado sólido para gas CO TGS203 de FIGARO USA, INC.

TABLA 2.2 Efectos del CO en el cuerpo humano

Concentración de CO en el aire	Tiempo de inhalación y síntomas desarrollados.
0.01% (100 ppm)	Ligero dolor de cabeza en 2 o 3 horas
0.04 % (400 ppm)	Dolor de cabeza frontal de 1 a 2 hrs., extendiéndose en 2.5 a 3.5 hrs.
0.08 % (800 ppm)	Mareo, náuseas y convulsiones en 45 minutos. Insensibilidad en 2 hrs.
0.16 % (1600 ppm)	Dolor de cabeza, mareo y náusea en 20 minutos. Muerte en 2 hrs.
0.32 % (3200 ppm)	Dolor de cabeza, mareo y náusea en 5 a 10 min. Muerte en 30 min.
0.64 % (6400 ppm)	Dolor de cabeza, mareo en 1 a 2 min. Muerte en 10 a 15 minutos.
1.28 % (12800 ppm)	Muerte en 1 a 3 minutos.

Algunas ciudades como la Cd. de México, tienen mayores problemas en los meses de invierno y por su altitud. El monóxido de carbono también contribuye indirectamente al efecto invernadero, ya que interfiere con el rompimiento de metano que se encuentra de manera natural en la atmósfera.

DIOXIDO DE CARBONO (CO₂)

El dióxido de carbono es un gas incoloro, inodoro y que en base a su medición permite calcular en un vehículo automotor, el consumo de combustible, la economía del combustible y determinar la relación aire/combustible.

Tradicionalmente este gas, no se había considerado como un problema de contaminación, ya que no es reactivo y porque abajo del 0.03%, normalmente forma parte de la atmósfera natural. Estudios recientes han encontrado que el incremento en los niveles de dióxido de carbono puede afectar adversamente el sistema climatológico de la Tierra, causando un calentamiento gradual alrededor del globo terráqueo y así alterando las corrientes oceánicas, los patrones de precipitación, el clima global y por lo tanto a todos los seres vivos del planeta. Este fenómeno es conocido comúnmente como el "acrecentamiento del efecto invernadero".

CAPITULO III

ANTECEDENTES TEORICOS PARA LOS METODOS DE MEDICION

Un sistema para la medición de contaminantes debe reunir las siguientes características:

- a) Permitir una lectura de la concentración de gases en forma cuantitativa.
- b) Ser altamente sensible y selectivo.
- c) Dar una respuesta rápida.
- d) No depender prácticamente de la temperatura ni de la humedad ambientes.
- e) Ser estable a largo plazo.

Adicionalmente, el costo es una característica importante que se debe tomar en cuenta al momento de elegir un equipo de medición determinado.

Existen diversos métodos para medir cuantitativamente los contaminantes atmosféricos CO, HC y NOx, los recomendados por la EPA (Environmental Protection Agency) son tres, los cuales son muy precisos y de alto costo. Dichos analizadores son los siguientes:

- 1) Detector infrarrojo no dispersivo (DIRND), para la medición de monóxido de carbono (CO).
- 2) Detector por ionización de flama (DIF), utilizado para la determinación de hidrocarburos (HC).
- 3) Detector de luminiscencia química o quimiluminiscencia (DLQ), para medir los óxidos de nitrógeno NOx.

Además de los métodos antes mencionados, existen los sensores de gases a base de semiconductores, que es un área de estudio aún no explorada en México.

A continuación se describirán las Leyes de Kirchhoff en las que se fundamentan el DIRND y el DLQ. Antes de mencionar dichas leyes, es necesario dar la definición de espectroscopio.

Definición: Espectroscopio es un aparato que sirve para observar los espectros producidos por diferentes fuentes luminosas. Como se observa en la figura 3.1 consta de una fuente luminosa de la cual sus rayos inciden en un colimador del que los rayos de luz emergen en forma de un haz de rayos paralelos, los que llegan a un prisma donde se dispersan y mediante un pequeño antejo se observan (en el caso de luz visible) los colores o líneas espectrales correspondientes.

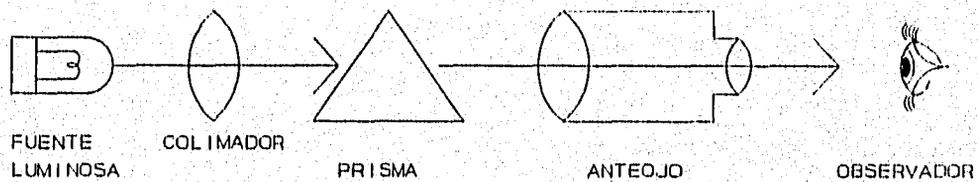


Figura 3.1 Espectroscopio

Leyes de Kirchhoff

Según sea la fuente luminosa y los medios por donde pase la luz antes de llegar al prisma del espectroscopio, se pueden obtener diversos tipos de espectros que fueron estudiados por Kirchhoff, quien enunció las siguientes leyes:

1a. Un cuerpo cualquiera, sólido, líquido o gaseoso que se encuentra a elevada presión y en estado incandescente, forma una sucesión ininterrumpida de colores: ese espectro se llama espectro continuo.

2a. Si se observa el espectro formado por un gas incandescente a baja presión, se nota un número más o menos grande de líneas brillantes, siempre las mismas para el mismo gas, y siempre situadas en los mismos lugares unas con respecto a las otras. Bajo esta ley se rige el DLQ.

3a. Si se coloca un gas "frío" entre el espectroscopio y una fuente luminosa que por sí sola produzca un espectro continuo se produce el fenómeno de absorción. Este fenómeno consiste en que el gas "frío" absorbe, o sea, interrumpe el paso de ciertas líneas que por sí solo formaría si estuviera en estado de incandescencia. Entonces se observa una serie de líneas oscuras en medio de un espectro continuo. El DIRND se basa en esta ley.

Clasificación de los espectros

a) Generalidades.

Como consecuencia de las leyes de Kirchhoff, los espectros se clasifican en dos grupos principales: espectros de emisión y espectros de absorción. Los espectros de emisión son los producidos por fuentes luminosas, constituidas por cuerpos en incandescencia o en un estado semejante. Los espectros de absorción son los que se forman interponiendo entre la fuente luminosa y el prisma (monocromatizador) algún medio gaseoso que absorba determinadas

radiaciones o longitudes de onda y sólo deje pasar otras radiaciones.

b) Espectros de emisión.

Se dividen en dos categorías según sea la fuente que los produzca. Se llaman unos espectros de líneas brillantes y los otros espectros continuos.

1. Espectros de líneas brillantes.- son formados por gases o vapores excitados ya sea por incandescencia o por descargas eléctricas en los gases. Otra manera de producir un espectro de líneas brillantes consiste en evaporar una pequeña cantidad de cualquier sustancia sometiéndola a una elevada temperatura. Por ejemplo, si en la llama del espectroscopio de la fig. 3.1 se quema óxido nítrico (NO) con ozono (O₃) se producirán líneas brillantes en las regiones de luz visible y en el infrarrojo cercano. Esta emisión es proporcional a la concentración de NO. Lo fundamental de esta clase de espectros es que, según reconocieron Kirchhoff y Bunsen, cada elemento químico produce un espectro diferente y que cada vez que se analiza un elemento químico dado, se obtiene exactamente el mismo número de líneas colocadas en la misma posición del espectro. Este método de análisis químico es muy fecundo, no sólo por su precisión sino por su sensibilidad ya que las líneas luminosas se presentan aún cuando la cantidad de muestra sea insignificante, hasta el grado de que basta que existan unos cuantos millonésimos de miligramo de un compuesto en una flama frente al colimador para que aparezcan las líneas espectrales características de dicho compuesto. Además, este proceso puede hacerse no sólo cualitativo sino también cuantitativo, ya que si se conoce la longitud de onda a la cual emite el compuesto que se desea cuantificar, podemos utilizar un filtro óptico a esa longitud de onda (después del colimador y en vez del prisma del espectroscopio de la fig. 3.1), y mediante un fotodetector sensar la energía fotónica emitida y con una etapa electrónica de acondicionamiento de señal, amplificación y despliegue de lecturas, obtener por ejemplo, la cantidad del compuesto en ppm directamente.

2. Espectros continuos.- son aquellos que están formados por una banda continua de colores. Los espectros continuos son producidos por cuerpos sólidos o líquidos a elevada temperatura, pero sin que lleguen a la ignición y por gases a elevada temperatura y alta presión. Por ejemplo: al elevar la temperatura de un metal paulatinamente, cuando se acerca a los 400 °C adquiere un color rojo y produce en el espectro una banda roja. Si se calienta hasta llegar al blanco, el espectro que produce contiene todos los colores del iris, desde el rojo hasta el violeta, sin ninguna interrupción y por eso se llama espectro continuo.

c) Espectros de absorción.

1. Espectros de bandas.- se producen cuando entre la fuente luminosa y el prisma de un espectroscopio, se interpone un medio

transparente (a la luz de la fuente), sea sólido o líquido. Ese cuerpo transparente en general sólo deja pasar las radiaciones de longitud de onda correspondientes al color del cuerpo. Así por ejemplo, si se interpone un cristal rojo frente a la fuente emisora de un espectro continuo, el espectro deja de ser continuo, apareciendo solamente bandas rojas y oscureciéndose el resto. En forma semejante, si se interpone una solución de sangre, se observan dos bandas oscuras en el verde y el resto conserva sus colores. A ese tipo de espectros se les llama espectros de bandas de absorción.

2. Espectros de líneas oscuras.- cuando el cuerpo absorbente no es sólido ni líquido, sino gaseoso, se produce también una absorción pero ya no en forma de bandas oscuras, sino de líneas oscuras. Como en el caso de un gas que contenga CO y la fuente luminosa sea infrarroja, las líneas oscuras estarán entre los $2,150 - 2,200 \text{ cm}^{-1}$ de la región infrarroja. Este fenómeno de líneas oscuras fue interpretado por Bunsen y Kirchhoff como sigue: ya se dijo que un gas a elevada temperatura produce un espectro de líneas brillantes, pero si entre el gas a elevada temperatura y el espectroscopio se interpone el mismo gas a una temperatura más baja, este segundo gas absorbe radiaciones iguales a las emitidas por el primero.

3. Líneas de Fraunhofer.- Si bien el espectro de la luz solar contiene todos los colores del iris, no es estrictamente continuo sino que está cruzado por un gran número de líneas oscuras de absorción que han recibido el nombre de su descubridor: Líneas de Fraunhofer. Estas líneas se deben a la ausencia en el espectro solar de ciertos colores que han sido absorbidos por la atmósfera del Sol o por la atmósfera terrestre.

INTERACCION DE LA LUZ CON LA MATERIA

La absorbancia es la relación del flujo (luminoso o radiante) absorbido en una sustancia y el flujo incidente sobre la sustancia. Es el logaritmo en base 10 del recíproco de la transmitancia.

La transmitancia es la relación entre la potencia radiante transmitida por una sustancia y la potencia incidente radiante sobre la sustancia. Regularmente se expresa como un porcentaje de transmisión.

La reflexión (radiante) es la relación entre el flujo radiante reflejado por la superficie de una sustancia y el flujo radiante incidente sobre dicha superficie.

La refracción es el cambio en dirección de un haz de luz (o rayo de radiación) cuando pasa de un medio a otro con diferentes índices de refracción.

La difracción es la interferencia resultante de la unión en cada punto de rayos procedentes de diferentes puntos alrededor de

un objeto opaco, o los rayos procedentes de diferentes partes de una apertura.

Una interferencia es la variación, debida a la superposición de dos o más ondas, en la amplitud de onda con la distancia y el tiempo.

La opacidad es el recíproco de la transmitancia.

La turbiedad es el nublamiento de un fluido debido a la presencia de polvo suspendido o sólidos granulares.

SENSORES DE LUZ VISIBLE, ULTRAVIOLETA E INFRARROJA

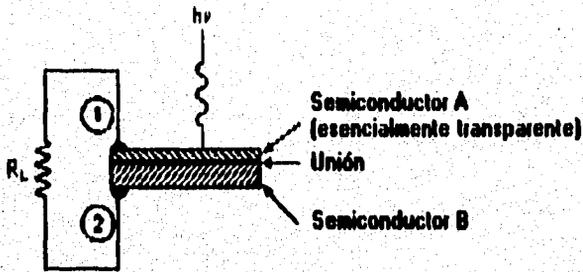
De los elementos que constituyen un espectroscopio mostrado en la figura 3.1, aparece uno llamado observador el cual hace la función de un fotodetector cuyo sensor es el ojo humano. Ya que los detectores DIRND y DLQ trabajan no sólo en la región visible del espectro, sino que también en la región IR (infrarroja) y que además los fotodetectores que se requieren deben dar una señal tal que se pueda preamplificar, acondicionar, amplificar y desplegar numéricamente en ppm, es conveniente mencionar brevemente los diferentes tipos de sensores de luz o fotodetectores.

Los sensores que proporcionan una salida eléctrica utilizable en respuesta a una radiación electromagnética incidente en la porción UV-visible-IR del espectro se conocen como sensores de luz, detectores de luz, fotosensores, fotodetectores o transductores de luz (o UV o IR). Estos elementos de transducción actúan además como elementos sensores.

Métodos sensores

Los sensores de luz se pueden clasificar en dos categorías principales: detectores cuánticos (o detectores fotónicos) y detectores térmicos. Los detectores fotónicos dependen de los efectos producidos cuando un cuanto de radiación incidente (fotones) actúa sobre los electrones del material sensor. Los detectores térmicos responden a la energía radiante incidente total; se utilizan principalmente como sensores IR. Los detectores fotónicos emplean transductores fotovoltaicos, fotoconductivos, unión-fotoconductiva, fotoemisivos o fotoelectromagnéticos. Los detectores térmicos utilizan métodos de transducción termoeléctrica, bolométrica o piroeléctrica. Estos métodos de transducción se muestran en las figuras 3.2 y 3.3 (en donde $e =$ electrones, $h\nu =$ energía fotónica o radiante).

Transducción fotovoltaica.- Los sensores fotovoltaicos son autogeneradores; esto es, no necesitan potencial de excitación exterior. Su tensión de salida es una función de la iluminación sobre dos materiales diferentes (fig. 3.2.a). La unión actúa como



Notas:

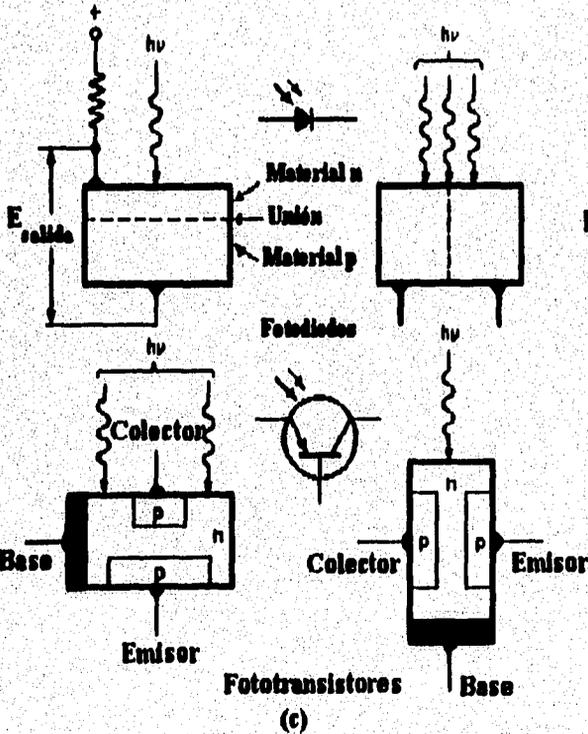
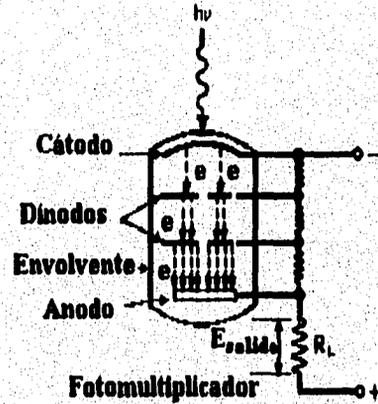
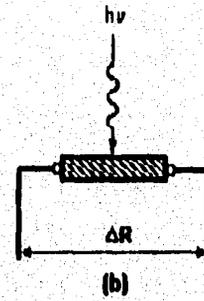
<<n o p>>: semicondutor A de tipo n sobre el semicondutor B de tipo p; el terminal 1 es -, el 2 es +.

<<p o n>>: semicondutor A de tipo p sobre el semicondutor B de tipo n; el terminal 1 es +, el 2 es -.

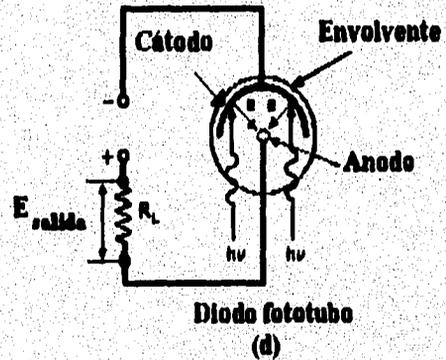
<<homounión>>: los semiconductores A y B son del mismo material básico.

<<heterounión>>: los semiconductores A y B son de materiales diferentes.

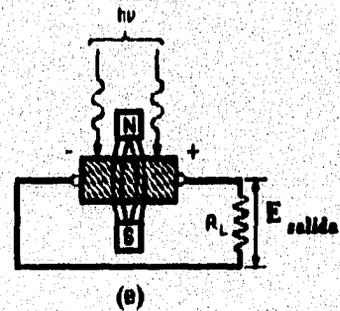
(a)



(c)



(d)



(e)

FIGURA 3.2

una barrera de potencial por la que fluyen electrones excitados por los fotones incidentes. Algunos tipos de parejas de material presentan el efecto fotovoltaico, como las de selenio/hierro (usados como células de selenio relativamente populares) y cobre/óxido de cobre. Los sensores fotovoltaicos semiconductores emplean materiales como el silicio, germanio, o antimonio de indio, con una unión p-n como barrera de potencial. La unión se forma introduciendo diferentes tipos de impurezas en los extremos opuestos de un material semiconductor. En una variante en un sensor fotovoltaico semiconductor la unión se forma por un cristal tipo n depositado sobre un cristal tipo p.

Transducción fotoconductiva.- Los sensores fotoconductivos (fig. 3.2.b) se fabrican de material semiconductor que reduce su resistencia en respuesta a una iluminación creciente. El material está contenido entre dos electrodos conductores a los que se unen los hilos de conexión. El cambio en conductancia resulta del cambio en el número de portadores de carga creado por la absorción de la energía de los fotones incidentes. Como fotoconductores se utilizan películas policristalinas (por ejemplo, sales de plomo y antimonio de indio) así como materiales de cristal único (silicio o germanio contaminado). Un ejemplo popular de sensor fotoconductivo es el sulfuro de cadmio (CdS) utilizado en muchas cámaras para el control automático de la exposición.

Transducción por unión fotoconductiva.- En estas versiones de sensores fotoconductivos la resistencia a través de una unión de un material semiconductor p y n cambia en función de la luz incidente. La fotocorriente de la unión aumenta con el aumento del flujo de fotones incidentes. Este principio se utiliza en los fotodiodos así como en los fototransistores (fig. 3.2.c).

Transducción fotoemisiva.- Los sensores fotoemisivos emiten electrones desde un cátodo cuando los fotones chocan contra él (fig. 3.2.d). Los electrones son lanzados fuera de la superficie del cátodo cuando la energía de la radiación es mayor que la función de trabajo del material catódico. Este efecto se utiliza en los diodos fototubo (al vacío o rellenos de algún gas) así como en los tubos fotomultiplicadores. En los diodos fototubo, algunos electrones son recolectados por algún ánodo que se encuentra a algún potencial positivo con respecto al cátodo. Esto ocasiona un flujo de corriente que puede utilizarse para proporcionar una tensión de salida a través de una resistencia de carga en serie con el ánodo. En el tubo fotomultiplicador se utilizan electrodos adicionales (dínodos), con potenciales crecientes secuencialmente, localizados entre el cátodo y el ánodo de manera que amplifican la corriente de electrones por medio de la emisión secundaria de los dínodos.

Transducción fotoelectromagnética.- Este método de transducción especializado afecta a un semiconductor (típicamente fabricado de cristales de antimonio de indio) al actuar sobre él

un campo magnético externo. Cuando los fotones son absorbidos cerca de la superficie frontal del semiconductor, el exceso de portadores resultantes en esa superficie y su ausencia en la superficie opuesta ocasiona una difusión de portadores hacia la superficie opuesta. La fuerza debida a la aplicación de un campo magnético transversal direcciona los huecos hacia un extremo del semiconductor y a los electrones hacia el otro extremo proporcionando así una fem desarrollada entre los dos terminales extremos (fig. 3.2.e), la ventaja de este método es la reducción del ruido térmico generado internamente.

Transducción fotoeléctrica actuada por presión.- Este método de transducción se emplea en el detector de IR de tipo Golay. Se encapsula un gas de baja conductividad térmica (por ejemplo, xenón) en el interior de un cilindro tapado por una membrana ennegrecida sobre un extremo y un diafragma revestido de espejo en otro extremo. La radiación incidente IR actuante sobre la membrana ennegrecida provoca que el gas se expanda y deforme el diafragma y consecuentemente la superficie del espejo. El diafragma se coloca en el camino óptico entre una fuente de luz y un sensor de luz de manera que la deformación del diafragma ocasiona que la luz reflejada actúa sobre un sensor de luz al aumentar la presión. La salida del sensor de luz es por consiguiente proporcional a la radiación IR incidente.

Transducción termoelectrónica.- Esta basada en el efecto termoelectrónico (Seebeck), el que establece que cuando dos conductores diferentes A y B forman un circuito (mediante la unión de ambos por sus extremos), y las dos uniones se mantienen a temperaturas diferentes, una unión a temperatura T y la otra a una temperatura superior $T + T$, circula una corriente eléctrica que aumenta con la diferencia de temperatura de las dos uniones. La corriente fluirá de A a B en la unión más fría cuando el conductor A es positivo con respecto a B. Otros dos efectos están relacionados con el efecto Seebeck. Cuando una corriente fluye a través de una unión de dos conductores diferentes, se absorbe o libera calor de esa unión dependiendo de la dirección del flujo de corriente (efecto Peltier). Cuando fluye una corriente a través de un conductor a lo largo del cual existe un gradiente de temperatura, se absorbe o libera calor en el hilo (efecto Thomson). Bajo el efecto Seebeck operan tanto los termopares como las termopilas.

Las termopilas producen una tensión de salida cuando la temperatura de sus uniones sensoras es mayor que la temperatura de sus uniones de referencia; éstas consisten en un número de termopares conectados en serie. Las termopilas utilizadas para detectar el flujo radiante tienen sus uniones de referencia en contacto con un sumidero de calor, mientras que sus uniones sensoras están ennegrecidas (para absorber la radiación calorífica) y aisladas térmicamente del sumidero térmico (fig. 3.3.a). Las uniones de referencia (frías) se mantienen relativamente estables

en temperatura, se encuentran blindadas con el fin de no recibir el flujo radiante incidente. Las uniones sensoras se calientan debido al flujo radiante. Si se conoce la temperatura del sumidero de calor, la diferencia de temperaturas entre las uniones sensoras y de referencia indicada por la tensión de salida de la termopila, es una medida del flujo de radiación incidente.

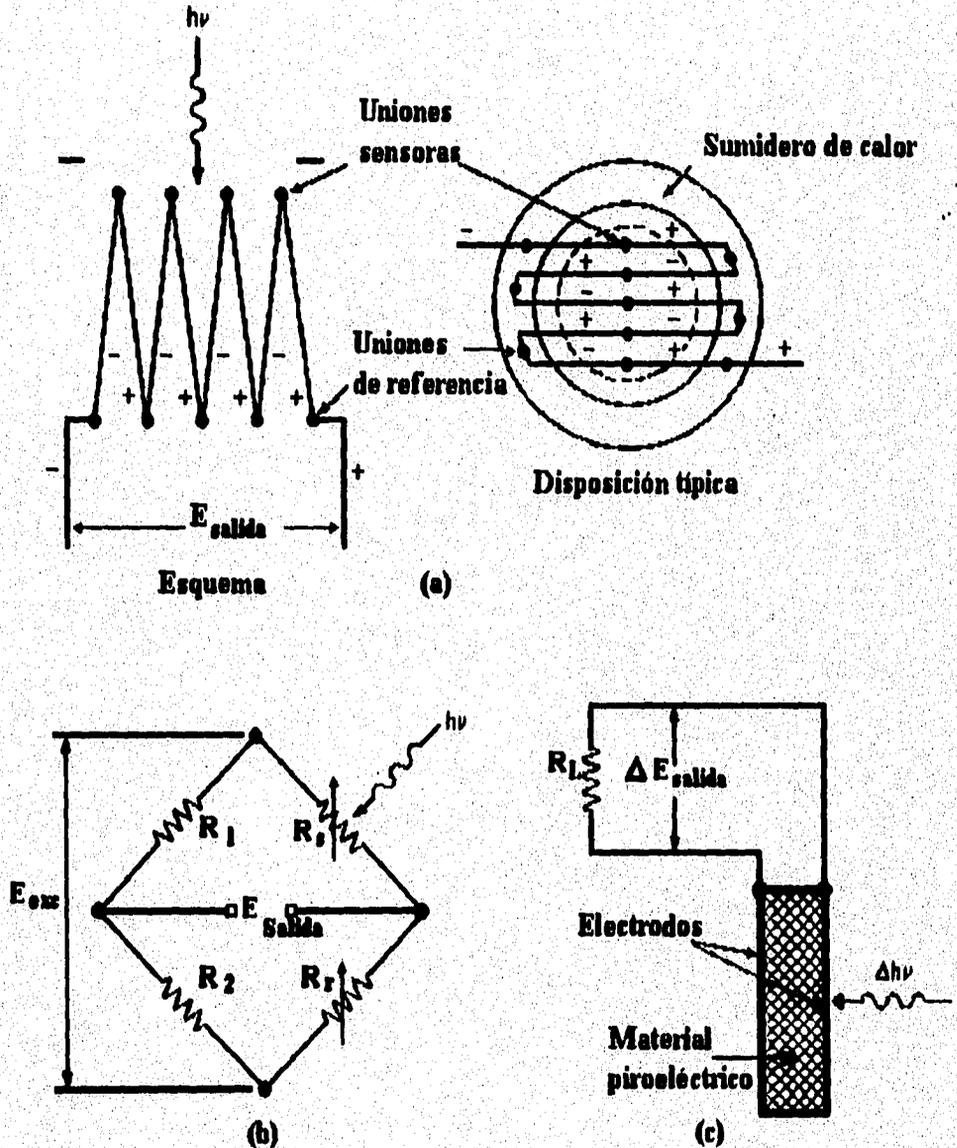


Figura 3.3

Transducción bolométrica.- Los bolómetros utilizados como sensores de flujo radiante, consisten en un par de termistores apareados (u otros dispositivos resistivos sensibles a la temperatura), conectados en un circuito en puente medio o puente completo, uno de los cuales está ennegrecido y montado de manera que detecta el flujo radiante, el segundo se encuentra aislado del

flujo radiante y responde únicamente a la temperatura del sumidero calorífico. En la figura 3.3.b se muestra un circuito bolométrico típico, en donde R_s es el termistor sensible a la radiación, R_r es el termistor de referencia blindado de la radiación, y R_1 y R_2 son un par de resistencias estables y calibradas, normalmente localizadas a distancia de donde se quiere medir la radiación térmica. Cuando se aplica una tensión de excitación (E_{exc}) al circuito, la tensión de salida será proporcional a la diferencia de resistencia entre R_s y R_r , es de hecho una medida del flujo de radiación incidente. Si fuera un circuito de medio puente, E_{exc} , R_1 y R_2 pueden reemplazarse por dos tensiones de excitación de exactamente la misma amplitud pero polaridades opuestas insertadas en lugar de R_1 y R_2 . Un ejemplo de elemento sensor empleado en lugar de un termistor para R_s y R_r en un circuito bolométrico, es un cristal de germanio impurificado con galio.

Transducción piroeléctrica. - Los sensores piroeléctricos están compuestos por un material de cristal ferroeléctrico (por ejemplo, sulfato triglicénico) entre dos electrodos. El cristal muestra una polarización espontánea (concentración de carga eléctrica) que es dependiente de la temperatura. Los cambios en el flujo de radiación incidente absorbidos por el cristal, ocasionan una variación en la temperatura del cristal, provocando además una alteración en la diferencia de potencial a través de los electrodos. Esta tensión se neutraliza posteriormente por el flujo de corriente a través de la resistencia de fugas internas y la resistencia de carga externa. La figura 3.3.c muestra el método sensor piroeléctrico. Obsérvese que los sensores piroeléctricos son básicamente capacitivos por naturaleza.

SISTEMAS SENSORES DE LUZ

Los sensores de luz se utilizan invariablemente en conjunción con otros componentes que modifican la luz incidente así como componentes y subsistemas que modifican la salida del sensor. Adicionalmente muchos tipos de sensores de luz requieren una fuente de alimentación. La figura 3.4 ilustra un sistema sensor típico. Algunos sistemas sensores sofisticados pueden incluir un número de componentes adicionales, especialmente aquellos que modifican la luz incidente. A continuación, se mencionan algunos de estos componentes.

Los troceadores se utilizan para interrumpir periódicamente el haz luminoso a detectar por el sensor. Esto ocasiona que la salida del sensor sea una señal c.a. en vez de c.c., siendo las señales de c.a. más fáciles de amplificar. Además proporcionan períodos breves en los que el sensor se encuentra a la sombra, lo que permite la corrección de las señales de salida del sensor por cualquier desviación no relacionada con la luz a sensar.

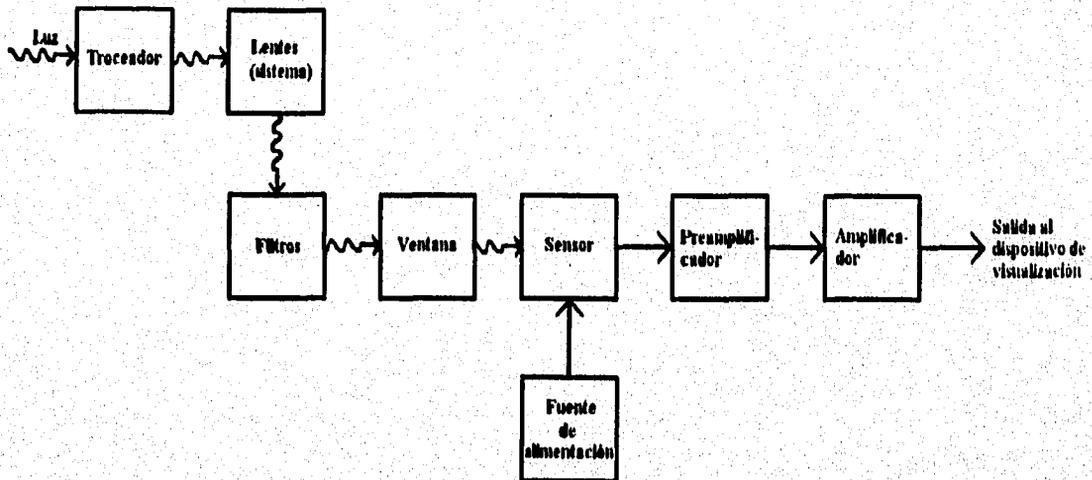


FIGURA 3.4

Muchos troceadores son dispositivos electromecánicos rotativos, en los que una pala rotativa cubre y descubre un agujero por donde pasa el haz de luz. Existen varias formas de pala, como palas en forma de mariposa (que interrumpen el haz de luz dos veces en cada revolución) o discos con un agujero en la misma posición por donde pasa el haz de luz. Algunos sistemas sensores utilizan un espejo troceador, electromecánicamente accionado de manera que mueve hacia uno y otro lado el haz incidente de luz unas veces en el sensor y otras veces fuera del sensor. Se usan controles de velocidad variable para seleccionar la velocidad angular de la pala o espejo, y de esta manera la frecuencia de troceado, que típicamente se encuentra entre 5 y 400 Hz; puede ser de 4kHz o más. Los accionadores de pala o de espejo se diseñan de manera que el haz de luz troceado tenga una forma de onda específica (por ejemplo, onda cuadrada, senoidal). Normalmente se utiliza un sensor de velocidad angular, (por ejemplo, un interruptor Reed, u optoelectrónico) interior al troceador proporcionando una salida utilizable para sincronizar la electrónica situada a la salida del sensor.

Las lentes se utilizan para enfocar el haz de luz sobre el área activa del sensor. Para su fabricación se emplean diversos materiales ópticos (Ge, Si, KRS-5, BaF₂) y pueden realizar las funciones de control de respuesta espectral adicional realizadas por las ventanas. Los sistemas de lentes pueden consistir en dos o más lentes.

Los filtros ópticos se utilizan para limitar la respuesta espectral del sensor (a veces en combinación con una ventana) a una banda de longitudes de onda deseada. Son de forma cuadrada o circular, con superficies paralelas y usualmente con un espesor

menor de 1 cm. Se pueden utilizar dos o más filtros en coordinación. El filtro se puede fabricar con materiales, o a partir de sustratos de cristales, o cuarzo revestidos con una película de este tipo de materiales o mezclas.

Se puede obtener una variedad de características de respuesta espectral mediante una selección apropiada del filtro. Los filtros pasabanda tienen una elevada transmitancia sobre una banda de longitudes de onda por encima o por debajo de esta. Los filtros de banda estrecha son una versión de filtros pasabanda que tienen una banda de paso muy angosta y en forma de pico. Los filtros pasabajos transmiten las longitudes de onda por debajo de una longitud de onda especificada. Los filtros pasaalts transmiten las longitudes de onda mayores que un valor especificado. Los filtros se clasifican a veces por la porción del espectro en los que transmiten luz (por ejemplo, UV, visible, IR). Los filtros de interferencia usualmente utilizados como filtros de banda estrecha consisten en varias superficies parcialmente reflectantes y paralelas, cada una de estas superficies es la interfase entre dos capas delgadas de material dieléctrico transparente con índices de refracción diferentes. El principio de interferencia se utiliza de manera que algunas longitudes de onda son reforzadas, mientras que otras longitudes de onda son debilitadas.

Los filtros de densidad neutral se utilizan para atenuar la luz incidente en una cantidad especificada. Se diseñan tanto para la porción visible del espectro como para una región mayor (desde UV hasta IR cercano). Los niveles diferentes de atenuación se obtienen mediante diferentes espesores de 1 o 2 revestimientos metálicos sobre cuarzo o vidrio. El intervalo de densidades estándar va desde 0.1 (79.5 % de transmisión) hasta 4.0 (0.01 % de transmisión) en 8 escalones estandarizados. En algunas aplicaciones se utilizan filtros de densidad neutral y pasabanda continuamente variables utilizándose ruedas de filtro que colocan uno de varios filtros seleccionables sobre el camino óptico.

Entre otros componentes ópticos utilizados en el sistema sensor de luz se encuentran los prismas de ángulo recto (que desvían un haz de luz 90°); prismas de dispersión; divisores de haz (prismas o membranas o películas) que reflejan una porción del haz de luz a 90° permitiendo a la porción restante seguir la trayectoria recta; revestimientos (usualmente para propósitos de antirreflexión y a veces para proporcionar una reflexión). Los monocromadores son dispositivos pasabanda muy estrechos continuamente variables. Los limitadores de campo son discos opacos con un pequeño agujero; éste puede colocarse enfrente de un sensor de luz para asegurar que sólo un haz apropiadamente estrecho de la luz a medir alcanzará al sensor y que toda la otra luz (o radiación) quedará excluida.

Las ventanas son los componentes ópticos de un sistema sensor de luz que se colocan cercanos al área sensible del sensor. Se

utiliza en algunos casos como sellador transparente para proteger el material sensor del medio ambiente. El intervalo de transmisión de luz de los materiales ópticos es la característica de las más esencial de las ventanas. Algunos materiales se utilizan para la región ultravioleta (UV) (por ejemplo, zafiro, fluoruro de litio); otros se utilizan en porciones relativamente estrechas o relativamente anchas de la región infrarroja. Muchos diseños de sensores se encuentran con una selección de materiales ópticos de ventanas para proporcionar una respuesta espectral deseada.

Las características de respuesta espectral de los materiales sensores de luz deben ser compatibles con la banda de transmisión de la ventana. Otras características importantes de los materiales de ventanas, con influencia en el diseño, son el índice de refracción (especificado a una longitud de onda o número de onda determinado), el espesor, las pérdidas por reflexión, la solubilidad (Cloruro de sodio y bromuro potásico son solubles en agua), la dureza y la tendencia a flujo frío. Algunos sensores emplean más de una ventana.

Los preamplificadores se utilizan normalmente ya que la mayoría de los sensores de luz proporcionan una señal de salida relativamente pequeña y a veces tienen una impedancia de salida muy alta. El preamplificador se localiza físicamente muy cerca del sensor con el fin de que la longitud de los cables de conexión sea lo más corta posible y así disminuir el ruido en la señal. En algunos diseños el preamplificador está encapsulado integralmente con el sensor en una única cabecera sensora (cabecera óptica). Los preamplificadores deben estar calibrados con la impedancia de salida del sensor (que puede estar entre menos de 100 y más de 10^6 ohms) y proporcionan una ganancia alta y estable minimizando el ruido eléctrico. Su impedancia de salida por lo regular es baja, esto ayuda a disminuir los ruidos captados en el cable de conexión entre el preamplificador o el amplificador u otra electrónica.

El amplificador proporciona una ganancia adicional a la señal de salida del sensor para presentarla a un nivel apropiado y con características adecuadas al visualizador, analizador o al equipo de telemetría. Cuando la luz detectada por el sensor es troceada, se utiliza un demodulador para recuperar la modulación inducida en el troceado de la señal. El demodulador se sincroniza con el troceador por medio de los pulsos de sincronización generados por el troceador.

Debido a que en los analizadores DIRND y DLQ se utilizan diversos elementos ópticos, se dará a continuación una descripción general de los materiales ópticos más empleados para la fabricación de ventanas ópticas, lentes, prismas y filtros en las regiones visible e infrarroja, que son en las que trabajan los analizadores antes mencionados.

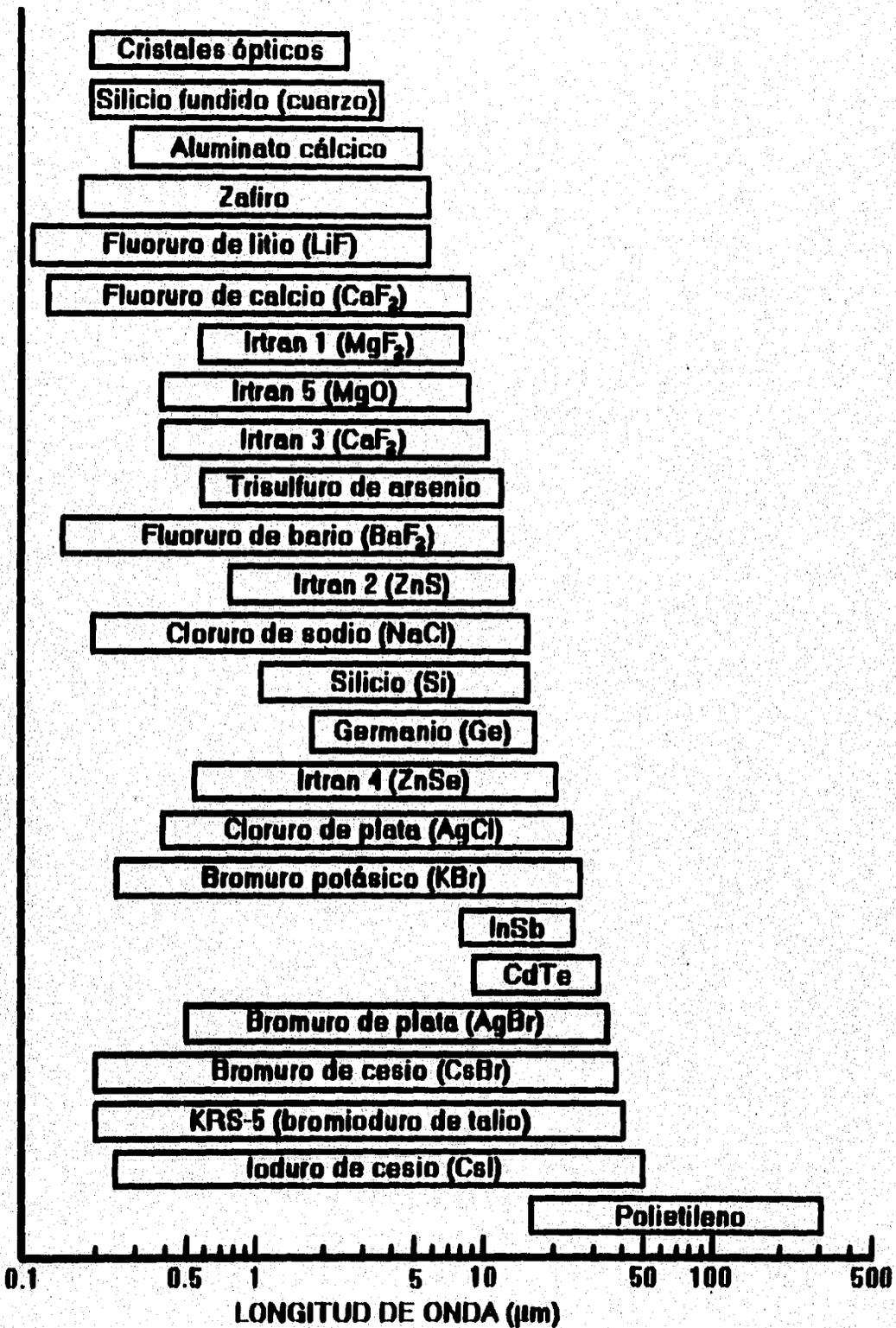


FIGURA 3.5

MATERIALES OPTICOS

La elección de materiales para los diferentes componentes de un sistema óptico como son las ventanas, los prismas, lentes y filtros está determinada por varios factores:

- 1) El intervalo de longitudes de onda a cubrir.
- 2) El medio ambiente y el manejo que los componentes deberán resistir.
- 3) Consideraciones del índice de refracción.
- 4) La intensidad de radiación que va a ser transmitida.
- 5) Costo.

En la figura 3.5 se muestran los intervalos de transmisión para diferentes materiales ópticos.

Para propósitos de clasificación, y debido a las características de varios materiales para aplicaciones en transmisión de luz, serán considerados en las siguientes regiones espectrales:

- a) Visible e infrarrojo cercano, 400 nm- 2 μ m.
- b) Infrarrojo medio y lejano, 2 - 1000 μ m.

El intervalo de transmisión dado para cada material, es variable y puede incrementarse, así como el intervalo de longitudes de onda, usando piezas más delgadas del material (si esto es posible físicamente). Además, el índice de refracción de todos estos materiales también varía con la longitud de onda. En las figuras 3.6 a 3.9 se presentan las gráficas de transmisión versus longitud de onda para diferentes materiales ópticos obtenidas de "Laser Focus Buyers Guide", publicada anualmente por Advanced Technology Publications Inc. 1001 Watertown Street. Newton MA 02165, donde lista un gran número de proveedores de una gran cantidad de componentes y sistemas ópticos.

Materiales transmisivos en las regiones visible e infrarrojo cercano.

Cristales ópticos. - Existe una gran variedad de cristales que se utilizan en la manufactura de componentes ópticos, aunque sólo algunos de ellos son ampliamente usados en la fabricación de lentes, ventanas, prismas y otros componentes. Estos incluyen los cristales borosilicatos Pyrex y BK7/A entre otros, así como el Vycor que está compuesto por un 96% de cuarzo fundido. En la figura 3.6 se muestran las curvas de transmitancia para el Pyrex No. 7740 y el Vycor No. 7913, con un espesor indicado en milímetros, estos materiales son de bajo costo, duros y químicamente resistentes y pueden fabricarse y pulirse con alta precisión.

Ya que la composición de los cristales es variable, pueden fabricarse cristales especiales cuyos coeficientes de expansión sean iguales a los de metales seleccionados. Estos cristales son útiles para sellar a estos metales con el propósito de hacer

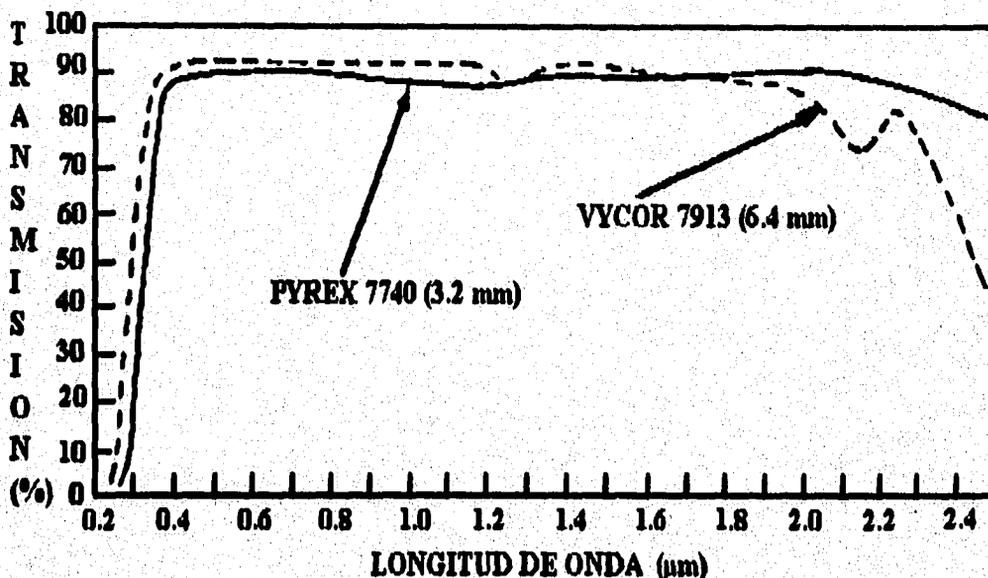


FIGURA 3.6

ventanas en cámaras de vacío. También están disponibles en el mercado ventanas para cámaras de vacío de cuarzo o zafiro, sin embargo, su construcción es compleja y por lo tanto su costo es alto. Existen además, varios grados de dureza en cristales que tienen altos índices de refracción por lo que se usan para hacer prismas, aunque estos pueden sufrir daños permanentes como obscurecerse cuando se exponen a la atmósfera.

Plásticos. - En ciertas aplicaciones no críticas, tales como en ventanas de observación, los plásticos transparentes como el acrílico, plexiglas, Lucite, Perspex y Kel-F son baratos y útiles. Sin embargo, estos no pueden obtenerse fácilmente con una calidad óptica alta (por ejemplo, con una muy buena calidad de superficie plana) y pueden sufrir raspaduras y rasguños muy fácilmente. El intervalo de transmisión para una ventana de acrílico de 1 cm de espesor se encuentra aproximadamente entre 340 nm y 1.6 µm. En la figura 3.7 se muestra una curva de transmisión versus longitud de onda de este material para un espesor de 3.175 mm. Una aplicación importante del acrílico es en la manufactura de lentes de Fresnel. El Kel-F es útil por arriba de los 3.8 µm, sin embargo presenta algunos decrementos en la transmitancia cerca de los 3 µm. Es similar al Teflon y es muy resistente a diversos químicos como al fluoruro gaseoso.

Materiales transmisivos en el infrarrojo medio y lejano.

Cloruro de sodio (NaCl figura 3.8). - es uno de los materiales más usados para las ventanas transmisivas en infrarrojo. Sin embargo es blando e higroscópico, puede pulirse con técnicas simples y mantenerse expuesto a la atmósfera por largos períodos sin dañarse tan solo manteniéndolo a una temperatura más alta que

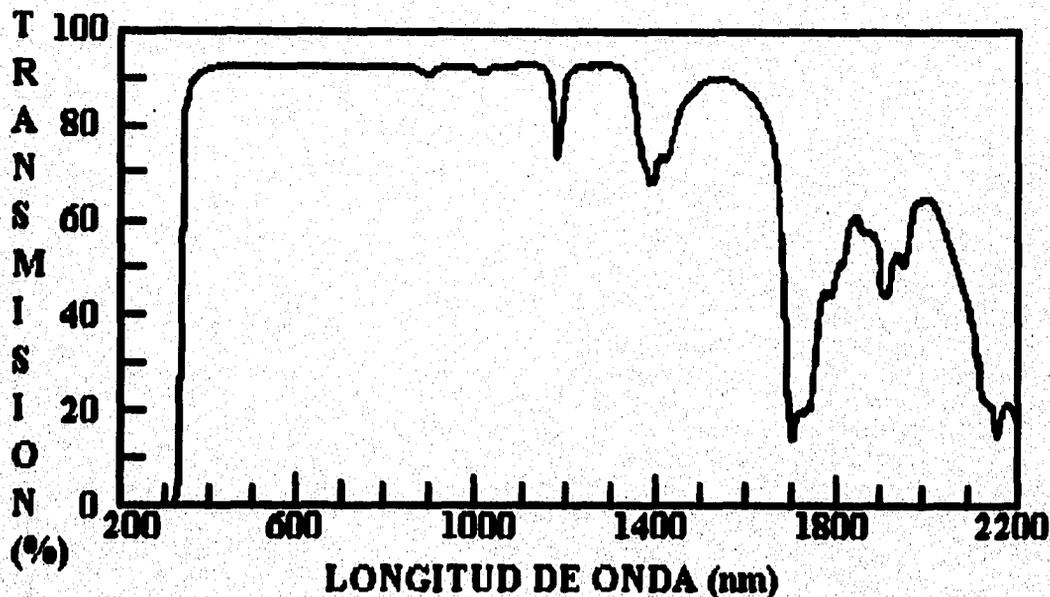


FIGURA 3.7

la ambiental. Hay dos caminos muy simples para conseguir esto: uno es montar un pequeño bulbo de filamento de tungsteno cerca de la ventana, y el otro es pasar un alambre calefactor alrededor de la periferia de la pequeña ventana. Las ventanas de NaCl de alta precisión se usan ampliamente como ventanas de Brewster para alta energía, y en sistemas de alta energía de lasers de CO₂ pulsados.

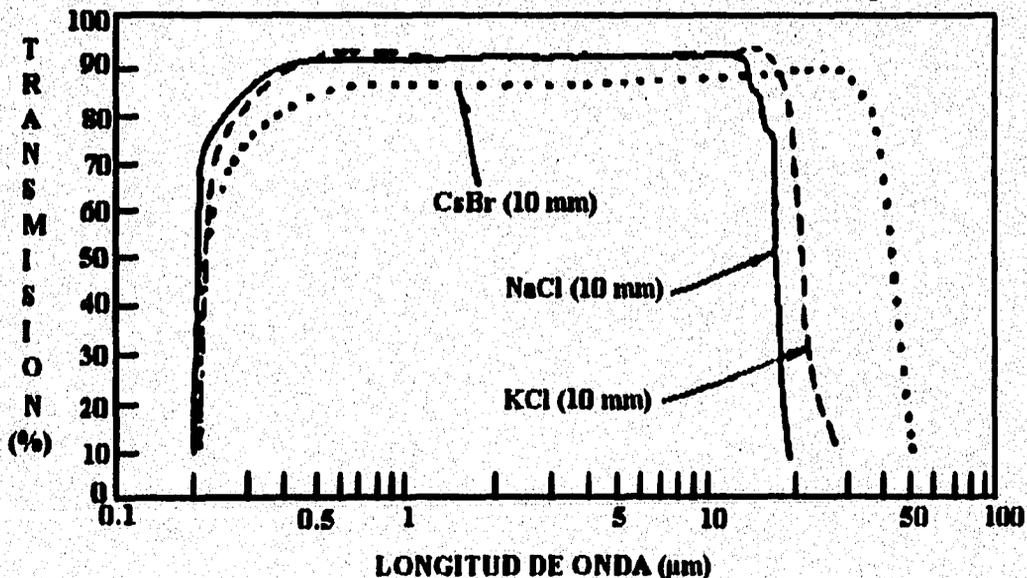


FIGURA 3.8 Curvas de transmisión para ventanas de bromuro de cesio, cloruro de potasio y cloruro de sodio, para el espesor indicado en milímetros.

Cloruro de Potasio (KCl figura 3.8). - es muy similar al NaCl. Es también un excelente material para usarlo como ventana de Brewster en láseres de CO_2 pulsados ya que su transmitancia en $10.6 \mu\text{m}$ es ligeramente mayor que la del NaCl.

Bromuro de Cesio (CsBr figura 3.8). - es flexible, blando y extremadamente soluble en agua pero tiene una transmitancia útil más allá de los $40 \mu\text{m}$. Este puede sufrir daños en su superficie si la humedad relativa es superior al 35%.

Yoduro de Cesio (CsI, figura 3.9). - se usa para prismas infrarrojos y ventanas es similar al CsBr, sólo que su intervalo de transmisión se extiende más allá de los $60 \mu\text{m}$.

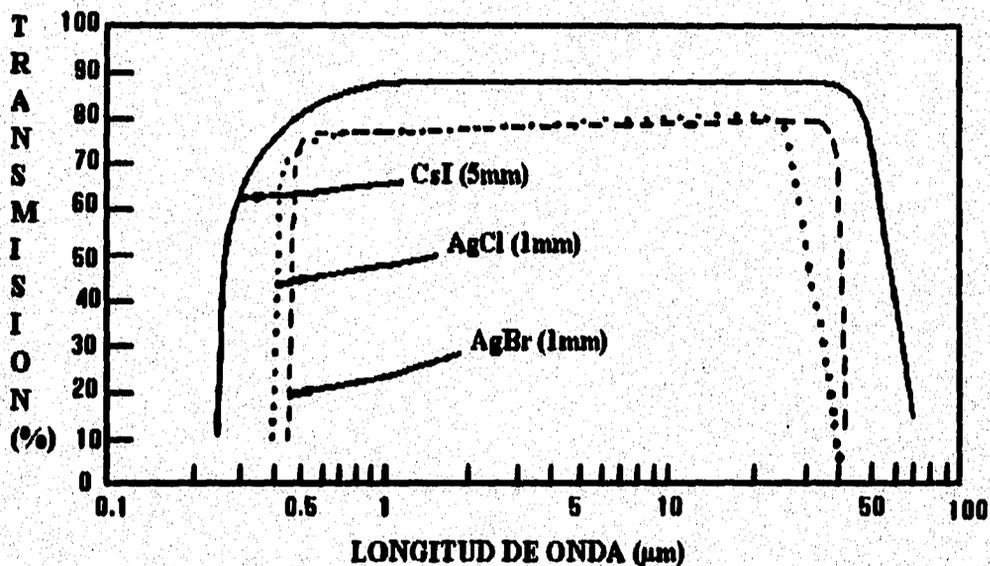


FIGURA 3.9 Curvas de transmisión para ventanas de yoduro de cesio, bromuro de plata y cloruro de plata para los espesores especificados.

Películas plásticas. - Varios materiales polímeros se venden comercialmente en forma de película, incluyendo el polietileno y el policarbonato entre otros. Estos materiales plásticos pueden usarse para envolver componentes cristalinicos ópticos higroscópicos para protegerlos de la humedad atmosférica. Si la película plástica se adhiere fuertemente al componente óptico, esta no afectará substancialmente la calidad óptica en el infrarrojo del componente. Sin embargo se debe tener cuidado con que la película polímera utilizada, transmita en el mismo intervalo que el componente que va a proteger. Por ejemplo, varios plásticos comerciales para envolver comida, pueden ocuparse para envolver ventanas de NaCl o KCl para usarlas en aplicaciones con un láser de CO_2 . Cabe mencionar que no todas las películas plásticas darán resultados satisfactorios, por

lo que cada una debe probarse al transmitir antes de usarse. Se debe tener precaución con estas películas ya que el vapor puede afectarlas.

Materiales semiconductores. Algunos de los materiales ópticos infrarrojos más valiosos son semiconductores. En forma muy pura estos materiales deberían transmitir para todas las radiaciones infrarrojas. Sin embargo, en la práctica el ancho de banda de las longitudes de onda de transmisión está determinado por la presencia de impurezas en el material, de hecho estas son agregadas al material para ser utilizado en la construcción de detectores infrarrojos. Los semiconductores son muy convenientes para hacer "espejos fríos", ya que ellos reflejan muy bien las radiaciones visibles, pero no las transmiten.

Silicio (Si, figura 3.10). - es un material duro, químicamente resistente y que transmite a longitudes de onda mayores a $1.1 \mu\text{m}$ aproximadamente. Sin embargo, presenta absorción cerca de los $9 \mu\text{m}$, por lo que no es recomendable para las ventanas de láseres de CO_2 . Tiene un alto índice de refracción pero puede ser cubierto con un antirreflejante, ya que debido a su alto índice de refracción, la superficie de este material debe ser altamente brillante para reducir la dispersión en la superficie. El silicio tiene una alta conductividad térmica y un bajo coeficiente de expansión térmica, es resistente a choques mecánicos y térmicos. Por lo tanto los espejos de silicio pueden manejar considerables densidades de poder como las de un láser infrarrojo.

Germanio (Ge, figura 3.10), transmite a partir de los $1.85 \mu\text{m}$. Muestras de este material muy puras pueden ser transparentes en la región de microondas. Es algo frágil, aunque aún es uno de los materiales más ampliamente usados para fabricar ventanas y lentes en aplicaciones con láser infrarrojo. Es químicamente inerte y puede manufacturarse con alta precisión. El germanio tiene buena conductividad térmica y un bajo coeficiente de expansión térmica, además, puede soldarse con metal. Su temperatura de trabajo debe conservarse abajo de los 40°C , ya que este presenta una "fuga térmica", esto es, su absorción se incrementa con un aumento de temperatura.

Arseniuro de galio (GaAs, figura 3.10). - transmite en el intervalo de 1 a $15 \mu\text{m}$. Es mejor que el germanio, particularmente en aplicaciones con láser de CO y CO_2 , aunque es más caro. Es un material duro, químicamente inerte y puede fabricarse con muy buen acabado en la superficie. Puede manejar grandes densidades de poder en el infrarrojo debido a que no presenta "fuga térmica" si no hasta alcanzar los 250°C . También se utiliza para fabricar láseres infrarrojos y moduladores electro-ópticos.

Telurio. - es un material suave, transparente de los $3.3 \mu\text{m}$ a los $11 \mu\text{m}$. No lo afecta el agua. Sus propiedades son altamente anisotrópicas y se utiliza en aplicaciones ópticas no lineales con

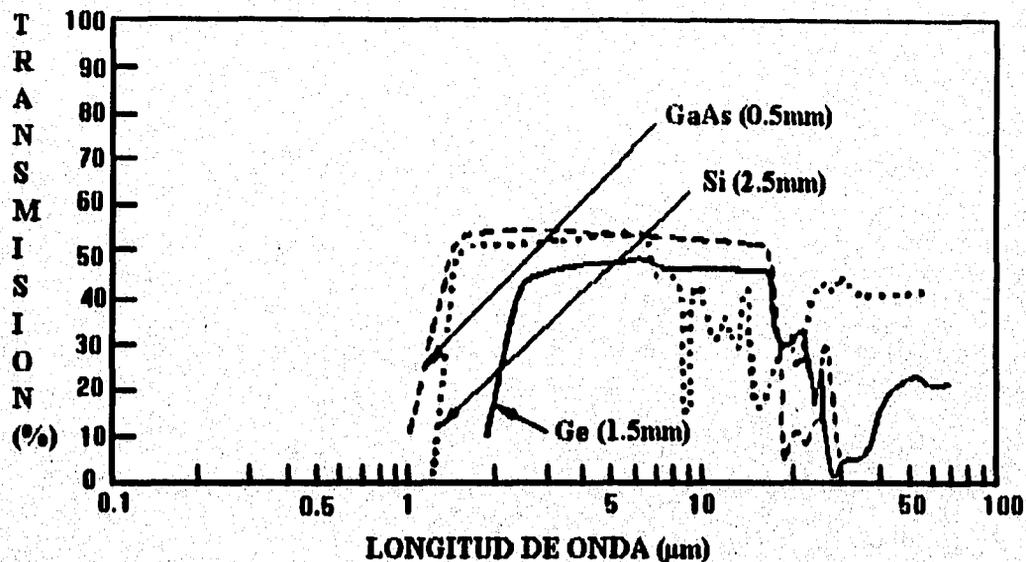


FIGURA 3.10 Curvas de transmisión para materiales semiconductores para un espesor dado.

laser de CO_2 como en la generación de una segunda armónica. El telurio no debe manejarse manualmente ya que es tóxico y puede absorberse a través de la piel.

SENSORES DE GASES A BASE DE SEMICONDUCTORES

Existen diversos tipos de elementos sensores capaces de detectar la presencia de un gas. Estos sensores se utilizan principalmente para construir equipos portátiles de medición, que se diseñan para operar en condiciones difíciles (no de laboratorio). De acuerdo a su principio de operación estos sensores pueden clasificarse como se muestra en la tabla 3.1. De entre ellos, los detectores de estado sólido son los más robustos. Lo anterior restringe entonces el abanico de posibilidades. Existen tres tipos principales de sensores cuyo principio de funcionamiento se basa en la física del estado sólido: a) los sensores galvánicos, b) los sensores catalíticos y c) los sensores a semiconductor. Este último tipo de sensor ha merecido una considerable atención por los diversos grupos de investigación, en virtud de las características únicas de los semiconductores, aunado a las grandes ventajas que aporta el hecho de que la tecnología de los semiconductores sea un campo en constante desarrollo.

De acuerdo a la manera en que operan, los sensores a base de semiconductores se pueden clasificar como sigue:

- 1) Dispositivos semiconductores químicamente sensibles (CCSD, por sus siglas en inglés).
- 2) Sensores a base de semiconductores homogéneos.

El primero consiste en estructuras a base de semiconductores,

tales como los diodos y los transistores de efecto de campo (FET, por sus siglas en inglés). Funcionan básicamente por cambios en las propiedades eléctricas del material debido a la conducción iónica del material, lo cual genera cambios en las características operativas del dispositivo (modulando su curva de respuesta).

TABLA 3.1

TIPO DE DETECTOR	PRINCIPIO OPERATIVO
Adsorción de gas	Se adsorbe un gas de manera irreversible, a menudo por reacción química, produciendo un cambio en una de las propiedades físicas del material, por ejemplo, el color.
Fotofísico	Por ejemplo, la espectrofotometría de infrarrojo o ultravioleta, en la cual se produce la transición de una molécula dada.
Catalítico	Los gases reaccionan sobre un filamento catalítico, vía un proceso exotérmico. El aumento en la temperatura se mide mediante una variación de resistencia en el filamento.
Célula electroquímica	Los gases reaccionan con los electrodos, produciendo una corriente eléctrica.
Electrodos de selección iónica	Electrodos entre los cuales se establece un potencial cuando el gas se expone a la superficie húmeda de los mismos.
Microbalanza	Los gases son adsorbidos por un cristal piezoeléctrico revestido. El cambio en la masa provocará una variación de frecuencia.
Transistor de efecto de campo	Técnica que puede estar ligada a otros de los métodos anteriores, mas hecha posible gracias a la tecnología del silicio.
Semiconductor	Una reacción reversible producida en la superficie del semiconductor provoca un cambio en las propiedades electrónicas, generalmente en la conductancia.

Los sensores a base de semiconductores homogéneos operan por cambios en la concentración de electrones debido a la adsorción del gas, lo cual modifica la conductividad eléctrica del material. Cabe mencionar que la adsorción de un gas por la superficie de un material es un proceso químico, a diferencia de la absorción, la cual es un proceso físico. En la adsorción el gas se une, es decir, se combina químicamente con los átomos de la superficie del material, en tanto que en la absorción los átomos del gas permanecen en la superficie debido a fuerzas electrostáticas.

Debido a la simplicidad en su principio operativo, este segundo tipo de sensor es el más prometedor para aplicaciones de uso generalizado.

Principio de operación de los detectores a base de semiconductores homogéneos.

La conductancia eléctrica, G , de un semiconductor se puede expresar por la relación:

$$G = qn\mu wd/l$$

donde :

- q = carga eléctrica elemental
- μ = movilidad de los portadores (electrones) en el material
- n = concentración de los portadores
- w = ancho de la muestra (suponiéndola como un paralelepípedo).
- d = espesor de la muestra
- l = longitud de la muestra

En el caso de un semiconductor, n y μ no sólo dependen de la temperatura, sino también de la concentración de gases en el medio que lo rodea. Si se mantiene constante la temperatura del sensor, entonces la determinación de su resistencia eléctrica, R , puede utilizarse para medir la concentración de los gases existentes en el medio ambiente. No obstante, el mecanismo del cual depende el cambio en la conductividad puede variar en función de los diferentes sistemas gas-semiconductor, y también con la temperatura de funcionamiento.

Por razones expuestas a continuación, el semiconductor debe ser de una composición química tal que, mediante el intercambio de átomos de oxígeno, se produzcan los cambios en su conductividad. Es por ello que los sensores a base de semiconductores homogéneos son todos compuestos óxidos. En general los óxidos semiconductores son de tipo N, es decir, poseen un gran número de electrones en la banda de conducción, que se encuentran ahí debido a un defecto o falta de un cierto número de átomos de oxígeno en la red cristalina (al faltar un átomo de oxígeno en la red, éste cede sus dos electrones de liga, que pasan a engrosar las filas de los electrones de conducción que se encuentran en la banda de conducción del sólido). Por ello, si un óxido semiconductor se encuentra en una atmósfera de oxígeno, este último es quimisorbido (adsorbido) en la superficie, atrapando electrones de la banda de conducción del sólido (precisamente aquellos electrones que cedió al dejar su lugar). Esto hace que la conductividad del material disminuya (aumenta su resistividad), en relación a la que normalmente tendría en ausencia de oxígeno.

A temperaturas elevadas (generalmente 200-500°C) una fracción del oxígeno adsorbido se puede eliminar químicamente en presencia

de gases reductores (u otros). Los electrones ligados al oxígeno regresan entonces a la banda de conducción, provocando de esta manera un aumento en la conductividad superficial. No obstante que este fenómeno no se extienda al volumen del semiconductor, un material comprimido y poroso presenta una gran sensibilidad a la detección de gases, ya que la resistencia medida es, sobre todo, función de los contactos entre las partículas que conforman la pastilla, y estos contactos se establecen precisamente en la superficie de los granos. Además, el óxido semiconductor se puede incorporar en un sensor de película delgada, en el cual una capa de aproximadamente 100 nm de espesor se deposita sobre un sustrato plano de cerámica.

Actualmente existen en el mercado diferentes tipos de sensores "de superficie" a base de óxido semiconductor. En 1962, T. Seiyama y N. Taguchi, trabajando de manera independiente en Japón, descubrieron que la resistencia eléctrica de cerámicas tanto de óxido de zinc, como de óxido de estaño (las cuales presentan grandes superficies activas) era fuertemente afectada por la presencia de ciertos gases reductores en el medio ambiente principalmente. Taguchi creó posteriormente una sociedad llamada ahora Figaro Engineering Inc. en Osaka, cuyo propósito es fabricar detectores de gas basados en el principio antes mencionado. Esta empresa tiene sucursales en Alemania con el mismo nombre y en E.U.A. bajo el nombre de Figaro USA, Inc. Se han estudiado (y continúan estudiándose) las posibilidades de utilización de una extensa gama de materiales como detectores de gas, sin embargo, el óxido de estaño es aún el material más empleado en el campo de los detectores a semiconductor. Tales detectores ya han encontrado diferentes campos de utilización en el Japón, en donde aproximadamente una tercera parte de las casas habitación están actualmente equipadas con detectores sensibles a gases inflamables.

Estado actual de la investigación en sensores a base de semiconductores.

El óxido estánico es el material más utilizado para la fabricación de detectores de gas a semiconductor y se ha realizado un trabajo considerable para mejorar sus características a ese respecto. Desde 1967 se han publicado más de 350 comunicados y patentes. Los principales frenos a la utilización del óxido de estaño son una selectividad insuficiente y el hecho de que no se obtenga un desempeño máximo más que a alta temperatura; sería deseable el aumentar la sensibilidad a ciertos gases, así como el disminuir la influencia de factores como la humedad. No obstante que se ha continuado la investigación respecto a la utilización de pastillas de polvos comprimidos o de recubrimientos de pasta horneada, en la actualidad existe una tendencia al empleo de películas semiconductoras, ya sea gruesas o delgadas, depositadas sobre sustratos de cerámica. Esto permite incorporar a los detectores de gas directamente en un circuito híbrido, que puede formar parte de una sonda microelectrónica miniatura.

Se puede mejorar la selectividad y la respuesta de un detector de óxido de estaño incorporándole diferentes impurezas. Por ejemplo, la adición de elementos activos en catálisis tales como el paladio y el platino pueden aumentar notablemente la sensibilidad respecto a los gases reductores. El uso de aditivos también puede tener un efecto considerable sobre la temperatura de operación necesaria; se ha encontrado que, incorporando trióxido de antimonio y paladio al óxido de estaño, se puede detectar monóxido de carbono a 25°C. Igualmente se ha mostrado que la utilización de la superficie de ciertas películas o aditivos aumenta la selectividad en varios casos: un detector de óxido de estaño cuya superficie esté recubierta de grupos de trimetilsilyl es mucho más selectiva al sulfuro de hidrógeno.

Las películas semiconductoras de óxido de estaño se pueden depositar por la técnica conocida como pulverización catódica ("sputtering", en inglés) o por evaporación reactiva a partir de una fuente de estaño o de óxido de estaño. Impurezas tales como el paladio o el platino se pueden incorporar en el blanco durante la pulverización. De esta manera la impureza se distribuye en la película. Alternativamente, se puede depositar una capa delgada discontinua y una película de otro material sobre la superficie del óxido estánico, a fin de cambiar sus características, como en el caso de los detectores en forma de pastillas de polvos comprimidos; de esta forma se pueden depositar diferentes películas delgadas en vacío. Un detector de película delgada de óxido de estaño presenta, por ejemplo, una gran sensibilidad a los óxidos de nitrógeno (NOx) en el aire, pero no responde suficientemente a 50 ppm (partes por millón) de propileno; no obstante, añadiéndole un revestimiento suplementario de aproximadamente 2.5 nm de una película discontinua de paladio-oro aumenta la sensibilidad al propileno, disminuyendo sólo ligeramente su sensibilidad a los óxidos de nitrógeno.

También se han desarrollado nuevas técnicas de preparación de películas semiconductoras. No obstante que la reacción química y la precipitación (los métodos más usuales en el caso de detectores en pastilla) presentan cierta flexibilidad y facilidad de puesta en práctica, dichos procedimientos no son compatibles con la microelectrónica. El depósito en vacío utilizado para la elaboración de películas delgadas es fácilmente controlable, pero requiere inversiones bastante importantes, e igualmente este método adolece de flexibilidad cuando se debe cambiar de material. Recientemente se ha puesto a punto una técnica de depósito organometálico. Esta sería bastante flexible, económica y compatible con los métodos empleados en microelectrónica. El principio consiste en preparar una pasta a partir de una sal de estaño adicionada con una cierta cantidad de impurezas y de proyectar esta pasta sobre los soportes semiconductores (oblas) que giran a 3000-5000 rev/min (a este proceso se le conoce como "stirring"). Después de que se ha secado y recocido al aire durante una hora, se obtiene una película libre de porosidades e impurificada, cuyo espesor es de 0.1-0.3 µm. Esta técnica podría

ayudar a desarrollar sistemas de detectores de gas integrados, en los cuales el control por microprocesador permitiría obtener una gran selectividad y una gran fiabilidad. Dichos sistemas podrían estar constituidos por una red de detectores y un circuito lógico de control; de esta manera se podría tener un buen número de captosres (de dimensiones del orden de unos 80 x 50 μm) funcionando a diferentes temperaturas, lo cual aseguraría una gran selectividad. El mismo objetivo se puede lograr modificando las composiciones de los diferentes elementos, o aún combinando los dos métodos ("sputtering" y "stirring"). Ya se ha demostrado que es posible fabricar un microdetector con elemento calefactor en silicio policristalino sobre un substrato semiconductor (oblea) en silicio. La tecnología de detectores de gas progresa rápidamente.

En la actualidad comienza a explorarse la utilización de técnicas alternativas de depósito de bajo costo para películas delgadas, tales como el depósito electroquímico y el rocío químico pirolítico ("spray pyrolysis"). El primero de ellos es un método cuyo principal problema es la reproductibilidad de los resultados. El segundo método consiste en la descomposición a temperaturas relativamente elevadas (300-500 $^{\circ}\text{C}$) de un compuesto diluido en un solvente y finamente pulverizado sobre un substrato caliente, esta técnica es bien conocida en la actualidad y su puesta en práctica es muy simple; sus resultados son (en muchos casos) comparables a los que se obtienen por técnicas más sofisticadas, además de ser totalmente compatible con los métodos empleados en microelectrónica y de poder incorporarse fácilmente a una línea de producción en serie.

CAPITULO IV

DESCRIPCION DE LOS METODOS DE MEDICION

DETECTOR INFRARROJO NO DISPERSIVO (DIRND)

El principio de operación del DIRND o detector infrarrojo de longitud de onda constante, está basado en que dentro de las moléculas, sus átomos vibran a frecuencias pequeñas pero bien definidas, características de sus uniones atómicas en la molécula. Estas frecuencias se hallan en la región infrarroja del espectro electromagnético. Cuando una muestra es expuesta a un rayo de luz infrarroja, esta absorbe energía a esas frecuencias. El patrón resultante, se conoce como un espectro de absorción infrarrojo, y es una de las propiedades físicas más características de un compuesto. Ya que tanto el dióxido de carbono como el monóxido de carbono son fuertes absorbentes de la luz IR, este método para cuantificar el CO resulta ser muy conveniente.

Se dice que un DIRND es un espectrofotómetro de absorción en el que el barredor monocromatizador se sustituye por un (a veces más) filtro estrecho pasabanda y que funciona en la región infrarroja del espectro. En general en un espectrofotómetro el elemento más esencial es el monocromatizador, que es un dispositivo dispersor de luz (por ejemplo, un prisma) y que permite examinar la intensidad luminosa para longitudes de onda seleccionadas o bandas estrechas de longitudes de onda. Su entrada óptica es luz policromática y su salida óptica es luz monocromática de longitud de onda conocida.

El monocromatizador recibe luz policromática a través de una rendija de entrada, modificando esta radiación geométrica y ópticamente, y dirigiendo la radiación seleccionada a través de una rendija de salida, de manera que pueda ser sensada por un fotodetector. La delimitación de concentración y geometría de los haces de luz se realiza mediante los colimadores (su salida son rayos paralelos y son regularmente lentes o espejos cóncavos) y ranuras ópticas (de entrada y salida para el monocromatizador). Mediante un fotodetector se sensa la radiación luminosa de la longitud de onda de interés; el detector produce una señal eléctrica de salida proporcional, en amplitud, a la intensidad de luz para esa longitud de onda.

En el espectrofotómetro de absorción básico (fig. 4.1), la luz procedente de una fuente, se convierte en luz monocromática, cuya longitud de onda es ajustable y siempre conocida, que atraviesa la muestra. En la muestra ocurrirá una absorción y los correspondientes cambios de la intensidad luminosa son sensados por el fotodetector. Seguidamente queda establecido el espectro de absorción al hacer una gráfica de la intensidad luminosa versus la longitud de onda.

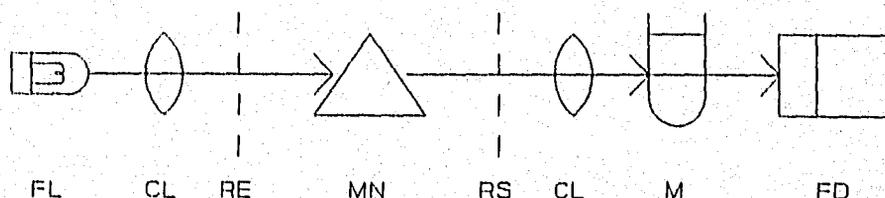


Figura 4.1 Espectrofotómetro de absorción. Elementos básicos: FL fuente de luz, CL colimador, RE ranura de entrada, MN monocromatizador, RS ranura de salida, M muestra, FD fotodetector

El DIRND básico consta de cuatro elementos esenciales:

a) Una fuente de energía infrarroja.- esta fuente puede ser, por ejemplo, una pequeña bobina de alambre de Nicromel a una temperatura de operación de 900°C aproximadamente; otra opción es un rayo laser que emita en la región infrarroja. La curva de radiación resultante para la distribución de energía se asemeja a la de un cuerpo radiador negro y cubre una región de longitud de onda de cerca de uno a dieciséis micrones. La energía se transmite a través de materiales ventana como son los siguientes: sal gema, zafiro, cloruro de calcio, cloruro de bario, cuarzo, germanio, bromuro potásico, cloruro de plata, bromuro de cesio, bromuro de talio, ioduro de cesio y fluoruro de bario, entre otros, cuya elección depende de la aplicación particular.

b) Celdas de muestra y referencia.- están situadas cada una en la dirección de un rayo que viene de la fuente de energía infrarroja. Básicamente están constituidas por tubos hechos de materiales ventana, antes mencionados, y con paredes pulimentadas; cabe mencionar que el material más utilizado para este tipo de celdas es el cuarzo. Es importante evitar la condensación de agua en la celda, para no opacar sus paredes, por lo que se puede optar por insertar un tubo de secado en la línea para eliminar la humedad de la muestra de escape o que el DIRND esté en una cámara a una temperatura constante. La celda de la muestra tiene puertas de entrada y salida para un purgado rápido y pueden operarse a varias presiones dependiendo de la construcción. El purgado debe realizarse con un gas seco, preferentemente con nitrógeno seco. El aire seco puede usarse también, sin embargo, como el dióxido de carbono es un fuerte absorbente de luz IR, este puede intervenir con el análisis, ya que puede originar lecturas incorrectas, si precisamente son el CO y el CO₂ los que se requiere cuantificar en la muestra gaseosa. Las dimensiones de la celda son importantes para determinar la sensibilidad del analizador:

Si se hacen pasar continuamente muestras del escape a través de la celda muestra, se puede obtener una medición continua de CO.

c) **Sensor infrarrojo y filtros ópticos.**- Los dos haces de luz IR al salir de las celdas se dirigen a un sensor IR, protegido por una ventana, a través de un filtro óptico, para así obtener una señal proporcional a la concentración de CO en el gas muestra.

d) **Acondicionador de señal y aparato de lectura.**- su función principal es modificar, si es necesario, la señal recibida por el sensor IR a niveles de voltaje o corriente que podamos manejar para desplegar la medición de CO en un aparato de lectura. Para acondicionar las señales, se utilizan normalmente preamplificadores que reciben la señal proveniente del sensor, circuitos adicionales y amplificadores. Además de estas etapas, se utilizan otros circuitos (por ejemplo, convertidores A/D, entre otros) para dar a la señal las características adecuadas para poder ser visualizada en un aparato de lectura, que puede ser un galvanómetro, un display o una gráfica en tiempo real mediante un software en una pantalla de computadora.

Existen muchas configuraciones ópticas diferentes de un DIRND, una distribución típica se muestra en la figura 4.2.

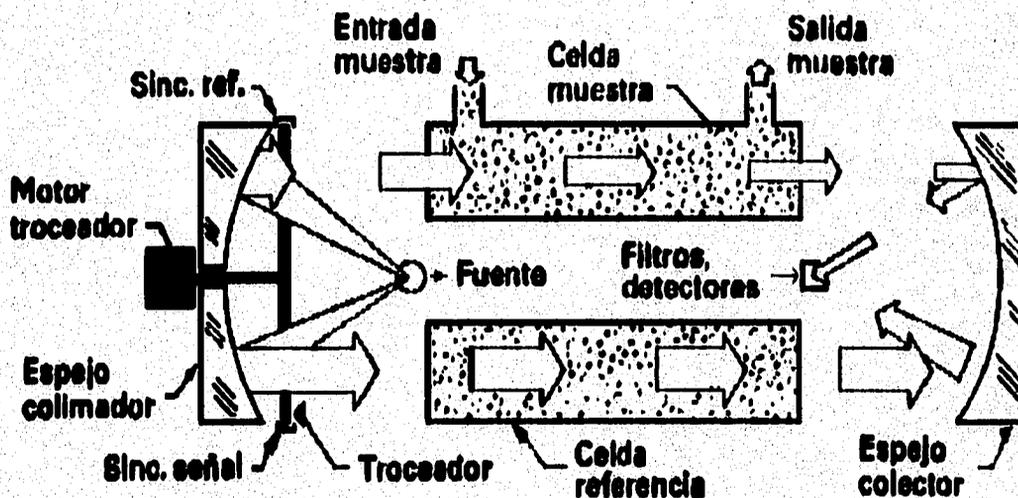


Figura 4.2 Diagrama de un DIRND

Los rayos de emisión IR de una fuente quedan colimados, es decir paralelos, en dos haces de luz hacia las celdas de muestra y referencia. Un disco troceador habilita alternativamente un haz y deshabilita el otro, proporcionando a la vez señales de sincronización.

Un haz pasa por una celda que contiene la muestra sometida a análisis y el otro haz pasa por una celda que contiene un gas de referencia. Los dos haces al salir de sus celdas respectivas son

recolectados y colimados en un detector IR a través de un filtro seleccionado para permitir el paso de radiación de una longitud de onda correspondiente a la longitud de onda de máxima absorción en la porción IR del espectro. En este caso, ya que el objetivo es medir el CO y el CO₂ de las emisiones vehiculares, según datos proporcionados por el INE (Instituto Nacional de Ecología) la localización de bandas de absorción en el infrarrojo son: para el CO en 2,150 cm⁻¹ y para el CO₂ en 675; 2,350; 3,625 y 3,725 cm⁻¹. Por lo que ambos compuestos tienen por lo menos una banda de absorción en el IRM (infrarrojo medio) que comprende las longitudes de onda de 3 - 15 micrómetros y los números de onda de 3333 - 666 cm⁻¹ respectivamente. La salida del fotodetector representa entonces alternativamente, un nivel de fondo, establecido por el haz de referencia, y un nivel de medida, establecido por el haz muestra. La diferencia entre estas dos salidas es indicativa de la concentración del gas de interés en la muestra.

Cuando se van a analizar dos compuestos en una muestra cuyas longitudes de onda de máxima absorción están lo suficientemente separadas, pueden emplearse dos conjuntos filtro/fotodetector para los análisis de concentración de ambos compuestos. Cuando se analiza la concentración de ciertos compuestos gaseosos en el aire del medio ambiente, puede omitirse la celda muestra y en su lugar dejar el camino óptico expuesto al aire del medio ambiente.

Además de las configuraciones ópticas del tipo de haz-dual, como el de la fig. 4.2 descrito anteriormente, algunas configuraciones pueden ser del tipo de haz-simple. Un ejemplo de éstos tiene una disposición en la que el haz policromático de una fuente pasa a través de la muestra y se separa en dos haces mediante un divisor de haz.

El haz a medir alcanza su detector a través de un filtro seleccionado con un ancho de banda estrecho (del orden de 100 nm y con un factor de calidad Q = 4500), situado en la longitud de onda de máxima absorción del gas de interés, mientras que el haz de referencia alcanza su fotodetector por un filtro que deja pasar solamente unas longitudes de onda escogidas como referencia y no afectadas por las características de absorción de la mezcla gaseosa. Una vez que se tiene una señal eléctrica del fotosensor esta es recibida por la etapa acondicionadora de señal y se despliega la lectura correspondiente.

Cabe mencionar que alrededor de 250 diferentes gases presentan líneas de absorción utilizables en la región IR. En la tabla 4.1 proporcionada por el INE (Instituto Nacional de Ecología), se muestra la localización de bandas de absorción en el infrarrojo (que comprende de 12,820 - 12.5 cm⁻¹), para algunos gases de combustión.

TABLA 4.1

GAS	Localización de bandas de infrarrojo (cm ⁻¹)
SO ₂	525 - 1,150 - 1,350 - 2,500
NO	750 - 1,050 - 1,350 - 1,625 - 1,875 - 2,900
CO ₂	675 - 2,350 - 3,625 - 3,725
CO	2,150
HCl	2,900
H ₂ O	1,600 - 3,700

DETECTOR POR IONIZACION DE FLAMA (DIF)

El DIF consiste en una pequeña cámara en la que una llama alimentada de hidrógeno arde en aire u oxígeno. El gas muestra se introduce en la cámara permitiendo que se mezcle con el hidrógeno que alimenta la llama. Se utiliza hidrógeno porque produce muy pocos iones, y con ello proporciona una buena relación señal a ruido. Los fragmentos iónicos y electrones libres producidos por la combustión de los átomos de carbono oxidables produce una corriente de ionización entre dos electrodos muy próximos a la llama, ya que estos tienen un voltaje de polarización aplicado, el cual es del orden de los 100-200 V CD.

En la mayoría de los diseños, el quemador mismo actúa como un electrodo y el otro llamado electrodo colector está encima de la llama. Se detecta la corriente muy pequeña de los electrodos y se amplifica mediante un amplificador-electromedidor, típicamente un amplificador de estado sólido con una etapa de entrada FET. La corriente de ionización es proporcional al caudal de la muestra y al número de átomos de carbono en el compuesto.

En la figura 4.3 se muestra el diagrama básico de un DIF. Como se puede observar, el gas muestra se mezcla con el hidrógeno para posteriormente a través del mechero o quemador, entrar a la flama. El aire se suministra en la periferia de la flama. La forma de la flama y su proximidad a la zona de detección tienen un marcado efecto en la sensibilidad del instrumento.

La operación del detector de ionización de flama depende de escoger: a) una velocidad apropiada del flujo de gas, b) diseño de los electrodos y c) el diseño del quemador.

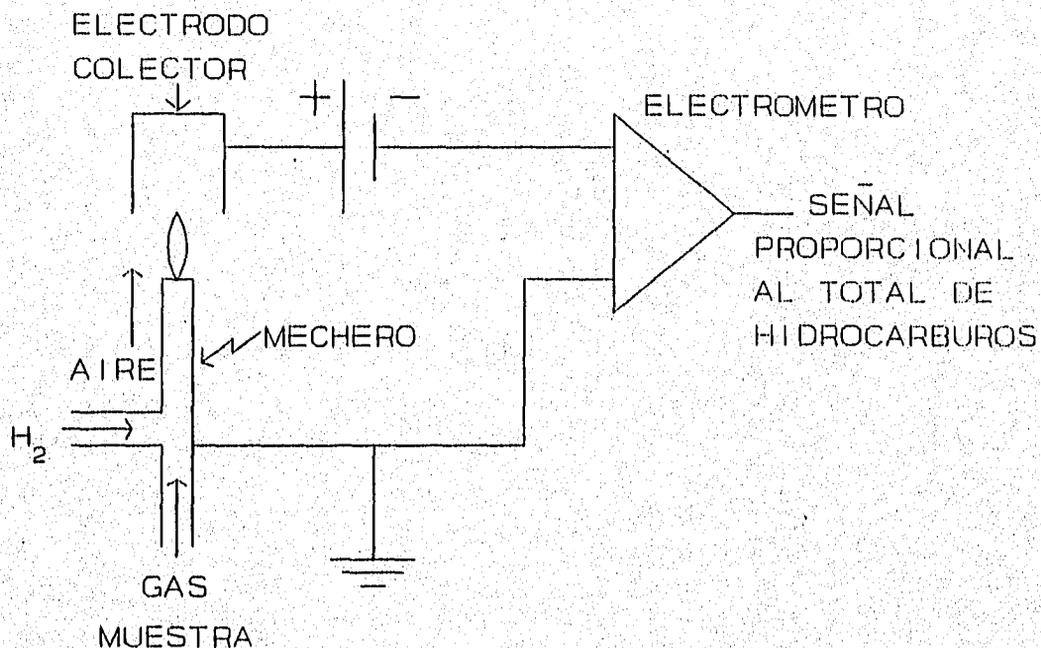


Figura 4.3 Detector por Ionización de Flama

El detector por ionización de flama responde virtualmente a todos los componentes con excepción a los listados en la tabla 4.2 que se muestra a continuación:

TABLA 4.2

He	CS ₂	NH ₃
Ar	COS	CO
Kr	H ₂ S	CO ₂
Ne	SO ₂	H ₂ O
Xe	NO	SiCl ₄
O ₂	N ₂ O	SiHCl ₃
N ₂	NO ₂	SiF ₄

Particularmente la falta de respuesta al aire, agua, CO, CO₂ y NO_x hacen al detector de ionización de flama muy útil como analizador exclusivamente de hidrocarburos.

DETECTOR DE LUMINISCENCIA QUIMICA (DLQ)

Este tipo de detector surgió al final de los años 70's por la necesidad de cuantificar nitrógeno, oxígeno y compuestos que contenían azufre en agua o aire. En el DLQ, el gas a medir o gas muestra se mezcla con un reactivo, formando así un compuesto fácilmente detectable, en este caso, especies que emiten luz o que presentan luminiscencia química.

Se puede decir que el DLQ es un espectrofotómetro de emisión (cuyo esquema básico se muestra en la figura 4.4), sólo que el monocromatizador se sustituye por un filtro óptico y además es adicionado con un preamplificador, un acondicionador de señal, un amplificador y un desplegador de lecturas. En la fig. 4.4 la luz policromática de la muestra luminosa se dirige al monocromatizador a través de colimadores y ranuras ópticas que barren sobre la región espectral especificada proporcionando luz monocromática, a longitudes de onda conocidas e intensidades indicativas del espectro de emisión, al fotodetector.

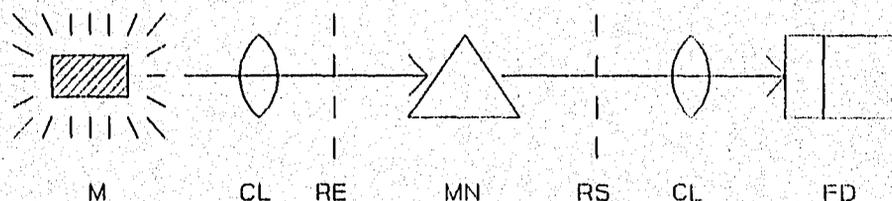
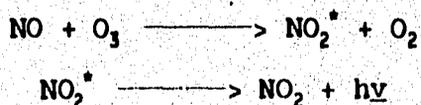


Figura 4.4 Espectrofotómetro de emisión; M muestra luminosa, CL colimador, RE ranura de entrada, MN monocromatizador, RS ranura de salida, FD fotodetector.

El DLQ más común es para detectar óxido nítrico (NO) y está basado en su reacción con el ozono (figura 4.5). Las reacciones se llevan a cabo de la siguiente forma:



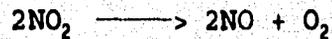
donde:

h = constante de Planck
 ν = frecuencia, Hz

El NO se mezcla con un exceso de ozono (O_3) en una cámara de reacción a presión reducida, para producir dióxido de nitrógeno en un estado excitado electrónicamente (NO_2^*). Como este regresa inmediatamente a su estado base, la energía de excitación se convierte en energía luminosa mediante una emisión de fotones en las regiones de luz visible (380-780 nm) y en el infrarrojo cercano (780-3000 nm). De hecho, la radiación de luminiscencia química así

producida se encuentra fundamentalmente en las longitudes de onda de 590 a 3000 nm. Para eliminar perturbaciones debidas a la luminiscencia de otras moléculas y a procesos de absorción de otros componentes se limita la medición de luminiscencia para NO, al intervalo espectral entre 600 y 660 nm con ayuda de un filtro óptico. Esta emisión se mide mediante un tubo fotomultiplicador y un circuito electrónico asociado que permita preamplificar, acondicionar, amplificar y desplegar la señal obtenida del fotodetector.

La determinación de los NO_x es idéntica a la del NO, descrita anteriormente, excepto por que, antes de entrar a la cámara de reacción el gas muestra es introducido a un convertidor donde el NO₂ es transformado en NO. La reacción es la siguiente:



La respuesta del DLQ es proporcional al total de NO de la muestra convertida, o sea, a la suma del NO originalmente presente en la muestra más el NO resultante de la conversión de NO₂. La combinación de NO y NO₂ se designa comúnmente como NO_x.

Para la determinación del NO₂, el sistema del DLQ determina alternativamente la cuantificación del NO y NO_x; para que posteriormente un circuito electrónico registre automáticamente la concentración de NO₂ mediante la sustracción del valor del NO del valor de NO_x.

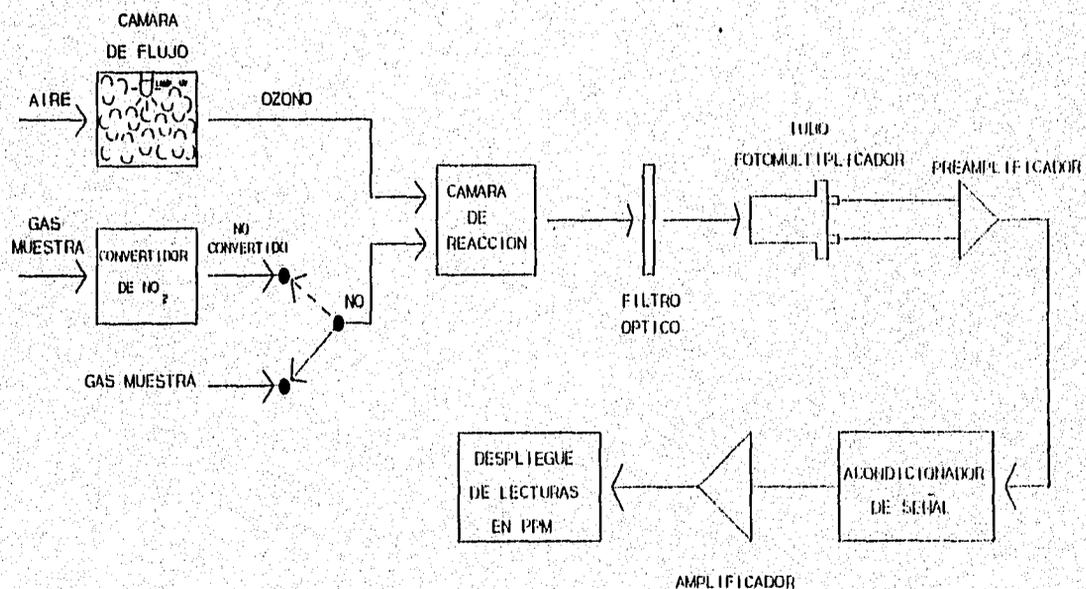
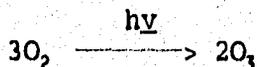


FIGURA 4.5 DETECTOR DE LUMINISCENCIA QUIMICA

El ozono necesario para la reacción quimiluminiscente se produce en una cámara de flujo donde una corriente de aire es expuesta a la radiación ultravioleta de una lámpara. Esta reacción se muestra a continuación:



Además de los contaminantes CO, HC y NOx es importante medir las partículas sólidas en los gases de combustión, para tal propósito se utilizarán los filtros PM₁₀.

FILTROS PM₁₀

Los Filtros PM₁₀ se requieren para capturar y pesar en una balanza analítica las partículas de 10 µm, que provienen de los gases de combustión. La captura de las partículas se realizará durante una prueba de 4.5 a 6 min. Los filtros son de Micropore®, para capturar partículas sólidas de 10 µm.

Adicionalmente, se necesitan dos portafiltros de acero inoxidable, en serie, primario y secundario, para asegurar una colección superior al 95%.

SENSORES DE GASES A BASE DE SEMICONDUCTORES

Como se dijo en el capítulo anterior Figaro Engineering Inc. es una empresa dedicada a la fabricación de este tipo de sensores. Esta compañía es líder mundial en la fabricación de sensores de gases a base de semiconductores, basta decir que entre 1968 y 1995 más de 80 millones de sensores de gas figaro se han usado en todo el mundo y que actualmente produce más de 1.2 millones de detectores por mes; por lo que a continuación se describirán los sensores de gases comercializados por dicha empresa.

Figaro Engineering Inc. fabrica una extensa gama de sensores a base de óxido de estaño que detectan los gases, a través de un incremento en la conductividad eléctrica, en el momento en que se adsorben los gases reductores en la superficie del sensor. Dichos sensores están comercializados bajo las siglas TGS y presentan las siguientes características:

- Larga vida y buena confiabilidad
- Respuesta rápida
- Alta resistencia a los gases corrosivos.
- Excelente durabilidad y resistencia a golpes o vibraciones.
- Señal de salida grande
- Bajo costo, ya que su mecanismo de operación es simple.
- Baja precisión
- No requieren circuitos sofisticados ya que hay una transformación

directa de la concentración del gas en señal eléctrica, a través de un cambio medible en la conductividad eléctrica.

- Alta sensibilidad, se pueden detectar bajas concentraciones de gases ya que se tiene una variación importante de la resistencia del detector por unidad de concentración.

Mecanismo de detección de gases

Cuando el sensor se calienta a una temperatura alta, por ejemplo, a 400°C, sin la presencia de oxígeno, los electrones libres fluyen fácilmente a través de los límites de los granos de las partículas del dióxido de estaño (SnO_{2-x}).

En el aire, el oxígeno, captura los electrones libres por su afinidad con ellos, se absorbe por las partículas de dióxido de estaño de la superficie formando una barrera de potencial en los límites de los granos. Esta barrera de potencial (eV en el aire) restringe el flujo de electrones, causando un incremento en la resistencia eléctrica del semiconductor (figura 4.6a).

Cuando el sensor se expone a una atmósfera que contenga gases reductores, por ejemplo: gases combustibles, CO, etc., la superficie del dióxido de estaño adsorbe estas moléculas de gas y ocasiona una oxidación (figura 4.6b).

Esto disminuye la barrera de potencial, permitiendo a los electrones fluir más fácilmente, y de este modo la resistencia eléctrica se reduce (figura 4.6c).

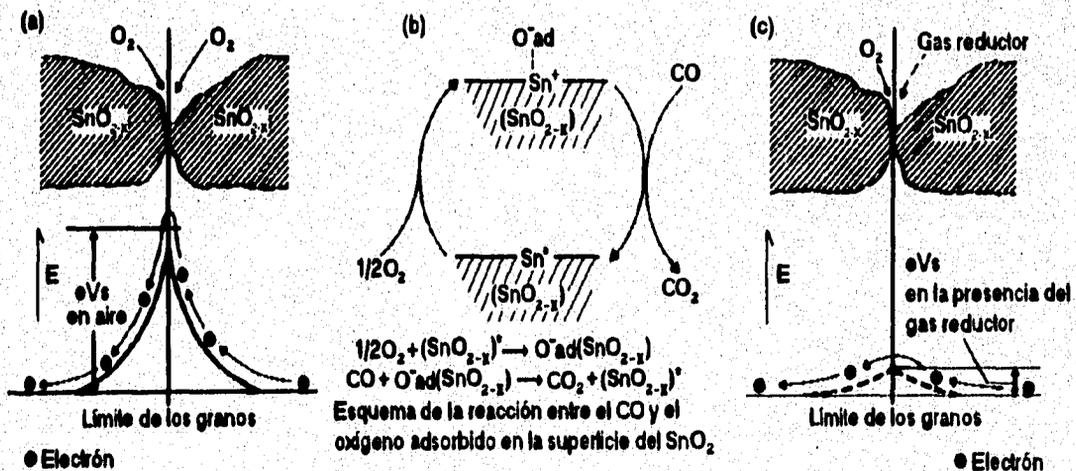


FIGURA 4.6

La reacción entre los gases y el oxígeno de la superficie variará dependiendo de la temperatura en el elemento sensor y de la actividad de sus materiales. Figaro fabrica diversos sensores que

tienen diferentes sensibilidades transversales mediante la selección de las combinaciones más apropiadas entre la temperatura del sensor y la actividad de los materiales del sensor.

Características de sensibilidad

La sensibilidad de los sensores de gas Figaro, se define por la relación que existe entre los cambios de la concentración del gas y los cambios de resistencia del sensor y está basada en una función logarítmica.

Las características de sensibilidad para algunos de los sensores Figaro se muestra en las gráficas que aparecen en el apéndice A. En dichas gráficas los valores de resistencia del sensor (R_s), son normalizadas por la resistencia del sensor (R_0) para las condiciones especificadas para cada modelo, el eje y está definido por la relación R_s/R_0 . En las gráficas se representan las características típicas para cada sensor y pueden variar dentro de un estrecho intervalo definido.

Configuración y estructura de los sensores.

Existen tres tipos de estructuras de los elementos sensores y seis diferentes configuraciones para el encapsulado de los sensores de gas Figaro.

Estructura

Serie-1 (figura 4.7). Estos sensores tienen dos electrodos en espiral hechos de una aleación de iridio-paladio, encapsulados dentro de una pastilla de óxido estánico. Uno o ambos de estos electrodos se usan como resistencias calefactoras, por lo que puede decirse que estos sensores son de calentamiento directo.

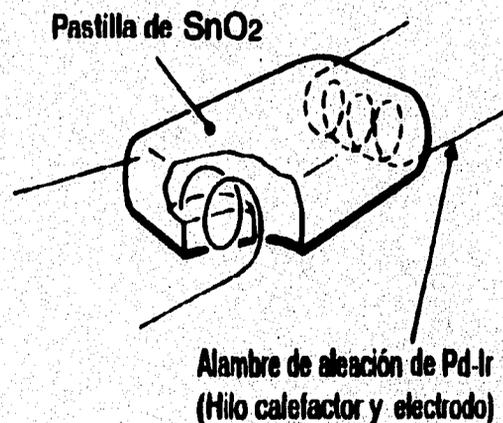


FIGURA 4.7

Serie-5 (figura 4.8). Estos sensores contienen elementos miniaturizados. Constan de dos electrodos y una película delgada de dióxido de estaño montados sobre un alambre calefactor rectilíneo, aislado mediante una película de alumina. Por lo anterior este sensor es del tipo de calentamiento indirecto.

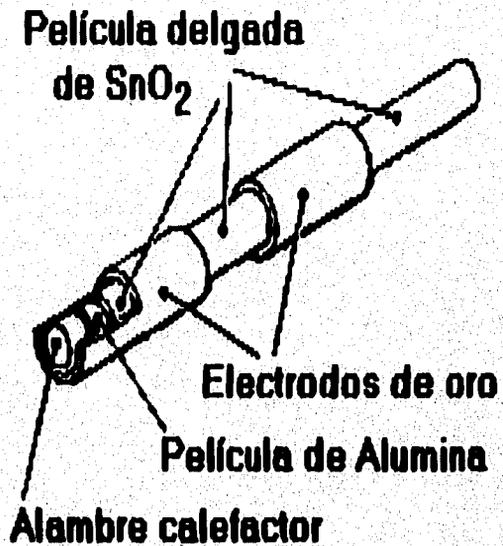


FIGURA 4.8

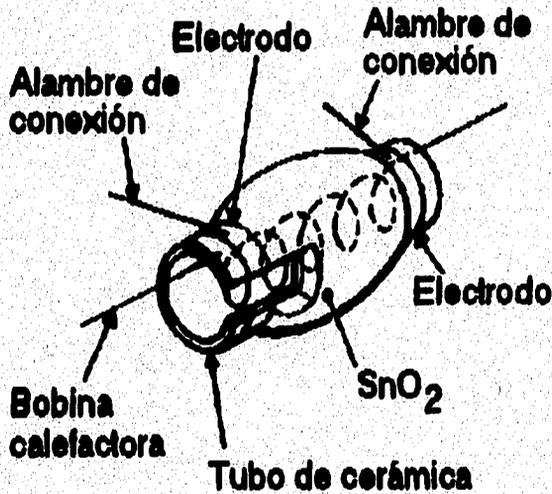


FIGURA 4.9

Serie-8 (figura 4.9). En estos sensores se deposita por compresión térmica una capa de óxido de estaño sobre un tubo cerámico de alumina; en el interior del tubo se coloca una bobina calefactora y en las extremidades del material semiconductor se depositan dos contactos de oro. Son de calentamiento indirecto.

Las seis configuraciones diferentes de encapsulado de los sensores de gas Figaro se ilustran en el apéndice A, al igual que los circuitos de medición básicos para las tres diferentes estructuras.

En la tabla 4.3 se muestran los campos de aplicación para los sensores de gas Figaro, obtenida de las especificaciones de los sensores de estado sólido para gas de FIGARO USA, INC.

TABLA 4.3 CAMPOS DE APLICACION

CATEGORIA	CAMPO DOMESTICO	CAMPO COMERCIAL E INDUSTRIAL
Gases combustibles - Metano - Propano - Hidrógeno - Otros	Alarmas de gas para el hogar, vehículos y barcos.	Sistemas de detección de gas para casas y edificios comerciales, plantas industriales, plataformas petroleras, petroquímicas. Detectores de gas portátiles.
Gases tóxicos - CO - Amoníaco - Sulfuro de hidrógeno	Detectores de CO para hogares, barcos, vehículos y aplicaciones en sistemas de combustión. Alarmas contra incendio.	Sistemas de monitoreo de CO para estacionamientos. Sistemas de detección de fuego. Detección de escapes de amoníaco en refrigeradores. Detección de amoníaco en campos de cultivo. Sistemas de detección de gas en plantas industriales. Detectores portátiles.
Alcohol	Detectores de aliento alcohólico.	Detectores de aliento alcohólico para profesionales.
Vapores solventes		Detección de solventes para fábricas, industrias de semiconductores e industrias de limpieza en seco.
Halocarbonos		Detección de Halocarbonos para refrigeradores, aire acondicionado, procesos de limpieza para componentes eléctricos, etc.
Detección de olores	Detectores de aliento bucal. Detección de olores en refrigeradores.	Monitoreo de aliento para dentistas. Sistemas de medición de olores para industrias de alimentos.
Otros: - Oxígeno - CO ₂ - Humedad	Monitoreo de oxígeno. Control de calidad del aire en interiores. Aire acondicionado.	Detectores de oxígeno. Monitoreo de dióxido de carbono. Monitoreo de aire acondicionado para oficinas.

APLICACIONES

El campo de aplicación (tabla 4.3) de los sensores de gas Figaro abarca desde sistemas para detectar gases tóxicos que puedan poner en riesgo la salud hasta sistemas de control e instrumentación.

Control e Instrumentación

- * Controles de ventilación, de calidad de aire (para purificadores de aire, ventiladores y extractores) para casas, edificios y automóviles.
- * Controles automáticos para cocinar en hornos de microondas.
- * Sistemas de monitoreo y control de combustión para aparatos de calentamiento.
- * Control de fermentación
- * Analizadores de gases.

De los contaminantes que se pretenden medir, el único que se podría detectar con estos sensores sería el CO mediante el sensor TGS203. En la figura 4.10 se muestra el sistema de detección de CO con el sensor de estado sólido TGS203 y en la figura 4.11 el diagrama de bloques del procesamiento de la señal de salida del sensor, para obtener un despliegue visual de las mediciones de CO en ppm. Sin embargo, ya que se requiere una medición lo más precisa posible se revisaron las gráficas y especificaciones del fabricante del TGS203 (apéndice A), que fueron proporcionadas al comprar dicho sensor y se encontró que sus principales desventajas son: por su tipo de estructura este requiere adicionalmente un circuito integrado para su funcionamiento y una compensación de temperatura con un termistor, además, también se encontró que su precisión es muy baja, razón por la que se descartó esta posible solución para la medición del monóxido de carbono.

Por lo anterior, se eligen para integrar el sistema de medición de contaminantes los analizadores DIRND, DIF y DLQ como la mejor opción para detectar el CO, los HC y los NOx respectivamente. Para medir la cantidad de PM se utilizarán los filtros PM₁₀.

Una vez definidos los analizadores que se van a utilizar, se buscaron comercialmente en el mercado y se encontró que el fabricante que ofrece los mejores equipos de acuerdo con sus características y especificaciones y que además fabrica los tres analizadores requeridos entre otros, fué HORIBA INSTRUMENTS, INC. empresa de origen japonés con representantes en diferentes países, entre ellos México.

Se solicitaron las cotizaciones correspondientes a los equipos requeridos las cuales se muestran en el apéndice B, al igual que sus hojas de especificaciones, en las que se encuentra que los tres equipos tienen opción de salida en voltaje de las mediciones ya sea por el puerto serie o el paralelo y también una salida analógica de

0 a 5V directamente proporcional a las ppm de cada contaminante. Dicha salida se utilizará para diseñar el sistema de adquisición de datos mediante una tarjeta adquisidora de datos comercial y un software para el despliegue en pantalla de las lecturas en ppm de cada contaminante.

GAS MUESTRA O DE CALIBRACION (200 PPM DE CO)

EXTENSION HACIA UN CIRCUITO ELECTRONICO PARA ALIMENTAR Y CONTROLAR EL SENSOR Y OBTENER UNA SEÑAL DE MEDICION PROPORCIONAL A LAS PPM DE CO EN EL GAS MUESTRA.

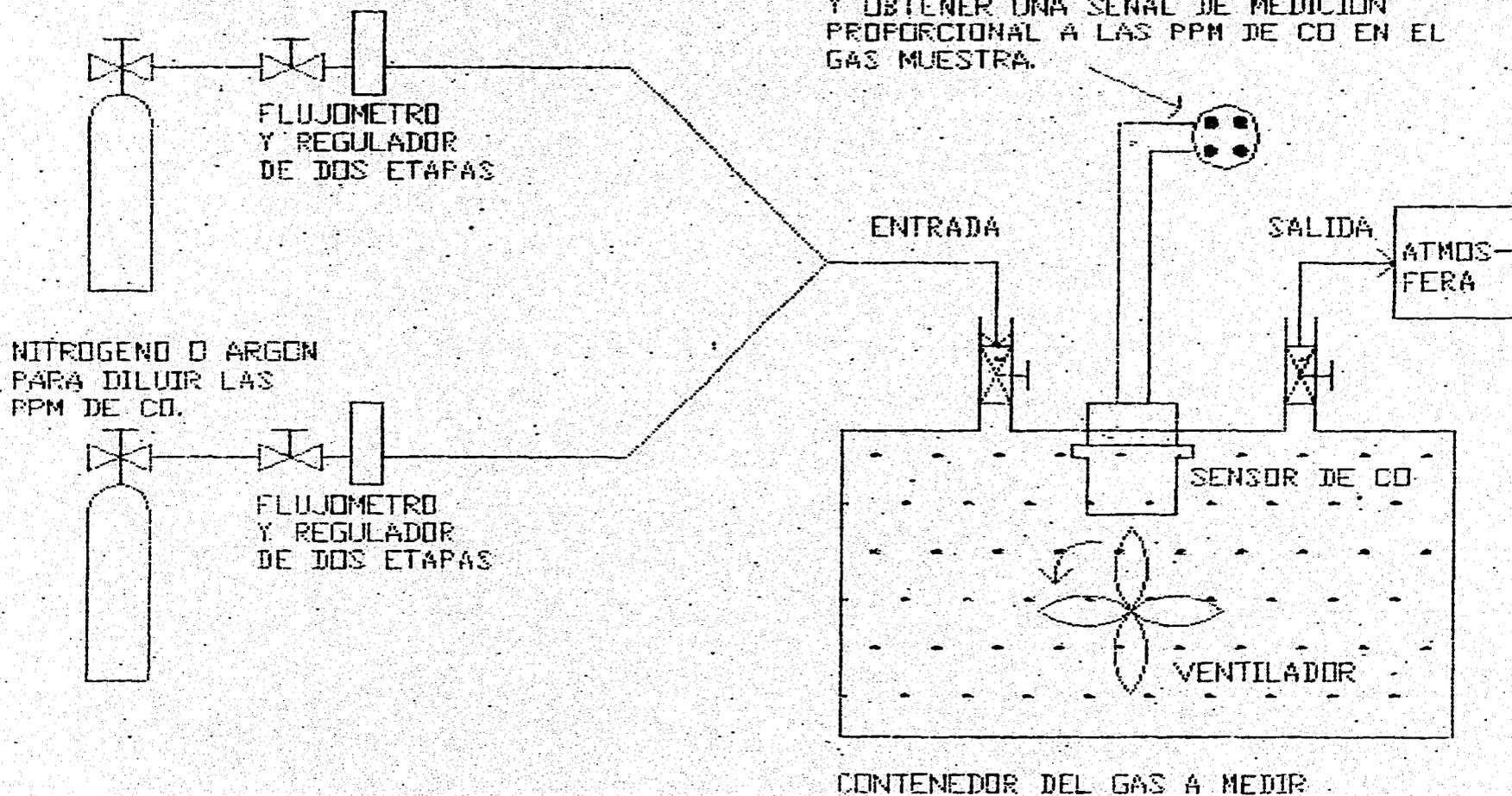


FIGURA 4.10

SISTEMA DE DETECCION DE CO CON UN SENSOR DE ESTADO SOLIDO

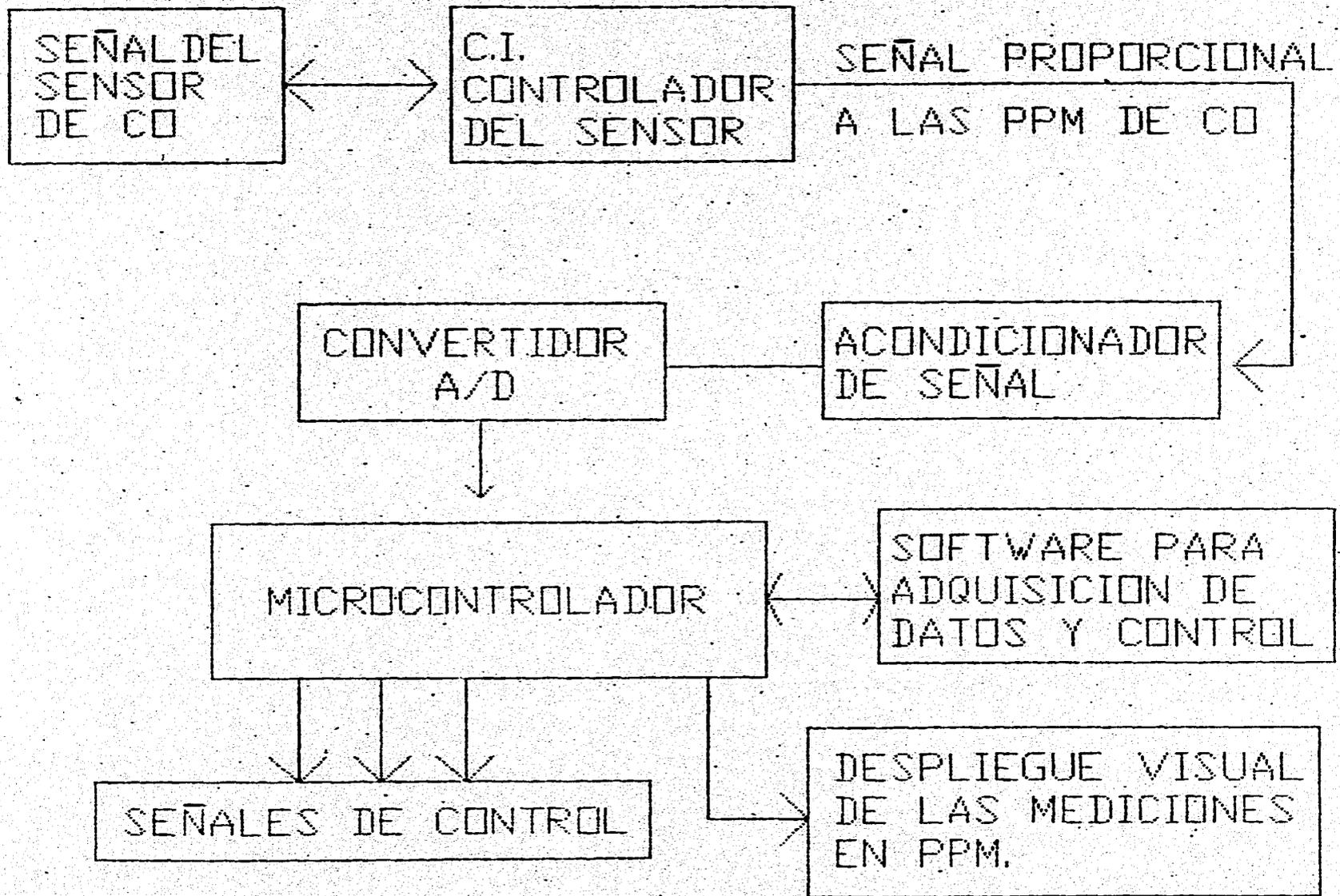


FIGURA 4.11

CAPITULO V

DISEÑO GENERAL DEL SISTEMA

INTRODUCCION

El minitunel de dilución (figura 5.1), que se requiere para simular las cantidades de contaminantes que usualmente se encuentran en la atmósfera debidas a las emisiones de motores Diesel, se basa en tomar los gases del escape crudos y diluirlos con aire atmosférico filtrado hasta alcanzar la temperatura mínima de equilibrio para así poder realizar las mediciones correspondientes.

Debido a que el proceso de la dilución de las emisiones requiere para su óptimo funcionamiento tanto de un sistema de monitoreo electrónico de las diferentes variables que intervienen en el proceso como son la temperatura, presión y flujo, como de un sistema de control electrónico para regular el flujo tanto de las emisiones como del aire de dilución, a continuación se presenta el diseño para integrar dichos sistemas.

Cabe mencionar que se elige un sistema electrónico porque se pretende que el funcionamiento general del minitunel de dilución se opere a través de una computadora personal.

DESARROLLO DEL SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL ELECTRONICO PARA EL MINITUNEL DE DILUCION DE GASES.

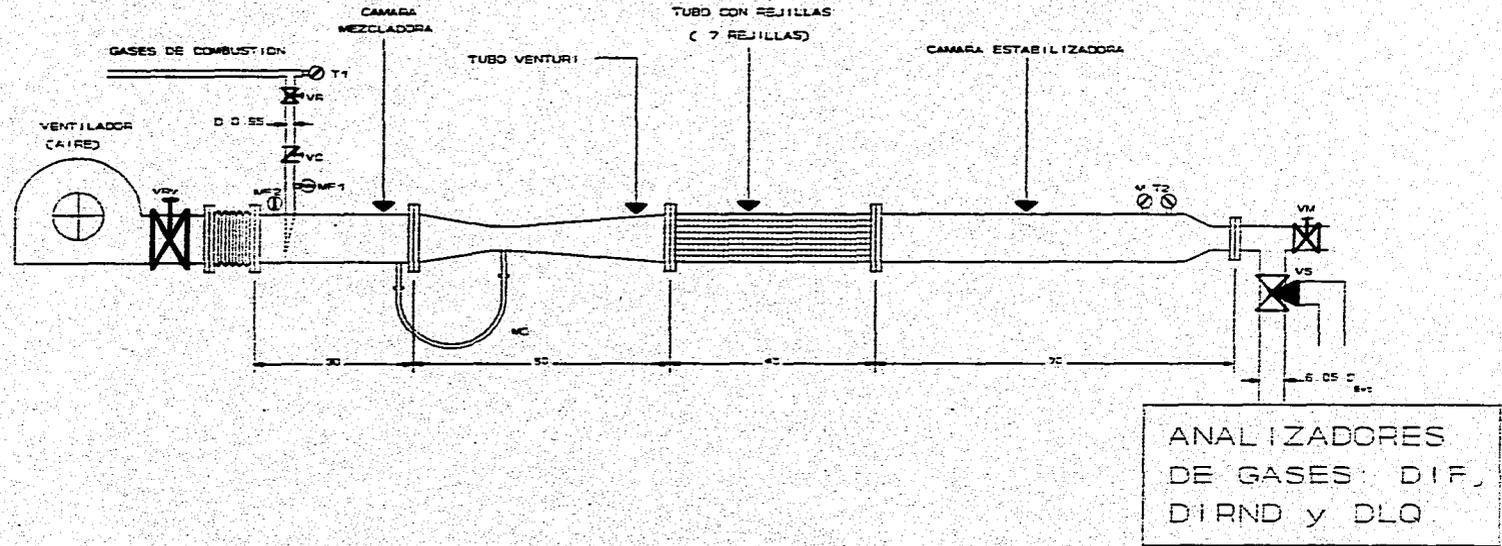
El sistema de monitoreo e instrumentación electrónica consiste en detectar diversas variables de dicho minitunel, tales como son presión, temperatura y flujo, que se miden en diferentes puntos: en las emisiones provenientes del escape del motor Diesel, en el aire de dilución y en las emisiones ya diluidas. Los transductores que se utilizarán para medir las variables antes mencionadas tienen una salida ya sea en voltaje con valores entre 0 y 5 V o en corriente de 4 - 20 mA. También este sistema tiene como objetivo cuantificar en ppm (partes por millón) los contaminantes CO, HC y NOx, además de cuantificar el peso de las partículas sólidas. Cabe mencionar que los analizadores DIRND, DIF y DLQ, que se utilizarán para medir dichos contaminantes tienen una salida analógica de 0 a 5 V directamente proporcional a las ppm de cada contaminante. La balanza analítica que se utilizará para pesar las PM (partículas sólidas), tiene una salida directamente proporcional a los mg (miligramos) de las PM y consiste en una interfase RS-232-C para comunicarse con una computadora a través del puerto serie (apéndice C). Es conveniente mencionar que todos los elementos que constituyen el sistema de monitoreo y control (que se describen más adelante), junto con el minitunel de dilución estarán ubicados en una misma habitación, por lo que la caída de tensión debida a la longitud de los cables entre los transductores

MINITUNEL DE DILUCION DE GASES

INSTRUMENTACION Y ACCESORIOS

- | | |
|--|-------------------------------------|
| T1 - Termómetro digital 0-300°C. | VR - Válvula regulable electrónica |
| T2 - Termómetro digital 0-100°C. | VC - Válvula check |
| M - Manómetro digital 0-1 Kg/cm ² . | VM - Válvula manual |
| MF1 - Medidor de flujo digital 0-0.1415 m ³ /min. | VS - Válvula solenoide de 3 vías. |
| MF2 - Medidor de flujo digital 0-14.15 m ³ /min. | VRM - Válvula regulable electrónica |
| MD - Manómetro diferencial digital | |
- Acotación en cm.

FIGURA 5.1



de presión, flujo y temperatura, y la tarjeta adquisidora de datos, se considera despreciable.

FLUJO MASICO

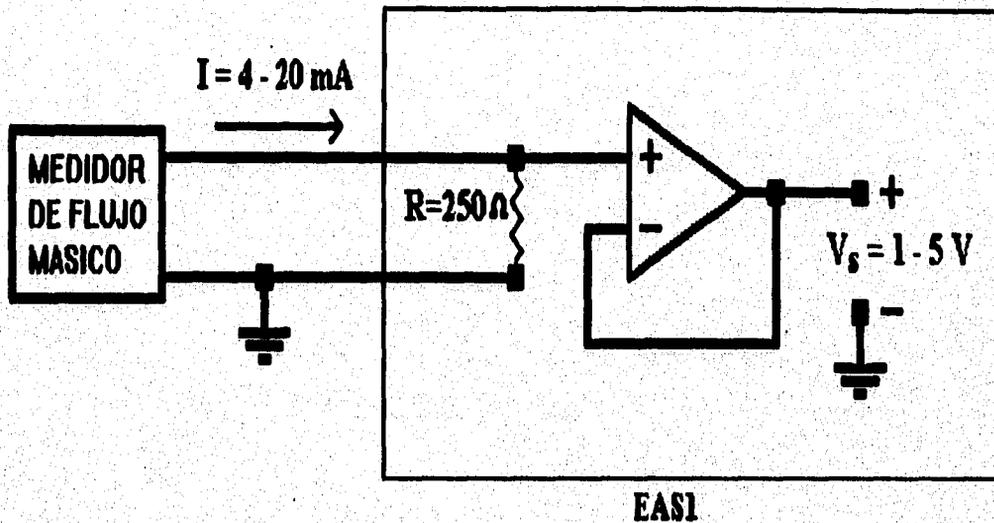


FIGURA 5.2

El flujo másico de los gases de combustión (MF1, fig. 5.1), del aire de dilución (MF2, fig. 5.1) y del combustible para el motor, se medirán con flujómetros másicos ABB Kent Taylor®, cuyas especificaciones y cotizaciones se muestran en el apéndice C. Dichos instrumentos tienen una salida analógica de 4 a 20 mA proporcionales al flujo másico a medir, para que estas señales analógicas sean recibidas por la tarjeta adquisidora de datos, es necesario una etapa acondicionadora de señal que convierta la salida de 4 a 20 mA en una señal con valores entre 0 y 5 V. La etapa acondicionadora de señal (EAS1) que se requiere se muestra en la figura 5.2, con la que se obtiene una salida de 1 a 5 V.

PRESION

La presión absoluta que se requiere medir en los gases de combustión (M, fig. 5.1), está en el intervalo de 0 a 1 kg/cm² y con una resolución de 0.1 kg/cm², se propone utilizar un medidor de presión Cole-Parmer® (apéndice C), que tiene un intervalo de medición de 0 a 15 psia (0 a 1.055 kg/cm²), con una precisión de ± 0.5%, y proporciona una salida ya sea de 1 a 5 V o de 4 a 20 mA, se elige la salida en voltaje ya que ésta no requiere de una etapa acondicionadora de señal.

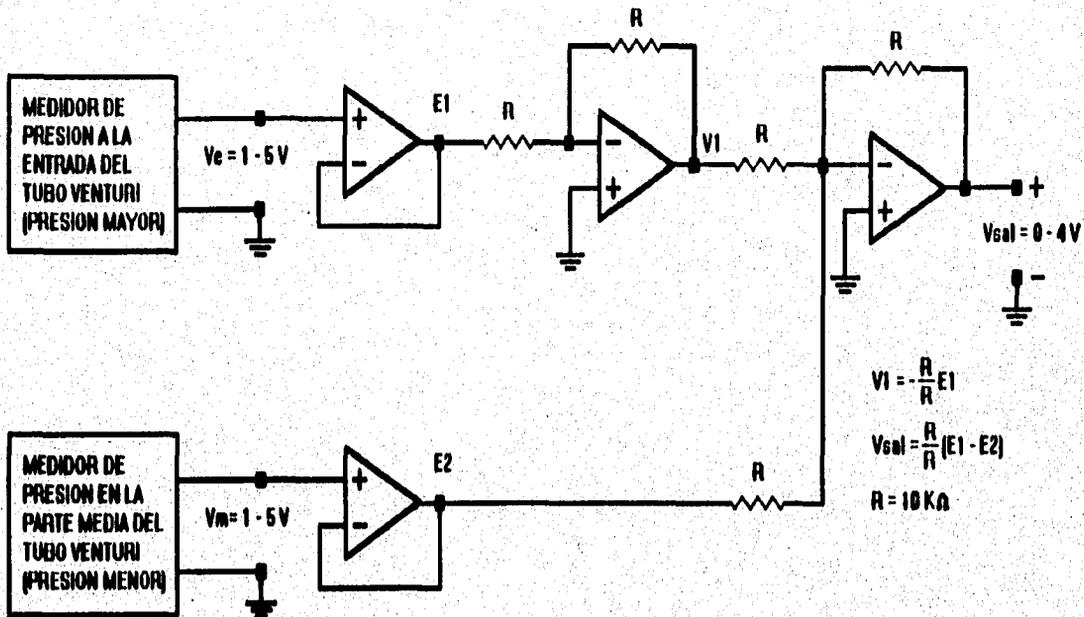


FIGURA 5.3

También se requiere medir un diferencial de presión entre la entrada y la parte media de un tubo Venturi por donde circulan los gases de combustión ya diluidos (MD, fig. 5.1), por la construcción del tubo Venturi la presión absoluta en su entrada (diámetro mayor) es mayor a la presión absoluta en la parte media (diámetro menor), y como el $\Delta P_{max} = 17118.7 \text{ Pa} = 0.17 \text{ bar}$ con una resolución de $1 \text{ Pa} = 0.01 \text{ bar}$, es posible utilizar dos medidores de presión absoluta como el que se menciona en el párrafo anterior para obtener la presión absoluta a la entrada y en la parte media del tubo Venturi y hacer una resta de las señales en voltaje para obtener el ΔP requerido. El diagrama de bloques de este medidor de presión diferencial se muestra en la figura 5.3, de donde se obtiene que la señal de voltaje proporcional al diferencial de presión está en un intervalo de 0 a 4 V.

TEMPERATURA

Es necesario medir la temperatura en dos puntos del minitunel de dilución, uno es en el conducto por donde circulan los gases de combustión provenientes del motor Diesel (T1, fig. 5.1), y otro es a la salida del minitunel de dilución en los gases de combustión ya diluidos (T2, fig. 5.1).

El termómetro T1 que se requiere debe tener un intervalo de valores de medición de $0 - 300^{\circ}\text{C}$, con una resolución de 1°C , se propone utilizar un termómetro BAILEY®, que tiene un elemento

sensor de temperatura del tipo de resistencia eléctrica (RTD), de platino-100 ohms a 0°C, ya que tiene un intervalo de medición de 0 - 300°C, con una precisión de 0.1°C. Las características de este medidor de temperatura, al igual que su cotización se encuentran en el apéndice C.

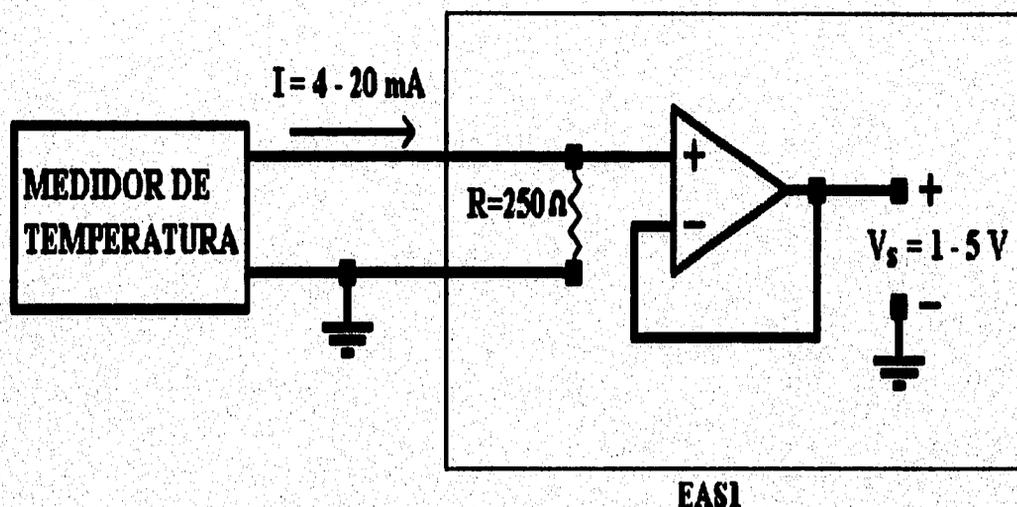


FIGURA 5.4

Este medidor de temperatura tiene una salida de 4 - 20 mA, por lo que requiere de una etapa acondicionadora de señal como la EAS1 de la figura 5.2 para convertir su salida de 4 - 20 mA en una de 1 a 5 V (fig. 5.4).

El termómetro T2 necesario para medir la temperatura de los gases de combustión ya diluidos debe tener un intervalo de medición de 0 - 100°C, con una resolución de 1°C. Se propone utilizar como elemento sensor de temperatura el circuito integrado LM35 (con encapsulado metálico), que en conjunto con un circuito acondicionador de señal (figura 5.5), proporciona una salida en voltaje de 0 - 5 Volts, con una resolución de 50 mV/°C.

Las señales de salida acondicionadas de los transductores de presión, flujo y temperatura con valores entre 0 y 5 V, las salidas de los analizadores DIRND, DIF y DLQ de 0 a 5 V y la salida de la balanza analítica con la interfase RS-232-C, se utilizarán para integrar el sistema de adquisición de datos mediante una tarjeta adquisidora de datos comercial y un software para desplegar en pantalla las mediciones ya sea en ppm o en mg de cada contaminante.

DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA DE CONTROL PARA EL MINITUNEL DE DILUCION

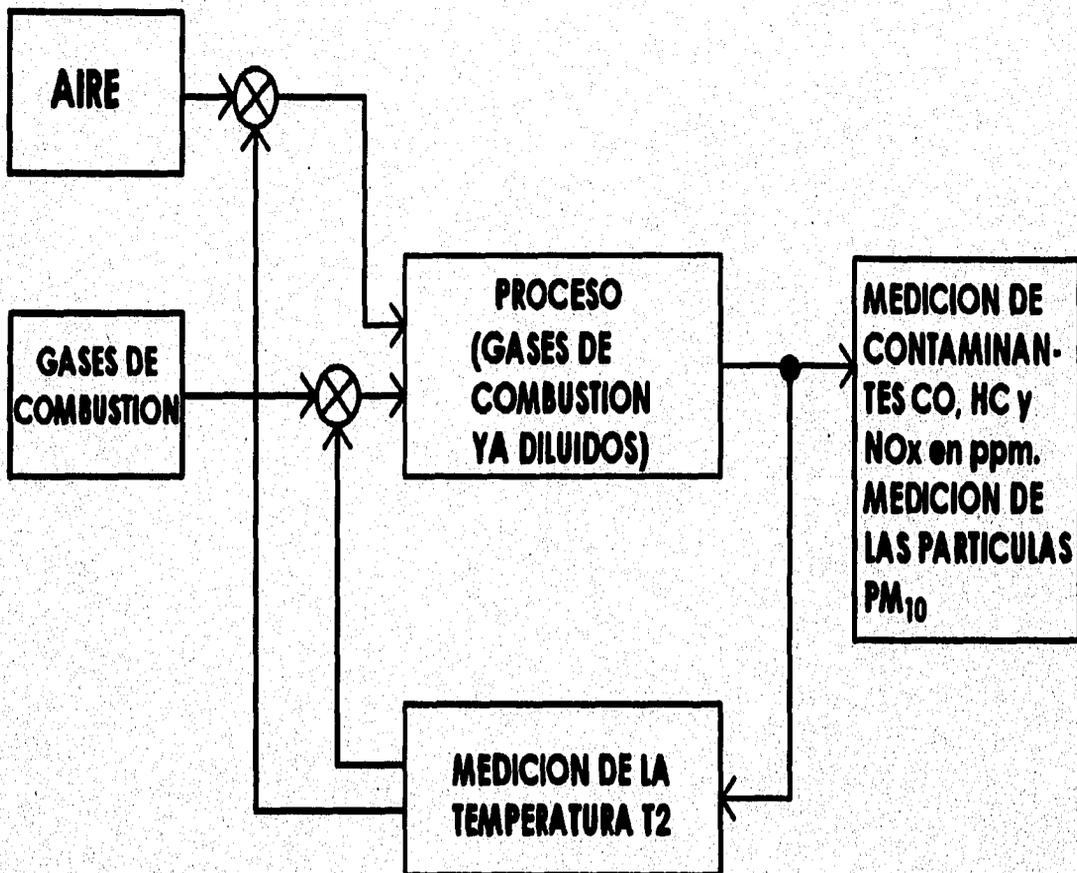


FIGURA 5.6

para realimentar y controlar el minitunel de dilución, en la figura 5.8 se muestra el sistema de monitoreo y control electrónico para el minitunel de dilución de gases en diagrama de bloques.

Las señales de salida que se mencionan en el párrafo anterior, se consideran de entrada hacia la tarjeta adquisidora de datos y las señales para controlar las válvulas VR y VRM (ver figura 5.1) son señales de salida de la tarjeta adquisidora de datos. Las señales analógicas y digitales tanto de entrada como de salida de la tarjeta adquisidora de datos tienen valores entre 0 y 5 V y se describen a continuación:

Señales analógicas de entrada:

- 1) DLQ proporciona las ppm de NO_x, resolución 1 ppm.
- 2) DIF proporciona las ppm de HC, resolución 1 ppm
- 3) DIRND proporciona las ppm de CO, resolución 1 ppm.
- 4) Termómetro digital (T1) 0 - 300°C, resolución 1°C.
- 5) Termómetro digital (T2) 0 - 100°C, resolución 1°C.

**DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA DE CONTROL
PARA EL MINITUNEL DE DILUCION**

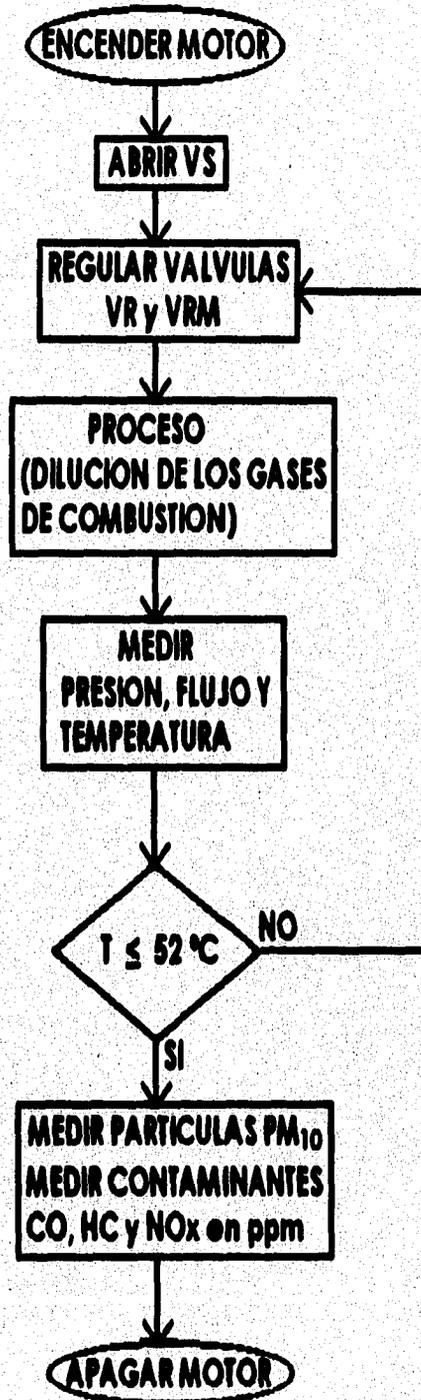


FIGURA 5.7

- 6) Manómetro digital (M) 0 - 1 kg/cm², resolución 0.1 kg/cm².
- 7) Manómetro digital diferencial (MD) $\Delta P_{max} = 17118.7 \text{ Pa} = 0.17 \text{ bar}$, resolución 1 Pa = 0.01 bar.
- 8) Medidor de flujo digital (MF1) 0 - 0.1415 m³/min, resolución 0.002 m³/min.
- 9) Medidor de flujo digital (MF2) 0 - 14.15 m³/min, resolución 0.002 m³/min.
- 10) Medidor de flujo de combustible 742 gr/min, exactitud $\pm 2\%$

Señales analógicas de salida

- 1) Señal de control para la válvula regulable electrónica (VR) precisión 1^o.
- 2) Señal de control para la válvula regulable electrónica (VRM) precisión 1^o.

Señales digitales de salida

- 1) Válvula check (VC) 0 ó 5V
- 2) Válvula solenoide de 3 vías (VS) 0 ó 5V
- 3) Interruptor del Motor a Diesel.

ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DEL SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL ELECTRONICO PARA EL MINITUNEL DE DILUCION DE GASES.

* Analizadores de gases.- Consta de los detectores DIRND, DIF y DLQ para medir las ppm de CO, HC y NOx respectivamente.

* Filtros PM₁₀.- Están formados por los portafiltros primario y secundario, así como por dos filtros de material plástico de teflón de Micropore®. Los filtros se pesan en una balanza analítica que tiene una interface de salida RS-232-C (ver apéndice C).

* Accesorios e instrumentos electrónicos.- Los accesorios son básicamente las válvulas e interruptores electrónicos. La instrumentación electrónica está formada por los sensores y transductores que generan las señales eléctricas proporcionales a las mediciones de temperatura, presión y flujo en los diferentes puntos del minitunel de dilución, así como en el tanque de combustible del motor a Diesel.

* Señales de control.- El valor de estas señales eléctricas se determina de acuerdo con el diagrama del sistema de control que se ejecuta en la computadora personal mediante un software de control. Se utilizan para controlar las válvulas electrónicas regulables.

* Tarjeta adquisidora de datos.- Es la interface entre los elementos descritos anteriormente y la computadora personal. Inicialmente, de acuerdo a los requerimientos de las variables del sistema, se necesita una tarjeta adquisidora de datos con capacidad de: 10 señales analógicas de entrada, 2 señales analógicas de

salida y 3 señales digitales de salida, por lo que se elige una tarjeta de National Instruments® con capacidad para: 16 señales analógicas de entrada, 8 señales digitales de entrada, 8 señales digitales de salida y 2 señales analógicas de salida. Con una frecuencia máxima de muestreo de 83.3 KHz, ya que el período de muestreo que se requiere para monitorear las variables es de 1 minuto.

* Computadora personal.- Permite realizar la interface con el usuario mediante un software de control e instrumentación con el que se puedan procesar las señales de medición y desplegar las lecturas, además de controlar las válvulas electrónicas regulables y dar señales de apertura y cierre de válvulas e interruptores.

* Software de control e instrumentación.- Permite desarrollar una instrumentación virtual y un sistema de control basados en la programación orientada a objetos por medio de iconos que se convierten en código fuente, es decir, este software se puede manejar a través de una programación gráfica. Un software con estas características es LabVIEW de Microsoft®.

SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL ELECTRONICO PARA EL MINITUNEL DE DILUCION DE GASES

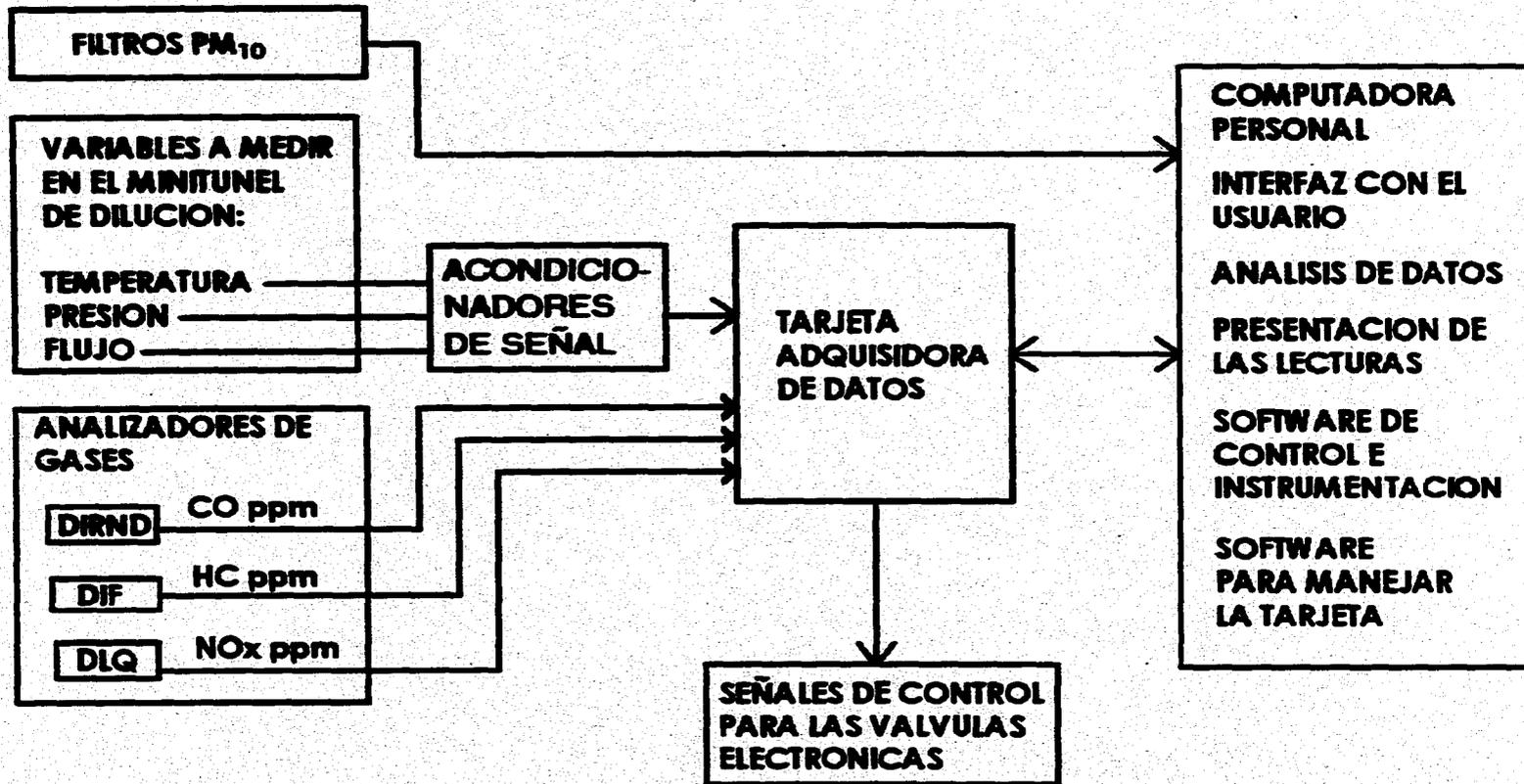


FIGURA 5.8

CAPITULO VI

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

El principal interés en integrar un sistema electrónico de monitoreo y control para un minitunel de dilución de gases fue el hecho de que actualmente no existe una institución u organismo que se encargue de controlar de manera real y eficaz los niveles permisibles de contaminantes atmosféricos como son el CO, HC, NOx y las partículas sólidas, de acuerdo a las normas establecidas por la EPA, que rigen el Código Federal Mexicano, por lo que en el Instituto de Ingeniería en conjunto con la Facultad de Ingeniería de la UNAM se propuso integrar un equipo capaz de medir los contaminantes provenientes de las emisiones de un motor a Diesel mediante un minitunel de dilución parcial de manera cuantitativa (en ppm) y posteriormente desplegar las lecturas en un panel de control en un monitor de computadora a través de una interface como es una tarjeta de adquisición de datos y un software de control e instrumentación.

Por tal motivo se desarrolló esta tesis, que en conclusión proporciona el diseño que permitirá implementar el sistema de monitoreo y control electrónico para analizar las emisiones de un motor a Diesel mediante un minitunel de dilución parcial. Además proporciona una recopilación tanto de los principios de medición fundamentales de los analizadores DIRND, DIF y DLQ, como de los principales elementos que los constituyen, por lo que se encontró que este tipo de instrumentos requieren para su diseño y construcción no solo de conocimientos en el área de electrónica, sino también de la química, óptica y mecánica, entre otras, debido a esta investigación se llegó a la conclusión de que en México desafortunadamente, aún no se cuenta con una plataforma tecnológica que conjunte a los diversos institutos y universidades de los sectores educativos e industriales con el interés común de diseñar y fabricar totalmente en México, instrumentos de medición como estos, por lo que hasta que no se decida firmemente erradicar la dependencia tecnológica extranjera de los países del primer mundo, no se podrá competir realmente con ellos.

Por dichas razones, se optó por seleccionar los analizadores de gases comerciales de Horiba Instruments, Inc. para diseñar el sistema, ya que también se encontró que la otra opción para medir los contaminantes (CO, HC y NOx), que es la de utilizar los sensores de gases a base de semiconductores, que es un área que aún no está totalmente explorada, ya que los detectores de este tipo aún no tienen la suficiente precisión, ni selectividad requeridas para instrumentar un equipo de laboratorio como el que se necesita para implementar el diseño del sistema de instrumentación de esta tesis.

Como se menciona en capítulos anteriores, los accesorios e instrumentos electrónicos con los que se implementará el sistema, basado en el diseño de esta tesis, permiten ya sea obtener o recibir una señal eléctrica con la que pueden procesarse las mediciones de los instrumentos y enviarse las señales de control para los accesorios electrónicos a través de una tarjeta adquisidora de datos. Por medio de un microprocesador de una computadora personal y un software de control e instrumentación que llevará a cabo la puesta en marcha del motor a Diesel, del minitunel de dilución y del sistema de monitoreo y control electrónico.

Posteriormente, como parte de otro trabajo basado en el diseño del sistema desarrollado en esta tesis, se implementará el sistema de monitoreo y control con el que desde la pantalla de una computadora se podrán monitorear todas las lecturas correspondientes a los analizadores e instrumentos electrónicos, de igual forma se enviarán las señales de control necesarias para el funcionamiento óptimo del minitunel de dilución de gases.

Actualmente el sistema de monitoreo y control electrónico se encuentra en la etapa de la elección y adquisición de los elementos que constituyen el sistema como son: los analizadores, instrumentos de medición, accesorios electrónicos, la tarjeta adquisidora de datos, la computadora personal y el software de control e instrumentación, puesto que el diseño del sistema ya está desarrollado y listo para iniciar con la implementación total de los diferentes elementos que lo constituyen.

Finalmente, debido a que la contaminación ambiental es un problema que concierne a todo ser humano y que es necesario tomar conciencia de ello, es muy importante que los profesionales que inician su carrera, sea cual fuere esta, participen más en los proyectos de investigación que se desarrollan en México, porque sólo de esta forma se logrará un avance tecnológico, ambiental y cultural en este país y en beneficio de toda la humanidad.

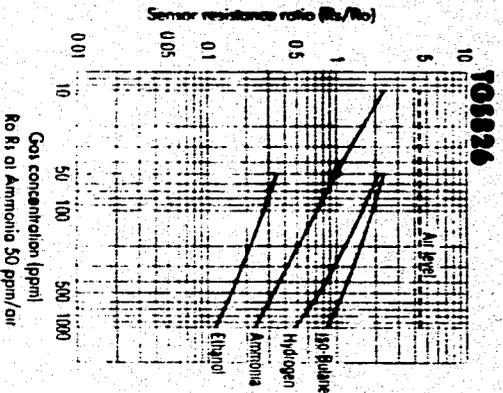
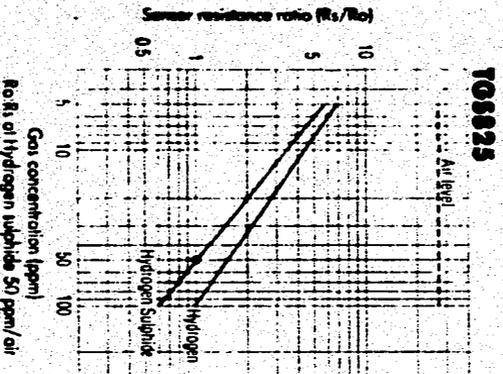
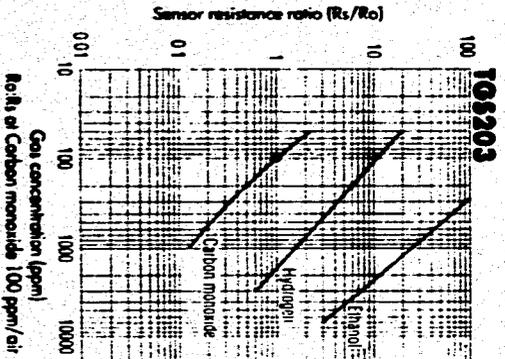
CAPITULO VII

BIBLIOGRAFIA

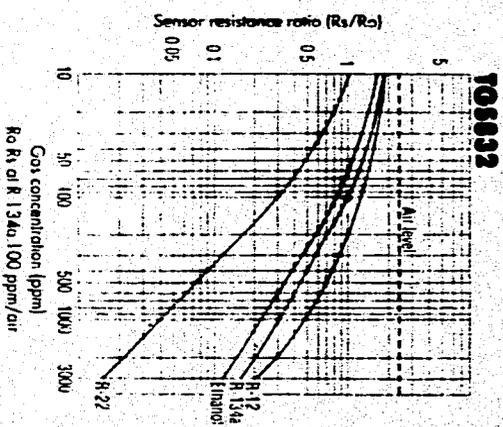
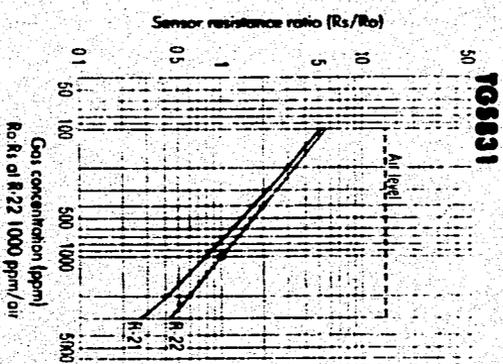
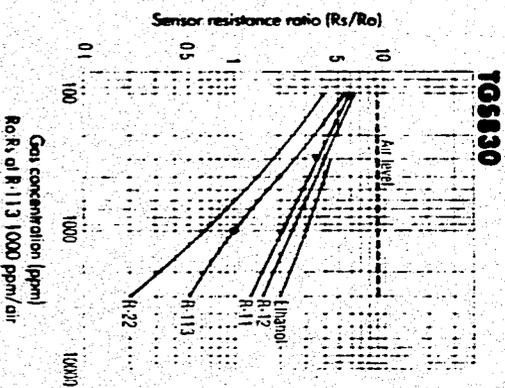
1. Norton Harry N., "Sensores y Analizadores", Gustavo Gilli, Barcelona, España, 1984.
2. Hewlett Packard, "Detectors for Gas Chromatography", E.U.A, 1987.
3. Katsuhiko Ogata, "Ingeniería de control moderna", Prentice/Hall Internacional; Madrid, España, 1979.
4. Von Dr. Walter Forwerg, "Messen von emissionen und immissionen der stickstoffoxide", Staub-Reinhalt Luft 35 (1975) No 4, abril pp. 142-146.
5. Manuales Técnicos de los analizadores de gases de Beckman Instruments Inc., Scientific and Instruments Division, Fullerton, California, 1966.
6. Manuales Técnicos de los sensores de gases de Figaro Engineering Inc., Illinois, E.U.A., abril 1995.
7. Manuales Técnicos de los analizadores de gases de Horiba Instruments Inc., California, E.U.A., 1996.
8. Stern Arthut, "Air Pollution" Vol. 1, 2 y 3, Academic Press.
9. Salvador Mosqueira R. "Física General", Patria, México, D.F. 1988.
10. Dr. Rina Aguirre "Mitos y realidades de la contaminación ambiental de la Ciudad de México", Semanario de la F.I., diciembre 1992, pp. 9.
11. Mireya Imaz G., "La calidad del aire en la cuenca de México", Desde el sur, octubre 1995.
12. Arturo Tiburcio Silver, "Sensores de gases a base de semiconductores", Ciencia y Desarrollo, julio/agosto, 1995 No 123, pp. 81-87.
13. "Laser Focus Buyers Guide", publicación anual de Advanced Technology Publications Inc. 1001 Watertown Street Newton M.A. 02165, Lista un gran número de distribuidores con una amplia gama de componentes y sistemas ópticos, al igual que las gráficas características de diversos materiales ópticos.

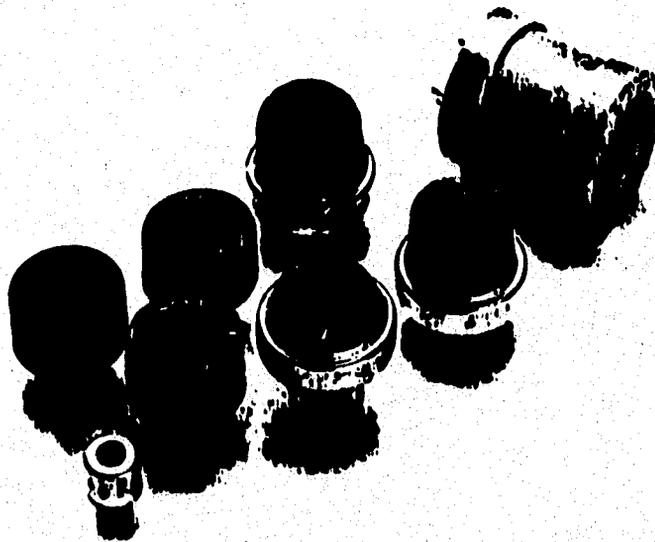
APENDICE A
HOJAS DE ESPECIFICACIONES DE LOS SENSORES DE GASES FIGARO

Toxic gas detection



Halocarbon gas detection





Configuration

Fig. No.	Sensor structure	Remarks	Models
Fig. 3-1	1-series	Standard type, resin base with mesh cover	TGS109, TGS109T
Fig. 3-2	1-series	With an active charcoal filter package	TGS203
Fig. 3-3	5-series	Miniaturized metal package	TGS550, TGS551
Fig. 3-4	8-series	Standard type, with resin base and package	TGS813, TGS842, TGS822, TGS800, TGS855
Fig. 3-5	8-series	Heat resistant ceramic base with mesh cover	TGS816, TGS821, TGS823, TGS825, TGS826, TGS830, TGS831, TGS832
Fig. 3-6	8-series	Resin/ceramic base with mesh cover	TGS880/TGS881, TGS882, TGS883

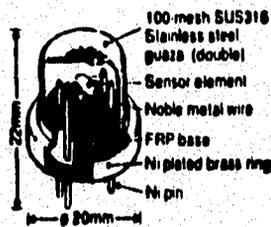


Fig. 3-1

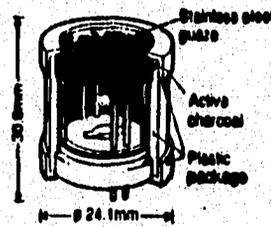


Fig. 3-2

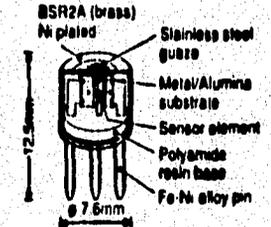


Fig. 3-3

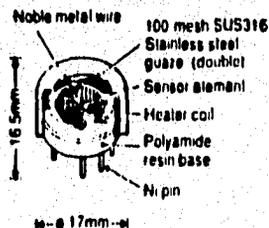


Fig. 3-4

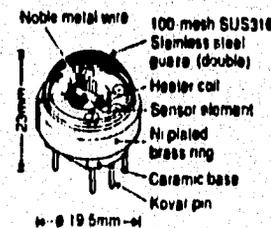


Fig. 3-5

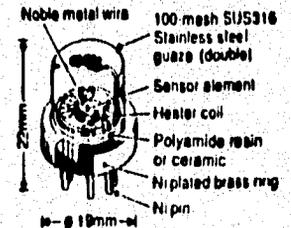
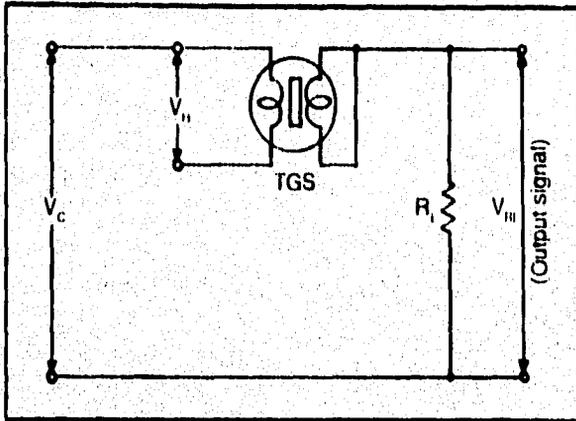


Fig. 3-6

Basic measuring circuits and circuit conditions

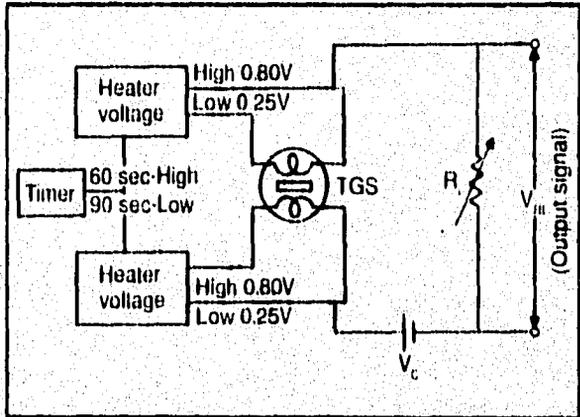
1-series



Circuit conditions

- Circuit voltage (V_C) : 100V AC or DC
- Heater voltage (V_H) : 1.0V AC or DC (TGS109)
1.1V AC or DC (TGS 109T)
- Load resistance (R_L) : 4k Ω

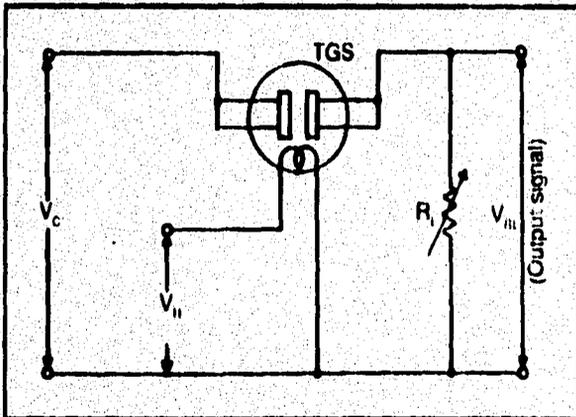
1-series (TGS203 : cyclic temperature change operation)



Circuit conditions

- Circuit voltage (V_C) : 12V max. AC or DC
- Heater voltage (V_H) : High 0.80V (60sec) AC or DC
Low 0.25V (90sec) AC or DC
- Load resistance (R_L) : variable ($P_S < 15mW$)

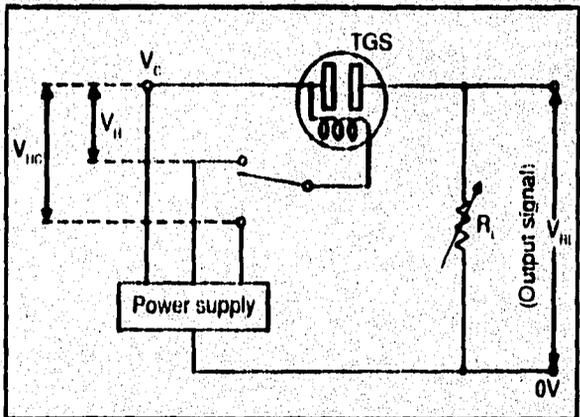
8-series



Circuit conditions

- Circuit voltage (V_C) : 24V max. AC or DC
- Heater voltage (V_H) : 5.0V AC or DC
- Load resistance (R_L) : variable ($P_S < 15mW$)

5-series



Circuit conditions

- Circuit voltage (V_C) : 5.0V max. DC
- Heater voltage (V_H) : 0.55V DC (TGS550)
0.67V DC (TGS551)
- Heat cleaning voltage (V_{HC}) : 0.67V DC*
- Heat cleaning time (T_{HC}) : between 10 sec. and 5 min.
- Load resistance (R_L) : variable $\geq 10k\Omega$

* TGS551 requires no heat cleaning

Depending on the sensor resistance (R_s) changes, output voltage across the load resistance (V_{HI}) changes. The relationship between R_s and V_{HI} is expressed by the following equation.

$$R_s = \frac{V_C \cdot R_L}{V_{HI}} - R_L$$

The V_{HI} value changes in accordance with R_s .

TGS 203 - Carbon Monoxide Sensor Specifications

1. Structure and Dimensions

Please refer to the technical drawing shown in Figure 1. Specifications for component parts subject to Table 1 below.

2. Materials

Part numbers are as indicated in the technical drawing of Figure 1.

#	Part	Material
1	Stainless Steel Gauze	Stainless Steel SUS 304 (60 mesh)
2	Activated Charcoal Filter	20 - 40-mesh
3	Cover	Polyamide resin reinforced with glass fiber
4	Sensor Element	Metal oxide semiconductor
5	Flame-Proof Cover	Double layer of 100-mesh stainless steel gauze SUS 316
6	Coil	Palladium-Iridium alloy wire Diameter: 0.09mm
7	Base	Polyethylene terephthalate reinforced with glass fiber
8	Ring	Nickel plated brass ring
9	Pin	Nickel

3. Explosion Proof

A spark inside the cover cannot ignite a gas leak outside of the cover.

4. Mechanical Strength

Connecting Strength

Using applied pressure, a ring is affixed to the base for the purpose of holding the flame proof cover in a fixed position.

Withdrawal Force

The pins can withstand a withdrawal force of more than 5 kgs applied in the direction of the pins.

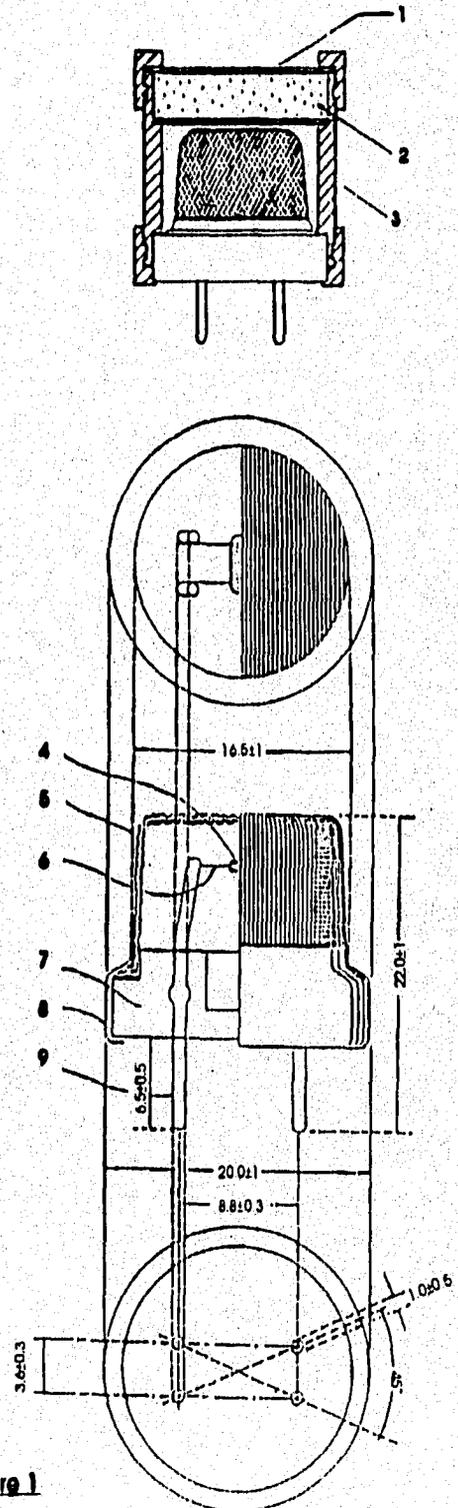


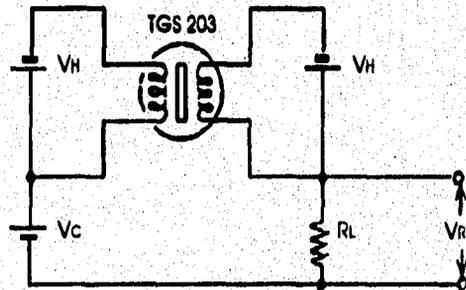
Figure 1

5. Sensitivity Characteristics

Item	Symbol	Condition	Specification
Sensor Resistance	R_s	CO at 100ppm	1k Ω ~ 15k Ω
Change Ratio of Sensor Resistance	R_s/R_o	$\frac{R_s \text{ (H}_2 \text{ at 1000ppm)}}{R_s \text{ (CO at 100ppm)}}$	> 1.0
Sensor Resistance Gradient	α	$\frac{\log (R_s \text{ in } 100\text{ppm CO}/R_s \text{ in } 300\text{ppm CO})}{\log (100\text{ppm CO}/300\text{ppm CO})}$	-1.50 ~ -0.73

6. Standard Test Conditions

The TGS-203 complies with the above listed electrical characteristics when the sensor is tested using the circuit illustrated at the right and under the standard conditions set forth in the table below. V_{RL} shall be measured at a point between 88 seconds and 91 seconds, immediately after the heater voltage switches to 0.25V and within the period when V_H remains at 0.25V. The sensing unit shall be evaluated in the basic measuring circuit under the reference atmosphere immediately after a minimum of 96 hours of pre-heating.



Basic Measuring Circuit

V_c - Circuit voltage R_L - Load resistance
 V_{RL} - Output voltage V_H - Heater voltage

NOTE: Test gas must have greater than 99.9% purity under ambient conditions of 20°C and 1 atm.

Item	Symbol	Rated Value	Remarks
Circuit Voltage	V_c	5.0V \pm 1%	DC
Heater Voltage	V_H	$V_{HH} = 0.8V \pm 3\%$ for 60 \pm 1 sec. $V_{HL} = 0.25V \pm 3\%$ for 90 \pm 1 sec.	Must apply alternately for duration specified
Load Resistance	R_L	4k Ω \pm 1%	
Reference Atmosphere		20°C \pm 2°C, 65% \pm 5% RH	Test chamber must have > 1 liter capacity

Sensor Resistance (R_s) is calculated by the following formula:

$$R_s = \left(\frac{V_c}{V_{RL}} - 1 \right) \times R_L$$

Power dissipation across sensor electrodes (P_s) is calculated by the following formula:

$$P_s = \frac{V_c^2 \times R_s}{(R_s + R_L)^2}$$

FIGARO USA, INC.

1000 Skokie Blvd. Suite 160
 Wilmette, Illinois 60091
 Phone: (708)-256-3546
 Fax: (708)-256-3884

Figaro Gas Sensors



TGS813, 822, 842
800, 813P, 813C



TGS816, 823, 881
TGS830, 831, 832, 815,
821, 824, 825



TGS880



TGS550



TGS109



TGS203

SR1: Test Unit



Provides essential circuitry necessary for evaluating the performance of sensors. Works with all Figaro sensors except TGS203 and TGS550.

Power supply: 100v AC.

Dimensions: 130mm x 77mm x 55mm.

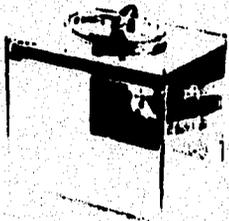
AMS800: Air Quality Sensor Unit



Pre-calibrated sensor unit for monitoring indoor air quality. Suggested applications: to control air cleaners or ventilation systems. Must be used with IC unit MC5603 or MC6604 IC units.

Dimensions (excluding lead wires): 37mm x 22mm x 16.5mm.

SR3: Test Box



This is a simple and handy gas test chamber for evaluating Figaro sensors. Includes fan to thoroughly mix injected gas.

Power supply: 117v or 220v AC.

Dimensions: 235mm x 180mm x 210mm.

Effective Inner Capacity: 5400cc. Includes a syringe (5cc) for your convenience.

AM800: Test Unit for AMS800



Perfect for the evaluation of the Air Quality Sensor above. Module includes sensor, microprocessor and LED's.

Power Supply: 12v DC.

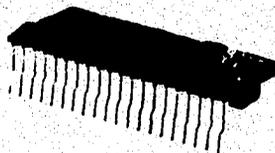
Dimensions: 70mm x 50mm x 15mm.

SR4: Durable Sensor Socket



Highly reliable 6-pin socket designed to withstand as many as 6,000 repeated insertion cycles. Suitable for preheating rack, testing and calibrating, and other pre-production applications.

FIC5401: Control IC for TGS203



This custom hybrid IC contains basic control circuits for TGS203 sensor, including heater power supply, precision timer, microprocessor for signal sampling and comparator.

Power Supply: 5v DC.

Dimensions (including pins): 56mm x 31mm x 17mm.

SR5: Standard Sensor Socket



Recommended socket for all Figaro Gas Sensors except TGS550 in finished products. These sockets are designed to be soldered into printed circuit boards.

Thermistors



Type	5KD-5	8KD-5
Resistance at 25°C	5k Ω	8k Ω
B constant	4100	4200
Disk Dia.	max. 6.0	max. 6.0
Lead Length	min. 35	min. 35

These thermistors compensate for temperature and humidity variations of Figaro Sensors.

FIGARO USA, INC.

1000 Skokie Blvd., Suite 160, Wilmette, Illinois 60091, U.S.A.
Phone: 1-708-256-3546 Fax: 1-708-256-3884

**PRICE/DELIVERY INFORMATION
for FIGARO GAS SENSORS**

April 1995

Figaro Gas Sensors

Prices shown are in U.S. dollars

Model No.	1-9	10-99	100-999	1,000-4,999	5,000-9,999	10,000+
TGS813, 822, 842, 880, 109, 800, 813P	\$ 15.30	\$ 10.95	\$ 7.95	\$ 6.00	\$ 5.50	\$ 5.10
TGS203	16.10	11.50	8.20	6.25	5.65	5.25
TGS813C	16.80	12.10	8.75	6.60	6.00	5.65
TGS816, 823, 881, 550	22.15	16.60	12.10	9.05	7.80	6.80
TGS830, 831, 832	23.00	16.80	12.25	9.25		
TGS815, 821, 824, 825	53.60	40.10	31.10	26.60		
AMS800	23.75	17.10	12.65	9.65	8.95	8.40
KE-25	64.75	46.60	34.50	26.15	24.50	
KE-50	59.75		37.40	24.95	16.30	
NH-02	8.65	6.20	4.55	3.45	3.30	
NH-03	11.90	8.60	6.25	4.75	4.55	
NHU-03	26.65	19.20	14.00	10.50	10.20	
Standard Delivery	2 weeks	2 weeks	4 weeks	6 weeks	8 weeks	10 weeks

Related Products

Model No.	Description	1-9	10-99	100-999	1,000 +	
SR-4	Durable sensor socket	\$ 1.76	\$ 1.30	\$ 0.94	\$ 0.71	
SR-5	Standard sensor socket	1.25	0.85	0.62	0.47	
5KD-5	Thermistor	0.72	0.51	0.37	0.29	
8KD-5	Thermistor	0.80	0.54	0.39	0.30	
FIC-5401	Control IC unit for TGS203	22.85	19.60	17.20	15.55	
MC-5603	Control IC unit for AMS800	5.85	4.15	3.10	2.40	
MC-6604	Control IC unit for AMS800	9.00	6.40	4.75	3.65	
AM800	Test unit for AMS800 and MC5603	43.00	36.05	31.05		
SR-1	Test unit for gas sensors	50.50				
SR-3	Test box	290.00				
Sample Pack	Evaluation kit containing: 3 pcs. of TGS813, TGS822 and TGS203 1 pc. of FIC5401 3 pcs. each of SR-4 and SR-5 3 pcs. each of 5KD-5 and 8KD-5	136.50				
Standard Delivery		2 weeks	2 weeks	4 weeks	6 weeks	

How to order By phone, call **1-708-256-3546**. By fax, dial **1-708-256-3884**.
By mail, send to: 1000 Skokie Blvd, Suite 160, Wilmette, Illinois 60091, USA.

Payment Check or money order is acceptable, payable in U.S. funds only. An open line of credit will be extended to institutions and well-rated firms. A credit application is required to commence credit approval process. C.O.D. orders unavailable to Canadian addresses.

Shipping All Canadian orders are shipped F.O.B. Wilmette, Illinois, USA. A minimum shipping and handling charge of \$8 for UPS ground service will be added to orders of \$200 or less. Overnight delivery by Federal Express or Air Freight available; shipment will be freight collect. Applicable shipping charges will be added for prepaid orders; please call for further information.

Delivery Delivery information shown above is for reference purposes only. Please confirm delivery upon placement of order.

Specifications As shown in catalogs.

APENDICE B

**HOJAS DE ESPECIFICACIONES Y COTIZACIONES DE LOS ANALIZADORES DE
GASES HORIBA INSTRUMENTS, INC.**

HORIBA

SERIES 200

AUTOMOTIVE EMISSION ANALYZERS

AIA 210 & 220

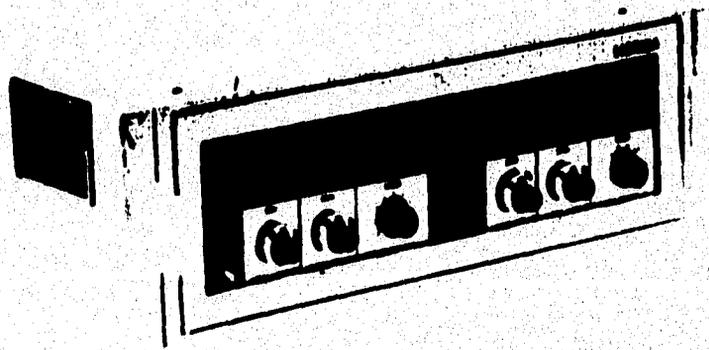
CLA 220

FIA 220

FMA 220

GFA 220

MPA 220

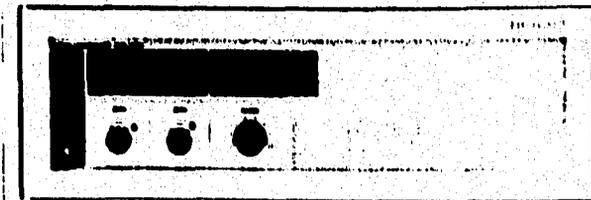


A WORLD AHEAD IN ANALYZER TECHNOLOGY

The Horiba Series 200 Analyzers offer compact packaging and turn design features for high accuracy measurement of atmospheric pollutants.

Features

- Compact 19-inch relay rack design
- Repeatability to within $\pm 1\%$ of full scale
- Parallel interface for computer control
- Environmental controls for stable operation
- Switch selectable ranges with digital indication
- Digital display of analog signal and range
- 0 - 100 mV and 0 - 5 V DC Analog Outputs
- Top access and slide out chassis for easy maintenance
- Convenient front panel access of routine zero and span controls



CLA 220

AIA 210 & 220

Shorter sample cells offer faster response time

The HORIBA Models AIA 210 & 220 are high precision, non-dispersive infrared (NDIR) gas analyzers. The AIA 210 provides a single NDIR analyzer measuring one gas (CO, CO₂, NO, or HC). The AIA 220 houses two independent NDIR gas analyzers, providing the capability to analyze two separate gases or the same gas over a larger range of concentrations. High selectivity to the gas being measured is ensured by optical filters which minimize interference from other coexisting gases. When measuring very low concentrations of CO and NO, additional rejection of interfering gases is accomplished by providing a second detector which has greater sensitivity to the interfering gas. This interference signal is electronically subtracted from the main signal to provide interference-free measurement. Optimum stability and repeatability is achieved by maintaining the sample and calibration gas inlets at a constant temperature. The infrared sources are sealed in an inert atmosphere to prevent instrument drift.

CLA 220

Silicon photodiodes improve analyzer stability

The CLA 220 Chemiluminescent Analyzer measures oxides of nitrogen (NO/NO_x) by monitoring the chemiluminescent reaction of ozone (O₃) with nitric oxide (NO). A 95% minimum conversion efficiency is ensured by utilizing catalyzed carbon beads that reduce the NO₂ in the gaseous sample to NO for measurement by the instrument. A stable level of ozone, to react with the NO, is produced utilizing an ultra-violet ozone generator. Silicon photodiodes detect the light emitted by the reaction of NO and ozone. Precise control of the reaction chamber, sample manifold, and photodiode temperature ensure drift-free, stable operation. The photodiode detector converts the photon activity to low level direct current for continuous measurement.

FIA 220 Flame Ionization Analyzer

New detector design provides improved response to all hydrocarbons

The Model 220 Flame Ionization Hydrocarbon Analyzer is designed to measure a wide variety of hydrocarbons in gaseous samples. Stable, drift-free electronics, together with an electrostatic-shielded teflon and stainless steel FID burner assembly, ensure highly accurate measurements. A newly designed electronic circuit to light the FID burner speeds ignition. The Hydrogen/Helium fuel, combustion air, and sample flow rates to the Flame Ionization Detector are precisely controlled using capillaries maintained at a constant temperature and inlet pressure. Dual sample capillaries extend service maintenance intervals. The detector design is the successful result of research directed at minimizing variation in relative response to various hydrocarbons to less than 5%. The FIA 220 is also available in a heated configuration.

FMA 220 Combination Analyzer

Includes an FIA and an MPA in one compact package for hydrocarbon and oxygen measurement

These combined analyzers provide the same outstanding features as the separate analyzer in one space saving enclosure.

MPA 220 Magnetopneumatic Oxygen Analyzer

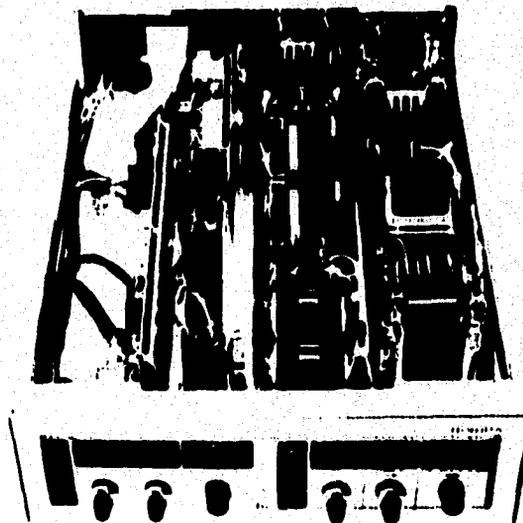
Unique detector design eliminates zero drift

The Magnetopneumatic Oxygen Analyzer rapidly measures the percentage of oxygen in gaseous samples with consistent repeatability. Stable, drift free electronics combined with a detector that produces zero signal at zero oxygen concentration ensures highly accurate measurements. By sensing oxygen's paramagnetic property, concentrations can be determined with negligible interference from most other coexisting gases. In cases where the interference from a coexisting gas may be important, the magnitude of the interference can be calculated and subtracted (or added) to yield accurate oxygen percentage determinations.

GFA 220 Gas Chromatograph Analyzer

Horiba's newest analyzer provides methane analysis

The Model GFA 220 Methane Analyzer measures the methane content of air-diluted automotive exhaust. Two chromatographic columns separate methane from all other constituents in the sample. Since the gas chromatograph method of methane analysis is not a continuous operation, the electronics are designed to provide an updated methane concentration every 15 seconds. The carrier gas flow and the sample introduction is controlled such that a methane peak is measured once within each 15 second cycle. A sample and hold circuit provides a continuous analog output signal which is proportional to the methane concentration and is updated each cycle. Zero drift is minimized by automatic correction every cycle. For diagnostic purposes operation may be switched to a "Chromatograph" mode, bypassing the sample and hold circuit to observe the methane peaks. Automatic backflush of the pre-column prevents contamination of the main column with undesirable materials that may be present in the sample gas.



AIA 220

AIA 210 & 220

Measuring Method: NDIR, Optical Filter, Dual Source, Gas Filled Capacitive-Type Detector

Components: Carbon Monoxide, Carbon Dioxide, Oxides of Nitrogen, Hydrocarbons

Sensitivity: 0.5% of full scale on each range

Repeatability: $\pm 0.5\%$ of full scale with successive identical gas samples under the same physical conditions

Linearity: non-linear output

Zero Span Drift: Less than 1% of full scale per 24 hrs.

Response Time: 0.5 to 10 Sec. Electrical dampening selectable

Long cell: T₉₀: approx. 2 sec. @ 5 l/min.
Short cell: T₉₀: 1.5 sec. @ 3 l/min.

Noise Level: Less than 1% of full scale

Ranges: 210 (4), 220 (8)

CO(L): 50 - 3000 ppm

CO(H): 5000 ppm - 10% or 3% - 20%

CO₂: 1% - 20%

HC(H): 100 - 3000 ppm (n-C6)

HC(L): 5000 - 10,000 ppm (n-C6)

NO: 500 - 6000 ppm.

Analog Output: 0-100 mV and 0-5 V DC non-isolated for each analyzer, non-linearized. Output impedance 1000 ohms/volt

Ambient Temperature Range: 0° to 40°C (32° to 104° F)

ETA 220

Measuring Method: Hydrogen Flame Ionization Detector

Components: Total Hydrocarbons

Sensitivity: 0.5% of full scale on each range

Repeatability: $\pm 1\%$ of full scale with successive identical gas samples under the same physical conditions

Linearity: 1% of full scale maximum error

Zero Span Drift: Less than 1% of full scale per 8 hrs.

Response Time: T₉₀: within 1.5 sec.

Noise Level: Less than 1% of full scale

Ranges: (8)

10 - 30,000 ppm C

Analog Output: 0-100 mV and 0-5 V DC non-isolated for each analyzer. Output impedance 1000 ohms/volt

Ambient Temperature Range: 0° to 40°C (32° to 104° F)

For More Information...

To find out more about the SERIES 2000 Automotive Emissions Analyzers, request technical data sheets from the Horiba Instruments sales office nearest you.

Horiba Instruments Inc.
3901 Varsity Drive
Ann Arbor, MI 48108
Phone: (800) 3-HORIBA
In Michigan: (313) 973-2171

Measuring Method: Chemiluminescent reaction of NO with ozone (at atmospheric pressure)

Components: Oxides of Nitrogen

Sensitivity: 0.5% of full scale on each range

Repeatability: $\pm 1\%$ of full scale with successive identical gas samples under the same physical conditions

Linearity: 1% of full scale maximum error

Zero Span Drift: Less than 1% of full scale per 8 hrs.

Response Time: T₉₀: within 2.5 sec.
@ 2 l/min. on 10 ppm range. T₉₀: within 1.5 sec. @ 2 l/min. on other ranges

Noise Level: Less than 1% of full scale

Ranges: (5)

10 - 3000 ppm or 10 - 5000 ppm

Maximum ratio: 100:1

Ozonator: U.V. lamp

Analog Output: 0-100 mV and 0-5 V DC non-isolated for each analyzer. Output impedance 1000 ohms/volt.

Ambient Temperature Range: 0° to 40°C (32° to 104° F)

ETA 220

Measuring Method: Gas Chromatograph with Hydrogen Flame Ionization Detector

Components: Methane

Sensitivity: 0.5% of full scale on each range

Repeatability: $\pm 1\%$ of full scale with successive identical gas samples under the same physical conditions

Linearity: 1% of full scale maximum error

Zero Span Drift: Less than 1% of full scale per 8 hrs.

Response Time: Updated determination each 15 sec.

Noise Level: Less than 1% of full scale.

Ranges: (3)

10, 25, 50 ppm

Analog Output: 0-100 mV and 0-5 V DC non-isolated for each analyzer. Output impedance 1000 ohms/volt

Ambient Temperature Range: 0° to 40°C (32° to 104° F)

FMA 220

Measuring Method: Hydrogen Flame Ionization, Magnetopneumatic

Components: Total Hydrocarbons, Oxygen

Sensitivity: 0.5% of full scale on each range

Repeatability: $\pm 1\%$ of full scale with successive identical gas samples under the same physical conditions

Linearity: 1% of full scale maximum error

Zero Span Drift: Less than 1% of full scale per 8 hrs.

Response Time: T₉₀: within 1.5 sec.

Noise Level: Less than 1% of full scale

Ranges: HC (8), O₂ (3)

HC: 10 - 30,000 ppm C

O₂: 5, 10, 25%

Analog Output: 0-100 mV and 0-5 V DC non-isolated for each analyzer. Output impedance 1000 ohms/volt

Ambient Temperature Range: 0° to 40°C (32° to 104° F)

FMA 220

Measuring Method: Magnetopneumatic

Components: Oxygen

Sensitivity: 0.5% of full scale on each range

Repeatability: $\pm 1\%$ of full scale with successive identical gas samples under the same physical conditions

Linearity: 1% of full scale maximum error

Zero Span Drift: Less than 1% of full scale per 8 hrs.

Response Time: T₉₀: within 2.0 sec.

Noise Level: Less than 1% of full scale

Ranges: (3)

5, 10, 25%

Analog Output: 0 - 100 mV and 0 - 5 V DC non-isolated for each analyzer. Output impedance 1000 ohms/volt

Ambient Temperature Range: 0° to 40° C (32° to 104° F)

HORIBA

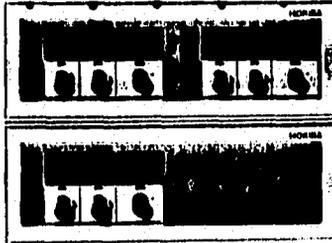
HORIBA SERIES 200 MICROBENCH.

Proven technology

Horiba's Series 200 MicroBench provides state-of-the-art technology at an economical price and offers a high degree of versatility in both features and functions. Since the 1970s, Horiba has built and installed thousands of analytical emission systems in the United States. With an unsurpassed record of application and design experience, we can assure that your system will be up and running on time ... for a long time.

Flexible design

The Series 200 MicroBench supports virtually every function required for gasoline, diesel, and alternative fuels testing. Designed for both engine and vehicle test cells, the Series 200 is perfect for certification, audit, research, or engineering applications.



Analyzer ▶

Economically customized to your specification

The MicroBench is easily customized to provide exactly the features and functions required for a particular application. The system can be equipped to support multiple sample points for catalyst efficiency testing. A remote oven can be provided with heated THC and NOx analyzers for diesel testing. Multiple manifolds allow a single bench to be shared by two or more test cells. Whatever the requirement, Horiba has an economical answer in the Series 200 MicroBench.

Rugged, durable, and dependable

The Series 200 MicroBench is built with high-quality components from industry-standard suppliers and stainless steel plumbing. Side panels, rear-door accessibility, and pull-out analyzers make all components easily accessible for service. And the incomparable Horiba analyzers offer assurance that your test results will be accurate and repeatable.



Filters ▶

Choice of communication protocols

Remote control by a host computer is made simple by the variety of communications options offered by the MicroBench. RS-232 with AK commands, GPIB with MEXA commands, or discrete control through process I/O are all possible with the Series 200 MicroBench.



Easy operation

The Series 200 MicroBench features a versatile microcomputer controller with a full range of functions. You can control the analyzers, monitor alarms, and get time-aligned concentrations through simple menus on the touch-screen monitor.

Procedures like automatic analyzer curve calibration, NOx converter efficiency, CO₂ interference, and HC hang-up are easier than ever before.

Gas	Unit	Value	Unit	Value	Unit	Value	Unit	Value	Unit
CO	1	13.87	PPM	**					
CO	1	1.187	%	**					
CO2	1	958.0	PPM	**					
HC	1	2.238	%	**					
O2	1	0.25	PPM	**					
NOx	2	68.41	PPM	**					

Interface ▶

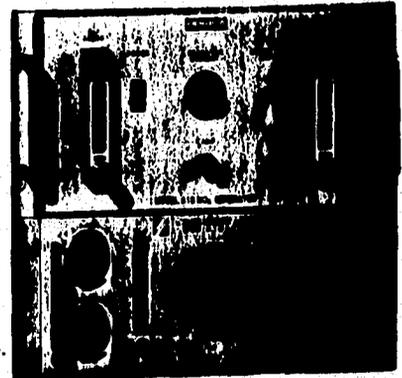
Numerous options

For automatic analyzer curve calibration, Horiba's SGD-A10 gas divider can be integrated into the MicroBench. The gas divider reduces the number of gas cylinders needed to calibrate an analyzer range to just two: one for the calibration gas and the other for the diluent gas (N₂ or air). Other popular options include the NOx 410 generator and vacuum leak check. Of course, the microcomputer controller interfaces to each option for ultimate control and automation.

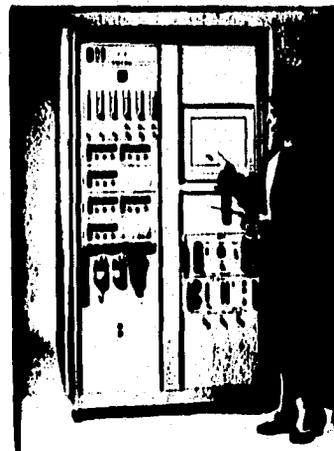
Along with Horiba's unequalled support

Meeting the emissions testing needs of the North & South American markets is an important task. Year after year one company has consistently risen to this challenge ... Horiba Instruments.

Founded in 1953, Horiba is the world's leading supplier of quality emissions testing equipment. Horiba excels in providing integrated emissions testing solutions that meet both international and national requirements. From engineering and test cell development to software and hardware integration, Horiba is the complete source — worldwide — for integrated emissions testing systems.



Gas Divider ▶



MULTIFUNCTION FEATURES:

- ▶ Highly-reliable STD buss computer system
- ▶ Intuitive touch screen interface
- ▶ 10 Hz analyzer data acquisition capability
- ▶ Engineering units readout
- ▶ Configurable alarm limits
- ▶ Reporting capability
- ▶ Diagnostics
- ▶ External temperature monitoring
- ▶ External transducer monitoring
- ▶ Linearized analog outputs
- ▶ 16-bit analog to digital converter
- ▶ Time alignment
- ▶ Automatic analyzer calibration (10 point or 20 point)
- ▶ Span gas naming
- ▶ Analyzer range control
- ▶ Auto-ranging capability
- ▶ System zero
- ▶ System span
- ▶ System purge
- ▶ System backflush
- ▶ System leak check
- ▶ Automatic zero/span calibration
- ▶ NOx efficiency test
- ▶ CO₂ interference test
- ▶ HC hangup test

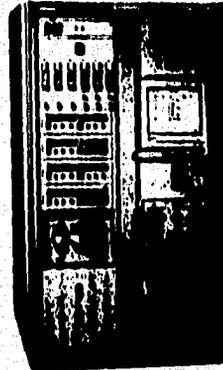
MICROBENCH FEATURES:

- ▶ Horiba Series 200 analyzers
- ▶ Stainless steel plumbing
- ▶ Multiple manifold support
- ▶ Multiple sample points support
- ▶ Integrated SGD-A10 gas divider (optional)
- ▶ Integrated NOx generator (optional)

Remote System

Operation Capabilities:

- ▶ RS-232 interface with AK commands
- ▶ GPIB interface with MEXA commands
- ▶ Discrete interface with process I/O



HORIBA

Horiba Instruments, Incorporated

Irvine Facility	Ann Arbor Facility
17671 Armstrong Avenue Irvine, CA 92714, U.S.A. Phone: (714) 250-4611 (800) 4-HORIBA Fax: (714) 250-0924	5903 Hines Drive Ann Arbor, MI 48104, U.S.A. Phone: (313) 213-6535 Fax: (313) 213-6525

**THE INDUSTRY STANDARD
IN EMISSIONS TESTING**

Standard Configurations

Preconverter bench

AIA-220	CO/CO ₂
FMA-220	THC/O ₂
CLA-220	NOx

Intermediate

AIA-220	Low CO/CO ₂
AIA-210	High CO
FMA-220	THC/O ₂
CLA-220	NOx

Tallpipe

AIA-220	Low CO/CO ₂
AIA-210	High CO
FMA-220	THC/O ₂
CLA-220	NOx

Bag

AIA-220	Low CO/CO ₂
FMA-220	THC
CLA-220	NOx
GFA-220	Cl ₂

Standard Options

Additional Analyzers

CO₂ EGR analyzer
CO₂ tracer analyzer
High CO analyzer for Bag Bench
Hot THC and Hot NOx

Other Options

Remote sample conditioning unit
Oven with heated filters
Heated lines
Integrated 10-point gas divider
Integrated NOx 410 generator
Vacuum leak test assembly

Dimensions

3-Bay 79" H x 71" W x 32" D
4-Bay 79" H x 94" W x 32" D
5-Bay 79" H x 117" W x 32" D

HORIBA

EMISSIONS ANALYSIS AT YOUR FINGERTIPS

HORIBA

APPLICATION

NOTES

APPLICATION ENGINEERING - AUTOMOTIVE PRODUCTS DIVISION

NUMBER 080193

PAGE 1 of 7

AUTHOR M. Moore

PRODUCT Analyzer
CATEGORY Price List

200 SERIES ANALYZERS

INFRARED

MODEL	PART NO.	DESCRIPTION	RANGE	PRICE
AIA-210-1	380000-1	LCO(AS) 250mm	100-3000 ppm	\$ 9,850.00
AIA-210-2	380000-2	HCO 10mm	0.5-10%	\$ 6,000.00
AIA-210-3	380000-3	CO ₂ 10mm	1.0-20%	\$ 6,000.00
AIA-210-4	380000-4	NO(AS) 250mm	500-6000 ppm	\$ 9,850.00
AIA-210-5	380000-5	HC(AS) 250mm	100-3000 ppm C ₁	\$ 9,850.00
AIA-210-6	380000-6	HC 10mm	5,000-10,000 ppm C ₁	\$ 6,000.00
AIA-210-7	380000-7	HCO 3mm	3.0-20%	\$ 6,000.00
AIA-210-8	380000-8	LCO 50mm w/Filter Cell	0.1-3.0%	\$ 7,058.00
AIA-210-9	380000-9	LCO ₂ 50mm w/N ₂ Purge	0.1-3.0%	\$11,500.00
AIA-210-10	380000-10	LLCO(AS) 250mm	25-500 ppm	\$12,500.00
AIA-210-11	380000-11	LSO ₂ (AS) 250mm	100-2K	\$9,850.00
AIA-210-12	380000-12	HSO ₂ (AS) 10mm	2.5K-5K	\$8,960.00
AIA-210-13	380000-13	ULCO(AS) 250	10-300 ppm	\$14,788.00
AIA-220-1	380004-1	LCO(AS) 250mm CO ₂ 10mm'	100-300 ppm 1.0-20%	\$15,000.00
AIA-220-2	380004-2	LCO(AS) 250mm HCO 10mm	100-3000 ppm 0.5-10%	\$15,000.00
AIA-220-3	380004-3	HCO 10mm CO ₂ 10mm	0.5-10% 1.0-20%	\$13,200.00
AIA-220-4	380004-4	HC(AS) 250mm HC 10mm	100-3000 ppm C ₁ 5000-10,000 ppm C ₁	\$15,000.00
AIA-220-5	380004-5	CO ₂ 10mm CO ₂ 10mm	1.0-20% 1.0-20%	\$13,200.00
AIA-220-6	380004-6	HCO 3mm CO ₂ 10mm	3.0-20% 1.0-20%	\$13,200.00

APPLICATION NOTES

NUMBER 080193

PAGE 2 of 7

AIA-220-7	380004-7	CO CO ₂	50mm w/Filter Cell 10mm	0.1-3.0% 1.0-20%	\$14,226.00
AIA-220-8	380004-8	HCO ₂ LCO ₂	10mm 50mm w/N ₂ Purge	1.0-20% 0.1-3.0%	\$14,900.00

CHEMILUMINESCENT

MODEL	PART NO.	DESCRIPTION	RANGE	PRICE
CLA-220-1	380001-1	10/30/100/300/1K/3K ppm (Std)		\$15,680.00
CLA-220-2	380001-2	50/100/500/1K/5K		\$15,680.00
CLA-220-3	380001-3	40/100/400/1K/4K		\$15,680.00
CLA-220-4	380001-4	30/100/300/1K/3K		\$15,680.00

FLAME IONIZATION, OXYGEN & METHANE

MODEL	PART NO	DESCRIPTION	PRICE
FIA-220-1	380002-1	10/30/100/300/1K/3K/10K/30K ppm C ₁ (Std)	\$11,200.00
FIA-220-2	380002-2	100/500/1K/2K/10K ppm C ₂	\$11,200.00
FIA-220-3	380002-3	5/15/50/150/500/1.5K/5K/15K ppm C ₂	\$11,200.00
FIA-222-1	380231-1	THC/CH ₄ /N-CH ₄ , 5/10/50/100/500/1K ppm	\$28,670.00
DIL-222	380233	Dilution Unit for FIA-222 for Raw Gas Measurement	\$5,850.00
FIA-236-1	380024-1	10/30/100/300/1K/3K/10K/30K ppm C ₁ (HTHC - Pull Type)	\$24,250.00
MPA-220-1	380003-1	5/10/25% O ₂	\$ 9,850.00
FMA-220-1	380005-1	10/30/100/300/1K/3K/10K/30K ppm C ₁ 5/10/25% O ₂	\$17,900.00
FMA-220-2	380005-2	100/500/1K/2K/10K ppm C ₂ 5/10/25% O ₂	\$17,900.00
FMA-220-3	380005-3	3/10/30/100/300/1K/3K/10K ppm C ₂ 5/10/25% O ₂	\$17,900.00
GFA-220-1	380019-1	10/25/50 ppm CH ₄	\$29,600.00

SPARE PARTS

MODEL	PART NO	DESCRIPTION	PRICE
	601495	21" Slide Assy with Brackets (pair)	\$144.00/pr.
	590912	Metric Screw, M4 x 10, (10 reqd for each pr. of slides)	\$0.30 ea.
	384563	Lock Washer, M4, (10 reqd for each pr. of slides)	\$0.36 ea.
AIA-210-1	380000-101	Comprehensive Recommended Spare Parts	\$ 4,449.00
AIA-210-3	380000-103	Comprehensive Recommended Spare Parts	\$ 3,795.00
AIA-210-4	380000-104	Comprehensive Recommended Spare Parts	\$ 4,917.00

APPLICATION NOTES

NUMBER 080193

PAGE 3 of 7

AIA-210-5	380000-105	Comprehensive Recommended Spare Parts	\$ 3,841.00
AIA-210-10	380000-110	Comprehensive Recommended Spare Parts	\$ 5,160.00
CLA-220-1	380001-101	Comprehensive Recommended Spare Parts	\$ 4,337.00
CLA-220-2	380001-102	Comprehensive Recommended Spare Parts	\$ 4,337.00
FIA-220-1	380002-101	Comprehensive Recommended Spare Parts	\$3,726.00
FIA-236-1	380024-101	Comprehensive Recommended Spare Parts	\$3,271.00
AIA-220-3	380004-103	Comprehensive Recommended Spare Parts	\$ 5,160.00
FMA-220-1	380005-101	Comprehensive Recommended Spare Parts	\$ 5,539.00
FMA-220-2	380005-102	Comprehensive Recommended Spare Parts	\$ 5,539.00
	253099-1	Recommended Spare Parts for one (1) year, Basic Bench with 200 Series Analyzers	\$ 3,203.00
MPA-220-1	380003-101	Comprehensive Recommended Spare Parts	\$2,582.00
AIA-210/ 220	091215	Instruction Manual	\$50.00
CLA-220	091216	Instruction Manual	\$50.00
FIA/FMA/ MPA-220	091217	Instruction Manual	\$50.00
GFA-220	091383	Instruction Manual	\$50.00

ACCESSORIES

MODEL	PART NO.	DESCRIPTION	PRICE
	320297	Linearizer Board for AIA-2X0 Series (requires parts set 320333)	\$2,691.00
	320333	Parts Set for 320297	\$240.00
	252659-1	24V True Mod. Kit, AIA-210/220	\$538.00
	252659-2	24V True Mod. Kit, FIA/FMA	\$564.00
	252659-3	24V True Mod. Kit, CLA	\$538.00
	252659-4	24V True Mod Kit, GFA	\$509.00

MEXA FAST RESPONSE ANALYZERS

MODEL	PART NO.	DESCRIPTION	PRICE
MEXA-1300 FRI-1	342331	Single Probe IR, CO/CO ₂ /HC	\$ 78,000.00
MEXA-1300 FRI-4	342332	Four-Probe IR, CO/CO ₂ /HC	\$134,000.00
MEXA-1100 FRF	342333	FIA	\$ 54,000.00
MEXA-1100 FRC	342334	CLA	\$68,700.00

APENDICE C

**HOJAS DE ESPECIFICACIONES DE: LOS TRANSDUCTORES DE PRESION, FLUJO
Y TEMPERATURA, Y DE LA BALANZA ANALITICA.**

BALANCES

Laboratory/Microbalance



NEW A & D ANALYTICAL BALANCES

SPECIAL FEATURES

- Economical
- Optional RS-232-C interface
- Automatic calibration
- 5 environmental sensitivity levels
- Counting and percentage functions
- Auto zero tracking
- Below-balance weighing
- Balance ID for GLP applications (requires optional RS-232-C interface)

Balances include a 120 VAC, 50/60 Hz adapter with 6-ft cord and two-prong plug. Order optional 220 VAC adapter separately below.

H-01038-70 RS-232-C interface.....\$212.00
 H-01038-65 Adapter; 220 VAC, 50/60 Hz.....\$80.00

SPECIFICATIONS AND ORDERING INFORMATION

Catalog number	H-11104-00	H-11104-10	H-11104-20
Capacity	60 g	120 g	210 g
Readability		0.0001 g	
Repeat ability		±0.0001 g	
Linearity		±0.0002 g	
Pan size		3 1/8" dia	
Weighing units	g, mg, oz, t, dw, ct, gr, momme, tola, tael		
Calibration mass	50 g	100 g	200 g
Output	Optional RS-232-C interface		
Power	120 VAC, 50/60 Hz (adapter included)		
Housing size	8 1/2"W x 12"H x 12 1/4"D		
Shipping weight	15 lbs (6.8 kg)		
Price	\$1880.00	\$2000.00	\$2580.00

1 YEAR WARRANTY



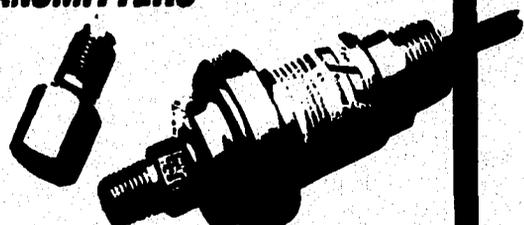
COLE-PARMER® INDUSTRIAL PRESSURE TRANSMITTERS

- RFI protection ensures accuracy in industrial settings
- Excellent chemical resistance—316 stainless steel wetted materials and housing
- NEMA Type 4X housing

Rugged 316 stainless steel construction and NEMA Type 4X housing make our pressure transmitters ideal for use in your industrial environments. A 1/2" NPT(M) conduit connection protects wiring.

Choose absolute or gauge pressure transmitters with either 4-20 mA or 1-5 VDC output signal. Process connection for all models is 1/2" NPT(M). Transmitters withstand temperatures from -20 to 160°F (-29 to 71°C); temperature compensated from 0 to 160°F (-18 to 71°C).

Range	Models with 4 to 20 mA output		Models with 1 to 5 V output	
	Cat. no.	Price	Cat. no.	Price
Absolute pressure transmitters: ±0.5% accuracy (BFSL)				
0 to 15 psia	H-68845-00	\$373.00	H-68845-50	\$373.00
0 to 30 psia	H-68845-02	373.00	H-68845-52	373.00
0 to 50 psia	H-68845-04	373.00	H-68845-54	373.00
0 to 100 psia	H-68845-06	373.00	H-68845-56	373.00
Gauge pressure transmitters: ±0.5% accuracy (BFSL)				
0 to 15 psig	H-68845-08	344.00	H-68845-58	344.00
0 to 30 psig	H-68845-10	344.00	H-68845-60	344.00
0 to 50 psig	H-68845-12	344.00	H-68845-62	344.00
0 to 100 psig	H-68845-14	344.00	H-68845-64	344.00
0 to 200 psig	H-68845-18	344.00	H-68845-68	344.00
0 to 300 psig	H-68845-20	344.00	H-68845-70	344.00
0 to 500 psig	H-68845-22	344.00	H-68845-72	344.00



Model 68845-00 shown with protective snubber 68800-02 (order separately on page 851)

SPECIFICATIONS

Accuracy: ±0.5% BFSL
 Temperature range (compensated):
 0 to 160°F (-18 to 71°C)
 Process connection: 1/2" NPT(M)
 Power
 4 to 20 mA transmitters:
 10 to 30 VDC
 1 to 5 V transmitters: 10 to 32 VDC

Electrical connection: 36"L shielded cable; 1/2" NPT(M) conduit fitting
 Media compatibility: gases or liquids compatible with 300-series SS
 Dimensions: 3W"L x 1 1/2" diameter
 Shpg wt: 1 lb (0.5 kg)



TRANSMISOR: (NOTA 1)

Alimentación : 120 VCA/60 HZ
Salida : Frecuencia
Salida de Alarmas:-Fototransistor (Dos)
 -Relevador (Dos)
Puerto Serial : RS 422,RS 485
Montaje : En Superficie
Cable de Sensor-Transmisor: 33 FT LONG.(PVC)

INDICACION (EN EL TRANSMISOR)

Totalización Flujo Másico Y Volumétrico
Uno Reseteable y Uno Acumulable Para
Cada Tipo De Flujo
No. DISPLAY: Dos
Tipo Digital: 16 Caracteres
DISPLAY 1:Flujo Instantaneo
DISPLAY 2: Totalización Reseteable / No Reseteable

PRECIO: \$5,927.00

Partida: 2
Cantidad : 1 pieza

IDEM. PART. No.1 Excepto :
Modelo SENSOR: K5
Modelo TRANSMISOR : 1215

SENSOR

Conexiones :1/2" - 150#RF
Rango de Flujo : 0 - 2 KG/MIN
Presión Max.Operación : 2200 PSI
Temperatura Max. Operación:-95° A 204°C
MAT'L.Interiores: 316L SST
MAT'L. Caja: 304 SST (NEMA 4X)

PRECIO: \$6,219.00

Partida : 1
Cantidad : 1 pieza

Medidor De Flujo Másico
Marca : ABB KENT TAYLOR

Modelo SENSOR : K2
Modelo TRANSMISOR :1215

SENSOR

Conexiones :1/4" NPTF
Rango de Flujo : 0-0.9 KG/MIN
Presión Max.Operación : 1000 PSI
Temperatura Max. Operación:-95° A 180°C
MAT'L Interiores: 316L SST
MAT'L Caja : Aluminio Recubierto de Epoxy (NEMA 4)



Partida : 3
Cantidad : 1 pieza

IDEM. PART. No.1 Excepto:
Modelo SENSOR: K100
Modelo Transmisor : 1215

SENSOR

Conexiones : 1/2" - 150#RF
Rango de Flujo: 0 - 50 KG/MIN
Presión Max. Operación: 2200 PSI
Temperatura Max.Operación: -95° A 204°C
MAT'L. Interiores : 316L SST
MAT'L. Caja: 304 SST (NEMA 4X)

PRECIO: \$6,793.00

Partida: 4
Cantidad: 1 pieza

SOFTWARE PARA PC

Variables que se muestran en la
Pantalla.

Flujo Másico
Totalizador Flujo Másico
Temperatura
Flujo Volumétrico
Totalizador Flujo Volumétrico

PRECIO: \$225.00

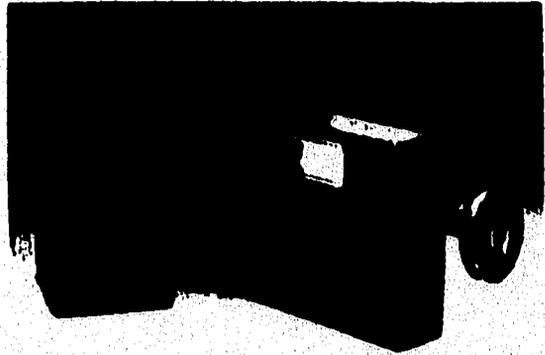
NOTAS: Si desea salida 4-20 mA para el Transmisor, considerar precio de
\$218.00

-
- Precios en U.S. Dólares, LAB, México, D.F.
 - A los precios favor de agregarles el I.V.A.
 - Facturación en U.S. Dólares, cuyo importe podrá ser pagado en Moneda Nacional considerando el tipo de cambio Pesos / Dólares de la fecha de pago.
 - Se permitirá entregas y facturación parciales.
 - Condiciones de pago : 50 % de anticipo con su pedido, saldo a los 7 días de la entrega.

HACIENDA DE LA HUERTA No.37 TLALPAN,14350 MEXICO, D.F. TEL. Y FAX: 671-20-68

K-Flow® Coriolis Mass Flowmeter

- Maximum accuracy in hostile environments due to exclusive Center Balanced Design™, second harmonic and unique "B" tube design.
- Safer, larger diameter, heavier tube walls minimizes the danger of tube failure under normal operating conditions.
- Proven design manufactured in ISO9001 quality environment.
- No moving parts in K-Flow Systems result in increased reproducible long term accuracy, maintenance free operation, greater reliability, lower overall costs and no system downtime.
- Food and beverage versions available.
- Hazardous area approved.
- Stainless steel or Hastelloy™ C22 wetted parts available
- Multiple advanced control and monitoring features included.
- Ten different sizes cover flow rates from 0.003 to 4200 T/H.

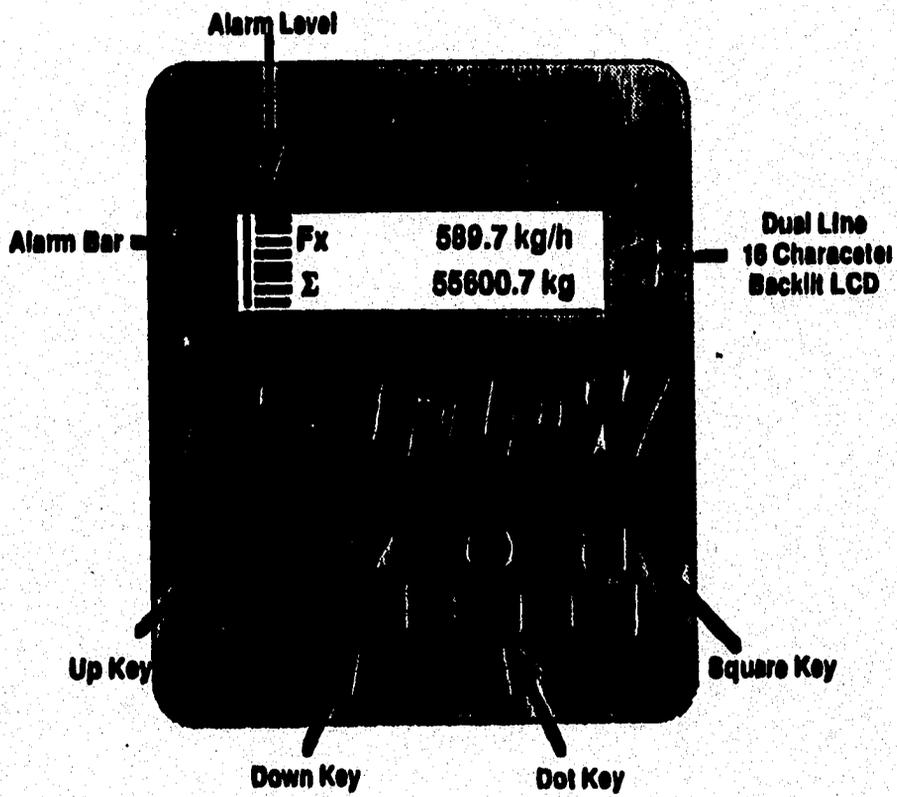


CORIOLIS MASS FLOWMETER
*an accurate, reliable method
of measuring the mass of
your application fluids.*

ABB K-Flow Inc.

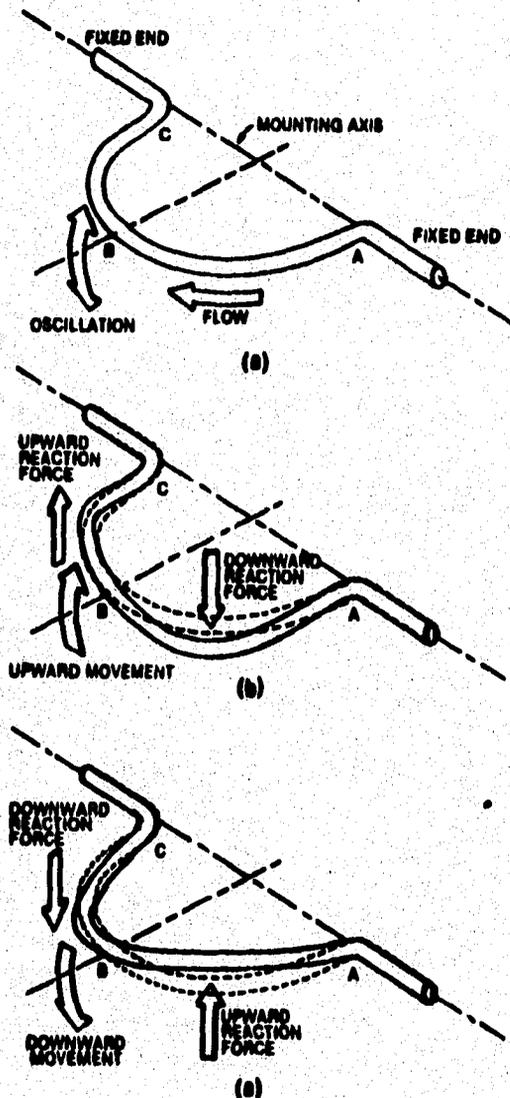
ABB

Keyboard Operations



Basic Coriolis Theory

The Coriolis mass flowmeter measurement principle is based on Newton's Second Law of Motion: force = mass x acceleration ($F = M \times A$). The flowmeter uses this to determine the mass flow rate.



Inside the sensor housing, the flow tube is vibrating at one of its natural frequencies (second harmonic) by an electromagnetic drive coil. The vibration is similar to that of a tuning fork, with a very small displacement ($< 1 \text{ mm}$) and high frequency ($> 100 \text{ Hz}$). The mass fluid flowing around the curved path of the vibrating measurement tube exchanges energy with the tube based on the conservation of momentum. The liquid flowing into the sensor resists being forced upward and exerts a downward force on the tube.

As this liquid travels to the outlet of the tube, it gains upward momentum from the tube, causing an upward force on the sensing tube on the outlet side. This exchange causes the tube to deflect 90° to the direction of the flow; the tube moves in the opposite direction during the second half of its vibration cycle. This tube deflection characteristic is known as the Coriolis effect.

Law of Motion

Due to Newton's Second Law of Motion, the amount of sensor tube deflection is directly proportional to the mass flow rate of the liquid flowing through the tube. Electromagnetic velocity detectors located on either side of the sensing tube measure the velocity of the vibration tubes. Sensor tube deflection is proportional to mass flow and is determined by measuring the time difference exhibited by velocity detector signals. During zero flow conditions, no tube deflection occurs relative to the upward and downward reaction forces. With flow, a deflection occurs corresponding to the upward and downward reaction forces. This deflection difference appears as a phase shift between the two velocity signals and indicates mass flow.

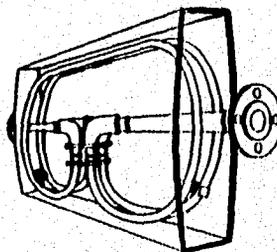
Research and Development with Dramatic Results

ABB K-Flow engineers solved the problem of existing cantilevered, projected loop and straight tube flowmeters with the patented "B" Tube configuration, Second Harmonic, and Center Balanced Design.

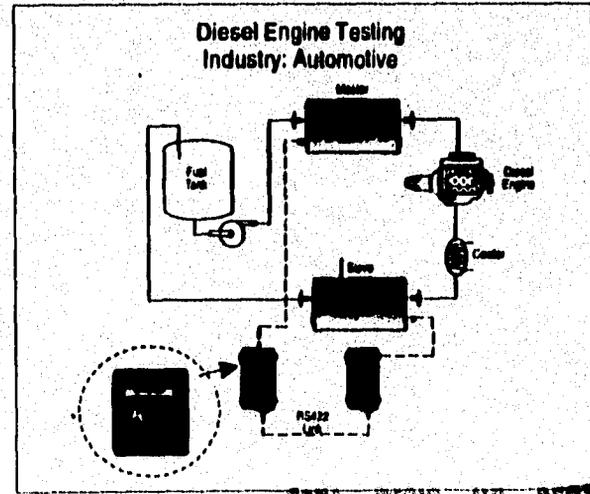
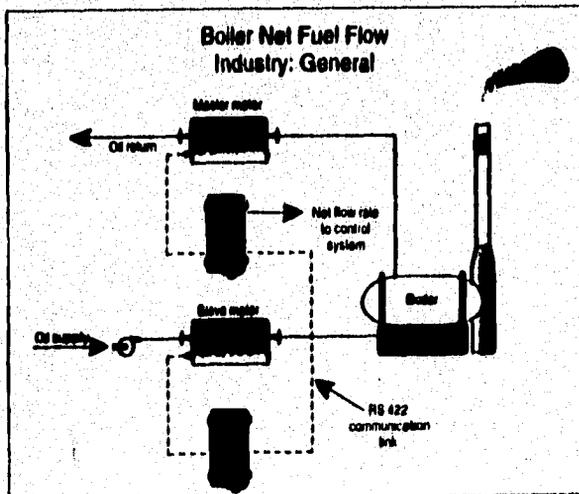
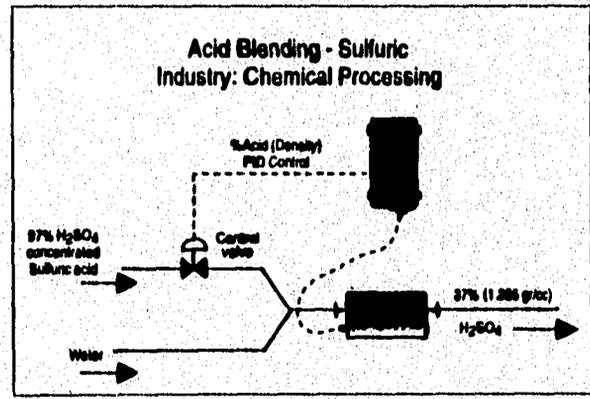
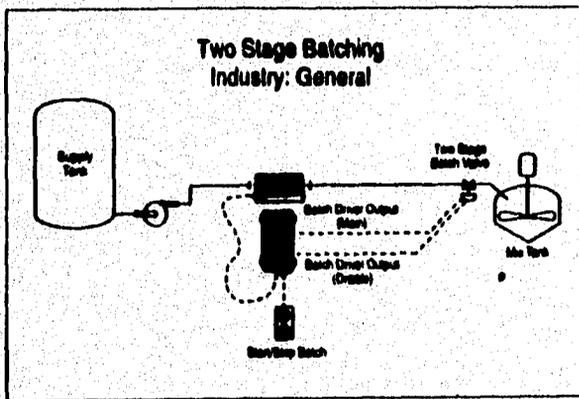
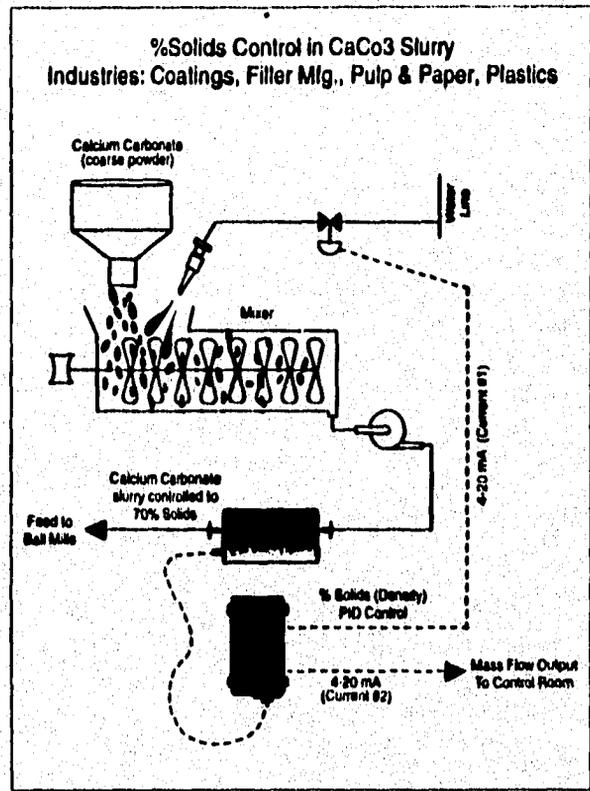
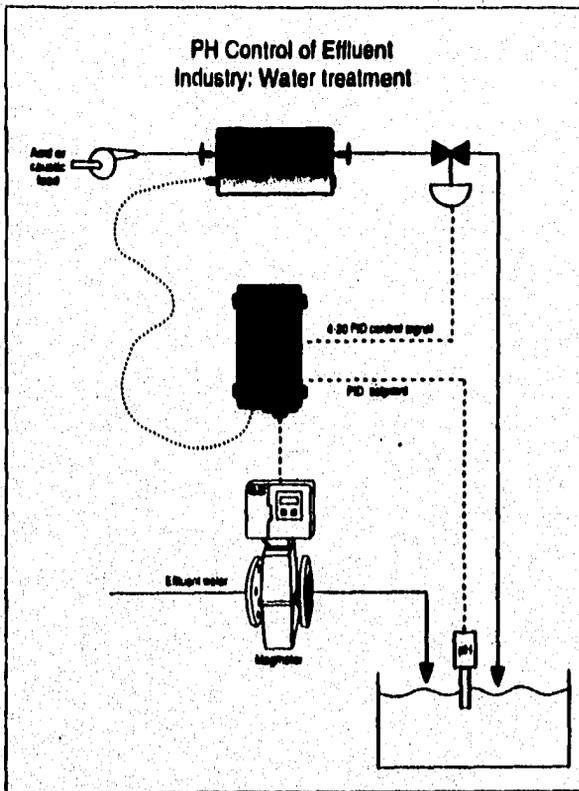
Second Harmonic drives the "B" tubes at a selected optimal higher frequency - produces tube stabilizing nodes that isolate the system from outside disturbances and permit the use of much safer and heavier tubing.

Center Balanced Design - the placement of the flow splitter at the center of gravity of the measurement system along the installation centerline - results in a highly stable configuration while reducing measurement contamination and increasing environmental tolerance.

These design innovations maximize the benefits of Coriolis based precision direct mass flow measurement while offering unequalled performance, safety and cost.



Applications



ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

General Specifications

Metric

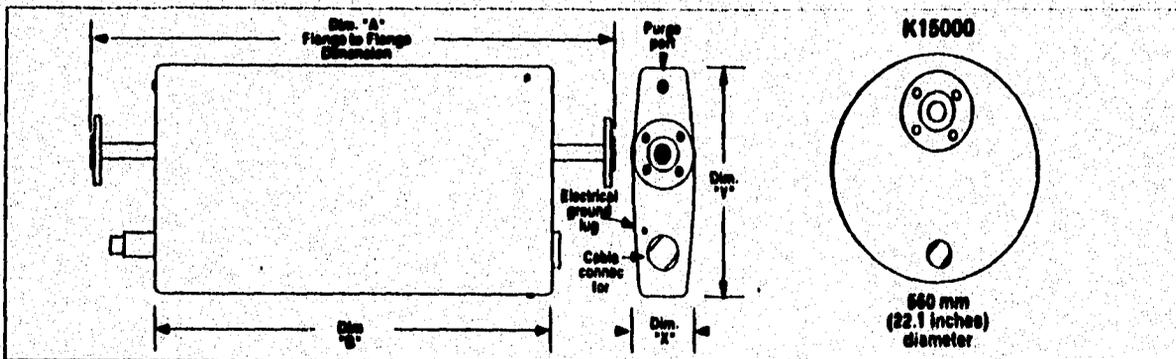
Model	Size mm	Accuracy kg/min	Density Accuracy g/cc	Flow Range Min. Max. kg/min kg/min		Pressure* Max. bar	Dimension			X mm	Y mm	Weight kg	
							A						
							Flanged mm	N.P.T.M mm	Sanitary mm				
K2		±0.2% ±0.00009	±0.015	0.05	1	68			See Dwg.			9	
K5	15	±0.2% ±0.0009	±0.003	0.1	2	150	639.7	660.4	622.3	422 mm± 2.5	82	206	5
K20	15	±0.2% ±0.0018	±0.003	0.25	10	150	639.7	660.4	622.3	422 mm± 2.5	82	206	5
K40	15	±0.2% ±0.0045	±0.002	1	20	150	612.7	650.8	612.7	422 mm± 2.5	82	206	5
K100	15	±0.2% ±0.007	±0.003	2	50	150	803.2	825.5	777.8	587	103	274	9
K250	20	±0.2% ±0.014	±0.003	5	110	122	893.7	917.5	876.3	670	116	322	10
K500	25	±0.2% ±0.005	±0.0005	7.5	225	122	1012.8	1044.5	996.9	777	127	370	17
K2500	40	±0.2% ±0.15	±0.0005	20	700	122	1184.2	1219.2	1168.4	919	171	449	25
K4000	80	±0.2% ±0.41	±0.0002	50	2000	103	1735	N/A	1735	1230	302	408	61
K15000	100	±0.2% ±1.35	±0.0002	75	7000	69	2042	N/A	2042	1450	560	560	250

Inches

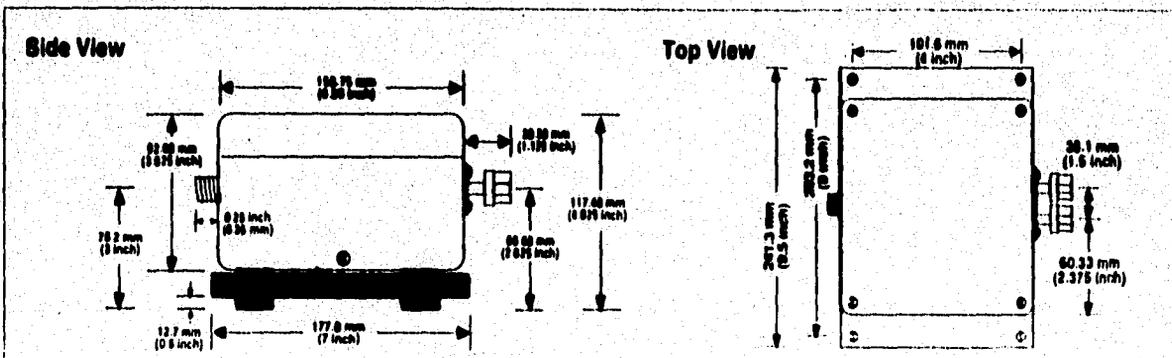
Model	Size inch	Accuracy lb/min	Density Accuracy g/cc	Flow Range Min. Max. lb/min lb/min		Pressure* Max. psi	Dimension			X inch	Y inch	Weight lb	
							A						
							Flanged inch	N.P.T.M inch	Sanitary inch				
K2		±0.2% ±0.0002	±0.015	0.1	2	1000			See Dwg.			20	
K5	.5	±0.2% ±0.002	±0.003	0.2	5	2200	25.18	26	24.50	16.625 ± 0.1	3.23	8.09	11
K20	.5	±0.2% ±0.004	±0.003	0.5	20	2200	5.18	26	24.50	16.625 ± 0.1	3.23	8.09	11
K40	.5	±0.2% ±0.009	±0.002	2	40	2200	24.12	25.62	24.12	16.625 ± 0.1	3.23	8.09	11
K100	.5	±0.2% ±0.015	±0.003	5	100	2200	31.6	32.12	30.62	23.11	4.06	10.77	20
K250	.75	±0.2% ±0.03	±0.003	10	250	1800	35.18	36.12	34.5	26.38	4.57	12.68	22
K500	1	±0.2% ±0.12	±0.0005	15	500	1800	39.87	41.12	39.25	30.59	5.00	14.57	38
K2500	1.5	±0.2% ±0.32	±0.0005	50	2500	1800	46.62	48	46	36.18	6.73	17.68	56
K4000	3	±0.2% ±0.95	±0.0002	100	4000	1500	68.3		68.3	48.4	11.8	16.1	135
K15000	4	±0.2% ±3.5	±0.0002	150	15000	1000	80.4		80.4	57.1	22.1	22.1	551

Operating Temperature: -95°C (-140°F) to 204°C (400°F)

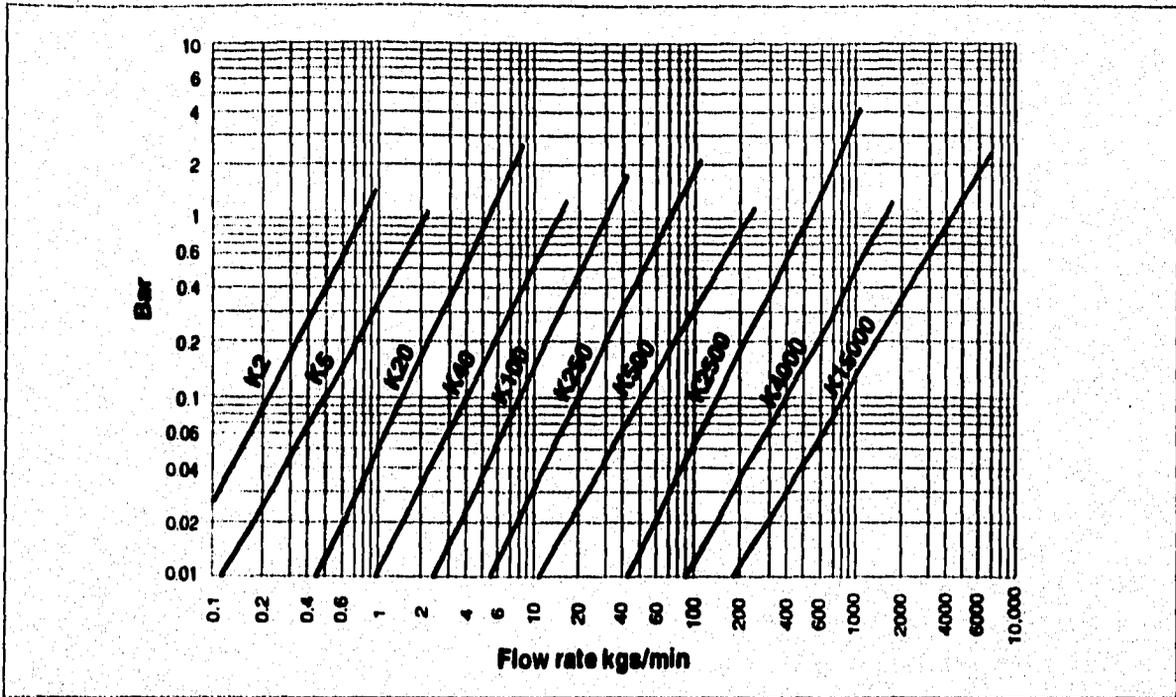
*Consult factory for higher ratings.
Hastelloy™ sensors available, consult factory.



K2 Sensor Dimensions



ΔP Pressure Drop for Liquids



Pressure drops shown are based on viscosity of 1 cP and S.G. of 1.0.

Accuracy (Z)

Mass flow accuracy, at a given flow rate, can be determined by using the stability (Z) and the following formula:

$$\text{Accuracy in percent} = (Z/M + Y) \times 100$$

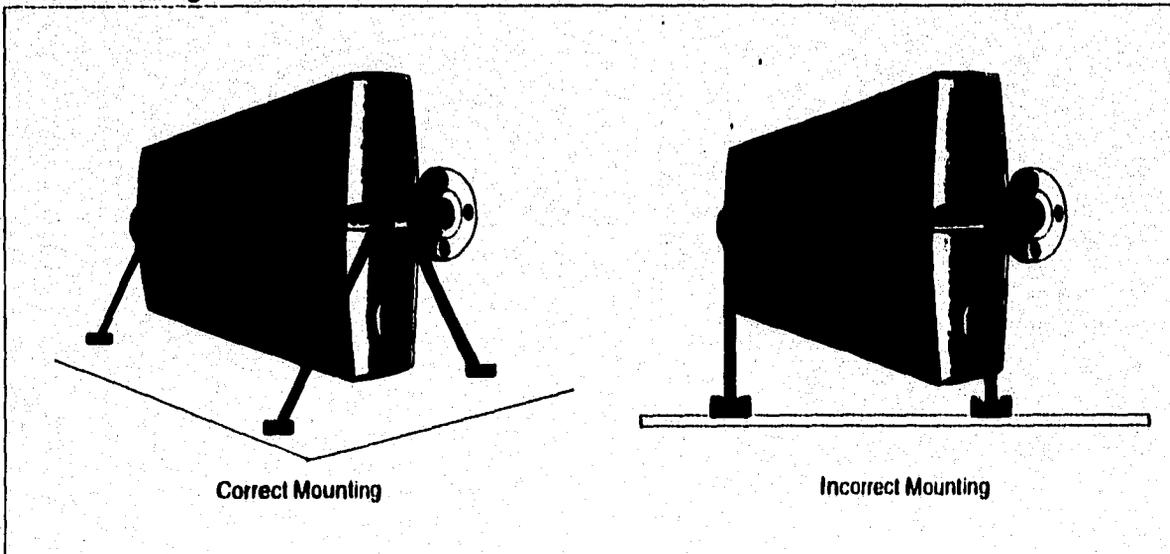
*Y = 0.002 for models K2 through K2500

*Y = .0015 for models K4000 and K15000

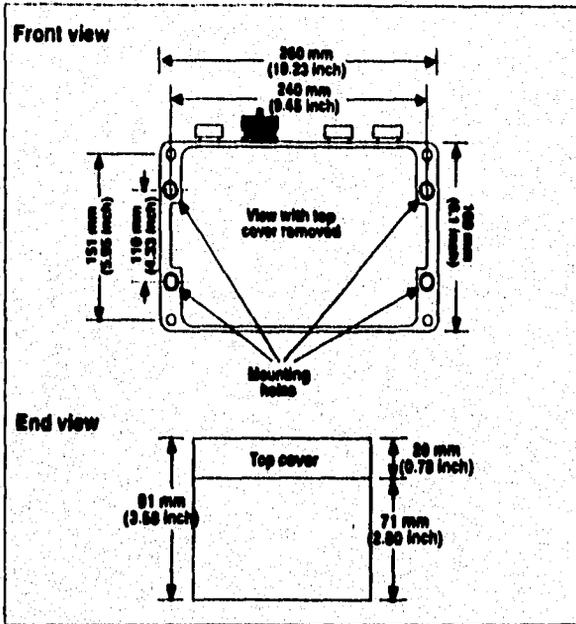
where, Z = zero stability from the sizing specifications on page 5 of this publication.

M = the desired mass flow at which the accuracy is calculated.

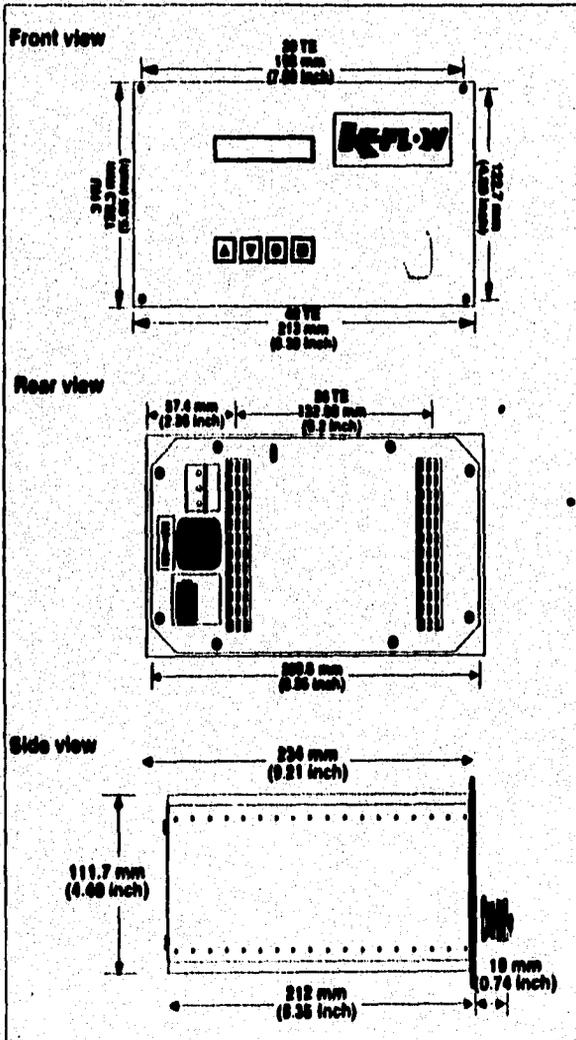
Sensor Mounting



1205 Transmitter Dimensions



1225 Transmitter Dimensions



RM1200 Series Smart Remotes

RM1230A is a *Controller* with digital inputs as well as optional analog input. This unit comes complete with a 6 digit thumbwheel input which can be programmed for the desired rate or ratio in any convenient units

RM1240A is a *Remote Batch Unit* which can be used for convenient and easy entry of batch setpoints via thumbwheel switches. This model also includes built-in start/stop buttons and a standard IBM/Centronics - Parallel printer port.

RM1250A is a *Remote Display Unit* that provides a display remote of the transmitter for easy panel mounting.

Specifications

Mechanical

1/4-DIN housing, 16 character alphanumeric, 2 line display

Interface

4800 baud RS422 / 485 serial communications to all K-Flow Transmitters
2 solid state driver outputs (36 to 250 VAC, 4 amp maximum)
2 logic input lines used for lockout, remote start-stop/suspend, etc.

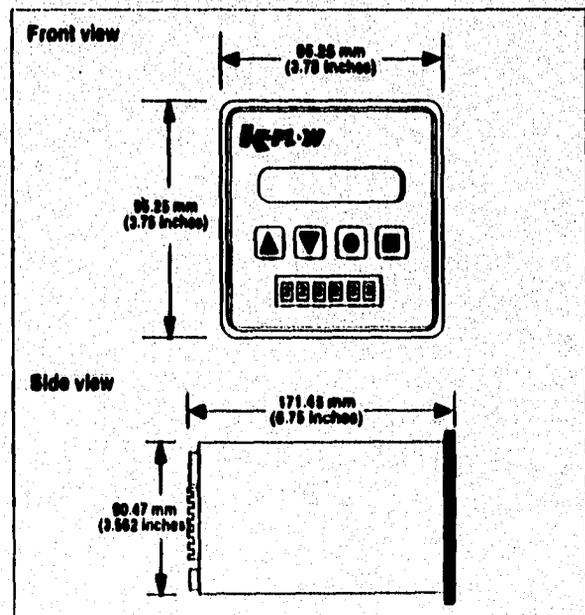
Power

120/240 VAC±15% (switch selectable)
100 mA, 11-28 VDC (optional)
Unit power and solenoid power separately fused.

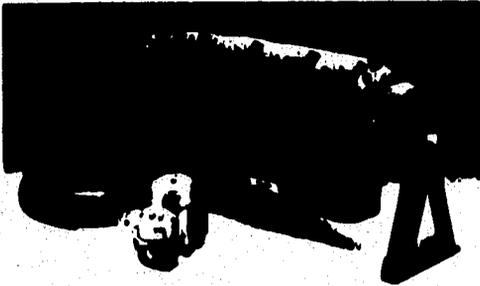
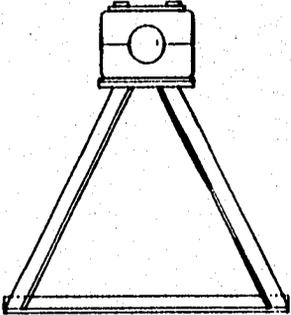
Connections

RS422 HL
2 remote inputs
optional analog input
2 N/O batch driver contacts

Remote Batcher Dimensions



Accessories

<p>Secondary Containment Vessels</p> 	<p>Rupture Disks</p> 
<p>Heat Jackets</p> 	<p>Sanitary Fittings</p> 
<p>Insulation Jackets</p> 	<p>Support Stands</p> 

Assured Quality

ABB K-Flow's® Mass flowmeters are designed and manufactured in accordance with international quality procedures (ISO 9001) and all flowmeters are calibrated on nationally traceable calibrations rigs to provide the end user with complete assurance of both quality and performance of the meter.

The Company's policy is one of continuous product improvement and the right is reserved to modify the specifications contained herein without notice.



SSK2-15000 Iss. 2 9 95

ABB Kent-Taylor Ltd.
 St. Neots, Cambs.
 England, PE19 3EU
 Tel: +44 (1480) 475321
 Fax: +44 (1480) 217948

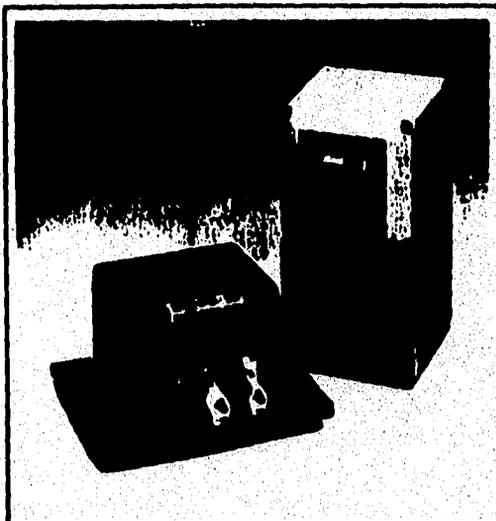
ABB Kent-Taylor Ltd.
 Analytical & Flow Group
 Stonehouse
 Gloucestershire,
 England, GL10 3TA
 Tel: +44 (1453) 827193
 Fax: +44 (1453) 821121

ABB K-Flow Inc.
 P.O. Box 849
 45 Reese Rd.
 Millville, NJ 08332
 U.S.A.
 Tel: +1 (609) 825-5553
 Fax: +1 (609) 825-1678

K2 "Pico" Sensor Specifications

INTRODUCTION

Mass flow is an ideal measurement technique for the processing of all fluids. ABB-K-FLOW Coriolis mass meters measure mass flow directly. Mass, along with length and time, constitutes one of the fundamental quantities on which all physical measurements are based. The ABB K-FLOW "Pico" meter has a range of 0 to 2 lbs/min. (0 - 0.9 kg/min.).



FEATURES & BENEFITS

- Direct mass flow measurement
- Density measurement
- Non intrusive sensor
- No moving parts, no fouling or plugging
- Completely independent of temperature, pressure, density, viscosity and flow profile
- Improved immunity to entrained air
- Zero maintenance required
- Wide rangeability of 50:1
- Continuous "B" tube design
- Eliminates straight run requirements
- Completely linear output
- Utilizes second harmonic drive mode for improved stability
- Standard purge ports
- Uses smart Series 1200 Transmitters
- Shock mounting, heavy mounting plate and center balanced design reduce external vibration effects.

ABB K-Flow Inc.

ABB
ASEA BROWN BOVERI

**DETAILED
SENSOR
SPECIFICATIONS**

Accuracy	
Mass	± 0.2% of rate ± zero stability
Density	± 0.015 g/cc
Temperature	± 1°F (0.5°C)
Typical flow range	0 to 2 lbs/min (0.9 kg/min)
Zero stability	0.0002 lbs/min (0.00009 kg/min)
Response time	50 milliseconds
Dampening	.050 - 60 seconds
Area classification	FM & CSA Approvals: Class I, Div. 1, Groups A, B, C & D Class II, Groups E & F CENELEC EEx ib IIB T3/T6

**MECHANICAL
SPECIFICATIONS**

Operating temperature	-140°F to 356°F (-95°C to 180°C)
Rated operating pressure	1000 psi (68 bar)
Wetted parts	316L Stainless Steel
Tube Specifications	0.078 in (1.98 mm) internal diameter x 0.008 in. (0.203 mm) wall
Fluid fittings	1/4 in. Cajon VCO or VCR NPTF (Other types available)
Sensor housing	Epoxy coated aluminum (NEMA 4X)
Shipping weight	20 lbs. (9.07 kg)

**SERIES 1200
TRANSMITTER
ELECTRONIC
SPECIFICATIONS****Features Multiple Menus for
Indicating and Transmitter Programming****SERIES 1200 TRANSMITTER FEATURES**

- Mass flow
- Density
- Temperature
- Volumetric flow
- Mass & Volumetric Totalization
- Batching (1 or 2 stage shut down)
- PID control
- %Solids/Liquids/Mass
- Microprocessor based electronics
- Two line, LED backlit, 16 characters each display
- Full system diagnostics on display
- Keyboard programmability
- Keyboard selection and scaling of all outputs
- One button zeroing
- Serial port access to all data and transmitter parameters.

USER INPUT & OUTPUT

- 2 Fully programmable 4-20 mA outputs
- 1 Fully programmable Frequency or Pulse output
- Fault signaling - upscale or downscale - user programmable
- Serial communications RS 232/422/485
- 2 Relay outputs (300 mA and 48 volts maximum)
- 2 Optically isolated alarm output lines (phototransistor)
- 2 Optically isolated input lines (phototransistor)
- User programmable process alarms

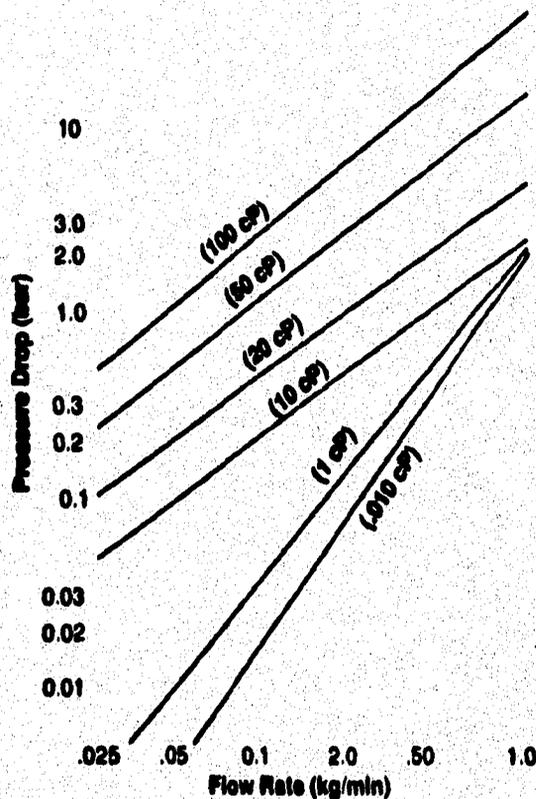
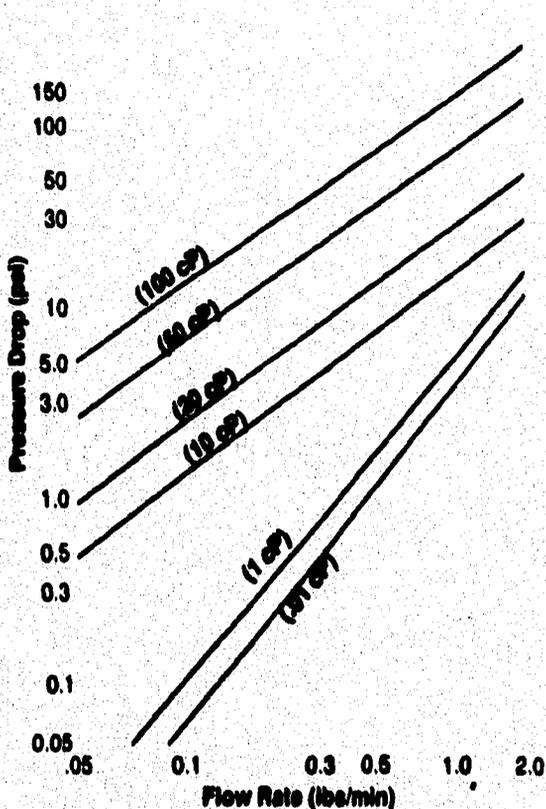
SPECIFICATION: SERIES 1200 TRANSMITTER

- Material of Construction: Epoxy coated aluminum
- Power: 115/230 VAC, 50/60 Hz, 18-36 VDC, 10 watts
- Temperature range: 20°F (-7°C) to 131°F (55°C)
- Housing rating: NEMA 4X design or 19" cassette 3HE/42TE
- Area rating: Class I, Division II, Groups A, B, C & D

SIZING SPECIFICATIONS

Model	Tube Dia (Internal)	Tube Wall Thickness	Flow Range	Zero Stability (Z)	Pressure Rating	Temp. Rating	Wetted Parts	Velocity Factor (V)
K2	0.078 in. 1.98 mm	0.008 in. 0.203mm	0 - 2 lb/min 0 - 0.9 kg/min	0.0002 lb/min 0.00009 kg/min	1000 psi 68 bar	-140°F - 356°F -95°C - 180°C	316L	8.25

PRESSURE DROP CHARTS



ΔP PRESSURE DROP FOR LIQUIDS

The pressure drop lines for the ABBK-Flow mass flow meters are based on Darcy's formula, modified to account for sensor geometry. A combination of laboratory tests and field reports have verified the accuracy of these curves. The pressure drop is shown in terms of a fluid's dynamic viscosity in units of centiPoise. The charts show several viscosity curves. To find the correct pressure drop obtain the following:

- Desired full scale flow rate (lb/min or kg/min).
- Allowable pressure drop (psig or bar)
- Process fluid viscosity at operating conditions in centiPoise (cP)

Locate the flow rate of interest on the bottom axis of the pressure drop chart. Go straight up until intersecting the desired blue viscosity line. Find the pressure drop on the left hand side.

VELOCITY (V)

To minimize erosive wear on wetted parts by abrasive fluids, the fluid stream velocity should be limited to about 3 to 15 feet-per-second. Use the sensor velocity factor (V) values from the formula shown below to estimate fluid stream velocity through a sensor:

$$u = (V \times M) / S$$

where, u = velocity in feet/second

V = meter constant from specifications above

M = mass flow in lb/min

S = fluid specific gravity relative to density of water = 1.0 SGU

ACCURACY

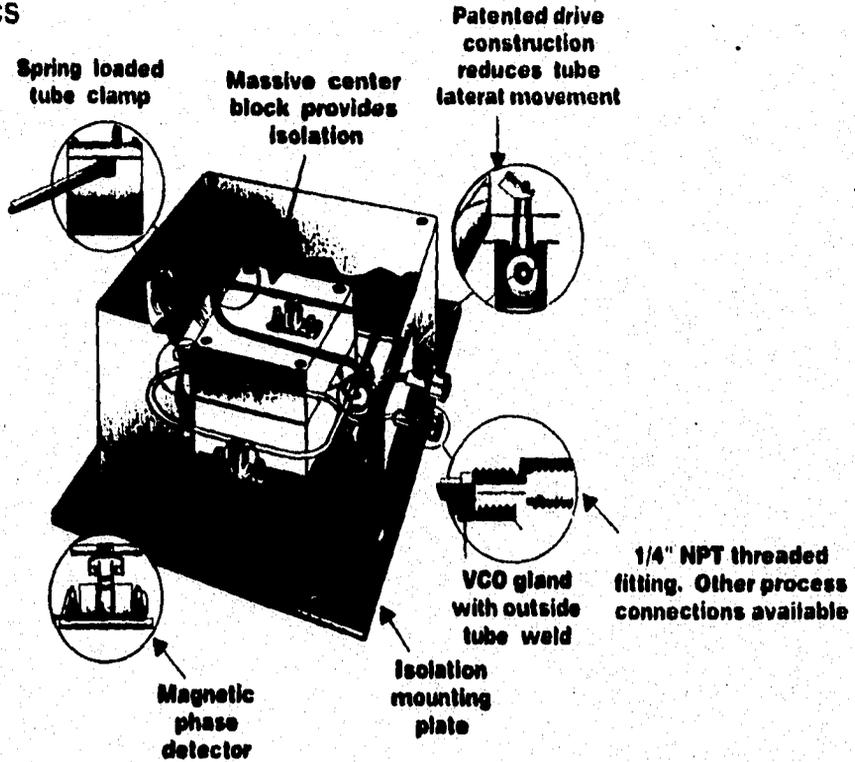
Mass flow accuracy, at a given flow rate, can be determined by using the zero stability (Z) and the following formula:

$$\text{Accuracy} = (Z / M + 0.002) \times 100$$

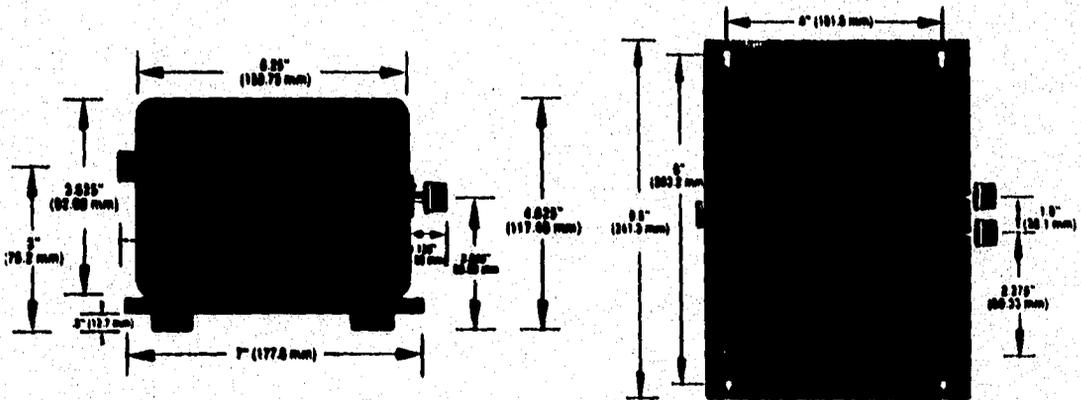
where, Z = zero stability from the sizing specifications above

M = the desired mass flow at which the accuracy is calculated.

PHYSICAL CHARACTERISTICS



DIMENSIONS



This product is made in accordance with one or more of the following U.S. patents 4,733,569; 4,716,771; 4,856,346; 4,782,711 and 5,073,208

Specifications subject to change without notice.



Approved



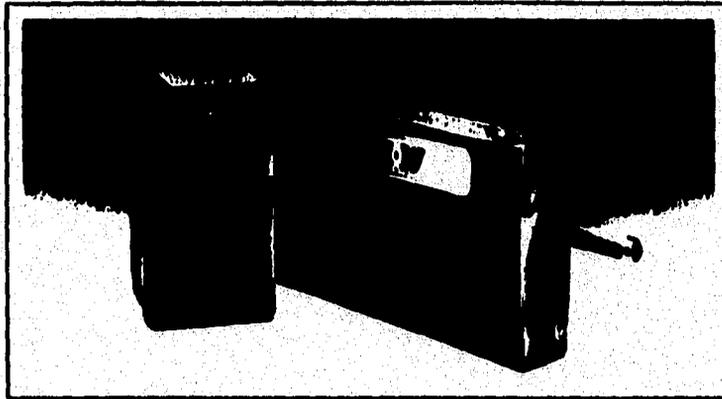
ABB K-Flow Inc.
 Post Office Box 849
 Millville Airport
 Millville, New Jersey 08332
 Tel. (609) 825-5553 or
 1-800-82K-FLOW
 Fax (609) 825-1678

ABB Kent-Taylor Limited
 Oldends Lane Stonehouse
 Gloucestershire England GL10 3TA
 Tel. 44-453-826661
 Fax 44-453-827856

K5 Sensor Specifications

INTRODUCTION

Mass flow is an ideal measurement technique for the processing of all fluids. ABB K-FLOW Coriolis mass meters measure mass flow directly. Mass, along with length and time, constitutes one of the fundamental quantities on which all physical measurements are based. The ABB K-FLOW K5 meter has a range of 0 to 5 lbs/min. (0 - 2.3 kg/min.).



FEATURES & BENEFITS

- Direct mass flow measurement
- Density measurement
- Non intrusive sensor
- No moving parts, no fouling or plugging
- Completely independent of temperature, pressure, density, viscosity and flow profile
- Improved immunity to entrained air
- Wide rangeability of 50:1
- Continuous "B" tube design
- Eliminates straight run requirements
- Completely linear output
- Utilizes second harmonic drive mode for improved stability
- Uses smart Series 1200 Transmitter
- Zero maintenance required

ABB K-Flow Inc.

ABB
ASEA BROWN BOVERI

**DETAILED
SENSOR
SPECIFICATIONS**

Accuracy	
Mass	± 0.2% of rate ± zero stability
Density	± 0.003 g/cc
Temperature	± 1°F (0.5°C)
Typical flow range	0 to 5 lbs/min. (0 to 2.3 kg/min.)
Zero stability	0.002 lb/min. (0.0009 kg/min.)
Response time	50 milliseconds
Dampening	0.050 - 60 seconds
Area classification	FM & C.S.A. APPROVALS Class I, Div. 1, Groups A, B, C & D Class II, Groups E & F CENELEC EEx Ib IIB T3/T6

**MECHANICAL
SPECIFICATIONS**

Operating temperature	-140°F to 356°F (-95°C to 180°C)
Rated operating pressure	2200 psi (150 bar)
Wetted parts	316L Stainless Steel or Hastelloy™ C22
Tube specifications	2 tubes, 0.125 inches I.D. (3.18 mm) 0.020 inch wall (0.508 mm) Total cross section area: .014 in ² (0.090 cm ²)
Fluid fittings	1/4 inch, NPTM thread
Inlet flow	1/4 IPS, Schedule 80 pipe, 0.540 inch O.D. (13.72 mm)
Sensor housing	304 Stainless steel, hermetically sealed (NEMA 4X)
Shipping weight	17 lbs. (7.7 kg.)

**SERIES 1200
TRANSMITTER
ELECTRONIC
SPECIFICATIONS****Features Multiple Menus for
Indicating and Transmitter Programming****SERIES 1200 TRANSMITTER FEATURES**

- Mass flow
- Density
- Temperature
- Volumetric flow
- Mass & Volumetric Totalization
- Batching (1 or 2 stage shut down)
- PID control
- %Solids/Liquids/Mass
- Microprocessor based electronics
- Two line, LED backlit, 16 characters each display
- Full systems diagnostics on display
- Keyboard programmability
- Keyboard selection and scaling of all outputs
- One button zeroing
- Serial port access to all data and transmitter parameters.

USER INPUT & OUTPUT

- 2 Fully programmable 4-20 mA outputs
- 1 Fully programmable Frequency or Pulse output
- Fault signaling - upscale or downscale - user programmable
- Serial communications RS 232/422/485
- 2 Relay outputs (300 mA and 48 volts maximum)
- 2 Optically isolated alarm output lines (phototransistor)
- 2 Optically isolated input lines (phototransistor)
- User programmable process alarms

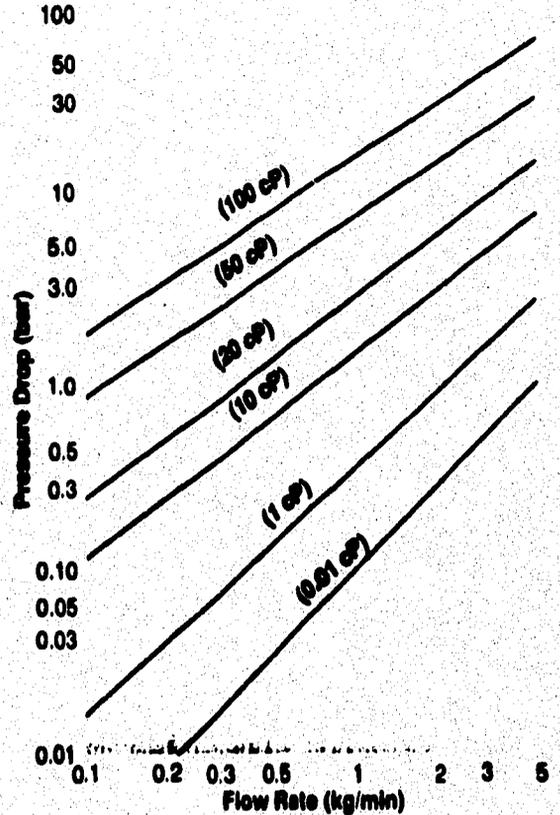
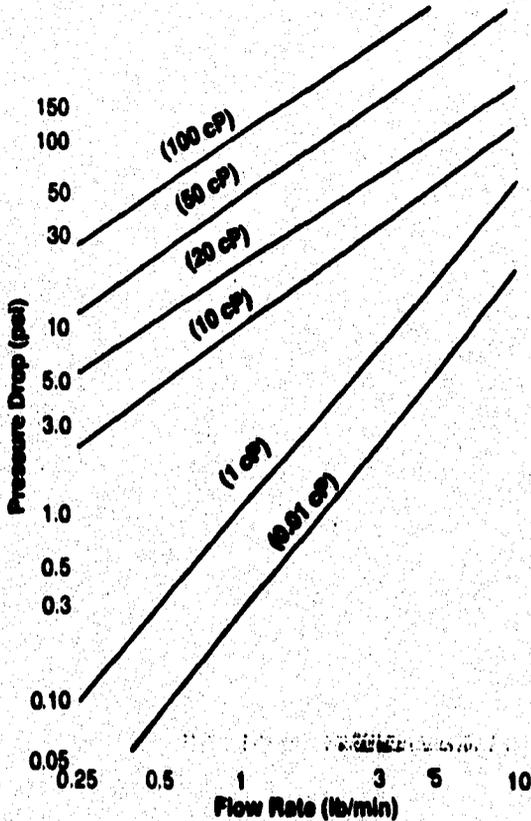
SPECIFICATION: SERIES 1200 TRANSMITTER

- Material of Construction: Epoxy coated aluminum
- Power: 115/230 VAC, 50/60 Hz; 18-36 VDC, 10 watts
- Temperature range: 20°F (-7°C) to 131°F (55°C)
- Housing rating: NEMA 4X design or 19" cassette 3HE/42TE
- Area rating: Class I, Division II, Groups A, B, C & D

SIZING SPECIFICATIONS

Model	Tube Dia (Internal)	Tube Wall Thickness	Flow Range	Zero Stability (Z)	Pressure Rating	Temp. Rating	Wetted Parts	Velocity Factor (V)
K5	2 x 0.085 in. 2 x 2.158mm	0.020 in. 0.51 mm	0 - 5 lb/min 0 - 2.3 kg/min	0.002 lb/min 0.0009 kg/min	2200 psi 150 bar	-140°F - 356°F -95°C - 180°C	316L	2.78 1.86

PRESSURE DROP CHARTS



ΔP PRESSURE DROP FOR LIQUIDS

The pressure drop lines for the ABBK-Flow mass flow meters are based on Darcy's formula, modified to account for sensor geometry. A combination of laboratory tests and field reports have verified the accuracy of these curves. The pressure drop is shown in terms of a fluid's dynamic viscosity in units of centiPoise. The charts show several viscosity curves. To find the correct pressure drop obtain the following:

- Desired full scale flow rate (lb/min / kg/min)
- Allowable pressure drop (psi/bar)
- Process fluid viscosity at operating conditions in centiPoise (cP)

Locate the flow rate of interest on the bottom axis of the pressure drop chart. Go straight up until intersecting the desired blue viscosity line. Find the pressure drop on the left hand side.

VELOCITY (V)

To minimize erosive wear on wetted parts by abrasive fluids, the fluid stream velocity should be limited to about 3 to 15 feet-per second. Use the sensor velocity factor (V) values from the formula shown below to estimate fluid stream velocity through a sensor:

$$u = (V \times M) / S$$

where, u = velocity in feet/second

V = meter constant from specifications above

M = mass flow in lb/min

S = fluid specific gravity relative to density of water = 1.0 SGU

ACCURACY

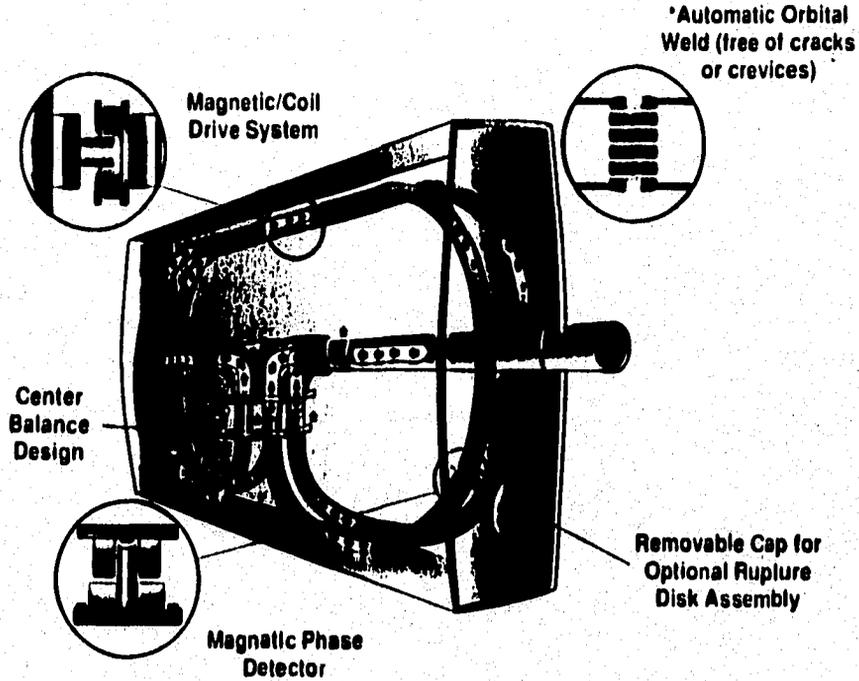
Mass flow accuracy, at a given flow rate, can be determined by using the zero stability (Z) and the following formula:

$$\text{Accuracy in percent} = (Z / M + 0.002) \times 100$$

where, Z = zero stability from the sizing specifications above

M = the desired mass flow at which the accuracy is calculated.

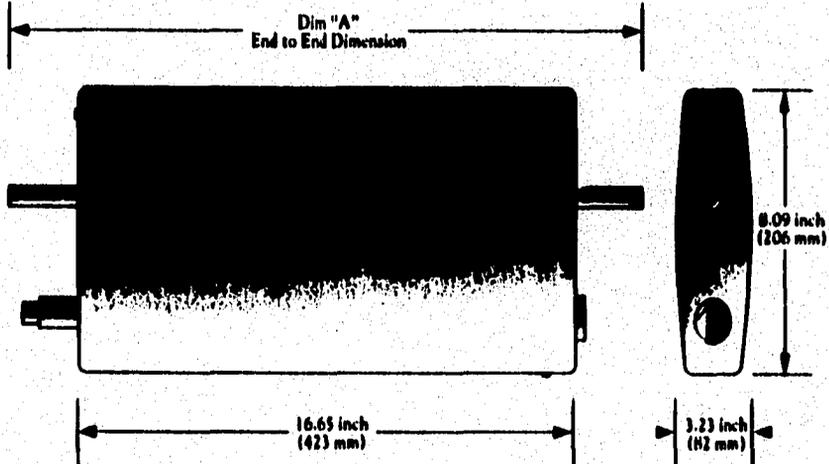
PHYSICAL CHARACTERISTICS



DIMENSIONS

Factory Mutual System

Approved



Specifications subject to change without notice.

Hastelloy™ is a trademark of Haynes International.

Fittings

- 1/2 inch ANSI RF Flange (B16.5)
- DIN PN40
- JS12 & JS14
- Sanitary (1" or 2" clamp)
- 1 inch ANSI RF Flange
- 1/2 inch N.P.T.M.

Dim "A"

- 25.1875 inch (639.762 mm)
- 25.1875 inch (639.762 mm)
- 25.1875 inch (639.762 mm)
- 24.50 inch (622.3 mm)
- 25.1875 inch (639.762 mm)
- 26.0 inch (660.4 mm)

This products is made in accordance with one or more of the following U.S. patents: 4,733,569; 4,716,771; 4,856,346; 4,782,711.



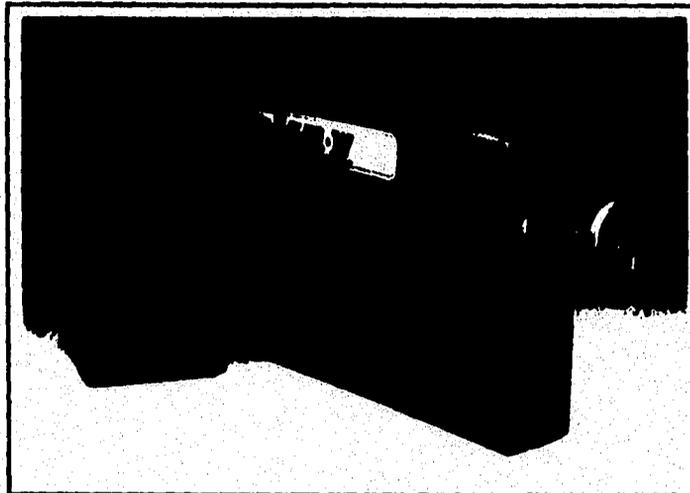
ABB K-Flow Corporation
 Post Office Box 849
 Millville Airport
 Millville, New Jersey 08332
 Tel. (609) 825-5553 or
 (800) 82K-FLOW
 Fax (609) 825-1678

ABB Kent-Taylor Limited
 Oldends Lane Stonehouse
 Gloucestershire England GL10 3TA
 Tel. 44-453-826661
 Fax 44-453-827856

K100 Sensor Specifications

INTRODUCTION

Mass flow is an ideal measurement technique for the processing of all fluids. ABB K-FLOW Coriolis mass meters measure mass flow directly. Mass, along with length and time, constitutes one of the fundamental quantities on which all physical measurements are based. The ABB K-FLOW K100 meter has a range of 0 to 100 lbs/min. (0 - 45.3 kg/min.).



FEATURES & BENEFITS

- Direct mass flow measurement
- Density measurement
- Non intrusive sensor
- No moving parts, no fouling or plugging
- Completely independent of temperature, pressure, density, viscosity and flow profile
- Improved immunity to entrained air
- Wide rangeability of 50:1
- Continuous "B" tube design
- Eliminates straight run requirements
- Completely linear output
- Utilizes second harmonic drive mode for improved stability
- Uses smart Series 1200 Transmitters
- Zero maintenance required

ABB K-Flow Inc.

ABB
ASEA BROWN BOVERI

**DETAILED
SENSOR
SPECIFICATIONS**

Accuracy	
Mass	± 0.2% of rate ± zero stability
Density	± 0.003 g/cc
Temperature	± 1°F (0.5°C)
Typical flow range	0 to 100 lbs/min. (0 to 45.3 kg/min.)
Zero stability	0.02 lb/min. (0.009 kg/min.)
Response time	50 milliseconds
Dampening	.050 - 60 seconds
Area classification	FM & C.S.A. APPROVALS Class I, Div. 1, Groups A, B, C & D Class II, Groups E & F GENELEC EEx Ib IIB T3/T6

**MECHANICAL
SPECIFICATIONS**

Operating temperature	-140°F to 356°F (-95°C to 180°C)
Rated operating pressure	2200 psi (150 bar)
Wetted parts	316L Stainless Steel or Hastelloy™ C22
Tube specifications	2 tubes, 0.305 inches I.D. (7.75 mm) 0.035 inch wall (0.889 mm) Total cross section area: 0.1461 in ² (0.9423 cm ²)
Fluid fittings	1/2 inch, 150# RF flange (Other flanges available.)
Inlet flow	0.50 inch, Schedule 40 pipe, 0.84 inch O.D. (21.336 mm) Hastelloy sensors use Schedule 10 pipe.
Sensor housing	304 Stainless steel, hermetically sealed (NEMA 4X)
Shipping weight	25 lbs. (11.3 kg.)

**SERIES 1200
TRANSMITTER
ELECTRONIC
SPECIFICATIONS****Features Multiple Menus for
Indicating and Transmitter Programming****SERIES 1200 TRANSMITTER FEATURES**

- Mass flow
- Density
- Temperature
- Volumetric flow
- Mass & Volumetric Totalization
- Batching (1 or 2 stage shut down)
- PID control
- %Solids/Liquids/Mass
- Microprocessor based electronics
- Two line, LED backlit, 16 characters each display
- Full systems diagnostics on display
- Keyboard programmability
- Keyboard selection and scaling of all outputs
- One button zeroing
- Serial port access to all data and transmitter parameters.

USER INPUT & OUTPUT

- 2 Fully programmable 4-20 mA outputs
- 1 Fully programmable Frequency or Pulse output
- Fault signaling - upscale or downscale - user programmable
- Serial communications RS 232/422/485
- 2 Relay outputs (300 mA and 48 volts maximum)
- 2 Optically isolated alarm output lines (phototransistor)
- 2 Optically isolated input lines (phototransistor)
- User programmable process alarms

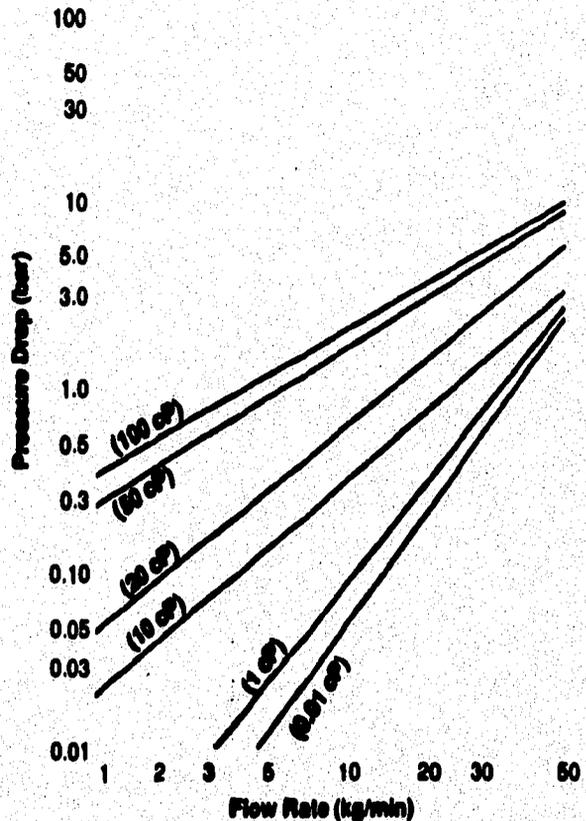
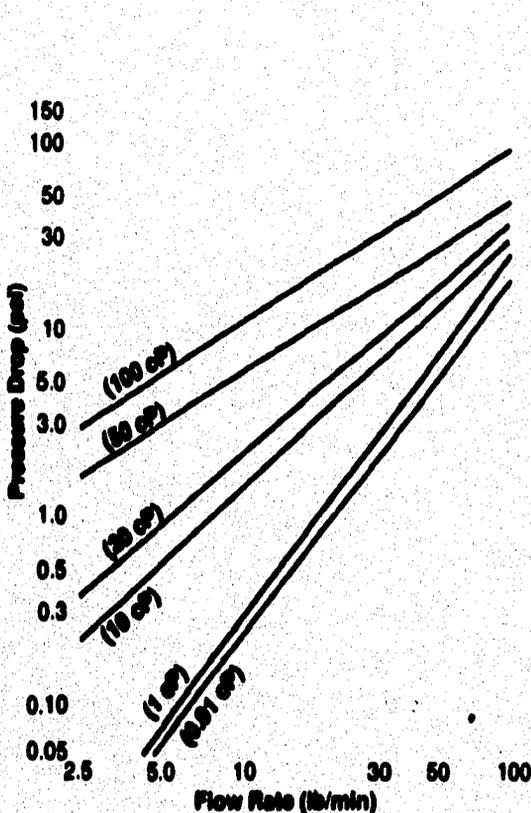
SPECIFICATION: SERIES 1200 TRANSMITTER

- Material of Construction: Epoxy coated aluminum
- Power: 115/230 VAC, 50/60 Hz; 18-36 VDC, 10 watts
- Temperature range: 20°F (-7°C) to 131°F (55°C)
- Housing rating: NEMA 4X design or 19" cassette, 3HE/42TE
- Area rating: Class I, Division II, Groups A, B, C & D

SIZING SPECIFICATIONS

Model	Tube Dia (Internal)	Tube Wall Thickness	Flow Range	Zero Stability (Z)	Pressure Rating	Temp. Rating	Wetted Parts	Velocity Factor (V)
K100	2 x 0.305 in. 2 x 7.75 mm	0.035 in. 0.889 mm	0 - 100 lb/min 0 - 45.3 kg/min	0.015 lb/min 0.007 kg/min	2200 psi 150 bar	-140°F - 356°F -95°C - 180°C	316L Hastelloy C22	0.263

PRESSURE DROP CHARTS



ΔP PRESSURE DROP FOR LIQUIDS

The pressure drop lines for the ABBK-Flow mass flow meters are based on Darcy's formula, modified to account for sensor geometry. A combination of laboratory tests and field reports have verified the accuracy of these curves. The pressure drop is shown in terms of a fluid's dynamic viscosity in units of centiPoise. The charts show several viscosity curves. To find the correct pressure drop obtain the following:

- Desired full scale flow rate (lb/min / kg/min)
- Allowable pressure drop (psig/bar)
- Process fluid viscosity at operating conditions in centiPoise (cP)

Locate the flow rate of interest on the bottom axis of the pressure drop chart. Go straight up until intersecting the desired blue viscosity line. Find the pressure drop on the left hand side.

VELOCITY (V)

To minimize erosive wear on wetted parts by abrasive fluids, the fluid stream velocity should be limited to about 3 - 15 feet-per-second. Use the sensor velocity factor (V) values from the formula shown below to estimate fluid stream velocity through a sensor:

$$u = (V \times M) / S$$

- where,
- u = velocity in feet/second
 - V = meter constant from specifications above
 - M = mass flow in lb/min
 - S = fluid specific gravity relative to density of water = 1.0 SGU

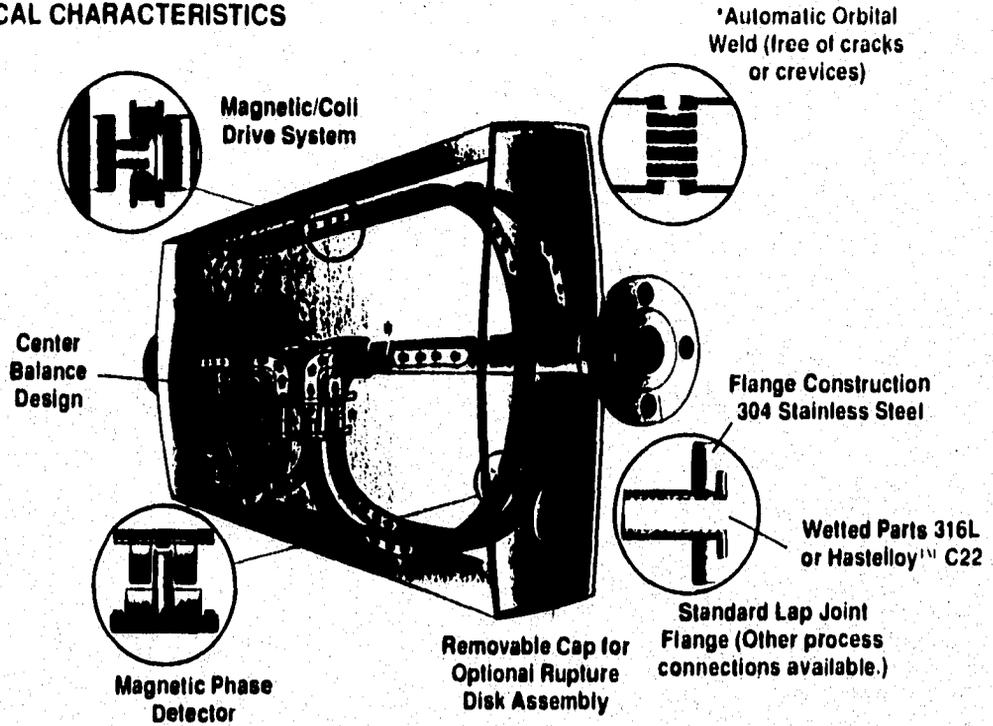
ACCURACY

Mass flow accuracy, at a given flow rate, can be determined by using the zero stability (Z) and the following formula:

$$\text{Accuracy} = (Z / M + 0.002) \times 100$$

- where,
- Z = zero stability from the sizing specifications above
 - M = the desired mass flow at which the accuracy is calculated.

PHYSICAL CHARACTERISTICS

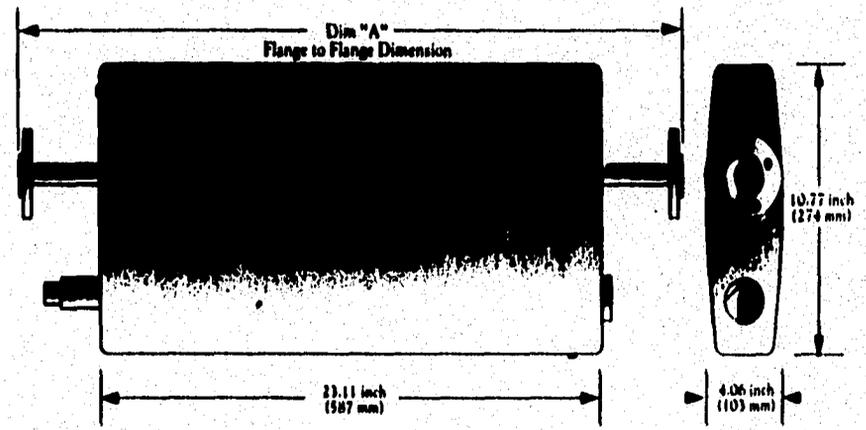


DIMENSIONS



Specifications subject to change without notice.

Hastelloy™ is a trademark of Haynes International.



Fittings

- 1/2 inch ANSI RF Flange (B16.5)
- DIN PN40
- JS12 & JS14
- Sanitary (1" or 2" clamp)
- 1 inch ANSI RF Flange
- 1/2 inch N.P.T.M.

Dim "A"

- 31.625 inch (803.275 mm)
- 31.625 inch (803.275 mm)
- 31.625 inch (803.275 mm)
- 31.5 inch (800.1 mm)
- 31.625 inch (803.275 mm)
- 32.125 inch (825.5 mm)

This products is made in accordance with one or more of the following U.S. patents: 4,733,569; 4,716,771; 4,856,346; 4,782,711.



ABB K-Flow Inc.
 Post Office Box 849
 Millville Airport
 Millville, New Jersey 08332
 Tel. (609) 825-5553 or
 (800) 82K-FLOW.
 Fax (609) 825-1678

ABB Kent-Taylor Limited
 Oldends Lane Stonehouse
 Gloucestershire England GL10 3TA
 Tel. 44-453-826661
 Fax 44-453-827856

Smart Series 1200 Transmitters

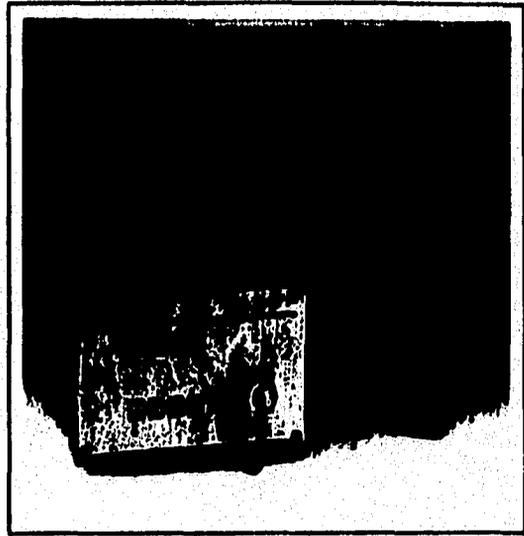
INTRODUCTION

ABB K-Flow has developed a new series of smart mass flowmeters to adapt to a full line of applications. From ease in operation to the most advanced technology, all in one low cost system.

ABB K-Flow's new microprocessor based transmitters offer a variety of powerful operational and diagnostic functions at your fingertips. The three keys on the front panel will enable the user to gain access to the main menu, three levels of user passwords and a number of submenus, allowing configuration of the meter for your specific applications. Our new smart SERIES 1200 TRANSMITTERS combine the advantages of innovative designed, microprocessor electronics and 'state-of-the-art' digital technology with a communications format that provides a powerful, accurate and reliable interface between the field and control room.

The SERIES 1200 TRANSMITTERS comes with RS 232 / 422 / 485 communication capability supported by an easy to use software package which includes: communications, calibration, polynomial curve fitting, pressure drop, batching and modem connection program.

ABB K-Flow's mass flowmeters and new SERIES 1200 TRANSMITTERS offer an excellent, practical solution to industries whose profitability and product quality depends upon accurate continuous monitoring, diagnostics and control of their processes, systems and instrumentation.



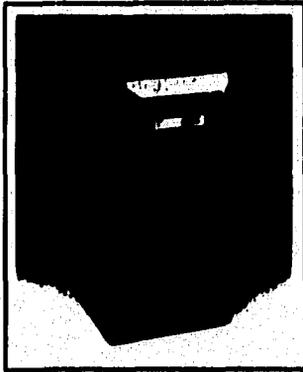
For field installation, the SERIES 1210 TRANSMITTER has a dual compartment, weatherproof housing. This housing can be blind or supplied with an LCD backlit indicator on the front panel. This NEMA 4X housing has a separate terminal compartment where the zero push button is located (in the blind version only).

For installation in a control room, the SERIES 1220 TRANSMITTERS is available in a 19" rack mounted configuration. This package includes an LCD indicator and a serial port connection for external communication on the front panel. The indicator displays mass flow rate, density, temperature, frequency, outputs and totalization in selectable engineering units.

ABB K-Flow Inc.

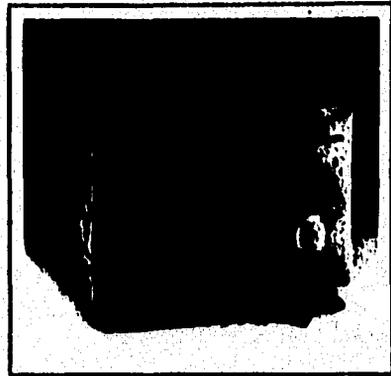
ABB
ASEA BROWN BOVERI

SERIES 1200 TRANSMITTER LINE



1210 Transmitter

The 1210 Transmitter is the basic wall mounted model with an LCD display panel, keyboard panel and a dual compartment NEMA 4X enclosure.



1220 Transmitter

The 1220 Transmitter is 1/2 of a 19" rack mounted version for control room environments. (With keyboard and display.)

FEATURES & BENEFITS

SERIES 1200 TRANSMITTER FEATURES

- Mass flow
- Density
- Temperature
- Volumetric flow
- Mass & Volumetric Totalization
- Batching (1 or 2 stage shut down)
- PID control
- %Solids/Liquids/Mass
- Microprocessor based electronics
- Two line, LED backlit, 16 characters each display
- Full systems diagnostics on display
- Keyboard programmability
- Keyboard selection and scaling of all outputs
- One button zeroing
- Serial port access to all data and transmitter parameters.

USER INPUT & OUTPUT

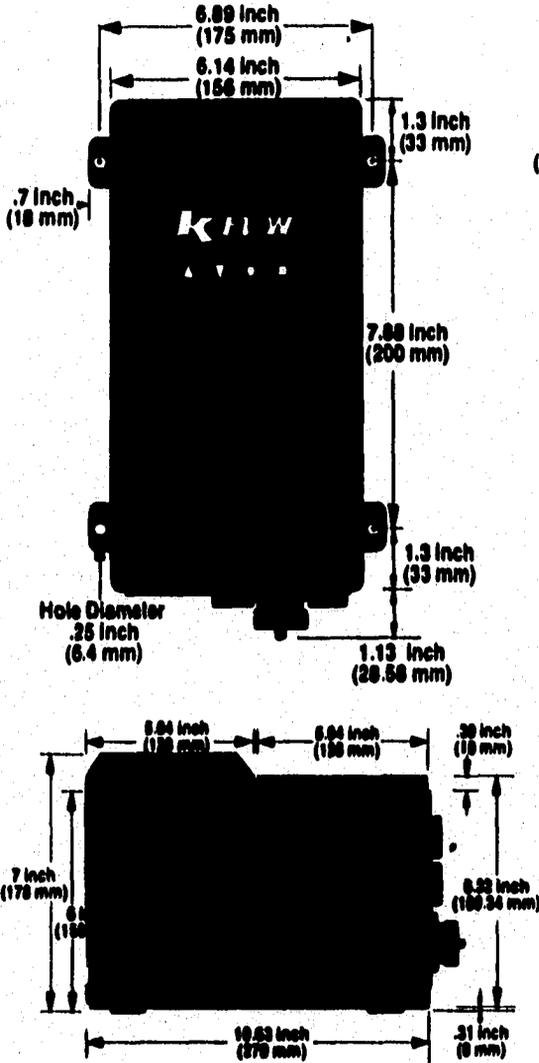
- 2 Fully programmable 4-20 mA outputs
- 1 Fully programmable Frequency or Pulse output
- Fault signaling - upscale or downscale - user programmable
- Serial communications RS 232/422/485
- 2 Relay outputs (300 mA and 48 volts maximum)
- 2 Optically isolated alarm output lines (phototransistor)
- 2 Optically isolated input lines (phototransistor)
- User programmable process alarms

TRANSMITTER SPECIFICATIONS

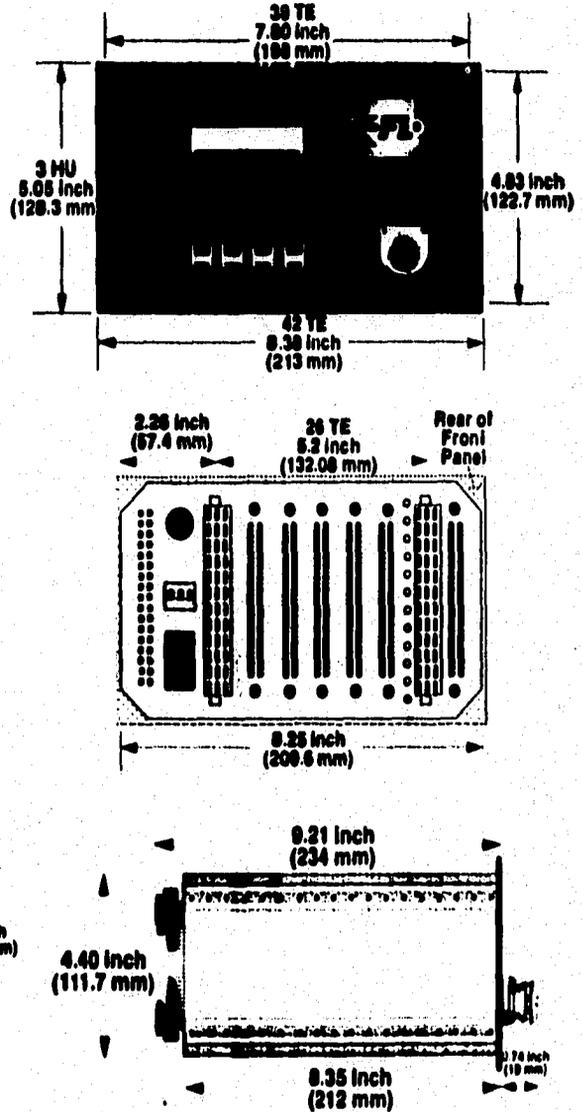
Accuracy	±0.1% (Sensor excluded)
Repeatability	±0.1% (Sensor excluded)
Ambient temp. limits	with display: 20°F to 131°F (-7°C to 55°C) without display: -22°F to 140°F (-30°C to 60°C)
Ambient temp. effects	<0.0003% of full scale flow °C
RFI effect	no effect for IEC 801.3 level 1
Vibration effect	exceeds SAMA PMC 31.1 table 2
Electrostatic discharge effect	no effect for IEC 801.2 C14, 15 kv
Power	18-36 VDC 110/115 VAC ± 10%, 50/60 Hz ± 5% 220/230 VAC ± 10%, 50/60 Hz ± 5% 10 watts Fuse rating = .25 amps slow blow (AC) or 1 amp (DC)
Outputs	Two Analog Outputs: Non-Isolated standard 4 - 20 mA user programmable 0 - 22 mA isolated (optional) 4 - 20 mA user programmable 0 to 22 mA with minimum of 750V isolated. Both versions capable of 750 Ohms maximum resistive load fully programmable to desired data, zero/span and faulty condition. One frequency output 30 - 3000 Hz (period resolution - 1 microsec.) Optional high frequency output (jumper selectable) 300 - 10,000 Hz (period resolution - 0.1 microsecond) or user selectable programmable pulse output 0 - 10 pulses/second (pulse width programmable from 1 microsecond to 30 seconds). Two alarm outputs (phototransistor) and two relay outputs. Serial ports RS232, RS422 or RS485, Baud rate 300 - 9600, length of cable max. 1.2 km (RS485)
Inputs	Inputs for remote zero adjustment and batching control function.
Housing	<u>1210 Wall Mount</u> - Baked epoxy coated aluminum, O-Ring seal, NEMA 4X/ IP65 die cast aluminum or explosion proof (optional) <u>1220 19" Rack Mount</u> - (1/2 of 19" rack) aluminum
Hazardous area classification	<u>Factory Mutual Systems</u> approved for Class I, Division 2, Groups A, B, C, D with intrinsically safe outputs for Class I, Div. 1 <u>C&A</u> approved for Class I, Division 2, Groups A, B, C, D with intrinsically safe outputs for Class I, Div. 1 <u>GENELEC</u> approval EEx ib IIB T3 outputs to sensor.
Shipping weight	Standard = 20 lbs (9.07 kg) Rack mounted = 10 lbs (4.5 kg)

PHYSICAL CHARACTERISTICS

Standard Wall Mount Transmitter



19" Rack Mounted Transmitter



Specifications subject to change without notice.



This product is made in accordance with one or more of the following U.S. patents 4,733,569; 4,716,771; 4,856,346; 4,782,711



ABB K-Flow Inc.
 Post Office Box 849
 Millville Airport
 Millville, New Jersey 08332
 Tel. (609) 825-5553
 or 1-800-82K-FLOW
 Fax (609) 825-1678

ABB Kent-Taylor Limited
 Oldends Lane Stonehouse
 Gloucestershire England GL10 3TA
 Tel. 44-453-826661
 Fax 44-453-827856



Partida: 2
Cantidad: 1 pieza

Transmisor de Temperatura
BAILEY Modelo EQN25
Entrada: RTD-PLATINO-100 OHMS- 0°C-3 Hilos
Calibración: 0 a 300°C
Precisión: 0.1°C
Salida: 4-20 ma (2 Hilos)
Bracket para montaje

PRECIO: \$796.00

ALTERNATIVA A LA PARTIDA 2:

Partida: 2A
Cantidad: 1 pieza
BAILEY Modelo EQN26
Indicador digital en el instrumento
Entrada: RTD-PLATINO-100 OHMS-0°C-3 Hilos
Calibración: 0 a 300°C
Precisión: 0.1°C
Salida: 4-20 ma (2 Hilos)
Bracket para montaje

PRECIO: \$897.00

Partida: 1
Cantidad: 1 pieza

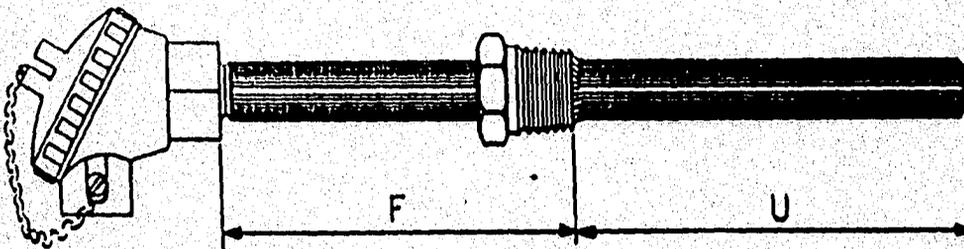
Elemento Sensor de Temperatura
Tipo de resistencia eléctrica (RTD),
De platino-100 OHMS a 0°C-3 Hilos
Tubo protector de acero inoxidable 316
Con diámetro nominal de 3/8" Cédula 40.
Cabeza de conexiones tipo marino, de aluminio
Longitud "U" de 3.60", longitud "F" de 4".

PRECIO: \$183.00

- Precios en U.S. Dólares, LAB, México, D.F.
- A los precios favor de agregarles el I.V.A.
- Los precios están en U.S.D. y podrán ser pagados en Dólares Americanos o en Moneda Nacional, al tipo de cambio vigente en Banamex al día de pago.
- Condiciones de pago: 50% de anticipo con su pedido, saldo a los 7 días de la entrega.

INFR-IV INFORMACION Y
AUTOMATIZACION
INDUSTRIAL, S.A. de C.V.
HACIENDA DE LA HUERTA No. 37
TLALPÁN 14360 MEXICO, D. F.
TEL. 871-20-88

INGENIERIA Y VENTA DE INSTRUMENTOS



TIPO B

Cabeza y Tubo
Protector con
buje de montaje.

TABLA LIMITES DE ERROR PERMISIBLES SEGUN DIN 43760

ELEMENTOS DE PLATINO			ELEMENTOS DE NIQUEL					
TEMP. °C	TOLERANCIA		TEMP. °C	TOLERANCIA		TEMP. °C	TOLERANCIA	
	± °C	± OHMS		± °C	± OHMS		± °C	± OHMS
-250	5.8	1.0	200	1.2	0.45	-60	2.1	1
-220	1.8	0.7	300	1.8	0.65	0	0.2	0.1
-200	1.2	0.5	400	2.4	0.85	+100	1.1	0.8
-100	0.7	0.3	500	3.0	1.0	+150	1.5	1.1
-60	0.5	0.22	600	3.6	1.2			
0	0.3	0.1	700	4.2	1.35			
+100	0.6	0.25	800	4.8	1.45			
+150	0.9	0.3	850	5.1	1.5			



INFORMACION Y
AUTOMATIZACION
INDUSTRIAL, S.A. de C.V.

RESISTENCIA TERMOMETRICA DE LOS
ELEMENTOS DE PLATINO

HACIENDA DE LA HUERTA No. 37
TLALPAN 14350 MEXICO, D.F.
TEL. Y FAX. 671-20-68 TEL. 594-09-64

INGENIERIA Y VENTA DE INSTRUMENTOS

RESISTENCIA NOMINAL: 100 OHMS A 0°C

°C	0	-10	-20	-30	-40	-50	-60	-70	-80	-90	-100
-200	18.44	14.26	10.35	7.06	4.49	2.52	—	—	—	—	—
-100	60.20	56.13	52.04	47.93	43.80	39.65	35.48	31.28	27.03	22.71	18.44
0	100.00	96.07	92.13	88.17	84.21	80.25	76.28	72.29	68.28	64.25	60.20

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	100.00	100.39	100.78	101.17	101.56	101.95	102.34	102.73	103.12	103.51	103.90
10	103.90	104.29	104.68	105.07	105.46	105.85	106.24	106.63	107.02	107.40	107.79
20	107.79	108.18	108.57	108.96	109.35	109.73	110.12	110.51	110.90	111.28	111.67
30	111.67	112.06	112.45	112.83	113.22	113.61	113.99	114.38	114.77	115.15	115.54
40	115.54	115.93	116.31	116.70	117.08	117.47	117.85	118.24	118.62	119.01	119.40
50	119.40	119.78	120.16	120.55	120.93	121.32	121.70	122.09	122.47	122.86	123.24
60	123.24	123.62	124.01	124.39	124.77	125.16	125.54	125.92	126.31	126.69	127.07
70	127.07	127.45	127.84	128.22	128.60	128.98	129.37	129.75	130.13	130.51	130.89
80	130.89	131.27	131.66	132.04	132.42	132.80	133.18	133.56	133.94	134.32	134.70
90	134.70	135.08	135.46	135.84	136.22	136.60	136.98	137.36	137.74	138.12	138.50
100	138.50	138.88	139.26	139.64	140.02	140.40	140.77	141.15	141.53	141.91	142.29
110	142.29	142.66	143.04	143.42	143.80	144.18	144.55	144.93	145.31	145.68	146.06
120	146.06	146.44	146.82	147.19	147.57	147.94	148.32	148.70	149.07	149.45	149.82
130	149.82	150.20	150.58	150.95	151.33	151.70	152.08	152.45	152.83	153.20	153.58
140	153.58	153.95	154.33	154.70	155.07	155.45	155.82	156.20	156.57	156.94	157.32
150	157.32	157.69	158.06	158.44	158.81	159.18	159.56	159.93	160.30	160.67	161.05
160	161.05	161.42	161.79	162.16	162.53	162.91	163.28	163.65	164.02	164.39	164.76
170	164.76	165.13	165.50	165.88	166.25	166.62	166.99	167.36	167.73	168.10	168.47
180	168.47	168.84	169.21	169.58	169.95	170.32	170.69	171.05	171.42	171.79	172.16
190	172.16	172.53	172.90	173.27	173.64	174.00	174.37	174.74	175.11	175.48	175.84
200	175.84	176.21	176.58	176.95	177.31	177.68	178.05	178.41	178.78	179.15	179.51
210	179.51	179.88	180.25	180.61	180.98	181.35	181.71	182.08	182.44	182.81	183.17
220	183.17	183.54	183.90	184.27	184.63	185.00	185.36	185.73	186.09	186.46	186.82
230	186.82	187.19	187.55	187.91	188.28	188.64	189.00	189.37	189.73	190.09	190.46
240	190.46	190.82	191.18	191.55	191.91	192.27	192.63	193.00	193.36	193.72	194.08
250	194.08	194.44	194.80	195.17	195.53	195.89	196.25	196.61	196.97	197.33	197.69
260	197.69	198.05	198.42	198.78	199.14	199.50	199.86	200.22	200.58	200.94	201.30
270	201.30	201.66	202.01	202.37	202.73	203.09	203.45	203.81	204.17	204.53	204.89
280	204.89	205.24	205.60	205.96	206.32	206.68	207.03	207.39	207.75	208.11	208.46
290	208.46	208.82	209.18	209.53	209.89	210.25	210.60	210.96	211.32	211.67	212.03
300	212.03	212.39	212.74	213.10	213.45	213.81	214.16	214.52	214.87	215.23	215.59
310	215.59	215.94	216.29	216.65	217.00	217.36	217.71	218.07	218.42	218.77	219.13
320	219.13	219.48	219.84	220.19	220.54	220.90	221.25	221.60	221.95	222.31	222.66
330	222.66	223.01	223.37	223.72	224.07	224.42	224.77	225.13	225.48	225.83	226.18
340	226.18	226.53	226.88	227.23	227.59	227.94	228.29	228.64	228.99	229.34	229.69
350	229.69	230.04	230.39	230.74	231.09	231.44	231.79	232.14	232.49	232.84	233.19
360	233.19	233.54	233.88	234.23	234.58	234.93	235.28	235.63	235.98	236.32	236.67
370	236.67	237.02	237.37	237.72	238.06	238.41	238.76	239.11	239.45	239.80	240.15
380	240.15	240.49	240.84	241.19	241.53	241.88	242.23	242.57	242.92	243.26	243.61
390	243.61	243.95	244.30	244.65	244.99	245.34	245.68	246.03	246.37	246.72	247.06
400	247.06	247.40	247.75	248.09	248.44	248.78	249.12	249.47	249.81	250.16	250.50
410	250.50	250.84	251.19	251.53	251.87	252.21	252.56	252.90	253.24	253.58	253.93
420	253.93	254.27	254.61	254.95	255.29	255.64	255.98	256.32	256.66	257.00	257.34
430	257.34	257.68	258.02	258.37	258.71	259.05	259.39	259.73	260.07	260.41	260.75
440	260.75	261.09	261.43	261.77	262.11	262.45	262.78	263.12	263.46	263.80	264.14

Smart Temperature Transmitter

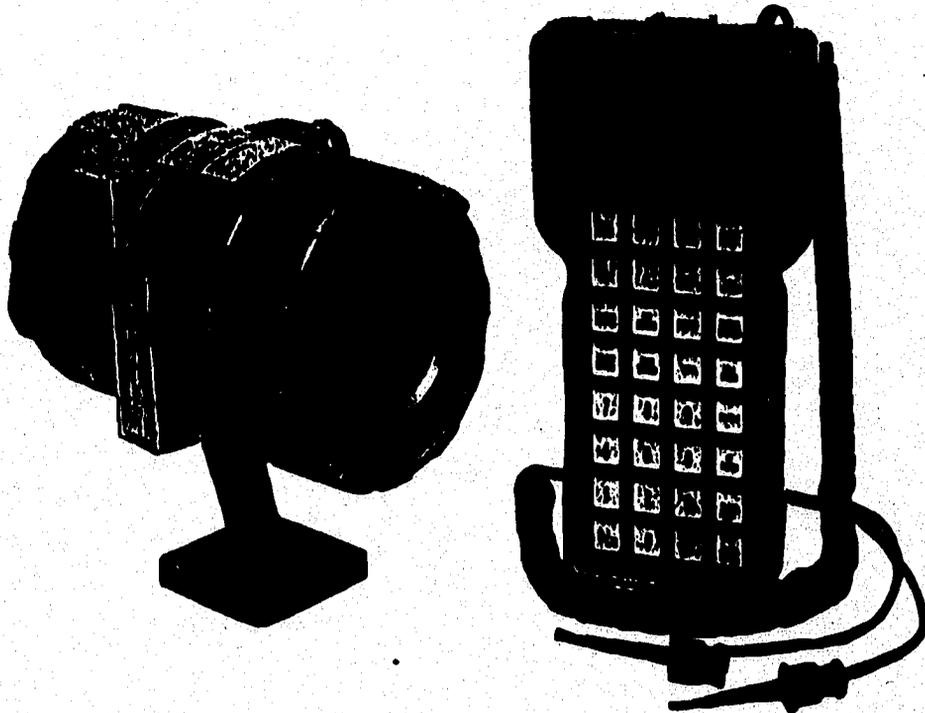
Type EQN

INFRA-IN

INFORMACION Y
AUTOMATIZACION
INDUSTRIAL, S.A. de C.V.

HACIENDA DE LA HUERTA No. 37
TLALPAM 14350 MEXICO, D. F.
TEL. 071-20-88

INGENIERIA Y VENTA DE INSTRUMENTOS



A0575

FIGURE 1 - Type EQN Smart Temperature Transmitter and Type STT02 Smart Transmitter Terminal

Features

- **Accepts RTD, T/C or mV Inputs.** The EQN transmitter can be configured to measure temperature from RTD inputs (two-wire, three-wire or dual two-wire) up to 325 ohms. The input can be calibrated and displayed in degrees Celsius, Fahrenheit, Kelvin or ohms. RTD linearization can be programmed to either the 100 ohm platinum DIN 385 calibration or the SAMA 392 calibration.

The EQN can also be configured to accept thermocouple inputs (IPTS, 1968 types B,C,E,J,K, N,R,S,T). The output of the transmitter can be selected

to be linear with temperature (linearize the thermocouple input) or linear with input (representing the non-linear thermocouple). The EQN transmitter can also accept and display millivolt inputs.

- **Accurate Temperature Measurement.** In the RTD mode, the EQN transmitter accuracy conformance to standard conversion values is $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ($\pm 0.18^{\circ}\text{F}$) or ± 0.04 ohms. In the ohms mode, the RTD input is not linearized and the output of the transmitter reflects the resistance of the RTD. In the thermocouple mode, accuracy conformance to standard conversion values is

Bailey

Seamless, Real-Time
Process Management
Solutions

Cotización NO. IN-168.96

ANEXO: D

$\pm 1.0^{\circ}\text{C}$ ($\pm 1.8^{\circ}\text{F}$). Insensitivity to normal mode and common mode interference ensure accurate performance.

- **Enhanced Remote Communication.** Communication with the EQN transmitter is possible using the Type STT02 Smart Transmitter Terminal. The communication technique uses a high frequency alternating current (ac). This technique has been designed to function in the high noise environments found in many factories. The STT02 terminal can be used anywhere the signal lines can be accessed and can be located up to 1 mile (1.6 Km) from the target device, providing maximum remote user flexibility.
- **Simultaneous Digital Communication and Process Variable.** Communication information is modulated and does not effect the 4 to 20 mA process variable signal.
- **Digital Field Bus Software Selectable.** The EQN can be used as a digital transmission transmitter when configured as a node addressable device. In this mode, the loop error is reduced since analog signal processing is not required. Specific INFI 90[®] input modules and termination units are required.
- **Convenient Thermowell Positioning.** Unique thermowell positioning allows for easy temperature element replacement without removing the thermowell from the electronics housing. Factory mounted thermowells can be requested.
- **Control Room Configuration and Monitoring.** Smartport II, Bailey's maintenance software provides

EQN with real time diagnostic monitoring and transmitter configuration.

- **Secure Operation.** A hardware lockout feature prevents unauthorized altering of unit parameters while allowing transmitter monitoring and troubleshooting. The EQN detects and indicates loss of input by setting the output to a predetermined fail-safe mode.
- **Non-Linear Output Feature.** A selectable six linear segment function generator can be set by the user to make the output a non-linear function of the measured temperature.
- **Reliability.** The dual cover design separates field wiring terminals from electronics. The EQN transmitter is insensitive to vibration. A reverse protection diode network minimizes the effects of wiring mishaps.
- **Suitable for Corrosive Environments and Hazardous Locations.** Process wetted parts are available in a variety of materials to suit different applications. The electronics enclosure is made of corrosion resistant, low copper (<1%) aluminum alloy, externally protected with a chemical resistant polyurethane coating. The EQN transmitter has been designed to comply with industry standards for explosionproof and intrinsically safe installations.
- **Reduced Service and Installation Costs.** Service and installation are simplified by remote communication capability, modular plug-in electronics, and long-term stability. The modular three-board electronics design along with enhanced diagnostic capabilities make problem detection and correction simple.

Overview

The Bailey Type EQN Smart Transmitter is a high performance temperature transmitter which accepts single/dual RTD inputs, thermocouple inputs (Type B,C,E,J,K,N,R,S,T), or millivolt inputs (-20 to +100 mV). The EQN transmitter outputs a 4 to 20 milliamp (mA) signal or can be put in a Digital Field Bus Mode for direct communications to the Bailey INFI 90 Strategic Process Management System. The digital electronics package uses the latest microcomputer technology, allowing the user to calibrate and troubleshoot the transmitter from either a local or remote location. The transmitter continuously runs through a series of self diagnostics, monitoring areas such as configuration integrity, reference voltages, transmitter temperature and input circuitry. An on

board temperature sensor provides reference junction compensation for thermocouple measurements. The transmitter's temperature can also be monitored with the STT02 terminal.

Communication with the EQN transmitter can be accomplished with the STT02 handheld terminal. Output monitoring and configuration, reranging, diagnostic checks, and calibration checks can all be performed remotely.

An optional Liquid Crystal Display (LCD) is available when local transmitter output indication is desired.

[®] INFI 90 - Is a registered trademark of the Bailey Controls Company.

Operation

The EQN transmitter provides an output signal in response to temperatures detected by either a thermocouple or single/dual resistance temperature detector (RTD). The EQN transmitter can also be used as a millivolt to milliamp converter. The EQN transmitter can be programmed to receive standard thermocouple inputs following IPTS 1968 calibrations, mV inputs, or RTD inputs following DIN and SAMA calibrations and user-defined RTD curves. A traditional 4 to 20 milliamp signal or a digitally transmitted signal proportional to the measured temperature is available and software selectable.

Refer to Figure 2 for a block diagram of the EQN transmitter electronics. Hardware jumpers are used to select either mV, RTD, or thermocouple inputs. All inputs are fed into a voltage-to-pulse converter. Reference junction compensation is provided by using a temperature transducer. The output of the temperature transducer is fed into the voltage-to-pulse converter for reference junction compensation.

The voltage-to-pulse converter outputs a variable duty cycle pulse which the microcomputer can understand. The

microcomputer uses all inputs from the voltage-to-pulse converter and calculates an output based on the variable duty cycle pulse inputs. Transformers provide input/output isolation.

The output of the microcomputer is fed into an active multiple pole low pass filter. The filter outputs a DC voltage level proportional to the duty cycle of the pulse input. This DC level controls the output transistor which controls the 4 to 20 mA signal.

The outputs for the mV, single RTD or dual RTD mode are based on zero and span points set during calibration. The dual RTD mode output is the difference between the two RTD inputs.

The microcomputer communicates directly to the optional LCD display for display data. There is no display error (digital-to-analog conversion) which is typically associated with analog displays.

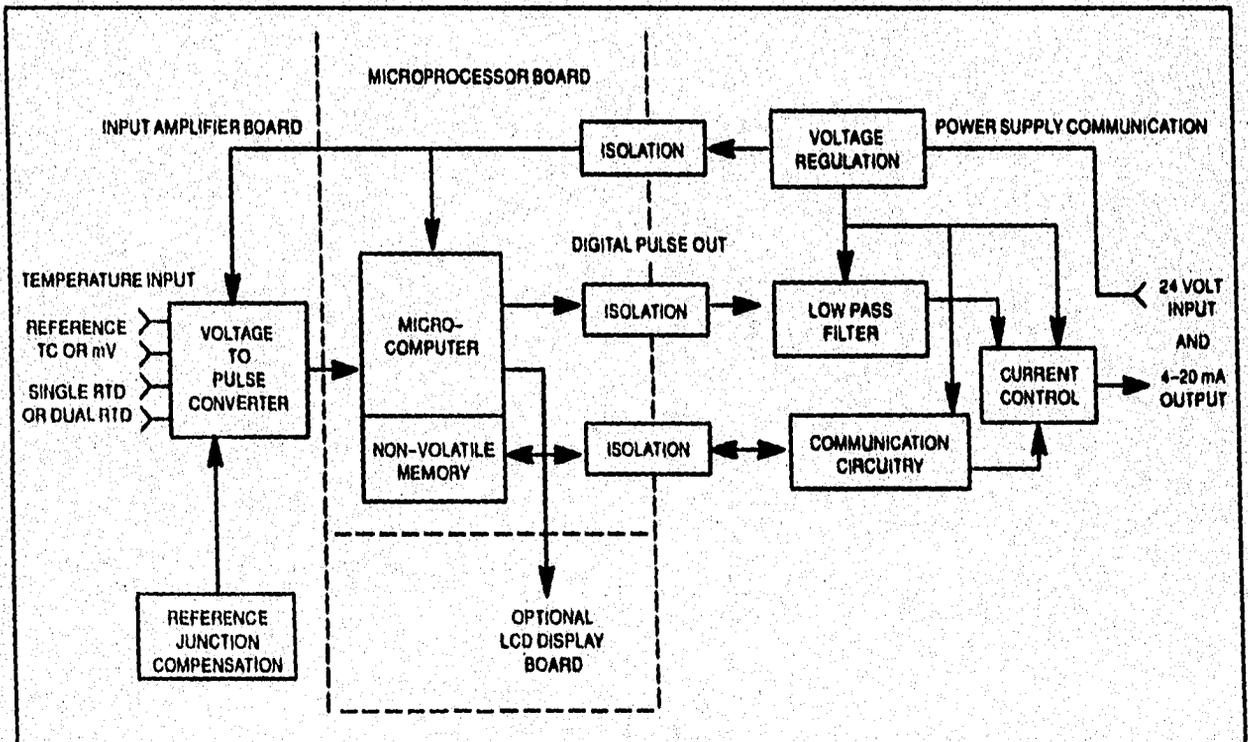


FIGURE 2 - Block Diagram of the Smart EQN Transmitter Electronics

Communication

Communication between the EQN transmitter and a remote terminal is accomplished by attaching the STT02 anywhere along the signal wires. No adapters, jacks or plugs are necessary. An AC voltage imposed on the signal wires allows communication between the EQN transmitter and the STT02 terminal. Since the communication signal is a high frequency AC, its DC average is zero and has no effect on the output of the transmitter. Two different frequency levels are used to transmit a logic 0 or a logic 1. This enables the EQN transmitter to be located up to 1 mile (1.6 Km) from the STT02 terminal and provides excellent noise immunity for remote communications (Figure 3). A minimum of 250 ohms loop resistance is necessary to support communication capabilities (Figure 7).

The user programs the transmitter, via the STT02, to be in the digital field bus mode by selecting a node address for the transmitter (Figure 4). The microcomputer sets the output of the transmitter to approximately 4 mA for low power consumption. The transmitter will then provide a digital process variable signal. The transmitter can report

its output (in percent) up to ten times a second for control purposes. In the field bus mode, up to fifteen transmitters can be put on a single pair of wires from the control system. A fully populated field bus slows the response for each transmitter to three output updates per second per each transmitter.

Temperature Compensation

The output of a temperature sensor is monitored and used to provide reference junction compensation on thermocouple inputs. This transmitter temperature can be monitored using the STT02.

Diagnostics

Continuous self-diagnostic results are available through the STT02 terminal. Areas monitored are configuration integrity, reference voltage, transmitter temperature and input circuitry failure. The modular amplifier design allows the diagnostics to identify the malfunctioning electronic section. The diagnostics also indicate if the user is making a calibration error.

Transmitter Software Functions

Output commands permit the user to define the output as linear with respect to the input, or as a function generator that follows a six segment curve. The output can be set to normal or reverse acting and/or fixed to a specific value for

troubleshooting purposes. Other commands allow the output to be set to a user-selected default upon transmitter detected failure and powerup. A damping adjustment command is also available.

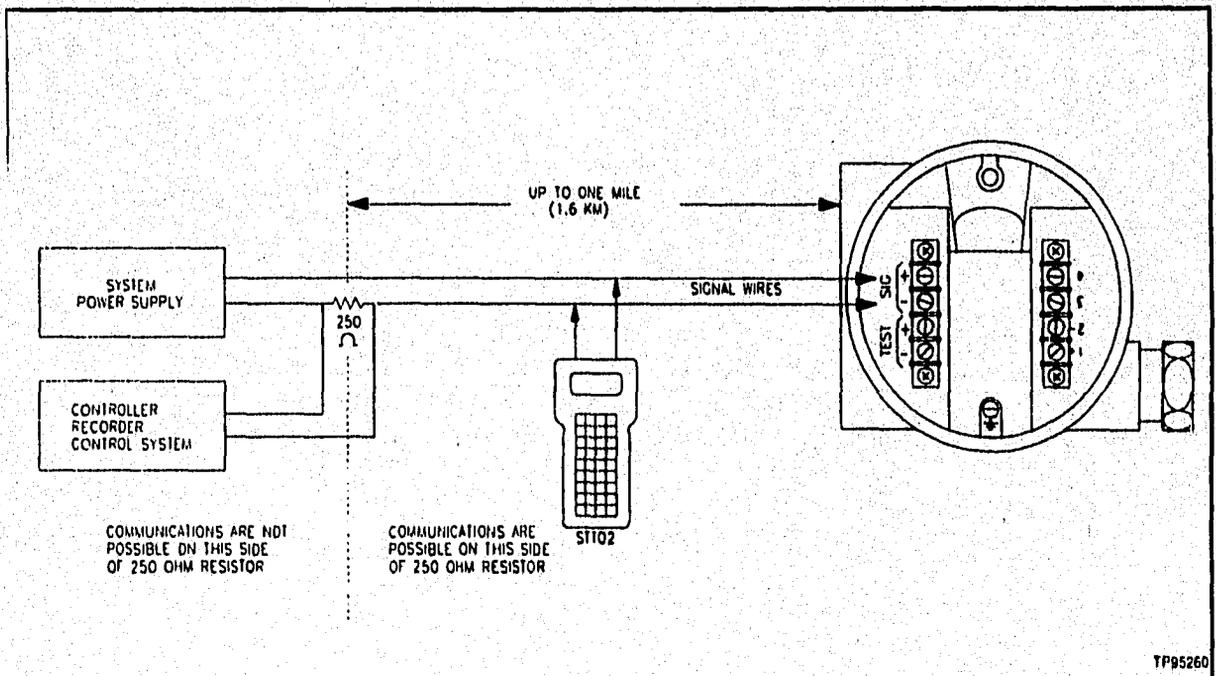


FIGURE 3 - Point-to-Point Wiring

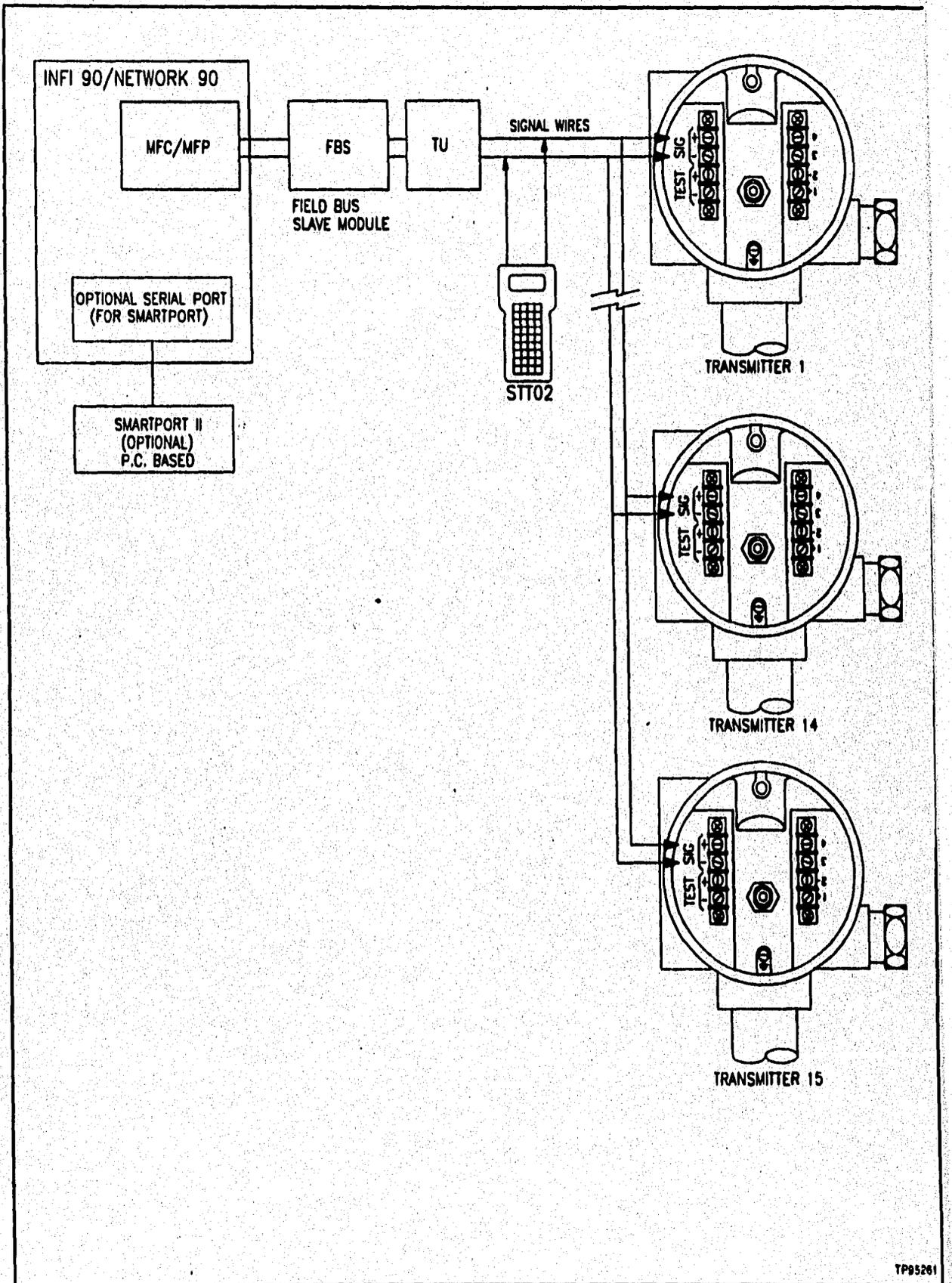


FIGURE 4 - Field Bus Arrangement

TABLE I

INPUT TYPES AND RANGES				
SENSOR TYPE	INPUT RANGES	MIN./MAX. SPAN	CURVE CONFORMANCE ACCURACY	
			TWO-POINT CALIBRATION	
RTD 2 OR 3 WIRE			2,3 WIRE	DUAL
			*Platinum 100 DIN 385 Alpha = 0.00385	-200 to +650°C (-328 to +1202°F)
Platinum 100 SAMA Alpha = 0.00392	-200 to +650°C (-328 to +1202°F)	10/850°C (50/1562°F)	±0.1°C (±0.18°F)	±0.2°C (±0.36°F)
RTD OHMS				
Ohms Input	0 to 325 Ohms	4/325 Ohms	±0.04 ohms	±0.08 ohms
THERMOCOUPLE				
IPTS 1968 Type B	+200 to +1320°C (+392 to +2408°F)	200/1120°C (392/2048°F)	±1°C (±1.8°F)	
IPTS 1968 Type C	0 to +2300°C (+32 to +4172°F)	35/2300°C (95/4172°F)	±1°C (±1.8°F)	
IPTS 1968 Type E	-100 to +1000°C (-148 to +1832°F)	20/1100°C (68/2012°F)	±1°C (±1.8°F)	
IPTS 1968 Type J	-180 to +760°C (-292 to +1400°F)	20/940°C (68/1724°F)	±1°C (±1.8°F)	
IPTS 1968 Type K	-130 to +1370°C (-202 to +2498°F)	15/1500°C (59/1732°F)	±1°C (±1.8°F)	
IPTS 1968 Type N	0 to +1300°C (+32 to +2372°F)	20/1300°C (68/2372°F)	±1°C (±1.8°F)	
IPTS 1968 Type R	0 to +1700°C (+32 to +3092°F)	50/1700°C (122/3092°F)	±1°C (±1.8°F)	
IPTS 1968 Type S	0 to +1700°C (+32 to +3092°F)	50/1700°C (122/3092°F)	±1°C (±1.8°F)	
IPTS 1968 Type T	-200 to +400°C (-328 to +752°F)	15/600°C (59/1112°F)	±1°C (±1.8°F)	
MILLIVOLT				
mV Input	-20 to +100 mV	+2 mV/+120 mV	±0.02 mV.	

*JETPORT stock unit is set to 0 to +100°C, Platinum 100 ohms, 385 curve.



LM35/LM35A/LM35C/LM35CA/LM35D Precision Centigrade Temperature Sensors

General Description

The LM35 series are precision integrated-circuit temperature sensors, whose output voltage is linearly proportional to the Celsius (Centigrade) temperature. The LM35 thus has an advantage over linear temperature sensors calibrated in ° Kelvin, as the user is not required to subtract a large constant voltage from its output to obtain convenient Centigrade scaling. The LM35 does not require any external calibration or trimming to provide typical accuracies of $\pm 1/2^\circ\text{C}$ at room temperature and $\pm 3/4^\circ\text{C}$ over a full -55 to $+150^\circ\text{C}$ temperature range. Low cost is assured by trimming and calibration at the wafer level. The LM35's low output impedance, linear output, and precise inherent calibration make interfacing to readout or control circuitry especially easy. It can be used with single power supplies, or with plus and minus supplies. As it draws only $60\ \mu\text{A}$ from its supply, it has very low self-heating, less than 0.1°C in still air. The LM35 is rated to operate over a -55° to $+150^\circ\text{C}$ temperature range, while the LM35C is rated for a -40° to $+110^\circ\text{C}$ range (-10° with improved accuracy). The LM35 series is

available packaged in hermetic TO-46 transistor packages, while the LM35C is also available in the plastic TO-92 transistor package.

Features

- Calibrated directly in ° Celsius (Centigrade)
- Linear $+10.0\ \text{mV}/^\circ\text{C}$ scale factor
- 0.5°C accuracy guaranteeable (at $+25^\circ\text{C}$)
- Rated for full -55° to $+150^\circ\text{C}$ range
- Suitable for remote applications
- Low cost due to wafer-level trimming
- Operates from 4 to 30 volts
- Less than $60\ \mu\text{A}$ current drain
- Low self-heating, 0.08°C in still air
- Nonlinearity only $\pm 1/2^\circ\text{C}$ typical
- Low impedance output, $0.1\ \Omega$ for $1\ \text{mA}$ load

Connection Diagrams

TO-46
Metal Can Package*



BOTTOM VIEW

TL/H/5516-1

*Case is connected to negative pin

Order Number LM35H, LM35AH,
LM35CH, LM35CAH or LM35DH
See NS Package Number H03H

TO-92
Plastic Package

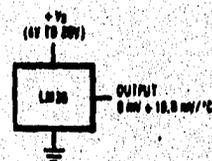


BOTTOM VIEW

TL/H/5516-2

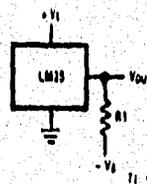
Order Number LM35CZ or LM35DZ
See NS Package Number Z03A

Typical Applications



TL/H/5516-3

FIGURE 1. Basic Centigrade Temperature Sensor ($+2^\circ\text{C}$ to $+150^\circ\text{C}$)



TL/H/5516-4

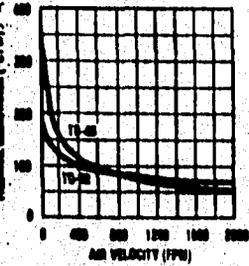
Choose $R_1 = -V_1/50\ \mu\text{A}$

$V_{OUT} = +1,500\ \text{mV}$ at $+150^\circ\text{C}$
 $+250\ \text{mV}$ at $+25^\circ\text{C}$
 $-550\ \text{mV}$ at -55°C

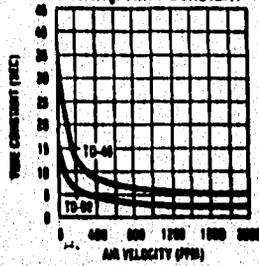
FIGURE 2. Full-Range Centigrade Temperature Sensor

Typical Performance Characteristics

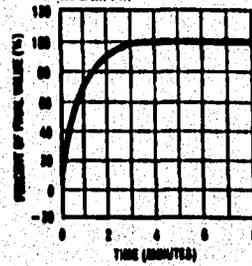
Thermal Resistance Junction to Air



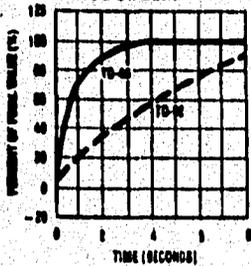
Thermal Time Constant



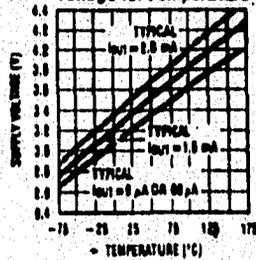
Thermal Response in Still Air



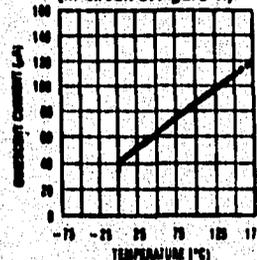
Thermal Response in Stirred Oil Bath



Minimum Supply Voltage vs. Temperature

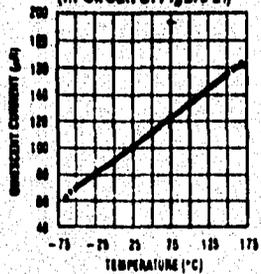


Quiescent Current vs. Temperature (in Circuit of Figure 1.)

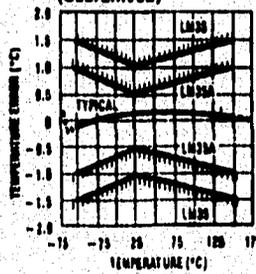


TL/H/5510-17

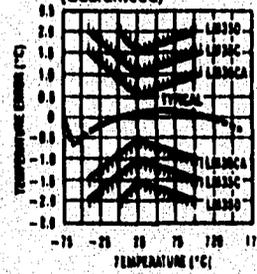
Quiescent Current vs. Temperature (in Circuit of Figure 2.)



Accuracy vs. Temperature (Guaranteed)



Accuracy vs. Temperature (Guaranteed)



TL/H/5510-18