

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **COMPARACIÓN DE METODOLOGÍAS PARA LA DETERMINACIÓN DE ALDEHÍDOS EN EL AIRE AMBIENTAL. MONTAJE DE UNA ESTACIÓN EXPERIMENTAL**

Presentado ante la Ilustre Universidad  
Central de Venezuela para optar al  
Título de Ingeniero Químico.  
Por las TSUs: Fernández P. Solysbeht  
Rivas T. Nahir J.

Caracas, Octubre 2001

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **COMPARACIÓN DE METODOLOGÍAS PARA LA DETERMINACIÓN DE ALDEHÍDOS EN EL AIRE AMBIENTAL. MONTAJE DE UNA ESTACIÓN EXPERIMENTAL**

TUTOR: Prof. Eric Omaña

Presentado ante la Ilustre Universidad  
Central de Venezuela para optar al  
Título de Ingeniero Químico.  
Por las TSUs: Fernández P. Solysbeht  
Rivas T. Nahir J.

Caracas, Octubre 2001

© Fernández Pérez Solysbeht 2001  
© Rivas Toro Nahir Josefina 2001  
Hecho el Depósito de Ley.  
Depósito legal Ift4872001620153

Caracas, Octubre de 2001

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Química, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por las Técnicas Superiores Universitarias Solysbeht Fernández P. y Nahir J. Rivas T., titulado:

**"COMPARACIÓN DE METODOLOGÍAS PARA LA DETERMINACIÓN DE ALDEHÍDOS EN EL AIRE AMBIENTAL. MONTAJE DE UNA ESTACIÓN EXPERIMENTAL."**

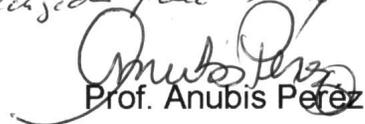
Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Químico, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por las autoras, lo declaran APROBADO.

*Si es nota: 20!*

*Si recomiendo que la autora lo publique y publique por lo que apunta a el artículo publicado por la calidad publica*

  
Prof. Milagros Lara

Jurado

  
Prof. Anubis Pérez

Jurado

  
Prof. Eric Omaña

Tutor

## DEDICATORIA

A mi Madre y mi Hermana, por su amor y solidaridad y por compartir mis logros, como si fueran fabricados con la sustancia de sus propios sueños.

A mi abuela por ser el ejemplo de Perseverancia y Fortaleza mas digno que conozco.

A toda mi familia por su apoyo incondicional.

Nahir

A mi madre, por su gran amor y esfuerzo para no dejarme vencer en los momentos más difíciles a lo largo de mi carrera.

A mi Padre, Hermano y Abuela por su gran apoyo y ayuda.

A Gloria, la Tía y Madre que con su gran motivación y ejemplo a seguir me impulsaron para llegar al final de la meta.

A mis amigos y en particular a Antonio, por su gran paciencia, comprensión y ayuda desinteresada.

Solysbeht

## **AGRADECIMIENTO**

Deseamos expresar un sincero agradecimiento a nuestro Tutor, Profesor, Jefe y Amigo Eric Omaña, el cual ha sido un guía y apoyo incondicional a nivel personal y en nuestra carrera.

De manera muy sincera, queremos agradecer al Ingeniero Felix Flores por toda la ayuda y cooperación brindada en el desarrollo de este trabajo.

A todo el Personal de la División de Ambiente, Salud y Trabajo, Sra. Guadalupe Salas, Sra. Rosario Pino, Sr. Agustín Monasterios y al Sr. Carlos Rangel, gracias por la colaboración prestada en el desarrollo de este trabajo.

También damos las gracias a la Profesora Milagros Lara y al Profesor Luis Cortes por su valiosa colaboración.

Queremos agradecer al personal del Departamento de Procesos Químicos del Instituto Universitario de Tecnología “Dr. Federico Rivero Palacio”, particularmente al Profesor Jesús Herrera por su apoyo incondicional y al Profesor Juan González por su valiosa ayuda.

Gracias a la Estación Meteorológica de la Universidad Central de Venezuela por el suministro de los datos meteorológicos.

Finalmente queremos agradecer a nuestros Familiares y Amigos por el apoyo brindado a lo largo de nuestra carrera y a todas aquellas personas que de una u otra manera colaboraron en el desarrollo de este trabajo.

**Fernández P., Solysbeht.**

**Rivas T., Nahir J.**

**"COMPARACIÓN DE METODOLOGÍAS PARA LA DETERMINACIÓN DE  
ALDEHÍDOS EN EL AIRE AMBIENTAL.  
MONTAJE DE UNA ESTACIÓN EXPERIMENTAL."**

**Tutor Académico: Prof. Eric Omaña. Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de  
Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química. Año 2001, 113 p.**

**Palabras Claves:** Muestreo, Método, Formaldehído, Cartuchos  
Adsorbentes, Burbujeadores, Concentración, Aire Ambiental.

**Resumen.** El propósito del presente trabajo es establecer comparaciones entre tres metodologías para la determinación de aldehídos en el aire ambiental, que puedan servir como base para la cuantificación y recolección de valores de concentraciones de aldehídos, los cuales han sido motivo de estudio en los últimos años, en diferentes países del mundo, debido a su contribución como contaminantes del aire y su efecto perjudicial sobre todos los seres vivos. Se aplicaron tres metodologías para determinar aldehídos como formaldehído, dos de las cuales se basan en la absorción del formaldehído en una solución líquida contenida en burbujeadores; la otra metodología consiste en la adsorción del formaldehído en cartuchos adsorbentes de sílica gel. Para el desarrollo del trabajo fue necesario el montaje de una estación experimental de muestreo ambiental, ubicada en el Laboratorio de Aire del Edificio de Ingeniería Sanitaria de la Facultad de Ingeniería de la U.C.V. Con este estudio se lograron obtener concentraciones de formaldehído en el aire ambiental, entre 0,1 y 2,5 ppb.

## **SUMARIO**

Los aldehídos han sido motivo de estudio en los últimos años, como contaminantes atmosféricos, debido a los efectos perjudiciales de los mismos en la salud de los seres vivos. La motivación principal de este trabajo es promover el estudio y recolección de concentraciones reales de aldehídos en el aire ambiental de manera que sirvan como referencia en futuros planes de monitoreo atmosférico y que de alguna manera, los resultados de este trabajo sirvan para informar a la población la calidad de aire que respiramos. En este sentido el objetivo de este trabajo, es realizar la comparación de tres metodologías para la determinación de aldehídos en el aire ambiental y el montaje de una estación experimental. En dos de las metodologías aplicadas se utilizan burbujeadores conteniendo una solución absorbente como sistema de recolección y en la otra metodología se emplean cartuchos adsorbentes de sílica gel.

A continuación se explican brevemente los pasos seguidos para cumplir con el objetivo planteado. Como primer paso se ubicó la estación experimental de muestreo en el Laboratorio de Aire del Edificio de Ingeniería Sanitaria y se procedió a la instalación del tren de muestreo, para lo cual se hizo necesario el montaje de líneas de tuberías de vidrio y conexiones de material no reactivo. Una vez ensamblados todos los elementos del tren de muestreo, se procedió a calibrar los equipos de análisis preparando soluciones estándar para elaborar las curvas patrones, las cuales permitirían estimar las concentraciones de formaldehído en las muestras. Se realizó un pre-muestreo para encontrar las condiciones óptimas de operación en cada una de las metodologías y se inició el muestreo con el método de burbujeadores con ácido cromotrópico, el cual consiste en la absorción del formaldehído presente en el aire ambiental en agua destilada contenida en un burbujeador, el muestreo se lleva a cabo durante 24 horas (siguiendo la

normativa internacional) a una razón de 1 l/min, culminado el período de muestreo se procede al análisis de la muestra con un procedimiento químico de desarrollo del color con ácido cromotrópico, midiendo la absorbancia (proporcional a la concentración) en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 580 nm; con este método se obtuvieron 16 muestras. El segundo método utilizado fue el de cartuchos adsorbentes que consiste en la adsorción física del formaldehído del aire en la superficie de la sílica gel contenida en el cartucho, en este método una vez cumplido el periodo de muestreo, el cartucho era desmontado y refrigerado para el análisis por cromatografía de gases, el total de muestras obtenidas con este método fue de 25 muestras. El método de MBTH (3 metil-benzoatiazolinona hidrazona hidroclicorada) fue el último en ser aplicado y al igual que el método de burbujeadores con ácido cromotrópico la absorción del formaldehído se lleva a cabo en una solución líquida absorbente, con la diferencia de que en este caso se trata de MBTH y la longitud de onda requerida para el análisis por espectrofotometría es de 628 nm, se obtuvieron 11 muestras por este método. Adicionalmente, se realizaron muestreos utilizando periodos de tiempo más cortos, en diferentes horas del día con el método de MBTH.

Como resultados de este trabajo se obtuvieron para los métodos de burbujeadores, concentraciones de formaldehído en el aire ambiental entre 0,1 y 2,5 ppb. Con el método de cartuchos adsorbentes no se lograron cuantificar concentraciones de formaldehído, ya que el límite inferior del método es 29 ppb. Con los muestreos de periodos de tiempo más cortos se obtuvo que las mayores concentraciones de formaldehído se encontraron en las horas de mayor tránsito vehicular.

## INDICE

<b>LISTA DE TABLAS .....</b>	<b>XII</b>
<b>LISTA DE GRÁFICOS .....</b>	<b>XII</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS .....</b>	<b>XIII</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>2</b>
<b>3. ANTECEDENTES .....</b>	<b>4</b>
<b>4. OBJETIVOS.....</b>	<b>7</b>
4.1. OBJETIVO GENERAL.....	7
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	7
<b>5. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>8</b>
5.1. CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA .....	8
5.1.1 <i>Contaminación y Contaminantes:</i> .....	8
5.1.2 <i>Factores Meteorológicos:</i> .....	11
5.1.3 <i>Ciclo Fotoquímico:</i> .....	14
5.2. MONITOREO ATMOSFÉRICO .....	17
5.2.1 <i>Tren de muestreo:</i> .....	17
5.2.2 <i>Técnicas de muestreo:</i> .....	21
5.2.3 <i>Sistemas de recolección de muestreo:</i> .....	23
5.2.4 <i>Selección del sitio de muestreo:</i> .....	25
5.2.5 <i>Técnicas de análisis:</i> .....	27
5.3. ALDEHÍDOS .....	29
5.3.1 <i>Generalidades:</i> .....	29
5.3.2 <i>Efectos de los Aldehídos:</i> .....	35
5.3.3 <i>Fuentes de Emisión de los Aldehídos:</i> .....	37
<b>6. EQUIPOS DE MUESTREO Y ANÁLISIS.....</b>	<b>39</b>
6.1. EQUIPOS DE MUESTREO .....	39
6.2. EQUIPOS DE ANÁLISIS .....	41
<b>7. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL .....</b>	<b>44</b>
<b>8. PLAN DE EXPERIENCIAS.....</b>	<b>54</b>
<b>9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>56</b>
<b>10. CONCLUSIONES .....</b>	<b>69</b>
<b>11. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>71</b>

---

---

**12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 72****ANEXOS ..... 75**

ANEXO A: BURBUJEADOR O ABSORBEDOR.....	¡ERROR!MARCADOR NO DEFINIDO.
ANEXO B: PLANO DE UBICACIÓN DE LA ESTACIÓN DE CAPTACIÓN Y ALREDEDORES. .....	¡ERROR!MARCADOR NO DEFINIDO.
ANEXO C: TOMA DE MUESTRA Y FACHADA SUR DEL EDIFICIO DE INGENIERÍA SANITARIA. .....	¡ERROR!MARCADOR NO DEFINIDO.
ANEXO D: CURVA PATRÓN PARA EL MÉTODO DE ÁCIDO CROMOTRÓPICO.¡	ERROR!MARCADOR NO DEFINIDO.
ANEXO E: CURVA DE CALIBRACIÓN DEL CROMATÓGRAFO DE GASES.¡	ERROR!MARCADOR NO DEFINIDO.
ANEXO F: CURVA PATRÓN PARA EL MÉTODO DE MBTH. ....	¡ERROR!MARCADOR NO DEFINIDO.
ANEXO G: CÁLCULOS TIPO.....	¡ERROR!MARCADOR NO DEFINIDO.
G.1 Ácido Cromotrópico:.....	¡Error!Marcador no definido.
G.2 Cartuchos Adsorbentes.....	¡Error!Marcador no definido.
G.3 MBTH:.....	¡Error!Marcador no definido.
ANEXO H: MÉTODO DEL ESTÁNDAR INTERNO. ....	¡ERROR!MARCADOR NO DEFINIDO.
ANEXO I: HOJA DE REPORTE DIARIO.....	¡ERROR!MARCADOR NO DEFINIDO.
ANEXO J: TABLAS DE DATOS Y RESULTADOS INTERMEDIOS..	¡ERROR!MARCADOR NO DEFINIDO.
ANEXO K: CROMATOGRAMA DE LA MUESTRA N° 12.....	¡ERROR!MARCADOR NO DEFINIDO.
ANEXO L: CURVAS DE CALIBRACIÓN DE LOS MANÓMETROS...	¡ERROR!MARCADOR NO DEFINIDO.
ANEXO M: ANUNCIO DE PRENSA.....	¡ERROR!MARCADOR NO DEFINIDO.
ANEXO N: HOJAS DE SEGURIDAD DEL FORMALDEHÍDO. ....	¡ERROR!MARCADOR NO DEFINIDO.

## **LISTA DE TABLAS**

<b>TABLA Nº 1: COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL AIRE SECO .....</b>	<b>9</b>
<b>TABLA Nº 2: PROPIEDADES FÍSICAS DE ALGUNOS ALDEHÍDOS .....</b>	<b>31</b>
<b>TABLA Nº 3: CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL CROMATÓGRAFO.</b>	<b>43</b>
<b>TABLA Nº 4: PLAN DE EXPERIENCIAS.....</b>	<b>55</b>
<b>TABLA Nº 5: CONCENTRACIÓN DE FORMALDEHÍDO EN EL AIRE. MÉTODO DE BURBUJADORES CON ÁCIDO CROMOTRÓPICO.....</b>	<b>57</b>
<b>TABLA Nº 6: CONCENTRACIÓN DE FORMALDEHÍDO EN EL AIRE. MÉTODO DE BURBUJADORES CON MTBH.....</b>	<b>62</b>
<b>TABLA Nº 7: MUESTRAS CON PERÍODOS DE MUESTREOS CORTOS.</b>	<b>64</b>
<b>TABLA Nº 8: COSTOS DE INVERSIÓN. ....</b>	<b>66</b>
<b>TABLA Nº 9: COMPARACIÓN DE METODOLOGÍAS. ....</b>	<b>67</b>

## **LISTA DE GRÁFICOS**

<b>GRÁFICO Nº 1: PRECIPITACIÓN VS CONCENTRACIÓN.....</b>	<b>58</b>
<b>GRÁFICO Nº 2: TEMPERATURA VS CONCENTRACIÓN.....</b>	<b>59</b>
<b>GRÁFICO Nº 3: PRESIÓN VS CONCENTRACIÓN.....</b>	<b>60</b>
<b>GRÁFICO Nº 4: PRECIPITACIÓN VS CONCENTRACIÓN (MBTH).....</b>	<b>63</b>

## **LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS**

<b>ACGIH:</b>	Conferencia Americana Gubernamental de Higienistas Industriales
<b>ESMAP:</b>	Programa PNUD/Banco mundial de Asistencia para la Gestión del Sector de la Energía
<b>HC's:</b>	Hidrocarburos
<b>IUPAC</b>	Unión Internacional de Química Pura y Aplicada
<b>MARN:</b>	Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales
<b>MBTH</b>	3 metil-benzoatiazolinona hidrazona hidrociorada
<b>MTBE:</b>	Metil Terbutil Eter
<b>nm</b>	Nanómetros
<b>NPA:</b>	Nitrato de Peroxiacetilo
<b>NPB:</b>	Nitrato de Peroxibencilo
<b>OMS:</b>	Organización Mundial de la Salud
<b>OPS:</b>	Organización Panamericama de la Salud
<b>OSHA:</b>	Administración de Seguridad y Salud Ocupacional
<b>PNUD:</b>	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
<b>ppb:</b>	Partes por billón
<b>ppm:</b>	Partes por millón
<b>RCHO:</b>	Aldehídos
<b>SIMUVISA:</b>	Sistema Mundial de Vigilancia del Medio Ambiente
<b>TLV:</b>	Valor Límite Umbral
<b>U.S EPA:</b>	Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos
<b>UV:</b>	Ultravioleta
<b>VOC's:</b>	Compuestos Orgánicos Volátiles

## **1. INTRODUCCIÓN**

La tecnología se señala como una de las principales responsables de los problemas ambientales, sin embargo su participación es fundamental en la solución de muchos de estos problemas, como son la prevención y el control de la contaminación. Por esto el papel del Ingeniero Químico es sumamente importante, sobre todo cuando se sabe que en el desarrollo profesional se tomarán decisiones con implicaciones ambientales.

El presente trabajo tiene como propósito la comparación de métodos para determinar aldehídos en el aire atmosférico y el montaje de una estación experimental, con la finalidad de establecer características bien definidas en cuanto a la sencillez y practicidad de la metodología de muestreo y análisis, su precisión y la adaptabilidad de los métodos en cuanto a recursos económicos y técnicos. Para esto se utilizarán tres metodologías, de las cuales dos de ellas difieren en cuanto al sistema de recolección y análisis del contaminante, basadas en la adsorción química (cartuchos adsorbentes y cromatografía de gases) y absorción de gases (burbujeadores y espectrofotometría). La estación experimental se ubicará en el Laboratorio de Aire del edificio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela

El principal interés en el desarrollo y resultado de este trabajo, es sentar una base con el fin de incentivar a estudiantes y profesionales para que se continúe con el estudio y recolección de datos (monitoreo) que puedan servir posteriormente en pro del bienestar del ambiente y de la población; es decir, que se pueda crear una base de datos la cual sirva como referencia para instalar otras estaciones de monitoreo en distintos lugares del país, sistemas de control, información general a la ciudadanía y establecimiento de regulaciones en cuanto a este tipo de contaminantes.

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La mayoría de los países de América Latina y el Caribe, entre los cuales se encuentra Venezuela, no cuenta aún con la infraestructura técnica necesaria ni con la metodología adecuada para evaluar la magnitud del riesgo de la contaminación atmosférica, lo cual permitiría establecer prioridades y tomar decisiones apropiadas para resolver futuros problemas.

En Venezuela se han realizado muy pocos estudios para la determinación de aldehídos en el ambiente urbano, por lo cual mediante este trabajo se pretende sentar una base en cuanto a la medición de aldehídos, el cual es uno de los contaminantes secundarios que en los últimos años ha recibido mayor atención en la regulación de calidad del aire, debido a los efectos adversos que pueden causar en humanos, animales y plantas.

El uso de la gasolina sin plomo ha sido motivo de un programa mundial de control de la contaminación en el cual Venezuela (como país productor de gasolina) está involucrado. La gasolina sin plomo puede lograr bajos niveles de emisiones tóxicas, siempre y cuando el automóvil este diseñado para su consumo y tenga dispositivos de control de combustión y emisiones en buen estado; si esta gasolina es usada en motores convencionales sin convertidor catalítico, es posible que se generen emisiones con implicaciones para la salud, el medio ambiente y el motor, ya que se emitirían mayor cantidad de contaminantes a la atmósfera, entre ellos los aldehídos como contaminantes primarios.<sup>(ESMAP, 1997 y 1998)</sup>

En nuestro país no se tienen redes de monitoreo para este tipo de contaminantes,<sup>(MARNR, 1999)</sup> y es de suma importancia medir concentraciones reales en las ciudades de manera que puedan utilizarse estos datos para

evaluaciones de riesgo y desarrollos futuros de políticas de control. La disponibilidad y precisión de los datos son importantes ya que en estudios realizados en países donde se establecen programas de control de emisiones, una de las grandes dificultades es la comparación entre las concentraciones anteriores y las obtenidas al establecer dichos programas, debido a la falta de datos disponibles,<sup>(ESMAP, 1997 y 1998)</sup> lo que trae como consecuencia un esfuerzo considerable en el área técnica y por ende un gasto excesivo de capital, operaciones y soporte.

El presente trabajo consiste en la comparación de metodologías para la determinación de aldehídos en el medio ambiente urbano y el montaje de una estación experimental que no pretende más, que establecer un punto de partida en la recolección de estos datos. Todo esto con la finalidad de sentar una base técnico experimental que incentive al desarrollo por parte de la Facultad y de la Universidad, la industria y el Gobierno Nacional a establecer programas de monitoreo preventivos de calidad del aire en nuestro país.

### **3. ANTECEDENTES**

En 1986 la revista Atmospheric Environment publicó el trabajo realizado por Louis J. Salas y Hanwant B. Singh, en el cual determinaron niveles de formaldehído y acetaldehído en ambientes urbanos utilizando Dinitrofenilhidrazona como medio absorbente y análisis por cromatografía líquida de alta resolución. Se realizaron nueve experimentos en ocho ciudades de Estados Unidos de América (USA), los cuales mostraron valores de concentración de formaldehído entre 10 y 20 ppb mayores que los niveles encontrados para el acetaldehído (1 a 2 ppb). Adicionalmente se encontró que los niveles de formaldehído disminuyen en los meses de invierno.

Para 1990 se realizó un estudio por Humberto Bravo, Rosaura Camacho, Guadalupe Roy-Ocotla, Rodolfo Sosa y Ricardo Torres, en la Universidad Nacional Autónoma de México, el cual consistió en analizar el cambio en las concentraciones de formaldehído y la actividad fotoquímica, resultado de la introducción del Metil Terbutil Eter (MTBE) como un aditivo en la gasolina sin plomo que se utiliza en el área metropolitana de la Ciudad de México. Dicho estudio se basó en la comparación entre los niveles de formaldehído y actividad fotoquímica antes y después de la introducción del MTBE en la gasolina, dando como resultado un incremento en estos niveles luego del uso de la gasolina sin plomo.

En el ámbito nacional no se cuenta con un historial sobre la medición de aldehídos en el aire ambiental; no obstante, existen datos relacionados con el tema de este trabajo entre los cuales se puede citar, que en 1972 la Organización Mundial de la Salud (OMS) promovió el Sistema Mundial de Vigilancia del Medio Ambiente (SIMUVISA), con el cual se inician los estudios a nivel mundial del fenómeno de contaminación atmosférica, al evaluar entre

1973 y 1980, dos importantes contaminantes primarios: Dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) y material particulado, observándose valores de acidez (concentración de  $\text{SO}_2$ ) por debajo del nivel permisible en Venezuela, pero mayor que la presentada por las ciudades norteamericanas que formaron parte de la red de muestreo. Como resultado de esta evaluación se logró destacar la capacidad de oxidación de la atmósfera caraqueña. Para el año 1977 el Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC) realizó mediciones de ozono ( $\text{O}_3$ ) en el centro de Caracas, determinando niveles muy bajos del mismo. <sup>(Omaña, 1981)</sup>

En Venezuela los controles sobre la calidad del aire los realiza el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales (MARN) a través de la Dirección General Sectorial de Calidad Ambiental en la Dirección de Calidad del Aire, sin embargo, no existen reportes oficiales sobre la medición de aldehídos en el aire de la ciudad de Caracas.

Como parte del 1er Simposio sobre el problema de la Contaminación del valle de Caracas, en 1995, Rafael Cáceres presentó su ponencia sobre Vigilancia y Control de la Contaminación Atmosférica en el Valle de Caracas, donde se expuso puntos importantes como:

- La necesidad de una normativa legal para fuentes móviles, ya que en 1975 realizó un estudio el cual permitió estimar, que de las 1.769 toneladas de contaminantes urbanos emitidos diariamente, el 92% provenía de las fuentes móviles y solo el 8% de las fuentes fijas. Concluyendo, que el problema de la contaminación atmosférica en Caracas lo constituye primordialmente las emisiones vehiculares.

- La instalación de una red de monitoreo de los contaminantes urbanos, la cual permita mantener informada a la población sobre la calidad del aire. (Cáceres, 1995)

En el año 2000 la Magíster Leyda Escalona de la Universidad de Carabobo, presentó en Caracas en el II Simposio Sobre Contaminación Atmosférica y Salud, su trabajo titulado “Red de Monitoreo Atmosférico en Valencia”, que consiste en el montaje de ocho (8) estaciones de monitoreo en la ciudad de Valencia, donde uno de los contaminantes en estudio es el formaldehído y el objetivo de dicho trabajo es el establecimiento de la red con la finalidad de recabar información sobre fuentes y riesgos de contaminación del aire que permitan correlacionar y estimar efectos en la población, para el desarrollo de futuros planes de control y regulación ambiental, actualmente los resultados de este trabajo no se encuentran disponibles.

La industria petrolera ha realizado estudios relacionados con la determinación de formaldehído en el aire ambiental; sin embargo esta información no se encuentra disponible.

## **4. OBJETIVOS**

A continuación se presentan el objetivo general y los objetivos específicos propuestos para la realización del trabajo.

### **4.1. OBJETIVO GENERAL**

Comparar y seleccionar metodologías para la determinación de aldehídos en el aire ambiental y montaje de una estación experimental.

### **4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Instalar equipos de muestreo adaptando métodos de monitoreo de aire en el medio ambiente urbano, utilizando cartuchos adsorbentes (adsorción química) y burbujeadores (absorción de gases).
  - Preparar soluciones estándar y calibrar los equipos de análisis.
  - Poner en marcha los sistemas de muestreo.
  - Captación de las muestras.
  - Analizar, determinar y cuantificar los resultados de las técnicas de muestreo.
- Comparar los métodos usados y seleccionar el más adecuado sobre la base de la sencillez y practicidad de la metodología de muestreo y análisis, su precisión y la adaptabilidad de los métodos en cuanto a recursos económicos y técnicos.

## **5. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

En esta sección se presenta la revisión de los aspectos teóricos necesarios y fundamentales para familiarizarse o ampliar conocimientos relacionados con el tema en estudio.

### **5.1. CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA**

A continuación se exponen brevemente los puntos relevantes sobre la contaminación atmosférica como son la definición de contaminación y contaminantes, se describen las características y efectos de los contaminantes más comunes, la influencia de los factores meteorológicos en la contaminación atmosférica y se resume el ciclo fotoquímico o smog fotoquímico.

#### **5.1.1 Contaminación y Contaminantes:**

La contaminación atmosférica ha sido definida de muchas maneras, sin embargo todas estas definiciones conllevan a un mismo concepto el cual se podría resumir como sigue:

La contaminación atmosférica es la presencia o introducción en la atmósfera de sustancias o energía en cantidades y duración tal que tengan acción nociva y puedan afectar la salud de los seres vivos, causar daños a ecosistemas, dañar la propiedad o bienes materiales y perjudicar las actividades recreativas en la utilización del medio ambiente.

El hombre contribuye con la contaminación atmosférica de una manera directa o indirecta, ya que desde su aparición sobre la tierra ha

ejercido influencia sobre el equilibrio ecológico modificando y transformando la naturaleza, éste ha desarrollado tecnologías que pasan a ser fuentes de contaminantes para la atmósfera y el medio ambiente.

Un contaminante atmosférico se puede definir como partículas sólidas o líquidas, gases y vapores, sustancias olorosas o cualquier combinación de las mismas, que se puedan encontrar en la atmósfera las cuales no forman parte de la composición normal del aire. (Wark y Warner, 1994).

La composición normal del aire atmosférico seco según el Handbook of Air Pollution se muestra en la tabla N° 1 Composición Química del Aire Seco.

**TABLA N° 1: COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL AIRE SECO**

SUSTANCIA	% EN VOLUMEN	CONCENTRACIÓN (ppm)
Nitrógeno	78,084 ± 0,004	780.900
Oxígeno	20,946 ± 0,002	209.400
Argón	0,934 ± 0,001	9.300
Dióxido de Carbono	0,033 ± 0,001	315
Neón	-	18
Helio	-	5,2
Metano	-	1,2
Criptón	-	0,5
Hidrógeno	-	0,5
Xenón	-	0,08
Dióxido de Nitrógeno	-	0,02
Ozono	-	0,01 – 0,04

Como se mencionó anteriormente cuando un componente del aire se encuentra en valores de composición diferentes a los presentados en la tabla N° 1 o existan otros componentes, se les refiere como contaminantes atmosféricos. Cabe destacar que los efectos perjudiciales de los contaminantes del aire no son equivalentes a la cantidad en la que estos se encuentran presentes, ya que un contaminante puede ser más perjudicial que otro a la misma concentración. Entre los contaminantes más comunes se pueden citar: (Wark y Warner, 1994)

*Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>):* Es un gas incoloro, inflamable que a concentraciones mayores de 3 ppm tiene un olor picante e irritante. El dióxido de Azufre proviene de los procesos de combustión (debido al contenido de azufre del combustible), de las plantas de fabricación de ácido sulfúrico, de la fabricación de fertilizantes, de las industrias metalúrgicas, procesos de desulfuración y otros. La principal acción contaminante del SO<sub>2</sub> es su capacidad de oxidarse en presencia de la luz solar y de oxidantes para convertirse en SO<sub>3</sub>, combinándose con agua para originar nieblas de ácido sulfúrico (lluvia ácida) las cuales producen deterioro en la vida vegetal, en los materiales y tienen un efecto perjudicial en la salud de los seres humanos. El SO<sub>2</sub> tiene incidencia en las enfermedades cardiorrespiratorias.

*Monóxido de Carbono (CO):* Es un gas incoloro e inodoro el cual proviene de las combustiones incompletas y en mayor grado de las emisiones de los tubos de escape de vehículos con motores a gasolina. El CO es el gas contaminante más abundantes en la atmósfera. El CO a concentraciones mayores de 750 ppm puede causar la muerte, ya que al combinarse con la hemoglobina de la sangre disminuye su capacidad de ejercer la función de transporte de oxígeno.

*Óxidos de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>):* Existen seis óxidos de nitrógeno de los cuales el monóxido de nitrógeno (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) son importantes contaminantes del aire los cuales provienen principalmente de los vehículos y también de los procesos de combustión de fuentes fijas. El monóxido de nitrógeno (NO) es un gas incoloro el cual por lo general se encuentra por debajo de los niveles de toxicidad biológica, pero cuando se pone en contacto con oxígeno es precursor en la formación del dióxido de nitrógeno y contribuye a la formación de oxidantes en la contaminación fotoquímica. El dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) es un gas rojizo, oxidante y tóxico el cual al combinarse con la humedad de la atmósfera reacciona para formar ácido nítrico siendo así un contribuyente de la lluvia ácida. “El riesgo ambiental del NO<sub>2</sub> está asociado principalmente con los efectos en los pulmones (respiratorios).” (Wark y Warner, 1994)

*Oxidantes Fotoquímicos:* Son todas aquellas sustancias capaces de oxidar el ion yoduro del yoduro de potasio, entre ellos están el ozono (O<sub>3</sub>), nitrato de peroxiacetilo (NPA), nitrato de peroxibencilo (NPB), los compuestos orgánicos volátiles (VOC's), y otras sustancias como los aldehídos y cetonas. Su presencia en la atmósfera se debe principalmente a los escapes de vehículos automotores y su formación como contaminantes secundarios por reacciones fotoquímicas. Los oxidantes causan irritación en los ojos, nariz y garganta, aumento en la resistencia a la respiración, daños a la vegetación y pueden causar daños a los materiales (reaccionan con los materiales como el hule o la goma).

### **5.1.2 Factores Meteorológicos:**

Las condiciones meteorológicas y topográficas afectan el transporte, dispersión y concentración de los contaminantes en la atmósfera. El ciclo de

permanencia de los contaminantes se inicia con su emisión a la atmósfera, seguido por su transporte y difusión y se completa cuando los contaminantes se depositan sobre la vegetación, el ganado, las superficies del suelo y del agua, cuando son arrastrados de la atmósfera por la lluvia, o cuando se escapan al espacio. (Wark y Warner, 1994)

Algunos de los factores meteorológicos básicos que influyen en la distribución de los contaminantes en el aire son:

*Radiación Solar:* La energía necesaria para los procesos atmosféricos es suministrada por el flujo energético solar que llega a la Tierra en forma de radiaciones electromagnéticas. La cantidad de energía procedente del Sol que alcanza los límites de la atmósfera terrestre no es constante, sino que sufre pequeñas variaciones estacionales. Esta radiación no está sometida a un proceso uniforme, sino que parte de ella es devuelta al espacio exterior, por reflexión en las nubes y por difusión en las moléculas del aire y en las partículas en suspensión. Otra parte de la energía recibida del Sol, es absorbida directamente por la atmósfera según un proceso selectivo que actúa sobre las radiaciones de una determinada región del espectro; por ejemplo, el vapor de agua y el dióxido de carbono absorben las radiaciones de la región infrarrojo, y el ozono absorbe las radiaciones correspondientes al ultravioleta, de esta manera la radiación solar contribuye a la formación de contaminantes secundarios en el aire (reacciones fotoquímicas).

*Movimientos de las Masas de Aire:* Es denominado también turbulencia atmosférica y es uno de los factores importantes en la dispersión de la contaminación del aire. Si el movimiento es vertical se denomina estabilidad de la atmósfera y los contaminantes emitidos bajo estas condiciones, cerca de la superficie del suelo tienden a permanecer ahí. Si el movimiento es horizontal se denomina viento y la velocidad de este, afecta

en gran medida la concentración de contaminantes en el aire, mientras mayor sea la velocidad del viento menor es la concentración de contaminantes, ya que este diluye y dispersa los contaminantes.

*Las Precipitaciones:* Este es un factor muy importante ya que diluye las partículas y contaminantes del aire y ayuda a minimizar los contaminantes emitidos de procesos industriales y partículas provenientes de otras actividades como la construcción. La humedad y la precipitación también pueden favorecer la aparición de contaminantes secundarios.

La topografía de una región, a pesar de no ser un factor meteorológico influye en la distribución de los contaminantes atmosféricos. Las ciudades rodeadas de cadenas montañosas como las ubicadas en los valles, suelen tener mayores concentraciones de contaminantes del aire.

Las áreas urbanas con construcciones densas y edificios altos ejercen una gran fuerza de fricción sobre el viento haciendo que disminuya su velocidad, cambie de dirección y exista mayor turbulencia. La influencia térmica domina a la fuerza de fricción, materiales de construcción como ladrillo y concreto absorben y retienen el calor de manera más eficiente que el suelo y la vegetación de áreas rurales. Por lo general debido al continuo calentamiento las áreas urbanas nunca recobran las condiciones estables.

La dispersión y transporte de contaminantes también pueden estar afectados por la combinación de factores climáticos y geográficos, como por ejemplo, la inversión térmica la cual es una condición atmosférica causada por una interrupción del perfil normal de la temperatura de la atmósfera. La inversión térmica puede retener el ascenso y dispersión de contaminantes de las capas más bajas de la atmósfera y causar un problema localizado de contaminación del aire.

La dispersión de los contaminantes en el aire se puede evaluar mediante modelos de dispersión que calculan la concentración de estos contaminantes a nivel del suelo y a distintas distancias de las fuentes de emisión. Los modelos de dispersión suelen ser complejos y dependen de muchas variables como ubicación de la fuente de emisión, cantidad y tipo de contaminante emitidos, factores meteorológicos (temperatura, presión, velocidad del viento) y otros.

### 5.1.3 Ciclo Fotoquímico:

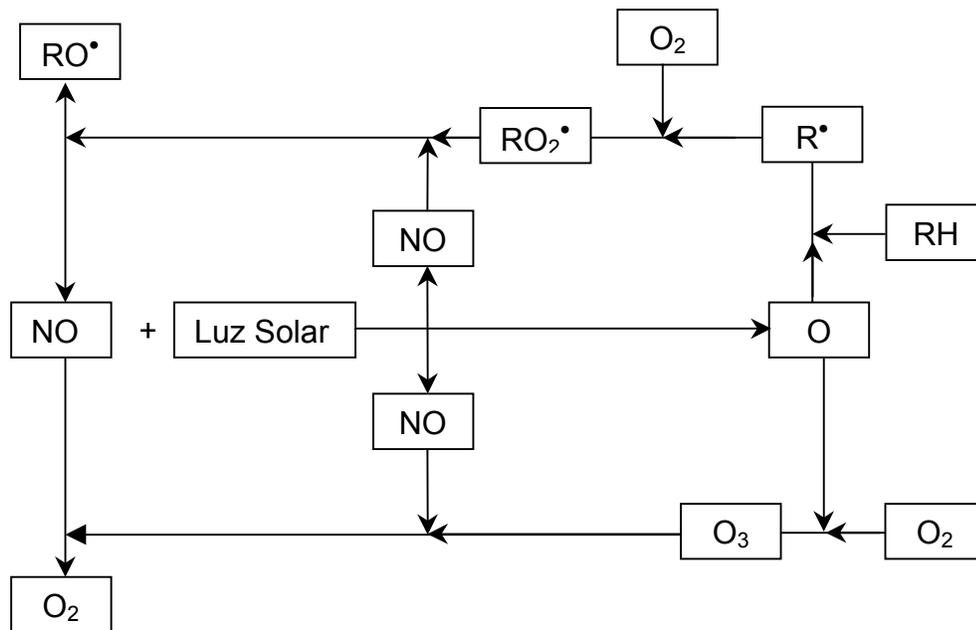
El mecanismo completo de foto oxidación es realmente complejo, sin embargo, se puede explicar brevemente:

Cuando los VOC's (RO, R, RH, RO<sub>2</sub>) y óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) están en la atmósfera y son irradiados con luz solar cambian su equilibrio en el estado fotoestacionario. El estado fotoestacionario se define como el equilibrio entre el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), el óxido de nitrógeno (NO) y el ozono (O<sub>3</sub>). Este equilibrio es teóricamente mantenido hasta que los VOC's son introducidos. Ocurren varias reacciones para producir radicales libres. Los VOC's reaccionan con los radicales y producen radicales RO<sub>2</sub> que oxidan los NO a NO<sub>2</sub> destruyendo el estado fotoestacionario. Los carbonilos reaccionan con otros radicales (OH) para producir radicales RO<sub>2</sub>. De igual modo los carbonilos particularmente el formaldehído en presencia de luz solar, son fuentes de radicales OH.

El resultado de este proceso permite la acumulación de ozono y la oxidación de hidrocarburos (HC's) a aldehídos y cetonas los cuales permiten la producción continua de radicales HO<sub>2</sub><sup>•</sup> y OH<sup>•</sup>, los principales promotores en el smog fotoquímico.

Consecuentemente, la determinación de formaldehído y otros compuestos carbonilos en la atmósfera es de interés por su importancia como precursor en la producción del smog fotoquímico, como productor de reacciones fotoquímicas y como la mayor fuente de radicales libres en la atmósfera.

A continuación en la figura N° 1 se muestra de una manera esquemática la interacción de los hidrocarburos y VOC's (Compuestos Orgánicos Volátiles) con el ciclo fotoquímico del dióxido de nitrógeno.



**Figura N° 1: Interacción de VOC's e hidrocarburos en el ciclo del NO<sub>2</sub>**

La radiación solar proporciona la energía necesaria para que se produzcan las reacciones fotoquímicas, ya que provoca la excitación de una especie debido a un fotón de energía.



Donde:

A: Especie A.

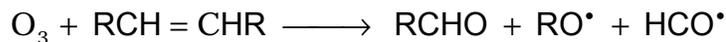
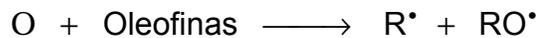
hv: Radiación solar.

A<sup>\*</sup>: Especie excitada.

Un estado excitado es muy inestable, por lo que se produce rápidamente la disociación de la especie en otras especies altamente reactivas que producen una cadena de reacciones fotoquímicas. Cerca de la superficie terrestre la formación de ozono se debe principalmente a las reacciones fotoquímicas del NO<sub>2</sub>, el cual es altamente reactivo y origina junto a los radicales libres e hidrocarburos no quemados el ciclo presentado en la figura. El ozono que puede estar presente en el aire, así como una pequeña parte del oxígeno atómico (O) que se produce en la reacción:



reacciona con diversos compuestos orgánicos para formar radicales libres.



Donde:

R<sup>•</sup>, RO<sup>•</sup>, HCO<sup>•</sup>: radicales libres.

RCHO: aldehídos.

El aldehído formado es un contaminante, el cual es también fotoquímicamente reactivo por lo que contribuye a la formación de mayor cantidad de radicales libres en la atmósfera y por tanto a la cadena de

reacciones donde los contaminantes más importantes son los aldehídos, cetonas, CO, CO<sub>2</sub>, nitratos orgánicos y otros oxidantes como el ozono.

Todo este ciclo fotoquímico da origen a la contaminación del aire denominada neblumo o smog fotoquímico, que se caracteriza por un alto nivel de oxidantes en el aire.

## **5.2. MONITOREO ATMOSFÉRICO**

El monitoreo atmosférico surge por la necesidad de implementar acciones para mejorar la calidad del aire y proteger la salud, los primeros pasos son medir la calidad del aire, determinar sus causas y evaluar sus efectos y problemas fundamentales, para poder diseñar un plan de regulación y control de contaminantes del aire atmosférico.

El monitoreo atmosférico del aire incluye la recolección del contaminante a estudiar, el análisis y medición de la concentración del contaminante para obtener datos que se usan para determinar las condiciones de un área específica, desarrollar modelos de dispersión de contaminantes, realizar estudios científicos y experimentales, evaluar los límites de exposición humana al contaminante, daños ambientales, establecer regulaciones y normas y verificar el cumplimiento de las mismas.

### **5.2.1 Tren de muestreo:**

Para determinar la concentración de un contaminante en ambientes atmosféricos se debe tener mucho cuidado y utilizar instrumentación adecuada y sensible, ya que la cantidad de contaminante suele ser pequeña

(partes por millón o partes por billón), por lo cual la muestra tomada deberá ser representativa del flujo de la corriente gaseosa y de sus componentes.

Según Wark y Warner (1994) los dispositivos y procedimientos de muestreo deberán satisfacer los siguientes requisitos generales:

- Todos los componentes del tren de muestreo deberán ser químicamente inertes con respecto a los gases que se muestrean. Puede que este requerimiento resulte difícil de cumplir, puesto que el acero inoxidable y algunos plásticos pueden producir ciertas reacciones químicas entre los contaminantes del aire. Se debe tener cuidado e impedir la adsorción de los contaminantes sobre las superficies del tren de muestreo.
- La temperatura en la sonda de muestreo y las líneas de gas deberá mantenerse por encima del punto de rocío de los vapores condensables presentes en la muestra de gas. Además, algunas instalaciones requieren que la temperatura de la sonda y la línea esté por encima o por debajo de las temperaturas específicas de las reacciones químicas de la muestra de gas.
- Será preciso conocer el gasto total volumétrico de la corriente gaseosa que se muestrea. También se deberá conocer el gasto volumétrico de la corriente de muestra de gas.
- La muestra se deberá obtener isocinéticamente. Esto es, la velocidad del gas que entra a la sonda de muestreo tiene que tener la misma magnitud y dirección que el gas en la corriente principal.
- La cantidad de gas colectado deberá ser suficiente para satisfacer los requisitos de los métodos o dispositivos utilizados en el análisis de la muestra.
- La localización de la estación de muestreo deberá estar en una sección recta del ducto o chimenea y cuando menos a una distancia de 15 diámetros de la tubería, en la dirección de la corriente, de una curva u obstrucción. No deberán haber ni curvas ni obstrucciones cuando menos a 10 diámetros de

tubería en la dirección de la corriente, desde la estación de muestreo.

- Al tomar muestras del ambiente atmosférico, el período de muestreo deberá ser lo suficientemente largo a fin de poder satisfacer el tiempo requerido por el método analítico seleccionado.
- Es necesario medir la temperatura y presión manométrica de la muestra de la corriente gaseosa, de manera que se pueda calcular el volumen de gas en condiciones normales.

Todo sistema de muestreo debe cumplir con los requisitos generales nombrados anteriormente, así como con requerimiento mínimos de equipos que integran el tren de muestreo. El tren de muestreo se divide principalmente en la línea de muestreo y el sistema de recolección de muestra.

La línea de muestreo está compuesta por la entrada de la toma de muestra, las mangueras y tuberías, el sistema de medición de flujo y la bomba. <sup>(Lodge, 1988)</sup>

*Entrada de la toma de muestra:* La cual generalmente es un embudo invertido al inicio de la tubería con el fin de evitar que se introduzcan partículas de polvo, agua de lluvia y cualquier otro material que pueda interferir en el muestreo en general.

*Mangueras y tuberías:* Las cuales conforman la línea de flujo de aire y conexión entre los equipos del tren de muestreo. Estas deben ser lo más cortas posible, se deben evitar restricciones, codos y accesorios que pudieran provocar la acumulación de partículas y/o la caída de presión dentro del sistema.

*Sistema de medición de flujo:* Los cuales son los equipos necesarios para la medición y el control del flujo de aire requerido por el sistema y por el método a emplear para la determinación del contaminante. Estos pueden ser medidores de volumen como los medidores de volumen de gas seco, gas húmedo, o medidores de flujo como rotámetros, controladores de flujo electrónicos, placa de orificio, etc.

*Bomba:* La bomba es el equipo que permite el movimiento de aire a través del sistema de muestreo (por medio de vacío). Estas deben tener una capacidad adecuada y un funcionamiento uniforme que permita mantener el flujo estable por períodos de tiempos prolongados.

*El sistema de recolección de muestras:* está compuesto por los instrumentos y el medio de recolección del contaminante. Los instrumentos son los diferentes recipientes donde se capta la muestra como las bolsas de plástico, canisters de acero inoxidable, frasco para la absorción de gases (botellas absorbentes), cartuchos de adsorción, filtros impregnados con químicos, etc. y el medio de colección es el material o sustancia utilizado para captar el contaminante de interés como pueden ser los solventes químicos, sílica gel, carbón activado, etc. (Lodge, 1988)

Adicional a los equipos nombrados anteriormente existen equipos accesorios, los cuales se pueden utilizar dependiendo del método a emplear para la determinación del contaminante y que a su vez permiten mantener el sistema en buenas condiciones. Entre ellos se tienen: los barómetros y termómetros que se utilizan para corregir las condiciones de operación a las condiciones estándar; prefiltros o trampas los cuales permiten retener o remover del sistema de muestreo sustancias o materiales indeseables; contadores de tiempo que ayudan al control del tiempo de muestreo, es decir, se utilizan para prender y apagar los equipos automáticamente; etc.

### 5.2.2 Técnicas de muestreo:

A la recolección del contaminante a estudiar se le denomina muestreo o captación de las muestras. Los programas de monitoreo atmosférico se fundamentan en diferentes técnicas de muestreo las cuales cubren una gran variedad de costos de inversión, operación y mantenimiento, por lo cual se recomienda escoger la tecnología disponible más simple y barata que cumpla con los objetivos de monitoreo; las diferentes técnicas o tecnologías de muestreo son las siguientes:

*Muestreo Pasivo:* En este tipo de muestreo la captación de la muestra consiste en la recolección del contaminante sin la utilización de equipos mecánicos que permitan el manejo del flujo de aire hacia el medio de recolección (medio adsorbente o absorbente). (SKC, 1999)

El muestreo pasivo es la recolección de gases y vapores suspendidos en el aire a través de una barrera de difusión sobre un medio adsorbente sin el uso de una bomba de muestreo de aire. El muestreo pasivo también se conoce como muestreo difusivo y se utiliza generalmente para determinar la representatividad del sitio de monitoreo. Ha sido utilizado en mayor grado en el monitoreo de exposiciones personales a ciertos contaminantes y en el área de salud ocupacional. En algunos casos es más un tipo de muestreo cualitativo y no puede usarse en situaciones de emergencia. Sin embargo, este tipo de muestreo tiene ventajas como son: bajo costo, fácil manejo y metodología simple.

*Muestreo Activo:* En esta técnica se requiere que una cantidad determinada de aire ambiental sea bombeada a través de un medio de recolección apropiado que posteriormente será analizada. Los muestreadores activos se utilizan ampliamente como parte principal de las redes de monitoreo, son ideales para monitoreo a largo plazo en los cuales

los medios económicos son limitados. Este tipo de muestreo se encuentra disponible para una gran variedad de contaminantes y a pesar de ser más costosos que los muestreadores pasivos son precisos, exactos y de fácil operación.

*Muestreo Automático:* Los analizadores automáticos utilizan métodos optoelectrónicos para detectar y medir la concentración del contaminante (utilizando las propiedades físicas y químicas del mismo), ya sea por una propiedad óptica o una reacción química, la cual se mide por medio de un detector que produce una señal eléctrica proporcional a la concentración del contaminante. Estos instrumentos son más costosos que los muestreadores activos y pasivos pero tienen grandes ventajas sobre los otros ya que son de respuesta rápida y continua.

Los analizadores automáticos son equipos muy complejos y de alto costo por lo cual se utilizan para mediciones en programas a largo plazo, cuando se quiere calidad en los datos y en situaciones de alerta para implementar medidas de contingencia.

*Bioindicadores:* Los bioindicadores implican el uso de plantas como muestreador para acumular el contaminante y luego son colectadas y analizadas por medio de métodos clásicos. Este tipo de muestreadores son utilizados para estimar factores ambientales como indicadores de la calidad del aire y particularmente en la investigación de sus efectos. Dada la complejidad en las técnicas de biomonitoreo (como la variación del clima en los sitios de muestreo), estas se limitan a localizaciones específicas generalmente en monitoreo de ecosistemas proporcionando información que puede ser útil a nivel regional. (Martínez y Romieu, 1999)

*Sensores Remotos:* Este tipo de muestreadores proporcionan mediciones integradas de componentes múltiples a lo largo de patrones específicos y utiliza absorción infrarroja, emisión espectroscópica, láser de color e infrarrojo fluorescente o correlaciones espectrométricas. Las mediciones con sensores remotos se realizan por medio de instrumentos colocados en aviones o satélites. Este tipo de instrumentos son especializados y se utilizan en investigaciones específicas, debido a que son muy complejos, costosos y se requiere de un cuidadoso control de calidad para la reproducción de datos confiables, puesto que son difíciles de calibrar y de validar contra los métodos ya establecidos. (Martínez y Romieu, 1999)

### **5.2.3 Sistemas de recolección de muestreo:**

El sistema de recolección de muestras para el monitoreo de aire tiene la función de captar los contaminantes que serán analizados, el cual está formado por los instrumentos y el medio de recolección. Los instrumentos son los dispositivos o recipientes, mientras que el medio de recolección lo conforma el material de adsorción o absorción utilizado en el muestreo.

El principio en que se basa el sistema de recolección depende del proceso de transferencia de masa que se lleve a cabo: a) Recolección Húmeda y b) Recolección Seca.

a) *Recolección Húmeda:* Se denomina de este modo al sistema de recolección que se lleva a cabo mediante el proceso de absorción de un gas en una fase líquida. Este sistema consiste en emplear un recipiente conteniendo un solvente líquido (fase líquida) que se pone en contacto con un flujo de aire conocido, permitiendo de este modo la transferencia del contaminante de interés a la fase líquida, debido a su solubilidad y dispersión

en dicha fase. La fase líquida debe ser estable, no formar espuma, no debe ser corrosiva ni volátil y de bajo costo.

En el sistema de recolección húmeda, los instrumentos de recolección más usados son las botellas absorbentes, de acuerdo a la forma de dispersión del gas en la fase líquida se pueden dividir en dos tipos básicos: *Las botellas de Choque o Golpe* que contienen un tubo de vidrio provisto en un extremo de un orificio muy fino, colocado a 5 mm del fondo de la botella. El aire muestreado entra por el tubo de vidrio y al pasar por el orificio sale a una gran velocidad chocando con el fondo de la botella para dispersarse y mezclarse vigorosamente con la fase líquida.

*Las botellas de difusores porosos:* En este caso se les denomina burbujeadores de vidrio poroso y son botellas que contienen un tubo de vidrio con un difusor poroso, en el cual la corriente de aire que pasa a través del tubo de vidrio se rompe en burbujas muy finas al llegar al difusor y pasan lentamente al solvente, aumentando de esta forma la superficie de contacto gas-líquido para favorecer la absorción.

*b) Recolección Seca:* En la recolección seca se lleva a cabo la adsorción de un gas en una superficie sólida porosa, el contaminante se adhiere a la superficie a condiciones ordinarias de presión y temperatura debido esencialmente a su área superficial.

La adsorción puede ser física o química, siendo la adsorción física o fisisorción el resultado de las fuerzas de atracción intermoleculares (Van der Waals) entre las moléculas del sólido y la sustancia adsorbida, la cual no penetra dentro de la red cristalina del sólido ni se disuelve en ella, sino que permanece sobre la superficie. El gas adsorbido se desorbe fácilmente por medio de la acción del calor o el uso de solventes específicos. La adsorción

química o quimisorción es el resultado de una reacción química entre el sólido y la sustancia adsorbida. La fuerza de enlace químico es mucho mayor que la producida en la fisorción y el proceso frecuentemente es irreversible ya que la sustancia original sufre un cambio químico.<sup>(Treybal,1988)</sup>

Los adsorbentes son productos naturales o sintéticos de estructura microcristalina, cuya superficie porosa tiene la propiedad de tomar y almacenar en forma selectiva una o más especies de solutos contenidos originalmente en un fluido, por lo general es necesario recuperar el soluto o purificar y reutilizar el adsorbente.<sup>(Perry, 1986)</sup> Por tanto, deben existir condiciones favorables para la desorción. Los adsorbentes más empleados en el monitoreo de aire son la sílica gel y el carbón activado. La sílica gel es una sustancia altamente polar por lo cual es muy eficiente en la adsorción de vapores inorgánicos y orgánicos polares, los cuales pueden ser desorbidos usando solventes polares (como alcoholes) y analizados por cromatografía de gases o análisis infrarrojo. El carbón activado es no polar y es uno de los adsorbentes más utilizados para adsorber vapores orgánicos, la desorción se realiza usualmente con disulfuro de carbono y pueden ser analizados por cromatografía de gases o análisis infrarrojo.<sup>(Lodge,1988)</sup>

#### **5.2.4 Selección del sitio de muestreo:**

En el monitoreo atmosférico es fundamental la selección del sitio de muestreo, ya que este debe cumplir con ciertas características muy importantes como son: la representatividad del área a muestrear, la fuente y el tipo de emisiones, factores meteorológicos, seguridad contra el vandalismo, infraestructura, etc.<sup>(Lodge,1988)</sup>

La ubicación del sitio de muestreo depende del área que se desea estudiar y de los objetivos que se quieren lograr, para esto existen métodos que ayudan a la selección del lugar (modelos estadísticos, cuadrículas del área, etc.), pero una vez escogido el sitio de muestreo se debe verificar que se cumplan ciertos requerimientos, especialmente si se desea utilizar muestreadores automáticos o activos, algunas de las consideraciones a tomar en cuenta son:

- *Fácil Acceso:* Es necesario que el sitio donde se encuentra el tren de muestreo tenga un acceso fácil y cómodo ya que generalmente se requiere la inspección del tren de muestreo, mantenimiento del mismo, la recolección de las muestras, etc.
- *Seguridad contra el vandalismo:* El equipo de muestreo se debe ubicar en un lugar el cual se encuentre resguardado de personas ajenas al monitoreo y que puedan alterar la toma de muestra, así como dañar los equipos e instrumentos.
- *Libre de obstáculos:* El lugar donde se ubique el sitio de muestreo debe estar libre de obstáculos, ya que este es un factor muy importante que puede afectar la representatividad del sitio de muestreo, entre los principales obstáculos que se pueden conseguir se tiene: restricciones en la circulación del aire debido a la existencia de árboles y edificios cercanos a la estación de muestreo; la interferencia en las mediciones debido a la cercanía de fuentes de emisión que pudieran alterar o invalidar el muestreo y una ubicación no adecuada de los equipos de medición de parámetros meteorológicos.
- *Infraestructura:* Los equipos de muestreo, la infraestructura donde estos se encuentran y los servicios básicos necesarios para el buen

funcionamiento de la estación de muestreo son consideraciones esenciales que hay que tomar en cuenta para la selección del sitio de muestreo.

### 5.2.5 Técnicas de análisis:

Para cuantificar la concentración de un contaminante en el aire se requiere el uso de una instrumentación adecuada y sensible, la cual depende del sistema de recolección, del contaminante muestreado y de la finalidad del muestreo.

El análisis de los contaminantes puede realizarse por diferentes métodos según las características físico-químicas del contaminante. En el ambiente atmosférico los contaminantes, por lo general se encuentran en pequeñas cantidades y la concentración se suele expresar en partes por millón o billón (ppm ó ppb). Otra manera de expresar la concentración es en masa por unidad de volumen, (microgramos por metros cúbicos).

Entre los diferentes métodos de análisis se tiene:

- *Métodos fotométricos:* Son métodos analíticos instrumentales en los cuales la determinación de la concentración del contaminante depende de la intensidad de luz emitida por el mismo, la cual se compara con una curva patrón de intensidades de luz con la misma longitud de onda pero con soluciones de concentraciones conocidas. Cada compuesto tiene un patrón de absorción específico que da origen a un espectro de identificación. El fundamento de las técnicas espectroscópicas consiste en la excitación de la sustancia a ensayar por medio de una fuente de radiación adecuada con el fin de provocar un cambio en el estado energético de sus átomos o moléculas. Las técnicas espectroscópicas más utilizadas son: 1) la

absorción atómica, en la cual la muestra absorbe la radiación. La cantidad de átomos presentes en la muestra se puede conocer por medio de la radiación emitida por la misma. 2) la espectrofotometría infrarroja en la cual la muestra absorbe la radiación en la región infrarroja del espectro. En esta técnica se mide la diferencia en la absorción. 3) la espectrofotometría visible ultravioleta la cual se basa en la absorción de energía radiante en la región ultravioleta y visible su principio es colorimétrico y depende de la facilidad de la transición electrónica.

- *Métodos cromatográficos:* La cromatografía es el principal método que se utiliza para la determinación de la concentración de gases y vapores orgánicos; esta se realiza en equipos denominados cromatógrafos los cuales constan de columnas de separación rellenas con un sólido adsorbente (fase estacionaria) y de un sistema de inyección de un gas o líquido inerte el cual pase a través de la columna (fase móvil). Es una técnica de separación físico-química que separa los componentes individuales de una mezcla basándose en su distribución entre dos fases: la fase estacionaria (sólido, líquido) y la fase móvil (gas, líquido) que pasa a través de la fase estacionaria o columna. Dependiendo del estado físico de las fases involucradas son posibles varios tipos de cromatografía. Cuando la fase móvil es un gas se denomina cromatografía de gases y cuando es un líquido recibe el nombre de cromatografía de líquidos.

- *Métodos volumétricos:* Son métodos analíticos cuantitativos como la titulación, donde la concentración del contaminante se obtiene por el volumen de reacción entre el contaminante a determinar y una solución de concentración conocida.

- *Métodos gravimétricos:* Son métodos analíticos cuantitativos en los cuales la determinación de la concentración del contaminante se lleva a cabo

por diferencia de peso. Por lo general estos métodos se utilizan para la determinación de material particulado.

- *Métodos potenciométricos:* Los cuales se basan en la medición de un diferencial de potencial eléctrico por medio de aparatos denominados potenciómetros o medidores de pH.

### 5.3. ALDEHÍDOS

En este punto se presentan los aspectos más importantes referentes a los aldehídos como sus características químicas, efectos sobre los seres vivos, fuentes de emisión y su influencia en las reacciones fotoquímicas que ocurren en la atmósfera.

#### 5.3.1 Generalidades:

Los aldehídos son los compuestos carbonílicos que poseen un solo radical orgánico unido al grupo funcional carbonilo y su fórmula general es RCHO. Los aldehídos se diferencian de las cetonas porque tienen el grupo carbonilo en su posición terminal unido a un hidrógeno, mientras que, las cetonas lo tienen en cualquier carbono de su molécula no terminal unido a otro grupo orgánico, la diferencia en la estructura de estos dos grupos carbonilos afecta sus propiedades en cuanto a la oxidación y la reactividad. Los aldehídos se oxidan con mayor facilidad que las cetonas y por lo general son más reactivos en adiciones nucleofílicas.<sup>(Morrison y Boyd, 1976)</sup>

*Nomenclatura:* Los aldehídos se nombran según la nomenclatura IUPAC dependiendo del alcano de donde proviene el grupo radical, reemplazando la terminación **ano** por la terminación **al** (ej.: metano →

metanal), y según la nomenclatura trivial se nombran a partir de los ácidos carboxílicos correspondientes eliminando la palabra ácido y reemplazando la terminación **ico** por el sufijo **aldehído** (ej.: ácido fórmico → formaldehído).

*Aplicaciones:* A continuación se nombran las aplicaciones de algunos de los aldehídos:

- **Formaldehído:** El mayor uso es como intermediario en la síntesis de compuestos orgánicos, incluyendo alcoholes, ácidos carboxílicos y medicinas. Se utiliza en la síntesis de resinas sintéticas procedentes de fenol, melamina y urea. En la obtención de hexametilentetramina y pentaeritritol. Síntesis del ácido fórmico, acetaldehído, urea, metanol y paraformaldehído. Fabricación de insecticidas. En síntesis de colorantes orgánicos y explosivos. En estado libre, en composiciones de desinfectantes. Conservación y tratamiento de alimentos. En la industria cervecera. En curtición y en fotografía. Como desodorante; en composiciones de líquidos para embalsamar. En la industria del papel, plástica de recubrimientos y en la de perfumes.

- **Acetaldehído:** Se utiliza en la síntesis del butadieno en la fabricación de hules. Obtención de ácido y anhídrido acético. Síntesis de butanol y de 2-etilexanol. Endurecedor para la gelatina en películas fotográficas. Fijador de las sustancias aromáticas de las esencias artificiales. Conservación del pescado, Desinfectante, Medicinas, Fabricación de colorantes.

- **Benzaldehído:** Se emplea para la síntesis orgánica, como en la obtención del aldehído cinámico y el benzoato de bencilo usados en la industria de perfumes, en la síntesis de insecticidas, productos fotográficos y medicinas. En la industria alimenticia como odorante.

- Butiraldehído: Se utiliza en la síntesis de productos orgánicos. En el curtido de las pieles. Síntesis del ácido butírico. Con el alcohol polivinílico forma butiral de polivinilo, empleado en la fabricación de vidrios inastillables y como polvos de moldeo. Forma resinas con fenol y formaldehído. Condensado con anilina se usa como acelerador para el caucho. Se emplea en análisis de ozono.

*Propiedades Físicas:* A temperatura y presión normales (25 °C y 760 mmHg) los primeros aldehídos de la serie son líquidos, excepto el formaldehído o metanal, que es gaseoso. Son más volátiles que los términos similares de la serie alcohólica. Sus densidades oscilan entre 0,78 y 1,05 g/ml. Sus puntos de fusión son generalmente bajos, y los de ebullición a temperatura y presión normales varían sin regla fija en toda la serie y por general son inferiores a los de los alcoholes o ácidos carboxílicos correspondientes. Como el grupo carbonílico es un grupo altamente polar los aldehídos son compuestos polares y solubles en agua. A continuación se presenta la tabla N° 2 con las propiedades físicas de algunos aldehídos.

**TABLA N° 2: PROPIEDADES FÍSICAS DE ALGUNOS ALDEHÍDOS**

Nombre	Fórmula	Peso Mol.	Densidad relativa	Punto de Fusión (°C)	Punto de Ebullición (°C)	Solubilidad 100 partes		
						Agua	Alcohol	Eter
Formaldehído	HCHO	30,03	0,815 <sup>20</sup>	-92	-21	m. s.	m. s.	m. s.
Acetaldehído	CH <sub>3</sub> CHO	44,05	0,783 <sup>18/4</sup>	-123,5	20,2	∞	∞	∞
Propinaldehído	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CHO	58,08	0,807 <sup>20/4</sup>	-81	49,5 <sup>740</sup>	20 <sup>20</sup>	∞	∞
n-Butiraldehído	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CHO	72,10	0,817 <sup>20/4</sup>	-99	75,7	4	∞	∞
Benzaldehído	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH	106,1	1,046 <sup>20/4</sup>	-26	179	0,3	∞	∞

FUENTE: Perry, R. (1986). *Biblioteca del Ingeniero Químico* Vol. 1. Sección 3: Datos de Física y Química.

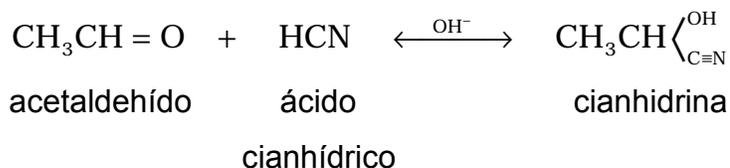
m.s.: muy soluble; ∞. soluble en todas las proporciones

*Reactividad:* El centro de reactividad en los aldehídos es el enlace pi ( $\pi$ ) del grupo carbonilo, es decir los aldehídos reaccionan por adición de grupos reactivos al enlace pi ( $\pi$ ). La reactividad de los aldehídos en reacciones de adición por lo general se atribuye a la magnitud de la carga positiva sobre el carbono carbonílico. Una mayor carga parcial positiva significa reactividad más alta. El formaldehído que no tiene grupos alquilo (los grupos alquilo adyacentes estabilizan al grupo carbonilo) es el más reactivo de todos los aldehídos. (Fessenden y Fessenden, 1983)

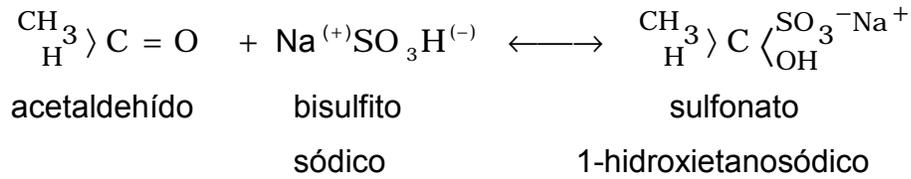
*Propiedades Químicas:* Las reacciones típicas de los aldehídos se verifican en el grupo carbonilo (por la apertura del enlace C=O) y en el radical al que va unido el grupo carbonilo, ya que éste activa los hidrógenos del carbono contiguo y se posibilita un mayor número de reacciones.

1. *De Adición:* En este tipo de reacciones los aldehídos siguen un orden de reactividad de acuerdo con el tamaño de los grupos sustituyentes del grupo carbonilo.

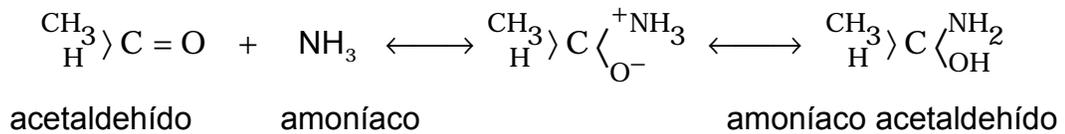
a) Formación de cianhidrina por reacción entre el acetaldehído y el ácido cianhídrico: Esta reacción necesita de catálisis básica para transcurrir a velocidad apreciable.



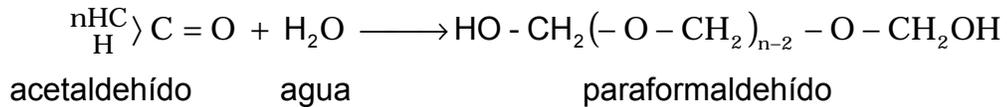
b) Adición de bisulfito:



c) Adición de amoníaco:

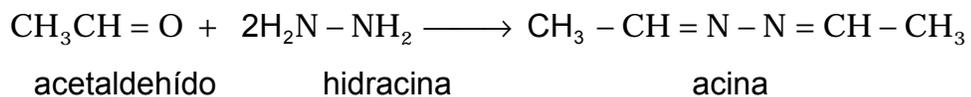
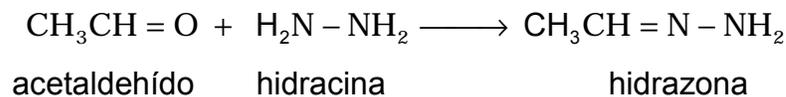


d) Polimerización de aldehídos. Mediante esta reacción se pueden obtener polímeros lineales o cíclicos:



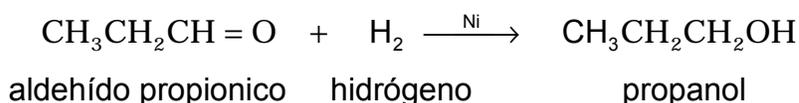
2) *Condensación de aldehídos*: con derivados amínicos mediante un proceso de catálisis ácida.

Con hidracina, obteniéndose hidrazonas o acinas:

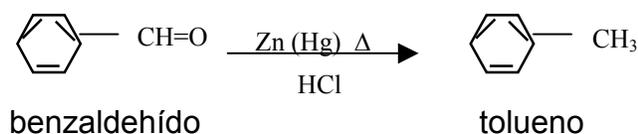


3) *Reducción de aldehídos:* Un aldehído se puede reducir a un alcohol, a un hidrocarburo o a una amina. El producto de reducción depende del agente reductor y de la estructura del compuesto carbonílico.

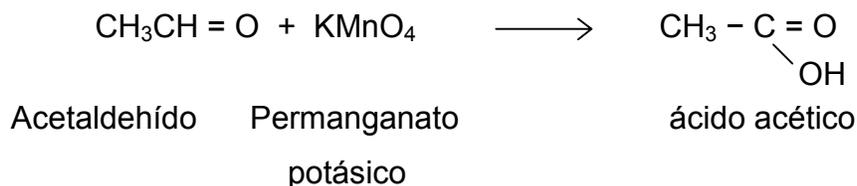
a) *Hasta alcoholes:* Generalmente se usa la reducción catalítica con hidrógeno a presión. Recientemente son muy utilizados también los hidruros metálicos, en especial el de aluminio y litio y el boro y sodio, por su selectividad en este tipo de reducciones.



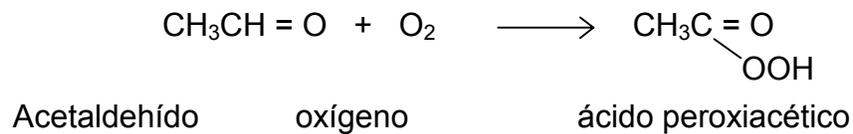
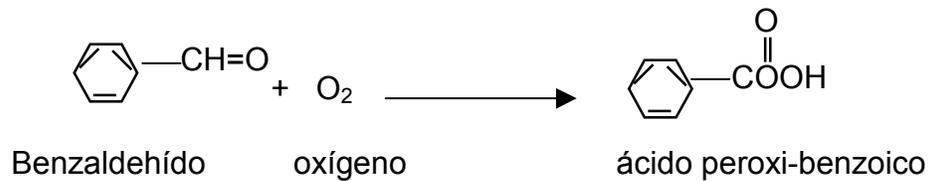
b) *Hasta hidrocarburos:* Para esta reducción son posibles dos caminos, según que la molécula donde se halla el grupo carbonilo sea estable a los ácidos o las bases. Si la molécula es estable a los ácidos se usa la reducción de Clemensen, llevada a cabo con amalgama de cinc y ácido clorhídrico. En la reacción se muestra sólo el producto de interés ya que los mecanismos de las reacciones intermedias no son muy conocidos.



4) *Oxidación de aldehídos:* Los aldehídos se oxidan a ácidos orgánicos mediante a acción del óxido de plata o la de una solución de permanganato potásico:



Algunos aldehídos se oxidan incluso por la acción del oxígeno atmosférico, como ocurre con el benzaldehído y el acetaldehído.



### 5.3.2 Efectos de los Aldehídos:

A continuación se nombran los efectos causados por la exposición al formaldehído los cuales pueden ser agudos (a corto plazo) y crónicos (a largo plazo).

**Efectos agudos:** Los mayores efectos tóxicos por exposición aguda vía inhalación son irritación en los ojos, nariz, garganta y efectos en la cavidad nasal. Otros efectos por la exposición a altos niveles de formaldehído son la tos, dificultad para respirar (jadeo), dolor en el pecho y bronquitis. La exposición por ingestión puede producir ardor del tracto gastrointestinal e inflamación y ulceración de la boca, esófago y estómago.

**Efectos crónicos:** La exposición crónica al formaldehído por inhalación ha sido asociada con síntomas respiratorios, irritación de los ojos, nariz y

garganta. El contacto repetido con soluciones líquidas de formaldehído produce irritación superficial y dermatitis alérgica por contacto.

Riesgos cancerígenos: Estudios ocupacionales han demostrado asociación entre la exposición al formaldehído y el incremento en la incidencia del cáncer del pulmón y el nasofaríngeo. Se considera que esta evidencia es limitada en lugar de suficiente, debido a la posible exposición a otros agentes que pueden haber contribuido al cáncer. La U.S EPA considera al formaldehído como un probable carcinógeno humano y lo a ubicado en el grupo B1 de la U.S EPA, considerando una estimación de  $1,3 \times 10^5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (105,84 ppm) como el nivel de riesgo a cáncer.<sup>(U.S EPA, 2001)</sup>

El formaldehído ha sido detectado en el aire ambiental, la concentración promedio reportada en áreas urbanas en los Estados Unidos se encuentra en el rango de 10 a 20 ppb. Las mayores fuentes parecen ser las plantas de energía, industrias de servicios, incineradoras y las emisiones vehiculares.<sup>(U.S EPA, 2001)</sup>

En animales, altas concentraciones de compuestos carbonilos específicamente el formaldehído, pueden producir enfermedades de los pulmones, contribuye a la irritación de los ojos y efectos en otros órganos del cuerpo.<sup>1</sup> Los aldehídos de manera directa o indirectamente pueden causar enfermedades en las plantas como necrosis (muerte de tejidos), decoloración, clorosis (falta de clorofila), inhibición del crecimiento de las plantas <sup>(Cruz, 1974)</sup>. El formaldehído es el mayor compuesto carbonilo en la formación del ozono fotoquímico. Las fuentes de los compuestos carbonilos en la atmósfera van desde ocurrencia natural hasta la formación secundaria a través de reacciones fotoquímicas.

---

<sup>1</sup> National Research Council (1981). *Formaldehyde and Other Aldehydes*. Committee on Aldehydes, Board of Toxicology and Environmental Hazards. Washington, DC.

Valores de exposición al formaldehído: Varias agencias norteamericanas de regulaciones de exposición a contaminantes han determinado valores límites para las concentraciones de formaldehído en ambientes ocupacionales, entre ellos se tienen que la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA) estableció el límite de exposición permisible en  $4,5 \text{ mg/m}^3$  (3,66 ppm). La Conferencia Americana Gubernamental de Higienistas Industriales (ACGIH) expresa la Concentración de Valor Límite Umbral (TLV) como  $1,5 \text{ mg/m}^3$  (1,22 ppm). El Departamento de Salud y Servicios Humanos de los Estados Unidos estableció la concentración letal 50 ( $LC_{50}$ ) como la concentración de un químico en el aire la cual puede causar la muerte del 50% de la población expuesta en un período de tiempo determinado, este valor está establecido para ratas, como  $203 \text{ mg/m}^3$  (165,28ppm).

### 5.3.3 Fuentes de Emisión de los Aldehídos:

Los compuestos carbonilos son emitidos directamente como componentes primarios y formados en la atmósfera como secundarios.

*Fuentes Naturales:* Las fuentes naturales de carbonilos no parecen ser una importante contribución a la contaminación del aire. El acetaldehído es encontrado en manzanas y como coproducto de los procesos alcohólicos de fermentación. Otros aldehídos alifáticos de bajo peso molecular no se encuentran en cantidades significativas en productos naturales. Los aldehídos olefínicos y aromáticos están presentes en algunos de los aceites esenciales de frutas y plantas. Estos incluyen la citronella en los aceites de rosa, citral en el aceite de limón, benzaldehído en el aceite de almendra oscura y el cinnamaldehído en el aceite de canela. (Austin, 1988)

*Fuentes móviles de combustión:* La mayor fuente de compuestos carbonilos en la atmósfera puede ser atribuida a las emisiones vehiculares. En particular, el formaldehído es el mayor compuesto carbonilo en el escape de automóviles contabilizando del 50 al 70 % del total de los contaminantes carbonilos en la atmósfera.<sup>2</sup> Además los vehículos automotores emiten hidrocarburos reactivos que por medio de oxidación fotoquímica producen formaldehído y otros carbonilos en la atmósfera.

*Contaminantes Secundarios:* Como contaminantes secundarios (formados en la atmósfera), los carbonilos son formados por muchos mecanismos complejos de foto-oxidación involucrando compuestos orgánicos volátiles con óxidos de nitrógeno. Los hidrocarburos biogénicos y antropogénicos (como el isopreno) permiten la formación de carbonilos in situ especialmente compuestos de formaldehído.

*Fuentes de producción:* Los aldehídos son comercialmente manufacturados por varios procesos dependiendo del aldehído en particular. En general son preparados por reacciones de oxidación de hidrocarburos, hidroformulación de alquenos, deshidrogenación de alcoholes y reacciones de adición entre aldehídos y otros compuestos. El formaldehído es manufacturado por la oxidación de metanol.

---

<sup>2</sup> National Research Council (1981). *Formaldehyde and Other Aldehydes*. Committee on Aldehydes, Board of Toxicology and Environmental Hazards. Washington, DC.

## 6. EQUIPOS DE MUESTREO Y ANÁLISIS

En este punto se describen los equipos para la captación de las muestras (equipos de muestreo), y los instrumentos para el análisis químico de las muestras (equipos de análisis) a utilizar en el desarrollo del trabajo, el cual está basado en tres metodologías de las cuales dos son utilizando burbujeadores y análisis por colorimetría y la otra metodología es con cartuchos adsorbentes y el análisis por cromatografía de gases.

### 6.1. EQUIPOS DE MUESTREO

El tren de muestreo está conformado por:

- Un embudo de vidrio cuerpo liso tallo corto de un diámetro de 65 mm, el cual se coloca invertido al final de la tubería como toma de muestra.
- Una tubería de vidrio de 3/8" de diámetro externo y de 7 m. de longitud con conexiones de tygon®, la cual se conecta por un extremo al embudo y por el otro al sistema de recolección (cartuchos o burbujeadores).
- Sistema de recolección por el cual pasa la corriente de aire a muestrear y recolecta el contaminante deseado, el sistema de recolección depende del método a utilizar:

*a) Método de burbujeadores con ácido cromotrópico:* Los burbujeadores son dos (2) botellas de vidrio, de burbujeo de gases, (Ver Anexo A) conectadas en serie, provistas en su interior de un tubo de vidrio que finaliza con un filtro extra-poroso, el cual hace que la corriente de aire entrante se disperse en burbujas muy finas, las cuales facilitan la

absorción del contaminante (aldehídos) en el líquido absorbente contenido en la botella (agua destilada).

*b) Método de burbujeadores con MBTH (3-Metil –benzoatiazolinona hidrazona hidroclicorada):* Un burbujeador de botella de vidrio, de burbujeo de gases, (Ver Anexo A), provistas en su interior de un tubo de vidrio que finaliza con un filtro extra-poroso, el líquido absorbente contenido en la botella es una solución de MBTH al 0,05%.

*c) Método de los cartuchos adsorbentes:* Los cartuchos adsorbentes son cartuchos comerciales (tubos de vidrio) de marca SKC, Inc. modelo 226-10, los cuales están rellenos de sílica gel.

- El sistema de medición de flujo a utilizar es un manómetro de mercurio el cual será previamente calibrado con un medidor de gas húmedo.
- Una trampa de humedad, la cual consiste en un frasco de vidrio relleno con fibra de vidrio, colocada antes de la bomba, con el fin de evitar que pase humedad a la misma.
- Una bomba de vacío, la cual crea el vacío para forzar la corriente de aire medida a pasar a través del sistema de recolección. Las características de la bomba a emplear son: marca: EMERSON; modelo: SA55JXGTD-4144; Velocidad del impulsor: 1.725 RPM; potencia del motor: 1/6 hp.; Voltaje del motor: 115 Hz; Amperaje del motor: 4,4 amp.

A continuación se presenta la figura N° 2 donde se muestra el tren de muestreo.

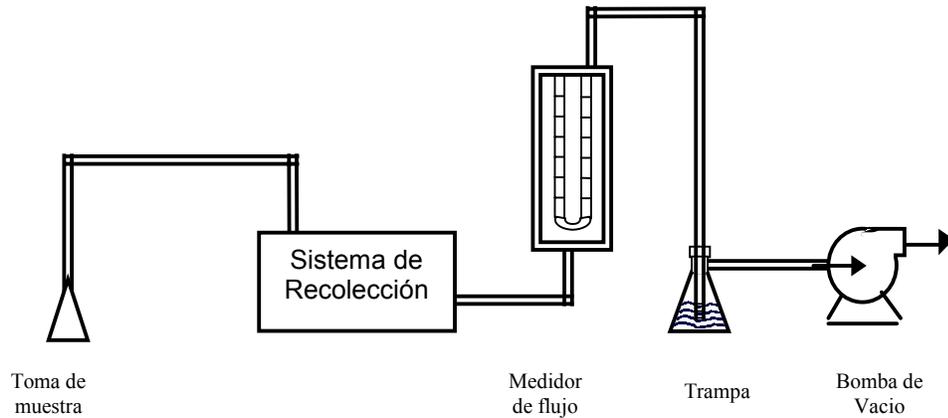


Figura Nº 2: Esquema del Tren de Muestreo

## 6.2. EQUIPOS DE ANÁLISIS

Los instrumentos de análisis a utilizar son un espectrofotómetro UV para los métodos de burbujeadores y un cromatógrafo de gases para el método de cartuchos adsorbentes.

**Espectrofotómetro:** El espectrofotómetro a utilizar es un Spectronic® 20 de Bausch y Lomb. El Spectronic® 20 es un instrumento sencillo, sólo hay tres botones de mando: un selector de longitudes de onda, que hace girar sobre su eje la red de difracción, un mando de corriente oscura, que es eléctrico y un botón de ajuste para el 100% de transmitancia, con el que se desplaza una rendija en forma de V que regula la cantidad de luz que llega a la rendija de salida.

Para los análisis a realizar en el espectrofotómetro, la longitud de onda requerida es de 580 nm para el método de ácido cromotrópico y de 628nm para el método de MBTH. A continuación se muestra el espectrofotómetro a utilizar.



**Spectronic® 20 de Bausch y Lomb**

**Cromatógrafo de Gases:** El cromatógrafo de gases a utilizar es un Hewlett-Packard 5890 serie II (HP-5890). El cual esta constituido por dos inyectores (columna empaquetada y columna capilar) y dos detectores (ionización de llama y conductividad térmica).

Los componentes básicos de los cromatógrafos de gases son: la fuente de gas portador, la cámara de inyección, la columna cromatográfica y el detector.

A continuación se presenta la tabla N° 3 donde se muestran las condiciones de operación para el análisis de las muestras del monitoreo por el método de cartuchos adsorbentes. Estas condiciones se determinaron experimentalmente en la etapa del pre-muestreo.

**TABLA N° 3: CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL CROMATÓGRAFO**

Gas Portador	Helio
Temperatura del inyector	210 ° C
Tipo de Columna	Porapack U.S.
Temperatura de la columna	180 ° C
Temperatura del detector	210 ° C
Tipo de detector	Ionización de llama. (FID)
Estado Físico de la muestra	Líquido
Cantidad de muestra a inyectar	5 µl

## **7. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL**

En este punto se plantean las estrategias y los procedimientos a utilizar para el desarrollo del trabajo.

La estación experimental para llevar a cabo el muestreo, está ubicada en el Laboratorio de Aire del edificio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela (Ver Anexo B). La toma de muestra se encuentra en la fachada sur de este edificio (Ver Anexo C). Se eligió este lugar ya que cumple con los requisitos generales para los dispositivos y equipos que constituyen un tren de muestreo, además de las condiciones necesarias para la ubicación del sitio de muestreo.

Cabe destacar que en este lugar, es decir en la fachada sur del edificio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, operaba la estación N° 2 de la extinta Red Panamericana de Muestreo del Aire, promovida por la Organización Panamericana de la Salud (OPS).<sup>(Silva, 1996)</sup>

### **1. Muestreo y análisis por el método de los burbujeadores con ácido cromotrópico:**

#### **1.1. Montaje del Equipo.**

1.1.1. Reemplazar las mangueras existentes por tubos de vidrio con conexiones de mangueras de Tygon<sup>®</sup> (material no reactivo).

1.1.2. Colocar un embudo de vidrio invertido al inicio de la tubería, el cual funcionará como la entrada de la toma de muestra.

1.1.3. Conectar las tuberías de vidrio al sistema de recolección, en este caso serán dos burbujeadores colocados en serie con tuberías de Tygon<sup>®</sup>, seguido por un manómetro de mercurio como medidor de flujo

(calibrado con un medidor de volumen de gas) y una bomba de vacío. Como medida de protección de la bomba de vacío se coloca una trampa que consiste en un frasco de vidrio relleno de fibra de vidrio, con el fin de retener la humedad que pueda contener el aire muestreado.

## 1.2. Muestreo y análisis.

El muestreo y análisis se realiza basándose en el método 116. "Tentative Method of Analysis for Formaldehyde Content of the Atmosphere (Colorimetric Method)". (Lodge,1988) El principio del método consiste en que el formaldehído absorbido en el agua destilada reacciona con una solución de ácido cromotrópico y ácido sulfúrico concentrado para formar un monocatión cromógeno púrpura. La absorbancia de la solución coloreada es leída en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 580 nm y es proporcional a la cantidad de formaldehído presente en la solución. El método se explica a continuación.

1.2.1 Curva Patrón: Elaborar una curva patrón con soluciones de concentraciones conocidas, para cuantificar los aldehídos como formaldehído presente en la muestra.

1.2.1.1 Preparar una solución estándar "A" de formaldehído de 1 mg/ml, diluyendo 2,7 ml de solución de formalina al 37% en 1 lt de agua destilada. La normalización de esta solución se describe en el punto 1.2.2.

1.2.1.2 Preparar una solución estándar "B" de formaldehído de 10 µg/ml, diluyendo 1 ml de la solución estándar "A" a 100 ml con agua destilada.

1.2.1.3 Medir alícuotas de 0,01; 0,03; 0,05; 0,07; 0,1; 0,3; 0,5; 0,7; y 2 ml de la solución estándar "B". Diluir a 4 ml con agua destilada en tubos de vidrio tapados (celdas de análisis).

1.2.1.4 Para el desarrollo del color, a cada una de las soluciones anteriores se le agrega 0,1 ml del reactivo ácido cromotrópico al 1% y se le añaden lentamente 6 ml de ácido sulfúrico concentrado. A continuación se muestra el desarrollo del color:



**Desarrollo del Color**

1.2.1.5 Enfriar a temperatura ambiente y luego leer la absorbancia en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 580 nm. No existe cambio en la absorbancia por un período de 3 horas después del desarrollo del color.

1.2.1.6 Graficar la concentración en  $\mu\text{g/ml}$  de formaldehído vs. la absorbancia.

1.2.2 Normalización de la solución de formaldehído.

1.2.2.1 Medir 1 ml de la solución estándar "A" de formaldehído en un frasco y agregar 10 ml de solución de bisulfito de sodio al 1% y 1 ml de solución de almidón.

1.2.2.2 Titular la solución anterior con una solución de yodo 0,1N. La solución vira a un color azul oscuro.

1.2.2.3 Eliminar el exceso de yodo con tiosulfato de sodio 0,05N y agregar solución de yodo al 0,01N hasta obtener un azul débil,

rechazar la gota final. El exceso de bisulfito inorgánico es completamente oxidado a sulfato y la solución esta lista para el análisis del bisulfito de formaldehído formado.

1.2.2.4 Enfriar el frasco en un baño de hielo y agregar 25 ml de solución buffer de carbonato de sodio.

1.2.2.5 Titular el sulfito liberado con la solución de yodo 0,01N usando una microbureta, hasta obtener un azul débil como punto final. La cantidad de yodo que se agrega en este paso es el volumen final de la titulación.

### 1.2.3 Procedimiento de muestreo.

1.2.3.1 Agregar 50 ml de agua destilada (solución absorbente) al primer burbujeadores y 35 ml de agua destilada al segundo (los burbujeadores están colocados en serie con el fin de obtener 100 % de eficiencia).

1.2.3.2 Pasar a través del tren de muestreo un flujo de aire ambiental de 1 l/min por un período de 24 horas. Una vez transcurrido este período se procede al análisis de las muestras.

### 1.2.4 Procedimiento de análisis de las muestras.

1.2.4.1 Transferir la muestra contenida en cada uno de los absorbedores a recipientes graduados de 25 ml o de 50 ml.

1.2.4.2 Registrar el volumen de cada solución y se etiquetar los frascos como "A" y "B" respectivamente.

1.2.4.3 Colocar una alícuota de 4 ml (de cada una de las muestras) en tubos de vidrio o tubos de ensayo con tapa y 4 ml de agua destilada como referencia.

1.2.4.4 Agregar a cada uno de los tubos de vidrio 0,1 ml del reactivo ácido cromotrópico al 1%, mezclar bien y agregar lentamente 6 ml de ácido sulfúrico concentrado. Este paso se realiza

cuidadosamente para evitar salpicaduras del ácido y además la solución se volverá extremadamente caliente al momento de agregar el ácido sulfúrico, se debe trabajar con bata larga y en la campana.

1.2.4.5 Dejar enfriar las soluciones a temperatura ambiente y luego leer la absorbancia en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 580 nm. No existe cambio en la absorbancia por un período de 3 horas después del desarrollo del color.

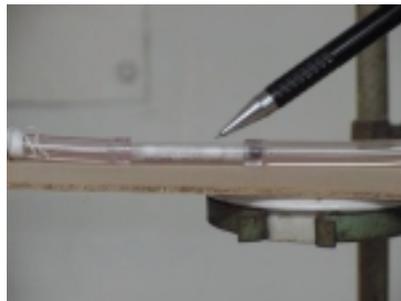
1.2.4.6 Determinar el contenido de formaldehído de la solución muestreada en la curva patrón de solución estándar de formaldehído.

1.2.4.7 Para obtener la concentración total muestreada por los dos burbujeadores en serie, el contenido de formaldehído calculado en “A” será sumado al contenido de formaldehído calculado en “B”

## **2. Muestreo y análisis por el método de los cartuchos adsorbentes**

### **2.1. Montaje del Equipo.**

2.1.1. Se utiliza el mismo tren de muestreo que se instaló previamente para el método de los burbujeadores, remplazando el sistema de recolección (los dos burbujeadores colocados en serie), por un cartucho adsorbente de sílica gel, el cual está compuesto por dos secciones de sílica gel separadas por dos capas de fibra de vidrio para evitar la absorción de humedad. Los cartuchos a utilizar son de marca SKC modelo N° 226-10.



**Cartucho adsorbentes SKC**

## 2.2. Muestreo y análisis.

El muestreo y el análisis para este método se diseñó a partir de estudios específicos de otros aldehídos (como la determinación de glutaraldehído en quirófanos)<sup>(Jordan y otros,1998)</sup> y metodologías de análisis para la determinación de compuestos carbonílicos<sup>(SKC,1999)</sup>, estableciendo el método final a partir de ensayos experimentales.

### 2.2.1. Puesta a Punto del Cromatógrafo de Gases.

2.2.1.1. Preparar soluciones estándar de concentraciones entre 0,06 y 0,5 mg/ml de formaldehído – acetona por disolución en cantidades cuidadosamente medidas en formalina 37,5 % y acetona grado reactivo.

2.2.1.2. Analizar dos veces cada una de las muestras estándar y con la respuesta del cromatógrafo (área del pico) se aplica el método del Estándar Interno (Ver anexo H: Método del estándar Interno).

2.2.1.3. Construir la curva patrón para el cromatógrafo, a partir del área de pico corregida y la concentración obtenidas anteriormente.

### 2.2.2. Procedimiento de muestreo.

2.2.2.1. Pasar a través del tren de muestreo un flujo de aire ambiental de 1 l/min por un período de 24 horas. Una vez transcurrido este período se procede a tapar los cartuchos y almacenarlos refrigerados hasta el análisis de las muestras.

### 2.2.3. Procedimiento de análisis de las muestras.

2.2.3.1. El análisis de las muestras recolectadas semanalmente se realiza por cromatografía de gases.

2.2.3.2. La sílica gel contenida en cada cartucho se retira del mismo y se coloca en un vial con 1 ml de acetona grado reactivo para realizar la extracción del formaldehído presente en el sílica gel.

2.2.3.3. Las muestras se mezclan vigorosamente para lograr una mayor solubilidad.

2.2.3.4. Se inyectan 5 µl de cada una de las muestras en el cromatógrafo. La inyección en el cromatógrafo se hace por duplicado para garantizar la reproductividad y precisión del método.

2.2.3.5. Con los datos reportados por el cromatograma se procede a calcular la concentración de formaldehído en el aire muestreado.

### **3. Muestreo y análisis por el método de los burbujeadores con MBTH (3-Metil –benzoatiazolinona hidrazona hidroclicorada):**

#### **3.1. Montaje del Equipo.**

3.1.1. Se utiliza el mismo tren de muestreo que se instaló previamente para el método de los burbujeadores con ácido cromotrópico, pero en este caso se utiliza un solo burbujeador.

#### **3.2. Muestreo y análisis.**

El muestreo y análisis se realiza basándose en el método 117. "Determination of Formaldehyde Content of the Atmosphere (MBTH Colorimetric Method – Application to Other Aldehydes)". (Lodge, 1988) El principio del método consiste en que los aldehídos en el aire ambiental son recolectados en una solución acuosa al 0,05% de 3-Metil – benzoatiazolinona hidrazona hidroclicorada (MBTH). El resultado del muestreo es oxidado con una solución ácida clorhidrasulfámica férrica para formar una tintura o coloración catiónica azul en medio ácido. La

absorbancia de la solución coloreada es leída en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 628 nm. El método se explica a continuación.

3.2.1 Curva Patrón: Elaborar una curva patrón con soluciones de concentraciones conocidas, para cuantificar la concentración de aldehídos como formaldehído presente en la muestra.

3.2.1.1 Preparar una solución estándar "A" de formaldehído de 1 mg/ml, diluyendo 2,7 ml de solución de formalina al 37% en 1 lt de agua destilada. La normalización de esta solución se describe en el punto 3.2.2.

3.2.1.2 Preparar la solución MBTH al 0,05% disolviendo 0,5 g de MBTH en agua destilada y diluyendo a un litro.

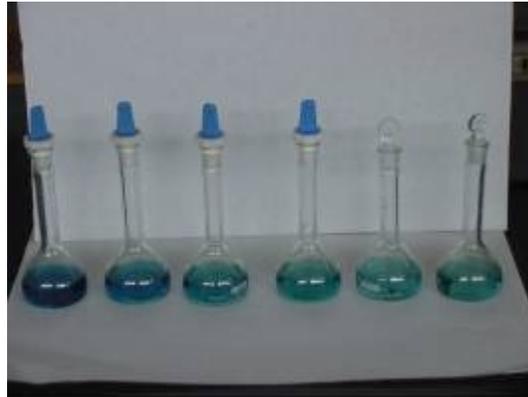
3.2.1.3 Preparar una solución estándar "B" de formaldehído de 10  $\mu\text{g/ml}$ , diluyendo 1 ml de la solución estándar "A" a 100 ml con solución MBTH al 0,05%.

3.2.1.4 Preparar el reactivo oxidante disolviendo 1,6 g de ácido sulfámico y 1 g de cloruro férrico en 100 ml de agua destilada

3.2.1.5 Medir 0; 0,5; 1; 1,5; 3; 5 y 7 ml de la solución estándar de formaldehído "B" en un frasco volumétrico de 100ml. Diluir el volumen con solución MBTH al 0,05%. Estas soluciones contienen 0; 0,05; 0,1; 0,3; 0,5 y 0,7  $\mu\text{g}$  de formaldehído/ml.

3.2.1.6 Después de la última dilución se dejan reposar por una (1) hora para que se complete la reacción.

3.2.1.7 Para el desarrollo del color, se transfieren cada una de las soluciones anteriores a frascos de vidrio con tapa y se le agrega 2 ml del reactivo oxidante y se mezcla fuertemente. A continuación se presenta el desarrollo del color:



**Desarrollo del Color**

3.2.1.8 Después de por lo menos 12 minutos leer la absorbancia en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 628 nm. No existe cambio en la absorbancia por un período de 3 horas después del desarrollo del color.

3.2.1.9 Graficar la concentración en  $\mu\text{g/ml}$  de formaldehído vs. la absorbancia.

3.2.2 Normalización de la solución de formaldehído.

3.2.2.1 Medir 1 ml de la solución estándar "A" de formaldehído en un frasco y agregar 10 ml de solución de bisulfito de sodio al 1% y 1 ml de solución de almidón.

3.2.2.2 Titular la solución anterior con una solución de yodo 0,1N. La solución vira a un color azul oscuro.

3.2.2.3 Eliminar el exceso de yodo con tiosulfato de sodio 0,05N y agregar solución de yodo al 0,01N hasta obtener un azul débil, rechazar la gota final. El exceso de bisulfito inorgánico es completamente oxidado a sulfato y la solución esta lista para el análisis del bisulfito de formaldehído formado.

3.2.2.4 Enfriar el frasco en un baño de hielo y agregar 25 ml de solución buffer de carbonato de sodio.

3.2.2.5 Titular el sulfito liberado con la solución de yodo 0,01N usando una microbureta, hasta obtener un azul débil como punto final. La cantidad de yodo que se agrega en este paso es el volumen final de la titulación.

### 3.2.3 Procedimiento de muestreo.

3.2.3.1 Agregar 35 ml de MBTH al 0,05% (solución absorbente) en el absorbedor o burbujeador (con esto se obtiene una eficiencia del 84%).

3.2.3.2 Pasar a través del tren de muestreo un flujo de aire ambiental de 1 l/min por un período de 24 horas. Una vez transcurrido este período se procede al análisis de las muestras.

### 3.2.4 Procedimiento de análisis de las muestras.

3.2.4.1 Transferir la muestra contenida en el absorbedor a un cilindro graduado de 50 ml, diluir a 35 ml con agua destilada.

3.2.4.2 Dejar reposar durante una (1) hora para que se complete la reacción.

3.2.4.3 Colocar una alícuota de 10 ml de solución de muestreo en un tubo de vidrio o tubo de ensayo con tapa y 10 ml de solución de MBTH al 0,05% como referencia o blanco.

3.2.4.4 Agregar a cada uno de los tubos de vidrio 2 ml del reactivo oxidante y mezclar fuertemente.

3.2.4.5 Después de por lo menos 12 minutos leer la absorbancia en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 628 nm. No existe cambio en la absorbancia por un período de 3 horas después del desarrollo del color.

3.2.4.6 Determinar el contenido de formaldehído de la solución muestreada en la curva patrón de solución estándar de formaldehído.

## **8. PLAN DE EXPERIENCIAS**

El plan de experiencias describe la planificación de la metodología experimental para el desarrollo del trabajo.

Durante las primeras cuatro semanas de trabajo se realizó la instalación del tren de muestreo, la elaboración de las curvas patrones para los análisis y se establecieron las condiciones de operación del cromatógrafo de gases. Se realizó un pre-muestreo por los métodos a utilizar (burbujeadores y cartuchos adsorbente), con el fin de poner a punto el tren de muestreo, así como los equipos de análisis (espectrofotómetro y cromatógrafo de gases).

El muestreo se llevó a cabo durante 4 semanas para las metodologías de burbujeadores (ácido cromotrópico y MBTH) y 6 semanas para la metodología de cartuchos adsorbentes. Se obtuvieron un total de 16 muestras en el método de ácido cromotrópico, 11 muestras para el método de MBTH y 25 para cartuchos adsorbentes.

Siguiendo la normativa internacional para muestreos ambientales, el período de muestreo fue de 24 horas para cada una de las muestras. En el muestreo de los burbujeadores, una vez cumplidas las 24 horas del período de muestreo, se desmontaban los burbujeadores para desarrollar el color y luego se analizaba por espectrofotometría. En el caso de los cartuchos adsorbentes, una vez realizado el muestreo se desmontaba el cartucho y se refrigeraba en su empaque hasta el análisis por cromatografía de gases, el cual se realizaba una vez por semana.

Adicionalmente al plan de muestreo establecido, se realizó un muestreo en el cual se captaron 4 muestras por el método de MBTH, con períodos de muestreo más cortos (6, 12 y 18 horas), para comparar con las muestras captadas durante 24 horas.

A continuación se muestra la Tabla N° 4 en la cual se esquematiza el Plan de experiencias.

**TABLA N° 4: PLAN DE EXPERIENCIAS**

<b>MÉTODO</b>	<b>ÁCIDO CROMOTRÓPICO</b>	<b>MBTH</b>	<b>CARTUCHOS ADSORBENTES</b>
<b>NÚMERO DE SEMANAS</b>	4	4	6
<b>TOTAL DE MUESTRAS</b>	16	11	25
<b>PERÍODO DE MUESTREO</b>	24 Horas	24 Horas	24 Horas
<b>TIPO DE ANÁLISIS</b>	Espectrofotometría ( $\lambda = 580 \text{ nm}$ )	Espectrofotometría ( $\lambda = 628 \text{ nm}$ )	Cromatografía de Gases
<b>FRECUENCIA DE ANÁLISIS</b>	Diaria	Diaria	Semanal

## **9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

En esta sección se analizan los resultados obtenidos en cada uno de los métodos empleados para el desarrollo de este trabajo y luego se realiza la comparación entre las metodologías.

Los resultados se obtuvieron a partir de una serie de datos los cuales fueron medidos y registrados en una hoja de reporte diario (Anexo I). Los datos registrados en la hoja son:

- La ubicación del sitio de muestreo.
- El método utilizado para la determinación de formaldehído en el aire ambiental.
- El número de la muestra
- El flujo de aire de muestreo.
- Presión y temperatura ambiental, precipitación (Estos datos fueron suministrados por la estación de meteorología de la U.C.V.).
- Fecha y hora de muestreo.
- Instrumento utilizado en el análisis de las muestras y el parámetro medido.
- Observaciones.

Los datos mencionados anteriormente para cada uno de los métodos son reportados en las tablas de datos J.1, J.2 y J.3 del Anexo J: Tablas de Datos y Resultados Intermedios.

### **1. Método de Burbujeadores con Ácido Cromotrópico.**

Una vez cumplido el período de muestreo se midió la absorbancia de la muestra y se obtuvo el valor de concentración de la misma, a partir de la

Curva Patrón (Anexo D). Con este valor y los datos de muestreo se obtuvieron los resultados intermedios (mostrados en la tabla J.4 del anexo J) que se utilizaron para calcular la concentración de formaldehído en el aire ambiental como se explica en el Anexo .G: Cálculos Tipo.

Como resultado del método, se obtuvieron valores de concentraciones de formaldehído en el aire ambiental, entre 0,15 y 2,5 ppb. A continuación se presenta la Tabla N° 5: Concentración de Formaldehído en el Aire Ambiental para el Método de Burbujeadores con Ácido Cromotrópico.

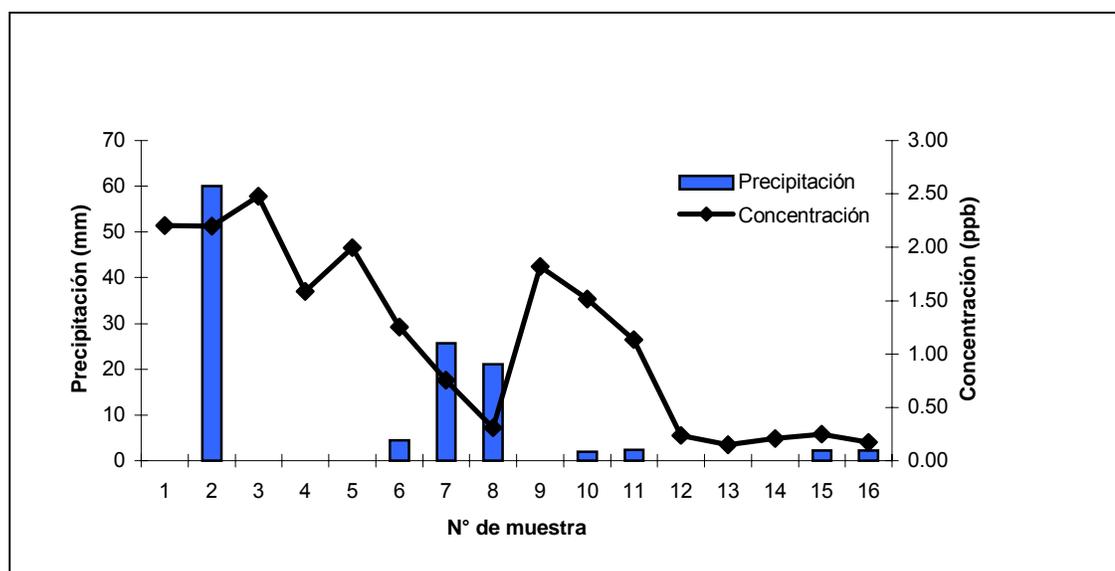
**TABLA N° 5: CONCENTRACIÓN DE FORMALDEHÍDO EN EL AIRE. MÉTODO DE BURBUJEADORES CON ÁCIDO CROMOTRÓPICO.**

Fecha (año 2001)	N° de muestra	Concentración (ppb)
17/4 - 18/4	1	2,21
8/5 - 9/5	2	2,20
9/5 - 10/5	3	2,48
10/5 - 11/5	4	1,59
14/5 - 15/5	5	1,99
15/5 - 16/5	6	1,26
16/5 - 17/5	7	0,75
17/5 - 18/5	8	0,31
21/5 - 22/5	9	1,82
22/5 - 23/5	10	1,51
23/5 - 24/5	11	1,14
24/5 - 25/5	12	0,24
28/5 - 29/5	13	0,15
29/5 - 30/5	14	0,21
30/5 - 31/5	15	0,25
31/5 - 1/6	16	0,17

En la tabla anterior se puede observar que los valores de concentraciones más altos se encontraron al inicio del período de muestreo. Cabe destacar que estas muestras fueron captadas a finales de la época considerada de sequía en nuestro país. Luego de producirse las primeras lluvias, las concentraciones disminuyeron. Posiblemente si el muestro se hubiera realizado en toda la época de sequía, los valores de las concentraciones serían mayores.

A continuación se presenta el gráfico N° 1: Precipitación vs Concentración en el cual se puede observar el efecto de la lluvia en la concentración de formaldehído en el aire ambiental.

**GRÁFICO N° 1: PRECIPITACIÓN VS CONCENTRACIÓN**



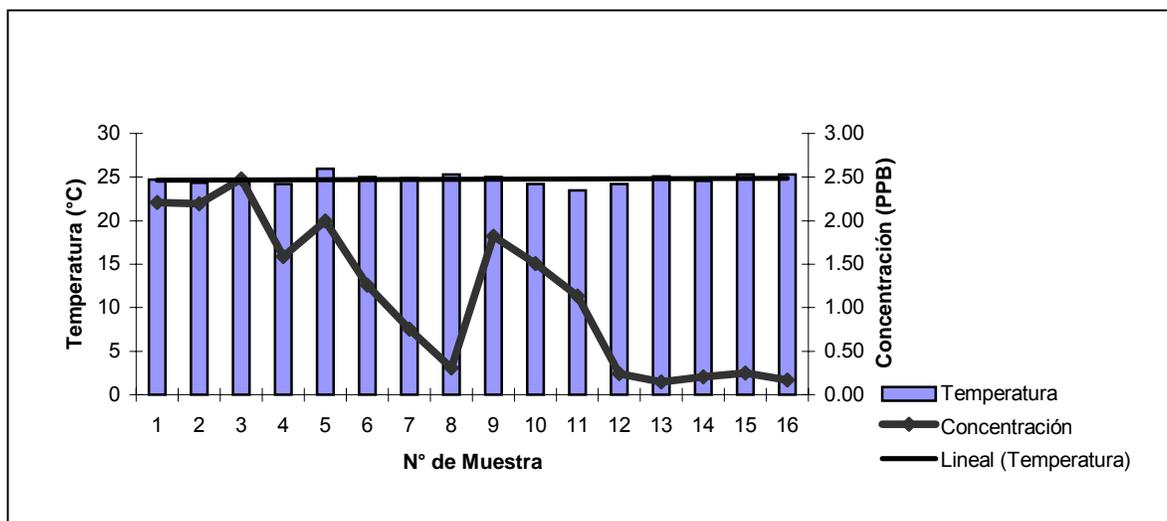
En el gráfico anterior se puede observar que el máximo valor de concentración se obtuvo en la muestra N° 3, la cual corresponde al siguiente día de un torrencial aguacero de 4 horas, el cual trajo como consecuencia un congestionamiento general en toda la ciudad (ver Anexo M).

El valor de la concentración en la muestra N° 3 fue el mayor, debido a que con el fuerte tráfico del día anterior, las emisiones de hidrocarburos a la atmósfera proveniente de los escapes de los vehículos automotores, pudieron haber aumentado, al igual que la producción y reactividad de los aldehídos.

A excepción de la muestra N° 3, se puede apreciar que en general, la concentración de formaldehído en el aire ambiental, tiende a disminuir con la precipitación. Pareciera que en la muestra N° 9 la concentración aumentara considerablemente, sin embargo, hay que destacar que entre la captación de la muestra N° 8 y la N° 9 hay un desfase de 3 días, en los cuales no hubo precipitación y por lo tanto los aldehídos tienden a concentrarse en la atmósfera.

Además de la precipitación, otro factor metereológico que se tomó en cuenta en este trabajo, fue la temperatura ambiental. En el gráfico N° 2: Temperatura vs Concentración, se muestra el efecto de la Temperatura en la concentración de formaldehído en el aire ambiental.

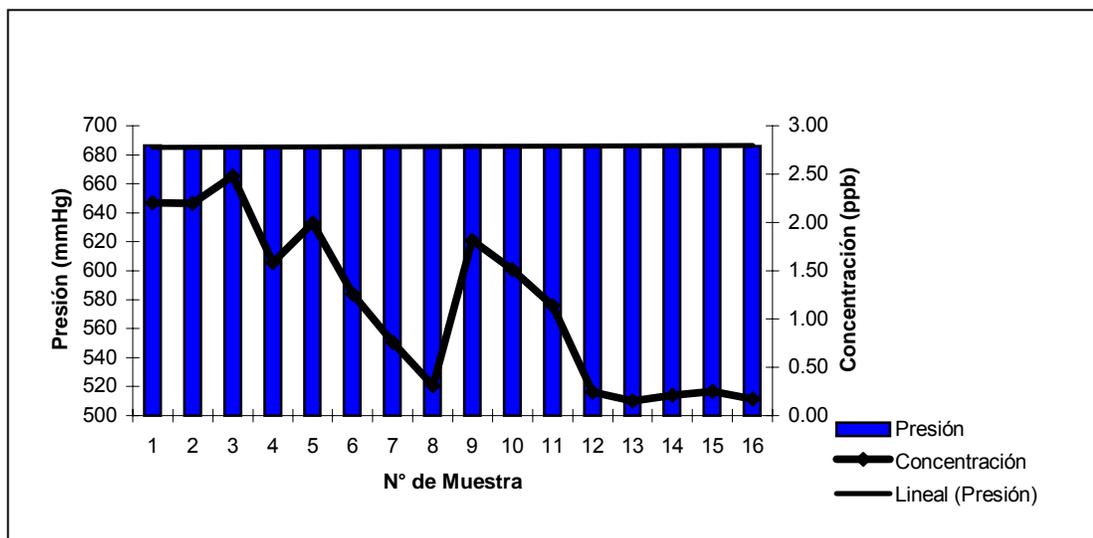
**GRÁFICO N° 2: TEMPERATURA VS CONCENTRACIÓN**



Como se puede apreciar en el gráfico anterior, la concentración varía arbitrariamente y la temperatura se mantiene dentro de un rango constante, con lo cual se puede decir, que la concentración no es tan dependiente de la temperatura, como lo es de la precipitación.

A continuación se muestra el gráfico N° 3: Presión vs Concentración, en el cual se puede observar que la presión se mantiene constante a lo largo del muestreo, por lo cual no existe relación entre la presión y la variación de la concentración.

**GRÁFICO N° 3: PRESIÓN VS CONCENTRACIÓN**



## 2. Método de Cartuchos Adsorbentes.

El método de cartuchos adsorbentes se diseñó con base a información bibliográfica sobre medición de compuestos carbonilos a nivel ocupacional para aldehídos específicos.

De igual forma que el método de burbujeadores con ácido cromotrópico, se obtuvo la tabla de datos J. 2 (Anexo J), con los datos recolectados para este método y la curva de calibración del cromatógrafo de gases (Anexo E), se obtuvieron los resultados intermedios que se presentan en la tabla J 5, con los cuales se procedió a calcular las concentraciones de formaldehído en el aire ambiental.

En este método se obtuvo un único valor de concentración de formaldehído en el aire ambiental, correspondiente a la muestra N° 12 (3/7 – 4/7), en la cual se obtuvo una concentración de 0,738 ppm.

El día 3 de julio de 2001 se produjeron disturbios en los cuales se incendió una unidad de transporte a 7 metros del sitio de captación, en el incendio se produjeron emisiones de hidrocarburos en gran cantidad que probablemente generaron mayor cantidad de aldehídos y radicales libres, como consecuencia de estos disturbios se obtuvo una muestra muy concentrada de formaldehído.

En la elaboración de la curva de calibración del cromatógrafo de gases no se pudieron cuantificar concentraciones por debajo de 0,057 mg/ml en la muestra, lo que representa 29 ppb de formaldehído en el aire ambiental. Las concentraciones por debajo de la antes mencionada eran detectadas por el aparato más no cuantificadas, es decir, el cromatograma arrojaba el pico correspondiente al formaldehído, pero no reportaba el % de área del pico.

Tomando como referencia las concentraciones de formaldehído en el aire ambiental, obtenidas por el método de ácido cromotrópico, las cuales se encontraban por debajo de los 2,5 ppb, se puede decir que las concentraciones en las muestras no eran cuantificadas por el cromatógrafo, ya que estaban por debajo del límite de cuantificación del método (29 ppb).

### 3. Método de Burbujeadores con MBTH.

Al igual que en el método de burbujeadores con ácido cromotrópico el valor de concentración de la muestra se obtuvo a partir de la Curva Patrón (Anexo F), con la absorbancia medida para cada muestra. Con los datos de muestreo y el valor de la concentración de la muestra, se obtuvieron los resultados intermedios (mostrados en la tabla J.6 del anexo J) que se utilizaron para calcular la concentración de formaldehído en el aire ambiental como se explica en el Anexo .G: Cálculos Tipo.

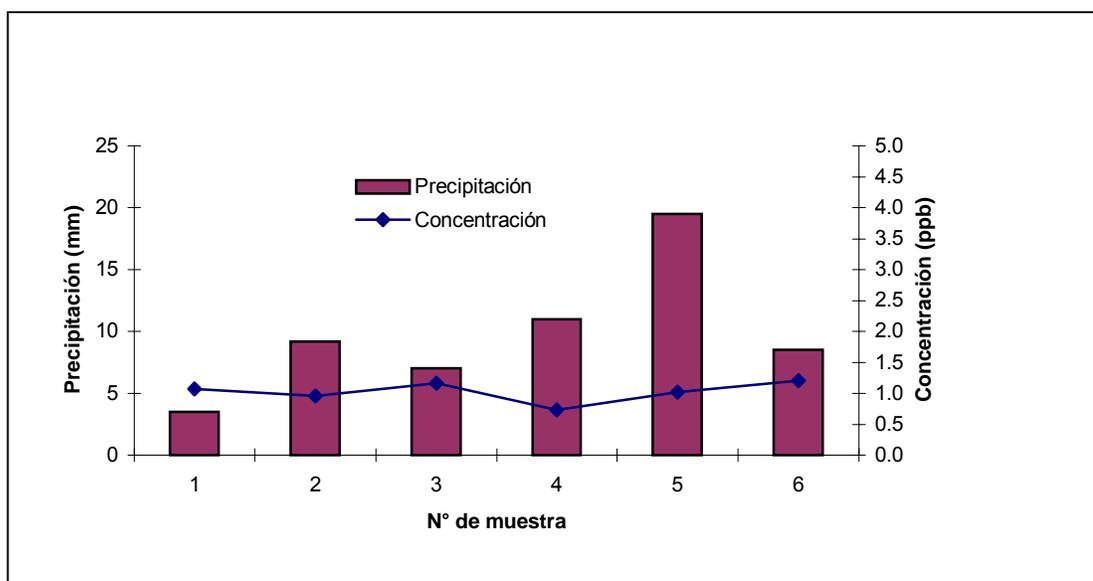
En la tabla N° 6: Concentración de formaldehído en el aire. Método de burbujeadores con MBTH, se presentan los resultados de concentración obtenidos para este método.

**TABLA N° 6: CONCENTRACIÓN DE FORMALDEHÍDO EN EL AIRE.  
MÉTODO DE BURBUJEADORES CON MTBH.**

<b>Fecha</b> (año 2001)	<b>N° de muestra</b>	<b>Concentración (ppb)</b>
31/7 - 1/8	1	1,03
1/8 - 2/8	2	0,95
2/8 - 3/8	3	1,16
5/8 - 6/8	4	0,73
6/8 - 7/8	5	1,01
7/8 - 8/8	6	1,19
8/8 - 9/8	7	1,15
9/8 - 10/8	8	1,26
13/8 - 14/8	9	0,94
14/8 - 15/8	10	1,57
16/8 - 17/8	11	1,27

En este método se obtuvieron concentraciones entre 0,73 y 1,57 ppb de formaldehído en el aire. Cabe destacar que el muestreo se realizó en el período de lluvias observándose que todas las concentraciones se mantuvieron aproximadamente constantes dentro de un rango, como se puede apreciar en el gráfico N° 4: Precipitación vs Concentración, que se muestra a continuación.

**GRÁFICO N° 4: PRECIPITACIÓN VS CONCENTRACIÓN (MBTH)**



Adicionalmente al muestreo anterior se capturaron 4 muestras con periodos de tiempo mas cortos (6, 12, y 18 horas), con la finalidad de comparar con las muestras captadas durante 24 horas. A continuación se muestra la tabla N° 7 con los datos y resultados obtenidos.

**TABLA Nº 7: MUESTRAS CON PERÍODOS DE MUESTREOS CORTOS.**

Fecha (año 2001)	Período de Muestreo	Concentración (µg/ml)	Concentración (ppb)
13/8 - 14/8	7:00 pm a 7:00 am	0,194	1,01
14/8 - 14/8	7:40 am a 1:20 pm	0,522	5,76
16/8 - 16/8	8:36 am a 2:46 pm	0,288	2,91
16/8 - 17/8	3:00 pm a 9:00 am	0,378	1,31

En la tabla anterior se puede apreciar que las muestras tomadas en períodos de tiempo más cortos, arrojan como resultado valores en la concentraciones de formaldehído en el aire ambiental, mayores a las obtenidas en 24 horas. Cabe destacar que en las muestras tomadas en el período que abarca las horas de la mañana y las primeras horas de la tarde las concentraciones son notablemente mayores que en las muestras tomadas en horas de la tarde y noche, esto se debe a que la mayor concentración de aldehídos en el aire se produce en las horas de mayor tránsito vehicular.

#### **4. Comparación de las Metodologías**

Continuando con la discusión de resultados, ahora enfocada en las características de cada una de las metodologías aplicadas (en cada método), las cuales servirán como criterios de comparación entre las misma, se puede decir que:

- El método de burbujeadores con ácido cromotrópico es el más complejo en cuanto al manejo de reactivos y la preparación de soluciones para la curva patrón y el análisis diario de las muestras captadas, debido a que se requiere el uso de reactivos peligrosos (como el ácido sulfúrico concentrado), que deben ser manipulados con las debidas medidas de seguridad. El método MBTH es igual de complejo que el método anterior, en

cuanto a la preparación de soluciones y de la curva patrón, sin embargo, no requiere del uso diario de reactivos peligrosos para el análisis de las muestras. El método de cartuchos adsorbentes es un método muy simple, de manejo sencillo y no requiere la utilización diaria de reactivo peligrosos, el único reactivo utilizado es la acetona.

- El tiempo que se requiere para el montaje y análisis de las muestras en el método de cartucho es de aproximadamente 10 minutos diarios para el montaje y de 2 horas (un día por semana) para el análisis cromatográfico de todas las muestras semanales, para el método de ácido cromotrópico se emplea alrededor de 1 hora diaria en el análisis y montaje de las muestras; en el caso del método de MBTH se requiere de aproximadamente 2 horas diarias para el montaje y análisis de las muestras.

- El método de burbujeadores con ácido cromotrópico permitió determinar valores comprendidos entre 0 y 3 ppb de formaldehído en el aire ambiental, el método de burbujeadores con MBTH permitió determinar valores comprendidos entre 0 y 1 ppb de formaldehído en el aire ambiental, mientras que, con el método de cartuchos adsorbentes solo podría obtener concentraciones por encima de los 29 ppb.

- Para establecer la precisión de cada uno de los métodos, se utilizó como criterio, la repetitividad de los resultados en un mismo método, motivo por el cual en el método de cartuchos adsorbentes no se pudo establecer la precisión del mismo, debido a que solo se obtuvo un valor de concentración de formaldehído en el aire ambiental. En los métodos de ácido cromotrópico y MBTH se observó que las concentraciones obtenidas se mantiene en valores muy cercanos, siguiendo el comportamiento esperado de acuerdo a la teoría, (por ejemplo, las precipitaciones diluyen los contaminantes en el aire) por lo cual se puede decir que estos métodos son precisos, sin

embargo, para condiciones atmosféricas similares se obtuvo mayor repetitividad de los resultados en el método de ácido cromotrópico.

- En los métodos de ácido cromotrópico y MBTH los reactivos utilizados para la estandarización de soluciones son comunes, sin embargo en el método de MBTH la solución absorbente y la utilizada para la preparación de la curva patrón es el 3 metil-benzoatiazolinona hidrazona hidroclicorada (MBTH), reactivo sumamente costoso. Para el método de los cartuchos adsorbentes solo se utiliza acetona como solvente y los cartuchos adsorbentes. A continuación se muestra la tabla N° 8 Costos de Inversión, los cuales se utilizaron para estimar la inversión realizada para cada método.

**TABLA N° 8: COSTOS DE INVERSIÓN.**

	<b>Precio por Rubro (Bs)</b>		
	<b>Ac. Cromotrópico</b>	<b>Cartuchos Adsorbentes</b>	<b>MBTH</b>
Acido Cromotrópico	23.252	—	—
MBTH	—	—	99.162
Acetona		8.700	
Acido Sulfúrico	9.800	—	9.800
Acido Sulfámico	11.739	—	11.739
Cloruro Férrico	13.550	—	13.550
Formalina 37,5 %	28.100	28.100	28.100
Carbonato de Sodio	9.900	—	9.900
Bisulfito de Sodio	10.750	—	10.750
Cartuchos Adsorbentes de Silica Gel (50 unidades)	—	50.000	—
<b>I.V.A. (14,5%) en Bs</b>	<b>15.528</b>	<b>12.586</b>	<b>26.535</b>
<b>Total en Bs.</b>	<b>122.619</b>	<b>99.386</b>	<b>209.536</b>

Productos adquiridos en Didacta C.A. a excepción de los Cartuchos Adsorbentes los cuales fueron adquiridos en Optiproductos Seguridad Industrial.

- La facilidad de adaptación de los métodos a la estación experimental, depende de la infraestructura y equipos disponibles. En este sentido los métodos de absorción con burbujeadores fueron totalmente adaptables, ya que en la estación se dispone del sistema de recolección de muestra, preparación y del equipo de análisis (espectrofotómetro), sin embargo, para el método de cartuchos adsorbentes, en la estación experimental no se cuenta con el equipo de análisis (cromatógrafo de gases), por lo cual los análisis cromatográficos de las muestras, se realizaban una vez por semana en el Laboratorio de Ingeniería Química del Departamento de Procesos Químicos, del Instituto Universitario de Tecnología “Dr. Federico Rivero Palacio”. Región Capital.

A continuación se muestra la tabla N° 9 Comparación de Metodologías en la cual se resume la comparación de las metodologías.

**TABLA N° 9: COMPARACIÓN DE METODOLOGÍAS.**

	<b>Ácido. Cromotrópico</b>	<b>Cartuchos Adsorbentes</b>	<b>MBTH</b>
<b>Sencillez</b>	Complejo	Sencillo ✓	Complejo
<b>Tiempo Semanal</b>	5 Horas	3 Horas ✓	10 Horas
<b>Límite</b>	< 3 ppb ✓	> 29 ppb	< 2 ppb ✓
<b>Precisión</b>	Más preciso ✓	No se determinó	Preciso
<b>Costos</b>	Bs. 122.619 ✓	Bs. 99.386 ✓	Bs. 209.536
<b>Adaptabilidad</b>	Buena ✓	No hay cromatógrafo	Buena ✓

Finalmente, comparando los valores de concentración de formaldehído en el aire ambiental obtenidos en los tres métodos, con los valores reportados en un estudio realizado en ocho ciudades de los Estados Unidos de América los cuales arrojaron valores entre 10 y 20 ppb, se tiene que las concentraciones en el aire ambiental obtenidas en este estudio se encuentran muy por debajo de estos valores (0,1 a 2,5 ppb).

## 10. CONCLUSIONES

A continuación se presentan las conclusiones del trabajo realizado:

- Las concentraciones de formaldehído en la atmósfera urbana de los alrededores de la estación experimental, se encuentran entre 0,1 y 2,5 ppb.
- No se obtuvieron resultados de concentraciones de formaldehído en el aire ambiental, para el método de los cartuchos adsorbentes ya que el límite inferior de cuantificación de este método es de 29 ppb.
- El método de los cartuchos adsorbentes es aplicable para atmósferas con altas concentraciones de formaldehído en el aire.
- Los valores de concentraciones más altos se encuentran al inicio del período de muestreo los cuales coinciden con la última etapa de la época de sequía, y tienden a disminuir con el inicio del período de lluvias, lo cual permite concluir que la concentración de formaldehído en el aire ambiente, disminuye con las precipitaciones por efecto de dilución.
- La concentración de formaldehído en el aire ambiental, no presenta variaciones significativas para los datos de temperatura y presión medidas a lo largo del período de muestreo.
- Los mayores niveles de concentración se obtienen en las horas de mayor tránsito vehicular.

- Los valores de concentraciones encontrados en la estación experimental montada en el Laboratorio de aire del Edificio de Ingeniería Sanitaria de la Facultad de Ingeniería de la U.C.V. se encuentran por debajo de los valores reportados en un estudio realizado en ocho ciudades distintas de Estados Unidos de América.

- De las tres metodologías aplicadas en este estudio, el método de los Cartuchos Adsorbentes no es adaptable a la estación experimental ya que con él no se logran determinar las concentraciones presentes en la atmósfera urbana de los alrededores de la estación experimental y por no disponer del equipo de análisis en el sitio de muestreo. El método más adecuado a la estación experimental, es el de los burbujeadores con ácido cromotrópico para la determinación de formaldehído en el aire ambiental, ya que es un método preciso, se adapta a los equipos disponibles, con el cual se logra cuantificar las concentraciones presentes en la atmósfera urbana de la estación experimental y no es tan costoso como el método de burbujeadores con MBTH.

## 11. RECOMENDACIONES

Con la finalidad de ampliar aún más este trabajo y de promover la importancia de medir concentraciones reales de aldehídos en el aire ambiental, dentro de las ciudades de nuestro país y que se puedan utilizar estos resultados en evaluaciones de riesgo y desarrollos futuros de políticas de control ambiental, se presentan a continuación algunas recomendaciones:

- Realizar un muestreo ambiental de formaldehído, el cual abarque el período completo de sequía y de lluvia, con el fin de determinar las concentraciones de formaldehído en condiciones críticas.
- Instalar dos trenes de muestreo adicionales con el fin de realizar muestreos con las metodologías en paralelo para validar los resultados en las mismas condiciones ambientales.
- Basándose en la metodología expuesta en este trabajo, se recomienda incluir en las prácticas de laboratorio de la asignatura Contaminación Atmosférica, la práctica para la determinación de aldehídos en el aire ambiental, la cual fue adaptada a las condiciones del laboratorio de aire, de manera que los resultados de las prácticas y los obtenidos en este trabajo, puedan servir como base de datos disponibles, para promover el desarrollo de programas de monitoreo de calidad del aire en nuestro país.
- Realizar ensayos utilizando diferentes columnas cromatográficas u otro cromatógrafo de mayor precisión, con el fin de cuantificar concentraciones de formaldehído en el aire ambiental menores de los 29 ppb con el método de cartuchos adsorbentes.

## 12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Austin, G. (1988). *Manual de Procesos Químicos en la Industria*. (1ª ed.). México: McGraw-Hill.

Bravo, H., Camacho, R., Roy-Ocotla, R., Sosa, R. y Torres, R. (1990). Analysis of the Change in Atmospheric Urban Formaldehyde and Photochemistry Activity as a Result of Using Methyl-t-Butyl-Ether (MTBE) as an Additive in Gasolines of the Metropolitan Area of Mexico City. *Atmospheric Environment*, 1991, 25 (2), 285-288.

Cáceres, R. (1995). *Vigilancia y Control de la Contaminación Atmosférica en el Valle de Caracas*. Ponencia presentada en el I Simposio de Contaminación Atmosférica en el Valle de Caracas. Caracas.

Cruz, D. (1974). *Cromatografía de gases. Contribución al estudio de la dinámica de contaminantes en la atmósfera*. Trabajo Especial de Grado para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad Central de Venezuela, Caracas.

Escalona, L. (2000, junio). *Red de Monitoreo Atmosférico en Valencia*. Ponencia presentada en el II Simposio Sobre Contaminación Atmosférica y Salud, Ciudad Universitaria, Caracas.

ESMAP: Programa de Asistencia para la gestión del Sector de Energía. (diciembre 1997). *Eliminación del Plomo en la Gasolina en América Latina y el Caribe*. Informe situacional. Washington D.C. U.S.A.

ESMAP: Programa de Asistencia para la gestión del Sector de Energía. (junio 1998). *Armonización de las Especificaciones de los Combustibles en América Latina y el Caribe*. Informe situacional. Washington D.C. U.S.A.

Fessenden, R. y Fessenden, J. (1983). *Química Orgánica*. (1ª ed.). México: Grupo Editorial Iberoamerica.

Jordan, S., Stowers, M., Trawick, E., Wass, T. y Wellons, S. (1998). Laboratory and Hospital Evaluation of Four Personal Monitoring Methods for Glutaraldehyde in Ambient Air. *American Industrial Hygiene Association AIHA Journal*, 1998, 59 (2),96-103.

LaDou, J. (1999). *Medicina Laboral y Ambiental*. (2ª ed.). México D.F.: Manual Moderno.

Lodge, J. (Ed). (1988). *Methods of Air Sampling and Analysis*. (3ª ed). USA. Lewis Publishers, Inc.

Martínez, A. y Romieu, I. (1999). *Introducción al monitoreo atmosférico*. [Libro en línea]. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud (ECO/OPS). Disponible [http://cepis/CEPIS-OPSportada\\_files/monitore.html](http://cepis/CEPIS-OPSportada_files/monitore.html) [Consulta: 2000, noviembre 26].

Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables. (MARNR). (s.f.) *El Aire en Venezuela*. [Documento en línea]. Disponible: <http://www.marnr.gov.ve/dai1.htm#salto19> [consulta: 1999, julio 30].

Morrison, R. y Boyd, R. (1976). *Química Orgánica*. (1ª ed.). U.S.A.: Fondo Educativo Interamericano, S.A.

National Research Council (1981). *Formaldehyde and Other Aldehydes*. Committee on Aldehydes, Board of Toxicology and Environmental Hazards. Washington, D.C. U.S.A.

Omaña, E. (1981). *Apuntes sobre Saneamiento Ambiental. Recurso aire*. Maracay: Escuela Internacional de Malariología y Saneamiento Ambiental. MSAS.

Perry, R. (1986). *Biblioteca del Ingeniero Químico*. (2ª ed español). Vol. 1. Sección 3: Datos de Física y Química (p. 3-31, p. 3-55). México: McGraw-Hill.

Perry, R. (1986). *Biblioteca del Ingeniero Químico*. (2ª ed español). Vol. 4. Sección 16: Adsorción e intercambio iónico (p. 16-2). México: McGraw-Hill.

Petróleos de Venezuela (PDVSA). Gerencia Corporativa de Protección Integral. (julio 1990). *Manual de Información de Productos Químicos*. Venezuela.

Salas, L. y Singh, H. (1985). Measurements of Formaldehyde and Acetaldehyde in the Urban Ambient air. *Atmospheric Environment*, 1986, 20 (6), 1301-1304.

Silva, G. (1996). *Evaluación de la calidad del aire en la fachada sur del edificio de Ingeniería Sanitaria de la U.C.V.* Trabajo Especial de Grado para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad Central de Venezuela, Caracas.

SKC (1999). *La Referencia Esencial para el Muestreo de Aire.* Catálogo completo y guía de muestreo de aire. (Vol. 1). EE.UU. SKC Inc.

Skoog, D. Y West D. (1965). *Analytical Chemistry An Introduction.* U.S.A.: Holt, Rinehart and Winston.

Treybal, R. (1988). *Operaciones de transferencia de Masa.* (2ª ed.). México: McGraw-Hill.

U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Center for Environmental Research Information. (1999, January). *Compendium of Methods for the Determination of Toxic Organic Compounds in Ambient Air.* Compendium Method TO-11A .Second Edition. Cincinnati.

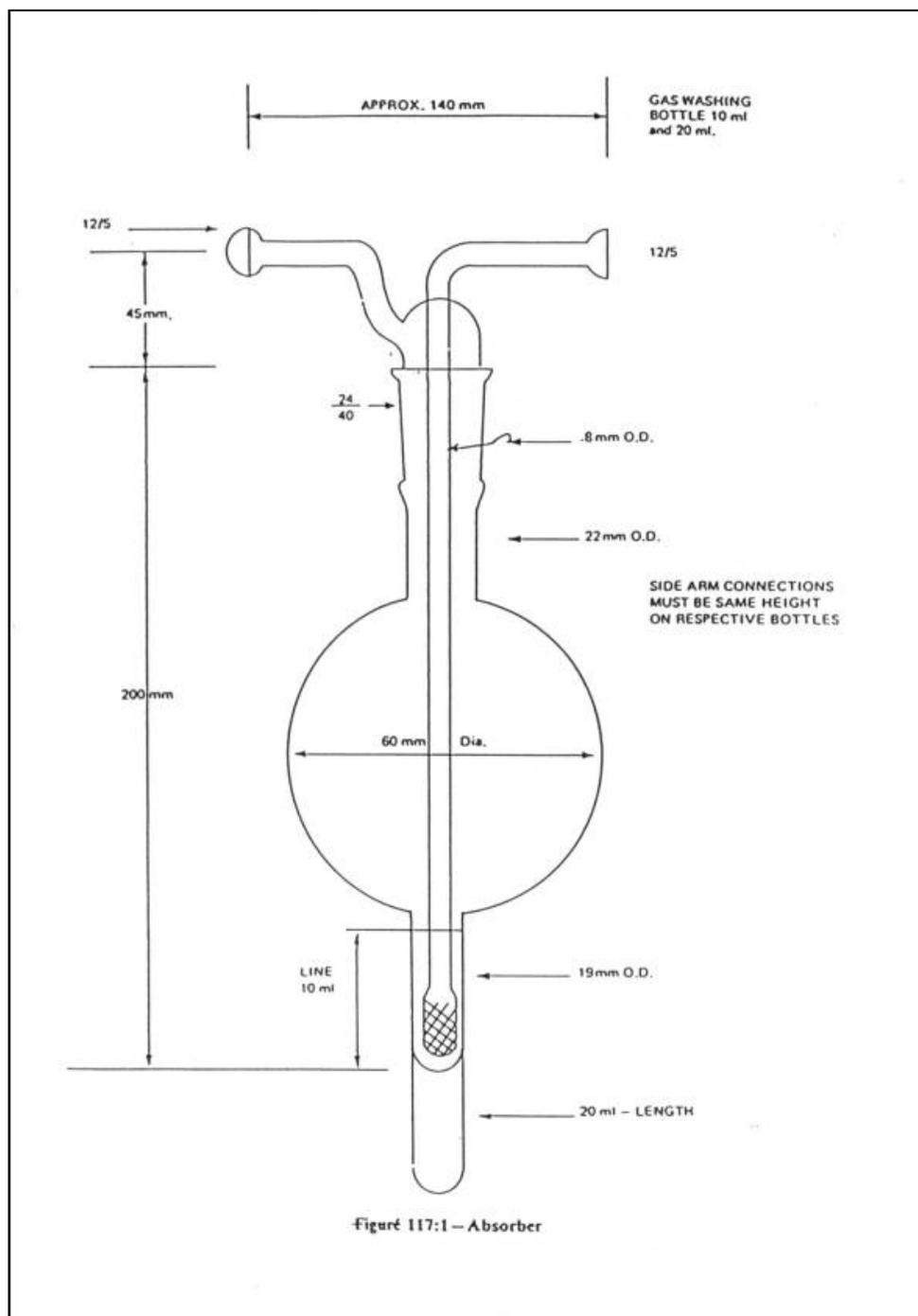
U.S. Environmental Protection Agency (EPA), *Formaldehyde.* [Documento en línea]. Disponible: <http://wysiwyg://1/file:/A/FORMALDEHYDE1htm> . [Consulta 2001, marzo 15].

Universidad Pedagógica Experimental Libertador, Vicerrectorado de Investigación y Postgrado. (1998, julio). *Manual de Trabajos de Grado de Especialización y Maestrías y Tesis Doctorales.* Caracas: Maritza Barrios Yaselli.

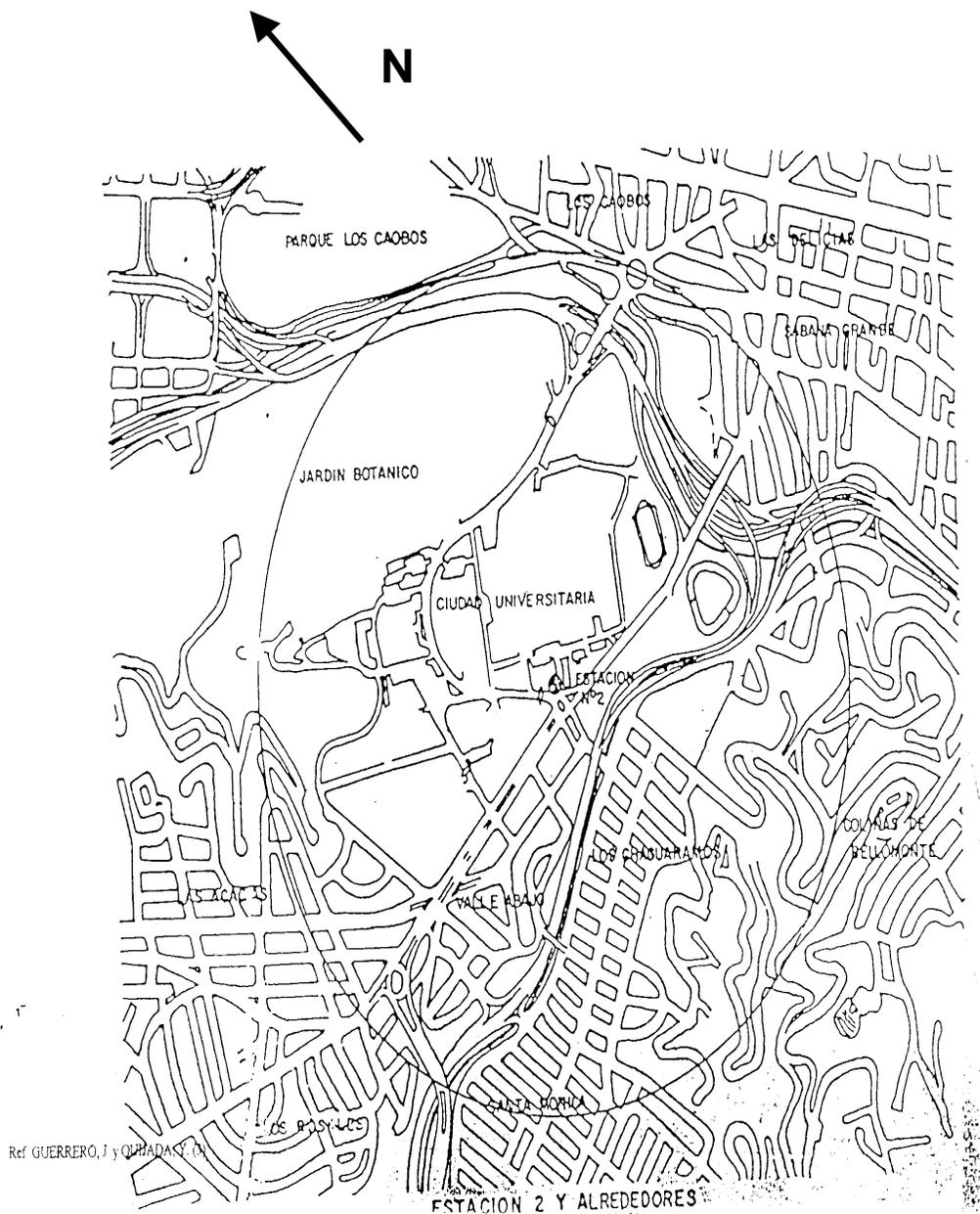
Wark, K. y Warner, C. (1994). *Contaminación del aire. Origen y Control.* México: Editorial Limusa S.A. Grupo Noriega Editores.

## ANEXOS

## ANEXO A: Burbujeador o Absorbedor



**ANEXO B: Plano de Ubicación de la estación de Captación y alrededores.**



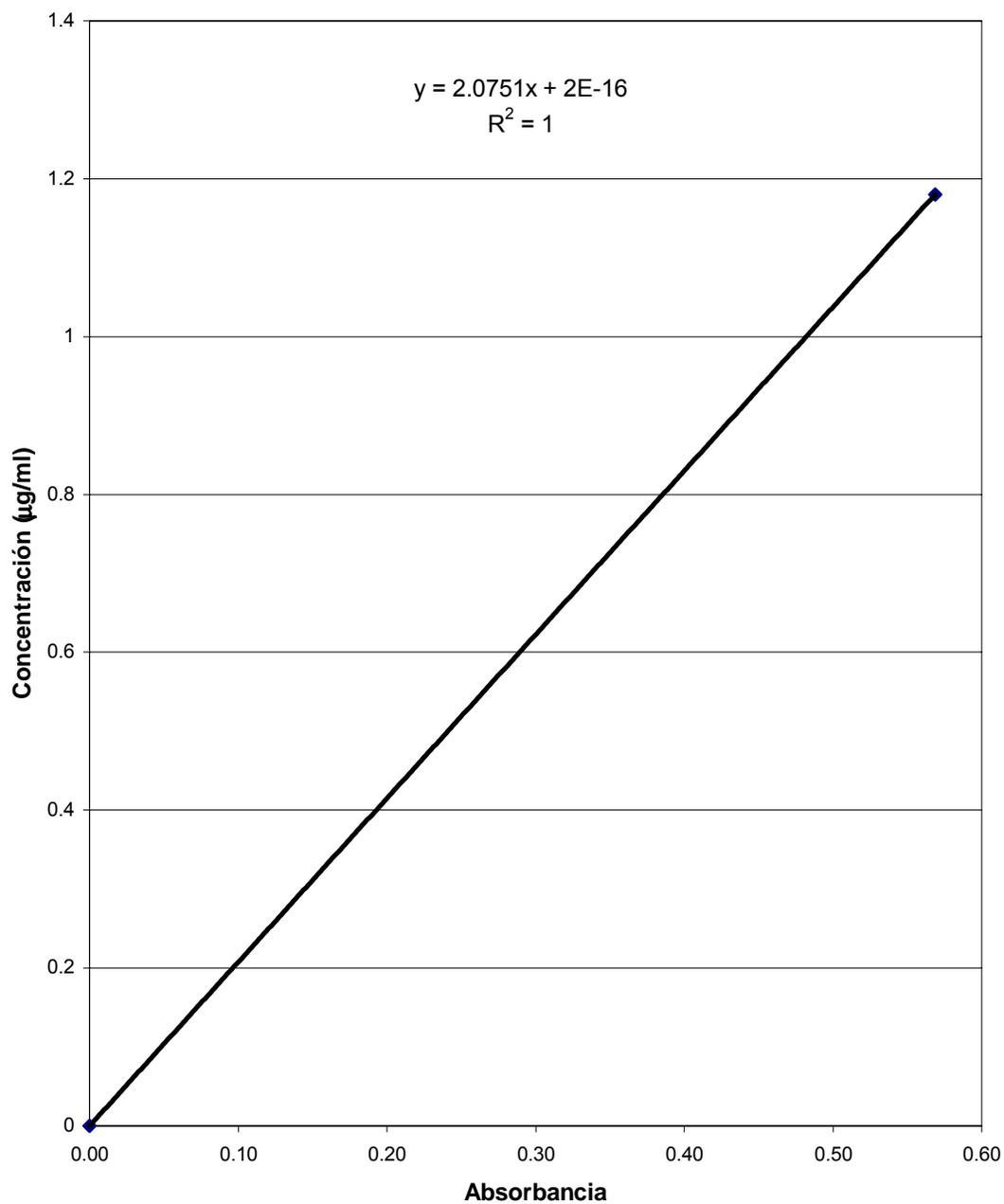
**ANEXO C: Toma de Muestra y Fachada Sur del Edificio de Ingeniería Sanitaria.**



**FOTO 1.** Línea de tubería para la toma de muestra vista desde el interior del laboratorio

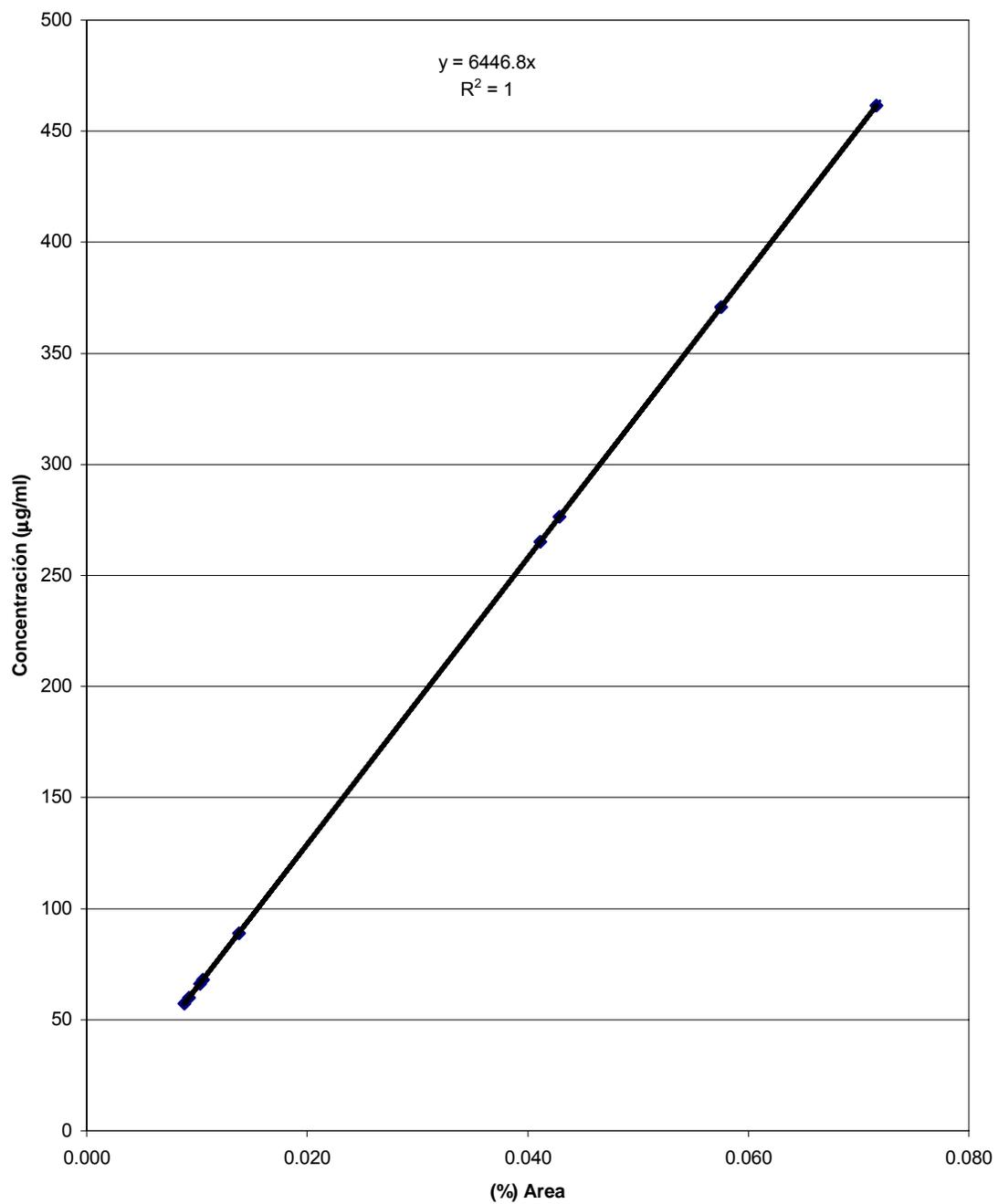


**FOTO 2.** Toma de muestra vista desde la fachada Sur del Edificio de Ingeniería Sanitaria

**ANEXO D: Curva Patrón para el Método de Ácido Cromotrópico.****Curva Patrón Acido Cromotrópico**

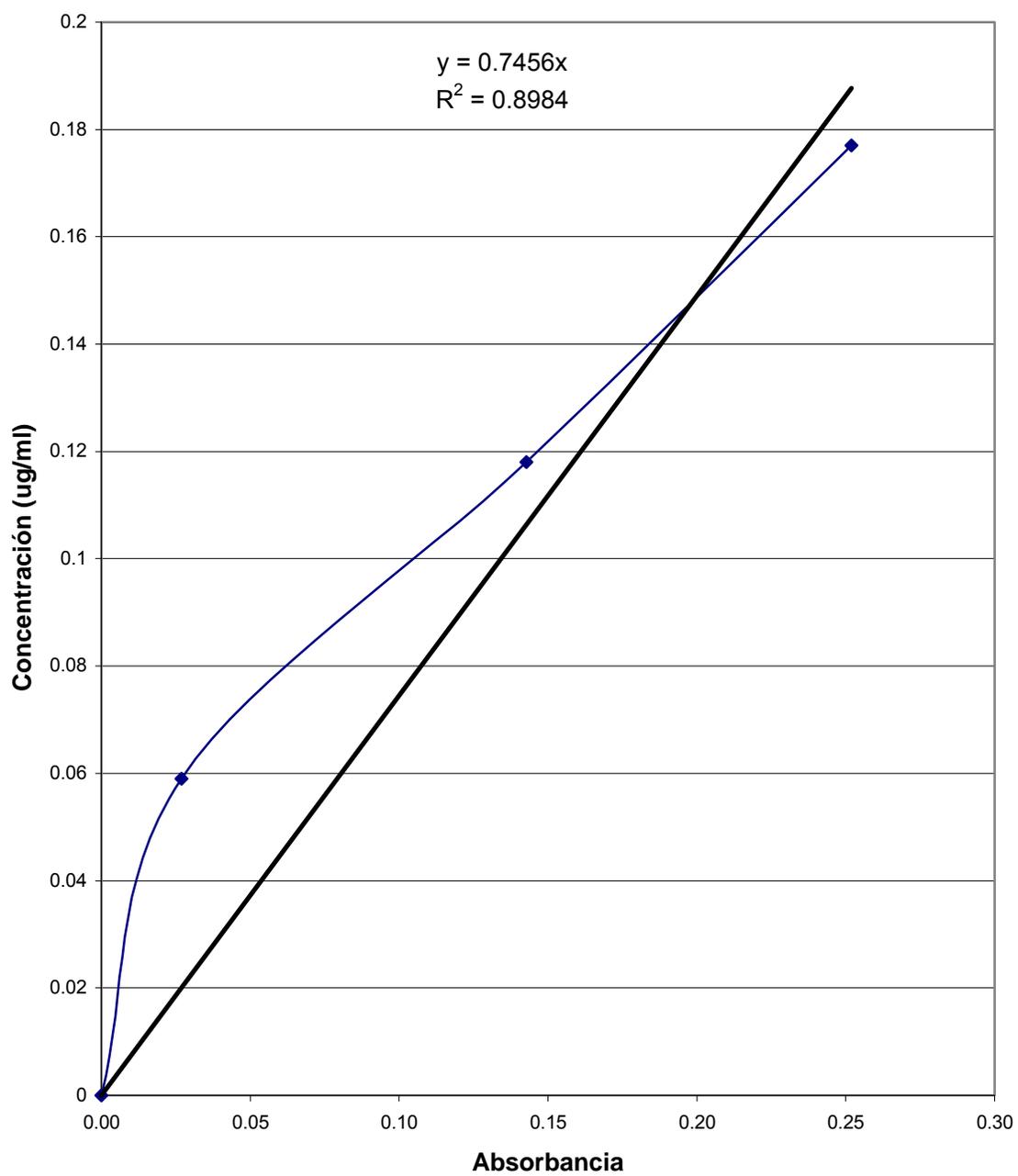
**ANEXO E: Curva de Calibración del Cromatógrafo de Gases.**

Calibración del Cromatógrafo



## ANEXO F: Curva Patrón para el Método de MBTH.

Curva Patrón de MBTH



## ANEXO G: Cálculos Tipo.

### G.1 Ácido Cromotrópico:

A continuación se presentan los cálculos tipo para obtener las concentraciones de formaldehído en el aire ambiental por el método de ácido cromotrópico.

**G.1.1 Normalización de la solución estándar “A” de formaldehído (1 mg/ml):** Esta estandarización se realiza para obtener la curva patrón del método.

- Un ml de yodo 0,01N es equivalente a 0,15 mg de formaldehído, por lo tanto como se titulará 1 ml de solución estándar “A” de formaldehído, el volumen final de la titulación (ml de yodo 0,01N) multiplicados por 0,15 dará como resultado la concentración de formaldehído en la solución estándar en mg/ml.

$$C_{\text{estándar}} = V_{f_I} \times 0,15 \quad (1)$$

Donde:

$C_{\text{estándar}}$  = Concentración del estándar “A” en mg/ml.

$V_{f_I}$  = Volumen final de Yodo en la titulación en ml.

$$C_{\text{estándar}} = 7,89 \times 0,15 = 1,184 \text{ mg/ml}$$

Con el valor real de la concentración del estándar “A” se procede a realizar la curva patrón (Concentración vs. Absorbancia), como se explica en la metodología experimental.

**G.1.2 Cálculos de la concentración:** En este punto se muestran los cálculos necesarios para obtener la concentración de formaldehído en el aire ambiental.

- Se corregirá el volumen de la muestra de aire (V) a volumen de aire en condiciones normales (Vn) de 298 K y 101,308 kPa usando la fórmula de corrección siguiente:

$$V_n = V \times \frac{P}{760} \times \frac{298}{T + 273} \quad (2)$$

Donde:

Vn = Volumen del aire en litros en condiciones normales.

V = Volumen del aire muestreado en litros (flujo de aire muestreado por el tiempo de muestreo).

P = Presión barométrica en mmHg.

T = Temperatura del aire en °C.

$$V_n = 1420 \times \frac{686,56}{760} \times \frac{298}{24,7 + 273} = 1284,08 \text{ l}$$

- Se calculará el factor de alícuota en los burbujeadores "A" y "B" por medio de la siguiente fórmula:

$$\text{Factor de alícuota} = \frac{\text{Volumen de Solución muestreado en ml}}{\text{Alícuota usada en ml}} \quad (3)$$

$$\text{Factor de alícuota "A"} = \frac{50 \text{ ml}}{4 \text{ ml}} = 12,5$$

$$\text{Factor de alícuota "B"} = \frac{35 \text{ ml}}{4 \text{ ml}} = 8,75$$

- Se determinará la concentración total (Ct) del formaldehído presente en los dos burbujeadores en series etiquetados como “A” y “B” de la siguiente manera:

$$Ct = C_A \times F_A + C_B \times F_B \quad (4)$$

Donde:

Ct = Es el total de  $\mu\text{g}$  de formaldehído en la muestra.

$C_A$  y  $C_B$  = Concentraciones de formaldehído respectivamente en  $\mu\text{g}$  de la muestra alícuota tomada en los burbujeadores A y B obtenidas a partir de la curva de patrón.

$F_A$  y  $F_B$  = Es el factor de alícuota, respectivamente como se calculó en la ecuación (3).

$$Ct = 0,2627 \times 12,5 + 0,0222 \times 8,75 = 3,478 \mu\text{g/ml}$$

- Se tomarán como condiciones normales 298 K y 101,308 kPa (25 °C y 760 mmHg) para determinar la concentración de formaldehído en la atmósfera muestreada por medio de la siguiente ecuación:

$$\text{ppm (volumen)} = \frac{Ct \times 24,47}{V_n \times PM} \quad (5)$$

Donde:

ppm (volumen) = concentración de formaldehído en la atmósfera.

$V_n$  = Litros de aire muestreado en condiciones normales como se calculó en la ecuación (2) (volumen de aire corregido).

PM = Peso molecular del formaldehído (30,03)

24,47 =  $\mu\text{l}$  de gas formaldehído contenido en un micromol a 298 K y 101,308 kPa (25 °C y 760 mmHg).

$$ppm = \frac{3,478 \times 24,47}{1284,08 \times 30,03} = 2,27 \times 10^{-3} ppm = 2,27 ppb$$

## G.2 Cartuchos Adsorbentes

A continuación se muestra el cálculo para el método de cartuchos adsorbentes.

### G.2.1 Cálculos de la concentración.

- Corrección del volumen de la muestra de aire (V) a el volumen de aire en condiciones normales (Vn) de 298 K y 101,308 kPa usando la fórmula de corrección siguiente:

$$V_n = V \times \frac{P}{760} \times \frac{298}{T + 273} \quad (6)$$

Donde:

Vn = Volumen del aire en litros en condiciones normales.

V = Volumen del aire muestreado en litros (flujo de aire muestreado por el tiempo de muestreo).

P = Presión barométrica en mmHg.

T = Temperatura del aire en °C.

$$V_n = 1440 \times \frac{686,37}{760} \times \frac{298}{24,3 + 273} = 1303,56 \cdot l$$

- La concentración total de formaldehído en el aire ambiental se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$ppm = \frac{C_c \times 24,47}{30,03 \times V_n} \quad (7)$$

Donde:

ppm = concentración de formaldehído en la atmósfera.

$C_C$  = Concentración en la muestra obtenida a partir de la curva de calibración del cromatógrafo de gases (obtenida a partir del método del estándar interno).

$V_n$  = Litros de aire muestreado en condiciones normales (volumen de aire corregido).

30,03 = Peso molecular del formaldehído.

24,47 =  $\mu\text{l}$  de gas formaldehído contenido en un micromol a 298 K y 101,308 kPa (25 °C y 760 mmHg).

### G.3 MBTH:

En este punto se muestran los cálculos tipo para la determinación de las concentraciones de formaldehído en el aire ambiental por el método de MBTH.

**G.3.1 Normalización de la solución estándar “A” de formaldehído (1 mg/ml):** Esta estandarización se realiza para obtener la curva patrón del método.

- Un ml de yodo 0,01N es equivalente a 0,15 mg de formaldehído, por lo tanto como se titulará 1 ml de solución estándar “A” de formaldehído, el volumen final de la titulación (ml de yodo 0,01N) multiplicados por 0,15 dará como resultado la concentración de formaldehído en la solución estándar en mg/ml.

$$C_{\text{estándar}} = V_{f_1} \times 0,15 \quad (8)$$

Donde:

$C_{\text{estándar}}$  = Concentración del estándar "A" en mg/ml.

$V_{f_i}$  = Volumen final de Yodo en la titulación en ml.

$$C_{\text{estándar}} = 7,89 \times 0,15 = 1,184 \text{ mg/ml}$$

Con el valor real de la concentración del estándar "A" se procede a realizar la curva patrón (Concentración vs. Absorbancia), como se explica en la metodología experimental.

### G.3.2 Cálculos de la concentración.

- Se corregirá el volumen de la muestra de aire (V) a el volumen de aire en condiciones normales ( $V_n$ ) de 298 K y 101,308 kPa usando la fórmula de corrección siguiente:

$$V_n = V \times \frac{P}{760} \times \frac{298}{T + 273} \quad (9)$$

Donde:

$V_n$  = Volumen del aire en litros en condiciones normales.

V = Volumen del aire muestreado en litros (flujo de aire muestreado por el tiempo de muestreo).

P = Presión barométrica en mmHg.

T = Temperatura del aire en °C.

$$V_n = 1575 \times \frac{687}{760} \times \frac{298}{24,4 + 273} = 1426,59 \cdot l$$

- Se calculará el factor de alícuota en el burbujeador por medio de la siguiente fórmula:

$$\text{Factor de alícuota} = \frac{\text{Volumen de Solución muestreado en ml}}{\text{Alícuota usada en ml}} \quad (10)$$

$$\text{Factor de alícuota} = \frac{35 \text{ ml}}{10 \text{ ml}} = 3,5$$

- Se determinará la concentración total (Ct) del formaldehído de la siguiente manera:

$$C_t = C \times F_A \quad (11)$$

Donde:

Ct = Es el total de  $\mu\text{g}$  de formaldehído en la muestra.

C = Concentración de formaldehído en  $\mu\text{g}$  de la muestra alícuota tomada en el burbujeador, obtenida a partir de la curva de patrón.

F<sub>A</sub> = Es el factor de alícuota, como se calculó en la ecuación (10).

$$C_t = 0,4353 \times 3,5 = 1,52 \mu\text{g/ml}$$

- Se tomarán como condiciones normales 298 K y 101,308 kPa (25°C y 760 mmHg) para determinar la concentración de formaldehído en la atmósfera muestreada por medio de la siguiente ecuación:

$$\text{ppm} = \frac{C_t \times 24,47}{V_n \times PM \times 0,84} \quad (12)$$

Donde:

ppm = concentración de formaldehído en la atmósfera.

V<sub>n</sub> = Litros de aire muestreado en condiciones normales (volumen de aire corregido).

PM = Peso molecular del formaldehído (30,03)

24,47 =  $\mu\text{l}$  de gas formaldehído contenido en un micromol a 298 K y 101,308 kPa (25 °C y 760 mmHg).

0,84 = Eficiencia del método.

$$\text{ppm} = \frac{1,52 \times 24,47}{1426,59 \times 30,03 \times 0,84} = 1,03 \times 10^{-3} \text{ ppm} = 1,03 \text{ ppb}$$

## ANEXO H: Método del Estándar Interno.

En cromatografía cuantitativa la mayor precisión se consigue con el uso de patrones internos, debido a que se evitan los errores que se introducen en la inyección de la muestra. Utilizando un estándar interno adecuado y preparando la muestra patrón con precisión se puede conseguir precisiones mejores al 1% relativo.

El método del estándar interno consiste en preparar una mezcla de calibración que contiene concentraciones conocidas de cada uno de los componentes que se van a analizar, más una sustancia patrón añadida o estándar interno, la cual también se le añade a la muestra problema.

El estándar interno debe tener las siguientes características:

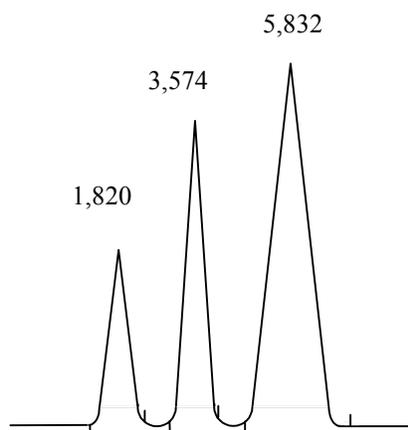
- No debe estar presente en la muestra.
- Fácil de conseguir.
- Químicamente similar a la muestra.
- Rango de concentración similar a la muestra.
- No debe reaccionar con la muestra.
- Debe eluir cerca de los compuestos de interés.
- Cromatográficamente estable, dando un pico bien formado y separado de todos los picos de la muestra.

Las ventajas del método del estándar interno son:

- La cantidad inyectada no es crítica.
- Solo es necesario calibrar los picos de interés.

A continuación se presenta y el método de cálculo para la aplicación del método:

1. Se prepara la muestra patrón que contiene los componentes a calibrar y el estándar interno a utilizar.



Componente	Tiempo de Retención (min)	Área (m <sup>2</sup> )	Concentración (g/l)
A	1,082	37.789	0,462
Estándar Interno	3,574	24.335	0,356
B	6,832	39.012	0,676

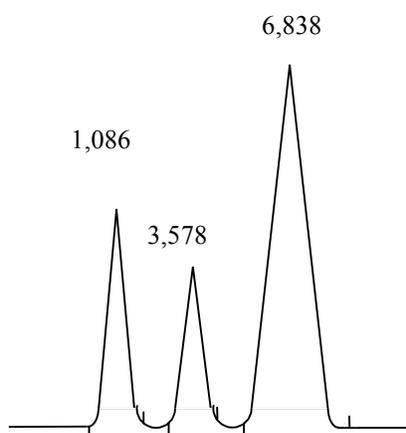
2. Se divide el área medida de cada pico entre la concentración del componente para obtener el factor de respuesta.

Componente	Área (m <sup>2</sup> )	Concentración (g/l)	Factor de Respuesta
A	37.789	0,562	67.240,21
Estándar Interno	24.335	0,356	68.356,74
B	39.012	0,687	57.804,95

3. Se divide cada uno de los factores de respuesta entre el factor de respuesta del estándar interno, para obtener los factores de respuesta relativos

Componente	Área (m <sup>2</sup> )	Factor de Respuesta	Factor de Respuesta Relativo
A	37.789	67.240,21	0,984
Estándar Interno	24.335	68.356,74	1,000
B	39.012	57.804,95	0,846

4. A la muestra problema, se le agrega una cantidad exactamente medida del estándar interno utilizado (0,852 g/l). Luego de hacerle el análisis cromatográfico respectivo a la muestra problema, se divide el área obtenida de cada especie a calibrar entre su factor de respuesta relativa, para obtener el área corregida.



<b>Tiempo de Retención</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Factor de Respuesta Relativo</b>	<b>Área Corregida (m<sup>2</sup>)</b>
1,086 (A)	22.456	0,984	22.821,14
3,578 Estándar Interno	26.387	1,000	26.387,00
6,838 (B)	29.538	0,846	34.914,89

5. Se divide cada una de estas áreas corregidas entre el área del estándar interno, para obtener la cantidad relativa de cada especie a calibrar.

<b>Tiempo de Retención</b>	<b>Factor de Respuesta Relativo</b>	<b>Área Corregida (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Cantidad Relativa</b>
1,086 (A)	0,984	22.821,14	0,865
3,578 Estándar Interno	1,000	26.387,00	1,000
6,838 (B)	0,846	34.914,89	1,325

6. Para determinar la cantidad real de cada una de las especies, se multiplica las cantidades relativas por la cantidad real del estándar interno que se agrego a la muestra problema (0,852 g/l).

<b>Tiempo de Retención</b>	<b>Área Corregida (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Cantidad Relativa</b>	<b>Cantidad Real (g/l)</b>
1,086 (A)	22.821,14	0,865	0,737
3,578 Estándar Interno	26.387,00	1,000	0,852
6,838 (B)	34.914,89	1,325	1,129

## ANEXO I: Hoja de Reporte Diario.

<b>HOJA DE REPORTE</b>		
<b>Datos del Muestreo</b>		
Ubicación:	_____	
Método:	_____	
N° de Muestra:	_____	
Flujo (l/min):	_____	
Presión (mmHg):	_____	
Temperatura (°C):	_____	
Precipitación (mm):	_____	
	Inicio	Final
Fecha de muestreo:	_____	_____
Hora de muestreo:	_____	_____
Período total de muestreo (h):	_____	
<b>Análisis</b>		
Instrumento:	_____	
Parámetro medido:	_____	Valor: _____
Observaciones:	_____	
	_____	
	_____	

**HOJA DE REPORTE****Datos del Muestreo de Formaldehído en el Aire**Ubicación: Fachada Sur, Edificio de Ingeniería Sanitaria U.C.V.Método: Burbujeadores con Ácido CromotrópicoN° de Muestra: 2Flujo (l/min): 1Presión (mmHg): 684,75Temperatura (°C): 24,4Precipitación (mm): 60Fecha de muestreo: Inicio 8 – 05 - 2001 Final 9 – 05 - 2001Hora de muestreo: 12:00 m. 12:00 mPeríodo total de muestreo (h): 24**Análisis**Instrumento: EspectrofotómetroParámetro medido: Absorbancia Valor: 0,119 (A) 0.036 (B)Observaciones: Lluvia Fuerte.Aproximadamente 2 horas de torrencial aguacero. Congestionamiento vehicular en toda la ciudad.

## ANEXO J: Tablas de Datos y Resultados Intermedios.

En este anexo se presentan todas las tablas de datos y resultados intermedios necesarios para obtener los resultados finales

**Tabla J.1: Datos para el método de ácido cromotrópico**

Fecha (año 2001)	N° de muestra	Tiempo de muestreo (min)	Presión (mmHg)	Temperatura (°C)	Precipitación (mm)
17/4 – 18/4	1	1.420	686,56	24,7	0
8/5 – 9/5	2	1.440	684,75	24,4	60
9/5 – 10/5	3	1.440	685,14	24,4	0
10/5 - 11/5	4	1.445	685,12	24,2	0
14/5 - 15/5	5	1.440	685,54	26	0
15/5 - 16/5	6	1.440	685,05	25	4,5
16/5 - 17/5	7	1.450	685,57	24,9	25,6
17/5 - 18/5	8	1.430	686,03	25,3	21,1
21/5 - 22/5	9	1.485	686,20	25	0
22/5 - 23/5	10	1.445	686,19	24,2	2
23/5 - 24/5	11	1.320	685,97	23,5	2,4
24/5 - 25/5	12	1.424	686,41	24,2	0
28/5 - 29/5	13	1.455	686,54	25,1	0
29/5 - 30/5	14	1.460	686,81	24,6	0
30/5 - 31/5	15	1.455	686,42	25,3	2,2
31/5 - 1/6	16	1.270	685,99	25,3	2,2

Tabla J.2: Datos para el método de Cartuchos Adsorbentes

Fecha (año 2001)	N° de muestra	Tiempo de muestreo (min)	Presión (mmHg)	Temperatura (°C)	Precipitación (mm)
11/6 - 12/6	1	1.440	686,37	24,3	0
12/6 - 13/6	2	1.450	686,04	23,3	0
13/6 - 14/6	3	1.450	685,88	23	0
18/6 - 19/6	4	1.440	685,78	24,2	0
19/6 - 20/6	5	1.423	686,28	24,9	0
20/6 - 21/6	6	1.453	687,04	24,9	2,4
25/6 - 26/6	7	1.440	687,21	23,7	0
26/6 - 27/6	8	1.450	687,16	23,7	6
27/6 - 28/6	9	1.430	686,45	23,6	11
28/6 - 29/6	10	1.466	686,10	23	8
2/7 - 3/7	11	1.420	686,25	24,1	1,8
3/7 - 4/7	12	1.500	686,60	24,1	0
4/7 - 5/7	13	1.448	685,95	24	7,5
5/7 - 6/7	14	1.445	686,23	23,8	26
9/7 - 10/7	15	1450	686,13	23,5	0
10/7 - 11/7	16	1.445	686,31	24,6	9
11/7 - 12/7	17	1.440	686,53	24,6	12
12/7 - 13/7	18	1.430	686,22	24,2	3
13/7 - 14/7	19	1.480	685,93	23,3	0,6
14/7 - 15/7	20	1.460	686,68	23,7	0,6
15/7 - 16/7	21	1.345	686,98	23,7	12,5
16/7 - 17/7	22	1.512	686,31	23	12,5
17/7 - 18/7	23	1.457	686,29	23,2	0
18/7 - 19/7	24	1.440	686,91	24,4	0
19/7 - 20/7	25	1.455	687,00	24,4	0

Tabla J.3: Datos para el método de MBTH

Fecha (año 2001)	N° de muestra	Tiempo de muestreo (min)	Presión (mmHg)	Temperatura (°C)	Precipitación (mm)
31/7 - 1/8	1	1.575	686,25	24,4	3,5
1/8 - 2/8	2	1.447	686,60	23.5	9,2
2/8 - 3/8	3	1.405	685,95	23.7	7
5/8 - 6/8	4	1.440	686,23	24	11
6/8 - 7/8	5	1.480	686,13	24	19,5
7/8 - 8/8	6	1.440	686,31	22.1	8,5
8/8 - 9/8	7	1.450	686,53	23.1	N.S.
9/8 - 10/8	8	1.455	686,22	23.1	N.S.
13/8 - 14/8	9	1.395	685,93	24	N.S.
14/8 - 15/8	10	1.410	686,68	23	N.S.
16/8 - 17/8	11	1.440	686,25	24.5	N.S.

N.S.: Dato No Suministrado

Tabla J.4: Resultados Intermedios de Ácido Cromotrópico

N° de muestra	Absorbancia (A)	Absorbancia (B)	C <sub>A</sub> (µg/ml)	C <sub>B</sub> (µg/ml)	C <sub>T</sub> (µg/ml)	Volumen (l)	Volumen Corregido(l)
1	0,137	0,013	0,2627	0,0222	3,478	1.420	1.284,08
2	0,119	0,036	0,2336	0,0670	3,506	1.440	1.300,03
3	0,137	0,041	0,2627	0,0768	3,955	1.440	1.300,77
4	0,092	0,018	0,1820	0,0305	2,541	1.445	1.306,14
5	0,125	0,009	0,2435	0,0143	3,169	1.440	1.294,58
6	0,076	0,009	0,1500	0,0143	2,000	1.440	1.297,98
7	0,046	0,009	0,0869	0,0143	1,211	1.450	1.308,44
8	0,022	0,000	0,0391	0,0000	0,489	1.430	1.289,52
9	0,097	0,036	0,1926	0,0670	2,993	1.485	1.340,80
10	0,081	0,027	0,1607	0,0481	2,429	1.445	1.308,17
11	0,060	0,013	0,1180	0,0222	1,669	1.320	1.197,45
12	0,018	0,000	0,0305	0,0000	0,381	1.424	1.289,58
13	0,009	0,004	0,0143	0,0069	0,240	1.455	1.313,92
14	0,013	0,004	0,0222	0,0069	0,338	1.460	1.321,17
15	0,013	0,009	0,0222	0,0143	0,403	1.455	1.312,81
16	0,009	0,004	0,0143	0,0069	0,240	1.270	1.145,17

CA, CB y CT: Concentraciones en la muestra de los burbujeadores A y B y concentración total.

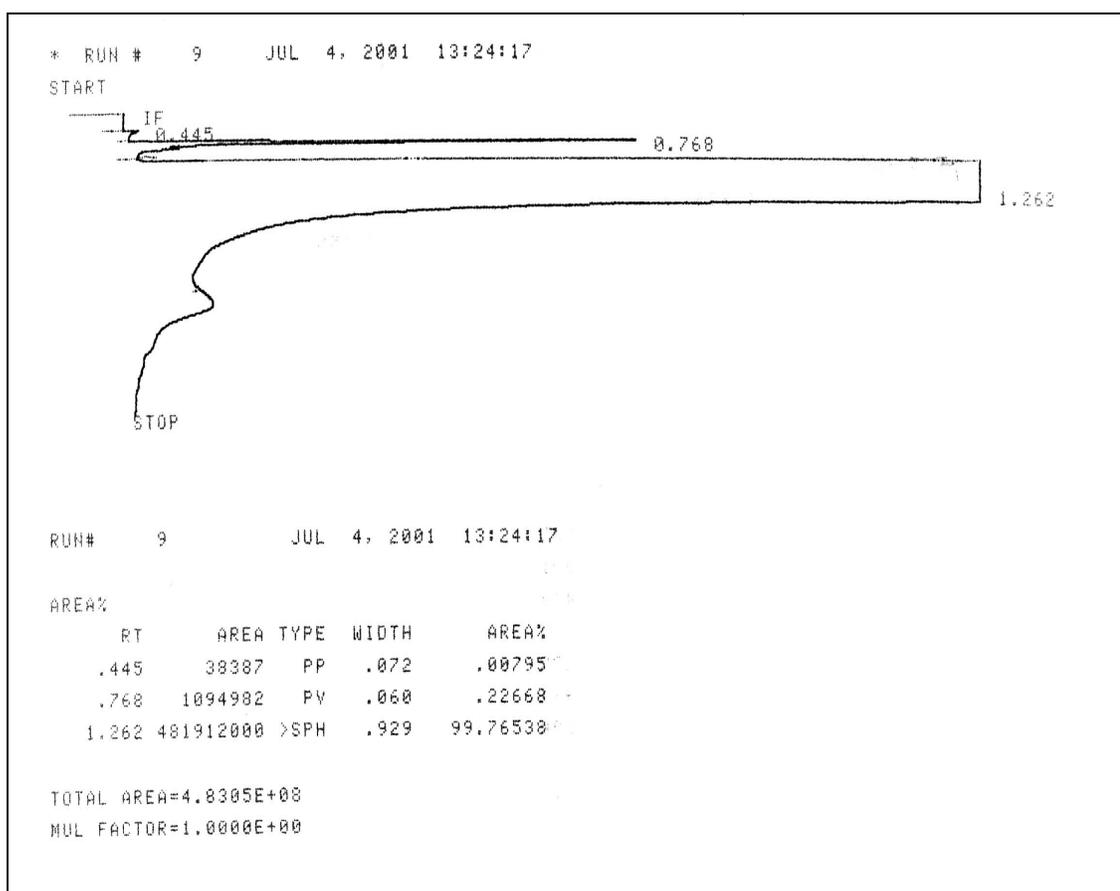
Tabla J.5: Resultados Intermedios de Cartuchos Adsorbentes

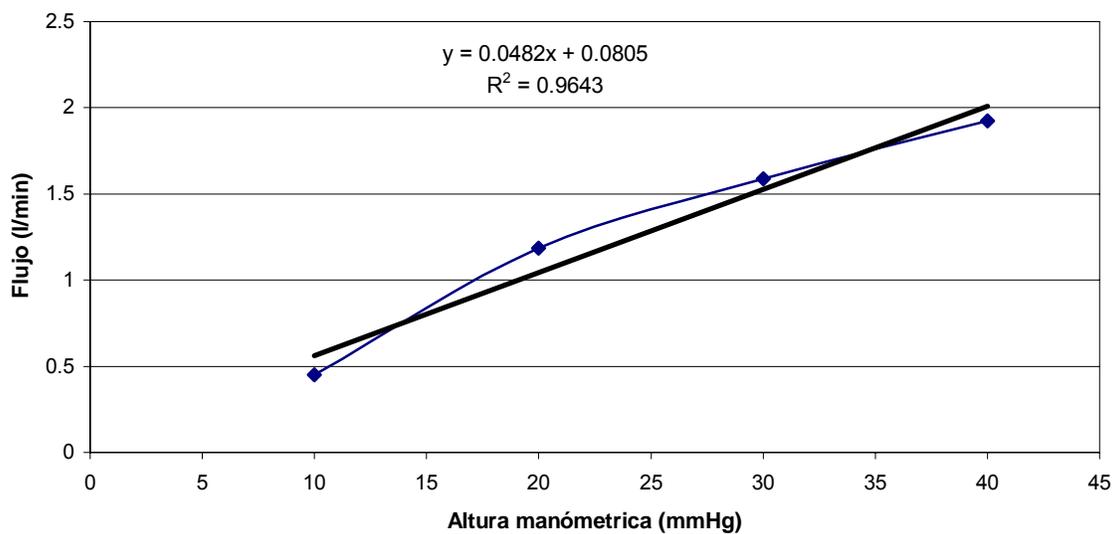
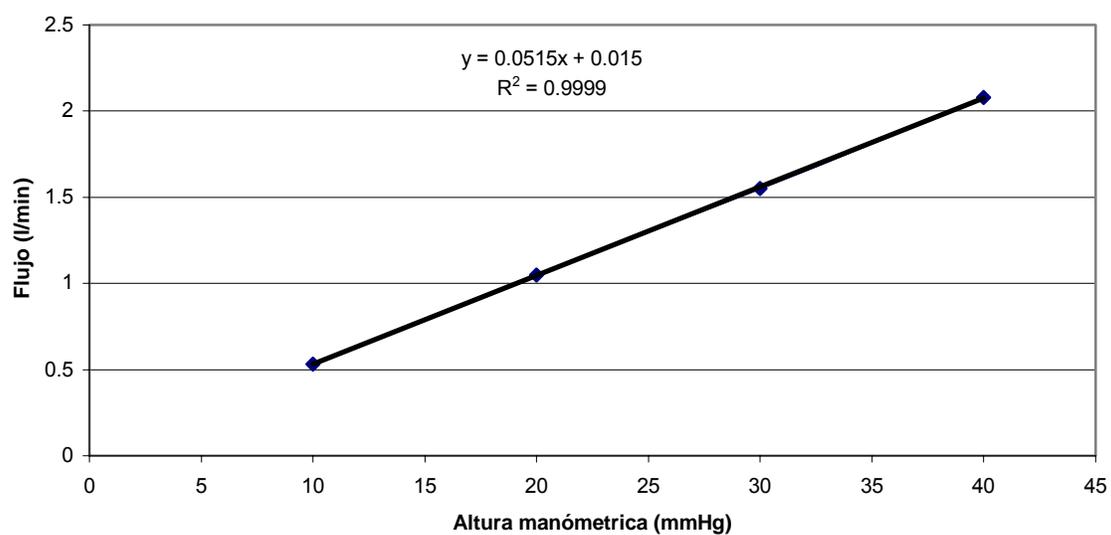
N° de muestra	% de Área	Concentración (mg/ml)	Volumen (l)	Volumen Corregido(l)
1	0	0,00000	1.440	1.303,560
2	0	0,00000	1.450	1.316,409
3	0	0,00000	1.450	1.317,427
4	0	0,00000	1.440	1.302,873
5	0	0,00000	1.423	1.285,394
6	0	0,00000	1.453	1.313,956
7	0	0,00000	1.440	1.307,795
8	0	0,00000	1.450	1.316,776
9	0	0,00000	1.430	1.297,705
10	0	0,00000	1.466	1.332,401
11	0	0,00000	1.420	1.286,081
12	0,1912	1,23251	1.500	1.359,235
13	0	0,00000	1.448	1.311,323
14	0	0,00000	1.445	1.310,018
15	0	0,00000	1.450	1.315,694
16	0	0,00000	1.445	1.306,653
17	0	0,00000	1.440	1.302,545
18	0	0,00000	1.430	1.294,660
19	0	0,00000	1.480	1.343,425
20	0	0,00000	1.460	1.324,931
21	0	0,00000	1.345	1.221,103
22	0	0,00000	1.512	1.374,629
23	0	0,00000	1.457	1.323,688
24	0	0,00000	1.440	1.304,133
25	0	0,00000	1.455	1.317,890

**Tabla J.6: Resultados Intermedios de MBTH**

<b>N° de muestra</b>	<b>Absorbancia</b>	<b>Concentración (µg/ml)</b>	<b>Volumen (l)</b>	<b>Volumen Corregido(l)</b>
1	0,602	0,4353	1.575	1.426,59
2	0,495	0.3690	1.447	1.313.19
3	0,585	0.4362	1.405	1.274.87
4	0,377	0.2809	1.440	1.304.08
5	0,538	0.4008	1.480	1.341.72
6	0,620	0.4621	1.440	1.314.44
7	0,602	0.4489	1.450	1.317.82
8	0,658	0.4903	1.455	1.322.32
9	0,409	0.3049	1.395	1.263.28
10	0,796	0.5934	1.410	1.282.58
11	0,658	0.4903	1.440	1.303.84

## ANEXO K: Cromatograma de la Muestra N° 12.



**ANEXO L: Curvas de Calibración de los manómetros.****Curva de Calibración  
Método de Ácido Cromotrópico****Curva de Calibración  
Método MBTH**

## ANEXO M: Anuncio de Prensa.

Caracas, miércoles 09 de mayo, 2001

CIUDAD

Fuertes precipitaciones provocaron desalojos y colapso del tránsito

**La ciudad sucumbió bajo la lluvia**
[Buscar noticias relacionadas](#) | [Envía esta noticia por e-mail](#)

**En la Francisco Fajardo quedaron atrapados más de 60 carros porque se desbordó la quebrada Agua de Maíz**

MIGDALIS CAÑIZALES V.

EL UNIVERSAL

Nélida Relo estaba aterrada. Totalmente empapada, aún no se reponía de lo que ella consideraba 'el susto de mi vida'. Circulaba por la autopista Francisco Fajardo hacia la clínica El Avila con su esposo, quien hace cuatro días fue víctima de un infarto, y su hijo cuando la tromba de agua los sorprendió. 'Ibamos a una consulta con el cardiólogo. Estábamos en la cola y notamos que el agua se metía en el carro. Entre mi hijo y yo sacamos a mi esposo, quien estaba muy pálido, del vehículo y logramos que un motorizado del Vivex se lo llevara a la casa'.

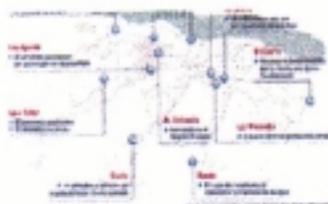


**A las once de la mañana los vehículos nadaban en la avenida Urdaneta por las fuertes lluvias. (Foto Alvaro Hernández)**

Como Nélida, sesenta personas fueron víctimas del desbordamiento de la quebrada Agua de Maíz, a la altura de La Carlota (una corriente de trágico recuerdo, pues hace dos años, con una lluvia similar a la caída ayer, un hombre falleció de un ataque al corazón cuando se quedó atrapado en su carro).

Y es que la primera lluvia de la temporada colapsó toda la capital. Desbordamiento de quebradas, trancas de más de una hora, calles y avenidas inundadas porque los sistemas de drenaje tampoco funcionaron en esta oportunidad, colisión de vehículos, carros averiados, árboles caídos... Toda esta situación provocó alarma general desde las 10 de la mañana hasta pasada la una de la tarde, por lo que el alcalde mayor, Alfredo Peña, decretó la emergencia a través del secretario de Seguridad Ciudadana, Iván Simonovis.

Lo ocurrido en la autopista Francisco Fajardo



fue el hecho que provocó más pánico, porque los afectados estuvieron atrapados en sus vehículos, en medio de las aguas, por más de 20 minutos. Muchos de ellos salieron como pudieron de sus carros, dejándolos abandonados en la vía. A los cuerpos de seguridad no les

quedó otra salida que romper un muro de contención que separa la quebrada de la autopista para que bajara el nivel de agua y procedieron a retirar los vehículos hasta pasada la una de la tarde.

Mientras, en la Cota Mil cerraron el paso de vehículos en sentido oeste-este, a la altura de El Marqués, por más de una hora porque aumentaron los niveles de las quebradas del Avila, lo que generó una cola que se extendía a todo lo largo de esta arteria vial.

Al otro lado de la ciudad, en Las Mercedes, la situación era similar. Se inundaron todas las calles porque los drenajes estaban obstruidos y se paralizó el tránsito por varias horas.

En el centro también se presentaron alarmas por inundaciones de sótanos de las edificaciones y desalojos de escuelas y viviendas que fueron afectadas. De nuevo las lluvias sorprendieron a la ciudad.

## ANEXO N: Hojas de Seguridad del Formaldehído.

### HIGIENE INDUSTRIAL INFORMACION DE PRODUCTOS QUIMICOS

#### I. IDENTIFICACION DEL PRODUCTO

<b>NOMBRE COMERCIAL:</b> FORMALDEHIDO	<b>COD:</b> FO-15000
<b>FABRICANTE O PROVEEDOR:</b> PEQUIVEN	<b>TELF.:</b>
<b>SINONIMOS:</b> Formalina, Metilaldehido, Formalina, Metanol, Paraformaldehido, Aldehido metilico.	
<b>FORMULA QUIMICA:</b> CH <sub>2</sub> O o HCHO	
<b>USOS:</b> Fungicida, germicida y desinfectante. Manufactura de sedas artificiales y textiles, latex, fenol, urea, tiourea, resinas de melamine, tintes, explosivos, vidrios. Intermediario en la manufactura de drogas y pesticidas.	

#### II. PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS

<b>PUNTO DE EBULLICION, 760 mmHg:</b> -19 °C (-3 °F)	<b>PUNTO DE FUSION:</b> -15 °C
<b>GRAVEDAD ESPECIFICA (H<sub>2</sub>O = 1):</b> 1,325 25/15 °C; 0,816 (-19 °C)	<b>PRESION DE VAPOR:</b> 47-58 mmHg
<b>DENSIDAD DE VAPOR(aire=1):</b> 1.04	<b>SOLUBILIDAD EN AGUA(% peso)</b> Soluble.
<b>% VOLATILES POR VOLUMEN:</b> N/D	<b>P.M.:</b> 30.03
<b>DESCRIPCION:</b> Gas o liquido claro con olor picante. Comercialmente se expende como solución acuosa que contiene de 37-50% de formaldehido en cantidades variables de metanol para evitar la polimerización. Las propiedades químicas y físicas varían según el solvente.	

#### III. PROPIEDADES EXPLOSIVAS Y DE INFLAMACION

<b>PUNTO DE IGNICION:</b> 430 °C (806 °F)		
<b>PUNTO DE INFLAMACION:</b> Solución de formaldehido: 37% en agua: 85 °C (185 °F), 15% libre de metanol: 50 °C (122 °F).		
<b>LIMITES DE INFLAMABILIDAD EN AIRE, % VOL:</b>	<b>INF:</b> 7.0	<b>SUP:</b> 73.0
<b>AGENTE DE EXTINCION:</b> Use extintores de incendio de polvo químico seco (PQS), espuma o CO <sub>2</sub> o nieblas de agua.		
<b>PROCEDIMIENTOS ESPECIALES PARA COMBATIR EL FUEGO:</b> Eliminación de toda fuente de ignición. Detenga el flujo de gas. Entré los recipientes expuestos al fuego con agua. Utilice equipo de protección respiratoria.		
<b>PELIGROS DE EXPLOSION Y DE FUEGOS IMPREVISTOS:</b> Alto riesgo de fuego al exponerse al calor o llama en su forma gaseosa o vapores. Las soluciones acuosas tienen un alto riesgo de explosión si se calientan por encima de su punto de inflamación (60 °C aprox.)		

#### IV. INGREDIENTES ACTIVOS

MATERIAL O COMPUESTO	ANTIDOTOS
FORMALDEHIDO	

## V. RIESGOS A LA SALUD

<b>LIMITE MAXIMO PERMISIBLE:</b> 1 ppm. (Concentración "Techo" que no debe ser excedido).
<b>RUTAS DE PENETRACION AL ORGANISMO:</b> Inhalación, ingestión, contacto (ojos y/o piel).
<b>TOXICOLOGIA:</b> Irritante, necrosis local. Síntomas: conjuntivitis, quemaduras corneales, coloración parda de la piel. Si es inhalado: espasmos de faringe, edema pulmonar, disnea. Si es ingerido: quemadura del tracto digestivo, náusea, vómito, ictericia, hematuria, acidosis, convulsiones.
<b>PROCEDIMIENTO DE PRIMEROS AUXILIOS EN CASO DE EMERGENCIA:</b> Llame al médico. Sintomático y de fortalecimiento general.
<b>OJOS:</b> Lave con abundante agua a baja presión durante 15 minutos.
<b>PIEL:</b> Retire las ropas contaminadas. Lave de inmediato la parte afectada con agua y jabón.
<b>INGESTION:</b> Si el paciente está consciente dele a beber agua. Lavado gástrico con carbonato de amonio (1%) seguido de purgante salino.
<b>INHALACION:</b> Lleve a lugar ventilado. Dele oxígeno o respiración artificial si es necesario.

## VI. DATOS DE REACTIVIDAD DEL PRODUCTO

<b>ESTABLE</b>	SI <input type="checkbox"/>	<b>CONDICIONES A EVITAR:</b> Altas temperaturas.
	NO <input checked="" type="checkbox"/>	
<b>INCOMPATIBILIDAD (MATERIALES A EVITAR):</b> Agentes oxidantes fuertes, bases fuertes, ácidos, fenol, urea, peróxido de hidrógeno, ácido per fórmico, nitrometano, carbonato de magnesio, H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .		
<b>PRODUCTOS PELIGROSOS DE DESCOMPOSICION:</b> Clorometil éter, CO, CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> .		

## VII. PROCEDIMIENTO EN CASO DE DERRAMES O FUGAS

<b>PASOS A SEGUIR SI OCURRE UN DERRAME O FUGA DEL MATERIAL:</b> Si está en forma gaseosa detenga el flujo de gas. Si no es posible traslade los recipientes a sitio seguro y abierto, permita que se disipe en la atmosfera. Si está en forma líquida cubra con bisulfito de sodio, drene con abundante agua.
<b>METODO DE DISPOSICION DE LOS DESECHOS:</b> Absorbe en vermiculita para derrames líquidos. Incineración: disuelva en otro combustible. Oxidación: diluir previamente.

## VIII. MEDIDAS DE PROTECCION

<b>TIPO DE PROTECCION RESPIRATORIA:</b> Máscara con cartucho químicos contra formaldehido.
<b>TIPO DE VENTILACION:</b> Ventilación general.
<b>TIPO DE GUANTES DE PROTECCION:</b> Guantes de caucho sintético.
<b>TIPO DE LENTES DE PROTECCION:</b> Lentes contra salpicaduras químicas.
<b>EQUIPO DE PROTECCION ADICIONAL:</b> Ropa protectora de goma o caucho, cremas para la protección de la piel.

## IX. PRECAUCIONES ESPECIALES

<b>MEDIDAS DE PRECAUCION EN EL MANEJO Y ALMACENAMIENTO DEL MATERIAL:</b> Almacene a bajas temperaturas, dependiendo del % de metanol, en lugar ventilado.
<b>RECOMENDACIONES MEDICAS:</b> La exposición frecuente causa hipersensibilidad. Es un cancerígeno reconocido. Causa edema pulmonar.
<b>OTROS</b> Umbral de olor: 0.8 ppm. Test de diagnóstico: formaldehido en sangre y orina.