

**Universidad Central de Venezuela**

**Facultad de Ciencias**

**Escuela de Química**



**ESTUDIO DE LAS DIFERENTES ESTRATEGIAS DE MUESTREO PARA LA  
DETERMINACION DE HIDROCARBUROS AROMATICOS POLICICLICOS, EN  
AMBIENTES DE TRABAJO DE COCINAS COMERCIALES (CALIDAD DE AIRE  
INTERIOR)**

Trabajo Especial de Grado presentado  
ante la Ilustre Universidad Central de  
Venezuela, por la Br. María del  
Carmen Vázquez Fernández para  
optar al título de Licenciado en  
Química

**Caracas, Octubre, 2011.**

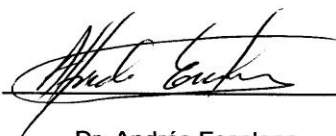
Dr. Andrés Escalona, Profesor e Investigador Titular del Centro de Química Analítica de la Universidad Central de Venezuela y Lic. Gustavo Pérez Jefe del Laboratorio del Centro de Química Analítica de la Universidad Central de Venezuela.

Certificamos que, el presente Trabajo Especial de Grado, titulado:

**ESTUDIO DE LAS DIFERENTES ESTRATEGIAS DE MUESTREO PARA LA DETERMINACION DE HIDROCARBUROS AROMATICOS POLICICLICOS, EN AMBIENTES DE TRABAJO DE COCINAS COMERCIALES (CALIDAD DE AIRE INTERIOR).**

Que presenta la Br. María del Carmen Vázquez Fernández, C.I. 12.544.380; para aspirar al Título de Licenciado en Química, ha sido realizado en los laboratorios del Centro de Química Analítica (CQA) de la Escuela de Química de la Universidad Central de Venezuela, bajo nuestra dirección durante los años 2010 y 2011, y con esta fecha autorizamos su presentación.

Caracas, Octubre de 2011



Dr. Andrés Escalona  
(Tutor)



Lic. Gustavo Pérez  
(Tutor)

## RESUMEN

En el presente trabajo se desarrolla un estudio y se definen metodologías para la evaluación del contenido de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (PAHs), en el aire de ambientes de trabajo, y su impacto sobre los trabajadores, particularmente en cocinas comerciales encargadas de la preparación masiva de alimentos.

Conocido a través de la literatura, el papel de los PAHs en las enfermedades relacionadas con el Cáncer, es lo que motivó al desarrollo de esta investigación, para esto se siguió una estrategia de exposición al riesgo, dónde se preparo un plan de muestreo, con el fin de determinar las mejores condiciones y equipos mas adecuados para la toma de muestras tanto en el ambiente como en los trabajadores expuestos a las principales fuentes de emisión de los hidrocarburos propuestos. Los resultados de este plan y la estrategia, permitieron seleccionar los días viernes para la toma de muestras, en horario comprendido entre las 11 am y 6 pm, en períodos de 2 horas de duración. La captación de los PAHs, se realizó con tubos de adsorción XAD-2 tanto en trabajadores como para los ambientes internos de cocinas, (“indoor”) y los externos a ellas (“outdoor”). En el muestreo externo se identificaron 10 de los hidrocarburos en estudio, destacando por su mayor concentración: Acenafteno (0,14 mg/m<sup>3</sup>), Naftaleno (0,03 mg/m<sup>3</sup>) y Fenantreno (0,03 mg/m<sup>3</sup>).

Las principales fuentes de emisión fueron: brasas de carbón y aceite comestible arrojando que el trabajador más expuesto resulto, el del puesto de trabajo estático, en el tipo de cocción al carbón. La presencia de Fenantreno, Antraceno y Pireno, en su entorno, superan el VLA (0,2 mg/m<sup>3</sup>) en dos horarios de los ciclos de captación de PAHs, lo cual se demostró con las técnicas de cromatografía de líquidos de alta resolución con detección ultravioleta y fluorescencia y cromatografía de gases con ionización a la llama.

En el muestreo de tres trabajadores se identificaron 10 de los PAHs, siendo el Antraceno el compuesto de mayor concentración de Exposición Diaria (0,16 mg/m<sup>3</sup>), recomendando protección física para los trabajadores expuestos al ambiente laboral de la cocina.

La tendencia central de la distribución de los datos de Exposición Diaria, para los tres trabajadores muestreados, demostró que la exposición de PAHs es aceptable. Justificado con los cálculos de la Media Geométrica, para los compuestos que superaron el VLA: Fenantreno, Antraceno y Pireno.

**COSAS PEQUEÑAS:**

- 813** Hacedlo todo por Amor. – Así no hay cosas pequeñas: todo es grande.  
– La perseverancia en las cosas pequeñas, por Amor, es heroísmo.

**Josemaría Escrivá, CAMINO.**

**A Mi Familia...**

**en Especial**

**A MIS PADRES...**

**LOS AMO!**

### **A Ti Mamá!!!!**

Una de las cosas que siempre me llenan de PAZ, es tu constante sonrisa, GRACIAS por luchar a mi lado por éste Título en cada materia, laboratorio...la TEG...si pudiera repartirlo la MITAD o MAS sería TUYO...TE AMO, Mi Roble! Eres un ejemplo a seguir...esto va por Ti.

### **A Mi Padre...**

Sr. Gonzalo Vázquez Díaz, GRACIAS por ser mi Papá, siempre entregado a tu familia...a Tu Meliña, es un ORGULLO ser Tu Hija, esta va por Ti y Tu GRAN esfuerzo de todos estos años, tu apoyo incondicional, Te Amo, Tu Car!

### **A Mi Madrina!**

Esther Fernández de Cabral, siempre eres un refugio de AMOR en los momentos fuertes que hemos pasado juntas, tu sola presencia me llena de serenidad, así que va por Ti también, te dedico este momento de mi vida, porque eres mi segunda Mamá, Te Amo!

### **A Mis Tios...**

Por su GRAN AMOR, Apoyo y Fé, que siempre ponen en mí: Gina Fernández, Margarita Fernández, Arelis de Fernández, Gabriel Cabral y Sergio Fernández (El Cisne!). GRACIAS por ser tan especiales conmigo...Los Amo!

### **A Mis Hermanos, Primos y...Sobrinos**

Indudable talento familiar por excelencia:

- Lic.Nelsón Silva Fernández&Msc.Lesli Mills de Silva  
(Turismo) (Educación especial)
- Diseñador Sergio Fernández Rodríguez&Dra.Patricia de Fernández
- Msc.Gonzalo Vázquez Fernández&Msc.Geilhy Marquez de Vázquez&Mi Fer  
(Ing.Químico)
  - Dr. Eduardo Fernández Rodríguez&Dra.Marta de Fernández
  - Msc.Carolina Cabral Fernández(Ing. Civil)&Ana Sophia Cabral
    - Abogado Pedro Vázquez Fernández&Melanie Méndez
    - Msc.MªGabriela Cabral Fernández (Economista)
  - Piloto Comercial (1er Oficial) Alejandro Cabral Fernández.

Les dedico mi título es un ORGULLO unirme al CLAN profesional, quisiera celebrar este triunfo juntos, pero sé que nuestro lazo de unión va más allá de la barrera de la distancia, Los Amo, su Hermana, Prima y Tia(gracias por esos títulos adicionales):

- Licenciada en Química, mención Tecnología, M<sup>a</sup> del Carmen Vázquez Fernández.

### **Agradecimientos**

A la Universidad Central de Venezuela, su Facultad de Ciencias, en especial la Escuela de Química y su gente que la conforma a cada uno de ustedes, GRACIAS!!!, en específico a la Lic. Inés Tovar, por darme esta oportunidad de estudiar en la Casa que Vence las Sombras...

Al CQA, Centro de Química Analítica, y el indiscutible talento que lo distingue:

**\*Dra. Nereida Carrión   \*Dra.Rosa Amaro   \*Dra. M<sup>a</sup> de los Angeles   \*Dr.Murillo**  
**\*Dr.Goldin   \*Prof. Daniel Arismendi   \*Tec. Alejandro Ibañez**

Siempre pendientes de mi trabajo, ofreciendo su sonrisa y hermosas palabras para aliviarme los pesares en momentos criticos...Gracias!!!

A mi 5to Tutor, Maestro de Maestros...**Dr.Luis Gómez** y al **Dr. Jose Crhirinos**, el mejor de los Genios, quienes me abrieron las puertas al CQA: Cómo agradecer todo lo que han hecho por mí?, día a día con sus ocurrencias que me impulsaban a seguir y su ayuda en todo momento, brindandome su mano amiga...Gracias!

Las pasantes y tesistas, que me dieron fuerza durante la TEG:

**\*Ariday Ramos   \* Laura Ordoñez   \*Cristina Moreau   \*Angela Carrillo**  
**\* Lic. Claudia Montes   \*Lic. Irelui   \*Lic. Karla Lima**

Las ADORO niñas!!! Gracias!

La vida a veces te regala cosas que por nuestros propios medios no podemos obtener, en mi camino colocó a una HERMANA: **Lic. Kinski Sanabria**, amiga siempre estas a mi lado, sin siquiera pedirtelo, por fin he llegado hasta aquí y es también gracias a ti, Te Adoro!!!

A los MEJORES tutores,

**Dr. Andrés Escalona:**

Con su paciencia y sabiduría me acompañó en este camino inolvidable hasta alcanzar mi meta y siempre con su alegría me daba los mejores consejos, Gracias por “salir del chinchorro” y vivir esta experiencia conmigo, Merci Beaucoup!!!

**Prof. Gustavo A. Pérez B:**

Jefe del CQA, Gracias por colocar tu confianza en Mí, lograste con tus sabios consejos que ahora este alcanzando esta hermosa meta...pero hasta que no te ganes el Kino no te vas a deshacer de mi...te queda Carmela para rato.

A mi Jurado de TEG:

**\*Msc. Raiza Fernández**

**\*Dra. Soraya Taboada**

**\*Prof. Galarraga**

**\*Lic. Valero**

Les agradezco que más que un jurado, han sido guías, me han encaminado en todo momento con su inteligencia y diferentes puntos de vista gracias a sus especialidades en el campo de la química, este trabajo también es parte de ustedes, Gracias!

A los Profesores que durante este trabajo me escucharon y me brindaron su ayuda y equipos de trabajo:

**\*Prof. Gladys Venegas**

**\*Prof. Carmelo Bolivar**

**\*Prof. Roschman González**

**\*Sr. Angel Chitty**

Y por último pero no menos importante...**A mis Amigos y compañeros** de este camino del cual algunos ya han logrado salir, otros que tengo a mi lado y los que vienen atrás, quiero dedicarles todo mi trabajo y esfuerzo porque USTEDES han sido los que en el día a día en los pasillos, salones, laboratorios y en nuestra querida LANGOSTA me han ayudado uno por uno a estar aquí hoy escribiendo estos agradecimientos, y como me conocen saben que conozco a mucha gente así que tranquilos sólo les quiero decir que han dejado huella en mi corazón con

sus ocurrencias, con su manera de ser me han hecho de esta carrera, sin duda, una experiencia INOLVIDABLE...Gracias!!! Los adoro...

**Carmela Vázquez Fernández**

<b>Índice General</b>	<b>Páginas</b>
<b>I. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>II. Fundamento teórico</b>	<b>3</b>
<b>II.1 Programa de Higiene y Seguridad Ocupacional (PHSO),     aspectos generales</b>	<b>3</b>
<b>II.1.1 Evaluación de las condiciones y medio         ambiente de trabajo</b>	<b>4</b>
<b>II.1.2 Investigación y análisis de incidentes, accidentes         y enfermedades ocupacionales</b>	<b>6</b>
<b>II.2 Calidad de Aire</b>	<b>7</b>
<b>II.2.1 Calidad de Aire en espacios cerrados</b>	<b>8</b>
<b>II.2.2 Investigación de la calidad del aire en espacios         cerrados</b>	<b>9</b>
<b>II.3 Naturaleza y fuentes de los contaminantes químicos en     espacios cerrados</b>	<b>11</b>
<b>II.3.1 Origen de los contaminantes</b>	<b>11</b>
<b>II.3.2 Contaminantes químicos característicos</b>	<b>12</b>

<b>II.3.3 Características de los contaminantes</b>	<b>14</b>
<b>II.3.3.1 Toxicidad del material</b>	<b>14</b>
<b>II.3.3.2 Forma física o química del contaminante</b>	<b>17</b>
<b>II.3.3.3 Vía de exposición</b>	<b>20</b>
<b>II.4 Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (PAHs)</b>	<b>25</b>
<b>II.4.1 Formación</b>	<b>25</b>
<b>II.4.2 Estabilidad</b>	<b>26</b>
<b>II.4.3 Fuentes de exposición</b>	<b>27</b>
<b>II.4.4 Efecto sobre la salud</b>	<b>28</b>
<b>II.4.5 Riesgo ocupacional</b>	<b>32</b>
<b>II.4.6 Características físico-químicas</b>	<b>34</b>
<b>II.5 Perspectiva de muestreo del aire</b>	<b>35</b>
<b>II.5.1 Tipos de muestreo del aire</b>	<b>36</b>
<b>II.5.1.1 Muestreo personal</b>	<b>36</b>
<b>II.5.1.2 Muestreo del área (Indoor)</b>	<b>38</b>
<b>II.5.1.3 Muestreo de la fuente</b>	<b>38</b>

<b>II.5.2 Tipos de muestras</b>	<b>38</b>
<b>II 5.2.1 Muestras integradas</b>	<b>38</b>
<b>II.5.2.2 Muestra instantánea</b>	<b>40</b>
<b>II.6 Técnicas de muestreo del aire</b>	<b>40</b>
<b>II.6.1 Dispositivos de recolección de muestra</b>	<b>40</b>
<b>II.6.2 Métodos de recolección de la muestra</b>	<b>41</b>
<b>II.6.2.1 Muestreo a base de bombas</b>	<b>41</b>
<b>II.6.2.1.1 Calibración de la bomba</b>	<b>41</b>
<b>II.6.2.1.2 Cálculo del volumen del aire</b>	<b>41</b>
<b>II.6.2.1.3 Recolector de muestra</b>	<b>44</b>
<b>II.6.2.1.3.1 Gas y vapor</b>	<b>44</b>
<b>II.6.2.1.3.2 Partículas</b>	<b>45</b>
<b>II.6.2.2 Muestreo pasivo</b>	<b>46</b>
<b>II.7 Muestreo de aire en una jornada de trabajo</b>	<b>47</b>
<b>II.7.1 Número de trabajadores a muestrear. Grupos Homogéneos de Exposición (GHE).</b>	<b>47</b>
<b>II.7.2 Número mínimo de muestras por jornada</b>	<b>47</b>
<b>II.7.3 Tipos de muestreo en una jornada</b>	<b>47</b>
<b>II.8 Análisis de las muestras</b>	<b>49</b>
<b>II.8.1 Tratamiento de muestras</b>	<b>49</b>
<b>II.8.1.1 Extracción en fase sólida (SPE)</b>	<b>49</b>
<b>II.8.2 Técnicas de análisis químico</b>	<b>51</b>

II.8.2.1	Cromatografía como técnica de separación	51
II.8.2.1.1	Cromatografía de Gases (GC)	51
II.8.2.1.2	Cromatografía de Alta Eficiencia (siglas en inglés, HPLC)	52
II.9	Cálculo y análisis de los datos	54
II.9.1	Cálculo de la concentración de la jornada	54
II.9.2	Comparación con el Valor Límite Ambiental de Exposición Diaria (VLA-ED)	55
II.9.2.1	Sistema de decisión a partir de un pequeño número de muestras ( $n \leq 6$ )	56
III.	Antecedentes	57
IV.	Planteamiento del problema	61
V.	Objetivos	62
V.1	Objetivo General	62
V.2	Objetivos Específicos	62
VI.	Metodología	63
VI.1	Metodología de muestreo	63
VI.1.1.	Materiales y equipos a utilizar	63
VI.1.2.	Programa de Higiene y Seguridad Ocupacional (PHSO)	63
VI.1.2.1	Aspectos Generales de la Estrategia de asesoramiento de Exposición	63
VI.1.2.1.1	Razón del Muestreo	63

<b>VI.1.2.1.2 Zona de Evaluación de Calidad del Aire (Indoor)</b>	<b>64</b>
<b>VI.1.2.1.3 Dimensiones del área de ser muestreada</b>	<b>64</b>
<b>VI.1.2.1.4 Fuente contaminante en ambiente de trabajo</b>	<b>64</b>
<b>VI.1.2.1.5 Plan de muestreo</b>	<b>64</b>
<b>VI.1.2.1.5.1 Tipo de muestreo</b>	<b>65</b>
<b>VI.1.2.1.5.2 Técnica de muestreo</b>	<b>65</b>
<b>VI.1.2.1.5.3 Número de muestras y duración de cada muestreo</b>	<b>66</b>
<b>VI.1.2.1.5.4 Trabajadores a muestrear</b>	<b>67</b>
<b>VI.1.2.1.5.5 Dias y horas de realización del muestreo</b>	<b>67</b>
<b>VI.1.2.1.5.6 Número de muestreos a realizar</b>	<b>67</b>
<b>VI.1.2.1.6 Muestreo</b>	<b>68</b>
<b>VI.1.2.1.6.1 Calibración de la bomba</b>	<b>68</b>
<b>VI.1.2.1.6.2 Sistema de muestreo</b>	<b>68</b>

**VI.1.2.1.6.3 Cadena de custodia 68  
de las muestras**

<b>VI.2 Metodología del análisis experimental</b>	<b>69</b>
<b>VI.2.1. Materiales y equipos a utilizar</b>	<b>69</b>
<b>VI.2.2. Análisis de las muestras</b>	<b>69</b>
<b>VI.2.2.1 Extracción de los PAHs</b>	<b>69</b>
<b>VI.2.2.2 Purificación de los extractos</b>	<b>70</b>
<b>VI.2.2.3 Caracterización y cuantificación de los PAHs</b>	<b>72</b>
<b>VI.2.2.3.1 Identificación para PAHs</b>	<b>72</b>
<b>VI.2.2.3.2 Cuantificación de PAHs</b>	<b>75</b>
<b>II. Discusión de resultados</b>	<b>76</b>
<b>VII.1 Ubicación y descripción del local</b>	<b>76</b>
<b>VII.1.1 Ubicación del local</b>	<b>76</b>
<b>VII.1.2 Descripción del local</b>	<b>76</b>
<b>VII.2 Estrategia de exposición al riesgo</b>	<b>78</b>
<b>VII.2.1. Fuente contaminante en ambiente de trabajo</b>	<b>79</b>
<b>VII.2.1.1 Área de cocción al carbón</b>	<b>79</b>
<b>VII.2.1.2 Area de cocción con aceite</b>	<b>79</b>
<b>VII.2.2. Análisis de puestos de trabajo</b>	<b>80</b>
<b>VII.2.2.1 Grupo Homogéneo de Exposición (GHE)</b>	<b>80</b>
<b>VII.2.2.2 Area de cocina, tipo de cocción al carbón</b>	<b>81</b>
<b>VII.2.2.1 Area de cocina, tipo de cocción con aceite</b>	<b>82</b>

<b>VII.2.3</b>	<b>Plan de muestreo</b>	<b>83</b>
<b>VII.2.3.1</b>	<b>Tipo de muestreo</b>	<b>83</b>
<b>VII.2.3.2</b>	<b>Técnica de muestreo personal</b>	<b>84</b>
<b>VII.2.3.3</b>	<b>Número de muestras y duración de cada muestreo</b>	<b>85</b>
<b>VII.2.3.4</b>	<b>Trabajadores a muestrear</b>	<b>85</b>
<b>VII.2.3.5</b>	<b>Días y horas de realización del muestreo</b>	<b>86</b>
<b>VII.2.3.6</b>	<b>Número de muestreos a realizar</b>	<b>88</b>
<b>VII.3</b>	<b>Análisis de las muestras</b>	<b>90</b>
<b>VII.3.1</b>	<b>Extracción de los PAHs</b>	<b>90</b>
<b>VII.3.2</b>	<b>Purificación de los extractos</b>	<b>90</b>
<b>VII.3.3</b>	<b>Identificación y cuantificación de los PAHs</b>	<b>93</b>
<b>VII.3.3.1</b>	<b>Análisis por HPLC-UV/FL</b>	<b>93</b>
<b>VII.3.3.1.1</b>	<b>Muestreo de área (Indoor)</b>	<b>95</b>
<b>VII.3.3.1.1.1</b>	<b>Técnica de extracción gas-líquido</b>	<b>95</b>
<b>VII.3.3.1.1.2</b>	<b>Técnica tubo de adsorción XAD-2</b>	<b>99</b>
<b>VII.3.3.1.2</b>	<b>Muestreo externo (Outdoor)</b>	<b>102</b>
<b>VII.3.3.1.3</b>	<b>Muestreo personal</b>	<b>104</b>
<b>VI.3.3.1.3.1</b>	<b>Area de cocina al carbón</b>	<b>104</b>
<b>VI.3.3.1.3.1.1</b>	<b>Trabajador M1</b>	<b>104</b>
<b>VI.3.3.1.3.1.2</b>	<b>Trabajador M2</b>	<b>108</b>
<b>VI.3.3.1.3.2</b>	<b>Area de cocina con aceite</b>	<b>112</b>
<b>VI.3.3.1.3.2.1</b>	<b>Trabajador M3</b>	<b>112</b>

VII.3.3.2	Análisis por GC-FID	116
VII.3.3.2.1	Técnica de filtro PTFE	118
VII.3.3.2.2	Muestreo personal	120
VII.3.3.2.2.1	Area de cocina al carbón	120
VII.3.3.2.2.1.1	Trabajador M2	120
VII.4	Análisis de los resultados	124
VII.4.1	Comparación con el Valor Límite Ambiental de Exposición Diaria (VAL-ED)	124
VII.4.2	Comparación de ED, en trabajadores del área de tipo de cocción por carbón Vs por aceite	127
VII.4.3.	Comparación del trabajo actual con los antecedentes.	128
VIII.	Conclusiones	130
IX.	Recomendaciones	132
X.	Bibliografía	133
XI.	Apéndice	139

## I. Introducción

Hoy en día ha aumentado el interés hacia la Higiene Ocupacional en Venezuela, con respecto a la calidad de aire en espacios cerrados, sobre todo en los ambientes de trabajo, ya que los trabajadores pasan largos períodos de tiempo inhalando este aire, constituido por agentes contaminantes químicos, como lo son los Compuestos Orgánicos (COMV, COV, COSV y COP), que atentan contra su salud, por lo que se necesita asegurar que el aire sea óptimo para que ésta se vea protegida. Estos agentes contaminantes son identificados como cancerígenos y/o mutagénicos, por lo que es una prioridad el estudio de éstos, por medio de una estrategia de muestreo para su captación y métodos de análisis químico para la identificación y cuantificación de los mismos.

Tales compuestos químicos, se encuentran en el aire en fase gaseosa o sólida, esta última reconocida en las normas de seguridad como partículas totales suspendidas (PTS) en la atmósfera, que es una fuente externa en el estudio de la calidad del aire en espacios cerrados, y partículas respirables ( $PM_{2.5}$ ) que son las emanadas por las fuentes que se encuentran en el espacio cerrado a evaluar, uno de los tipos de compuestos químicos que se necesitan evaluar, son los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos, mejor conocidos por sus siglas en inglés PAHs, los cuales representan un alto grado de riesgo contra la salud de los seres vivos, por lo que se han establecido normas de seguridad, para la protección y prevención de la inhalación de concentraciones altas de los PAHs.

Los PAHs, son un grupo de sustancias químicamente derivadas del Benceno, y se forman a través de la exposición de algunas materias (como madera, carbón, aceites, derivados del petróleo, etc.) a altas temperaturas sin llegar a la combustión, se observó durante investigaciones recientes que las emisiones producto de la utilización de equipos requeridos para la cocción de alimentos (rostizados, fritos, cocinados, horneados, etc.), son un alto riesgo para la salud del trabajador encargado de la

preparación de éstos alimentos como de los trabajadores a su alrededor, ya que por medio de los diferentes métodos de cocción, se obtienen compuestos como los PAHs los cuales se desprenden al ambiente de trabajo, en el humo y vapores que se generan en estos procesos de cocción.

Diferentes tipos de muestreo de área, de fuente y personales llevados a cabo con equipos especiales de captación de agentes contaminantes del aire en espacios cerrados de cocinas tanto caseras como comerciales concocidos como: tubo de adsorción, extracción gas-líquido y filtros, han arrojado resultados de los cuales se obtuvieron concentraciones importantes de PAHs gracias a que éstos se forman en gran cantidad dentro de las cocinas por las temperaturas que se usan para lograr los diferentes procesos de cocción. Lo que más concierne en este tema es que los tamaños de las partículas emitidas por estas fuentes generadoras de agentes tóxicos, son capaces de entrar en el llamado rango respirable para el hombre, lo que da pie a hacer un análisis más exhaustivo de las concentraciones que pueden ser inhaladas por un trabajador en su turno de trabajo, estas concentraciones pueden llegar a ser dañinas gracias a que la primera zona que se afecta del hombre cuando está expuesto a tales riesgos son las vías respiratorias, siendo afectado por enfermedades como lo son: neumonía, asma, bronquitis, etc. Hasta ser realmente afectado por enfermedades inmunológicas ya que las partículas pueden llegar hasta lo más profundo de las vías respiratorias y penetrar directamente al torrente sanguíneo, el cual puede asimilar estos agentes, con la adición de los mismos a las cadenas de ADN y actuar sobre ella como mutagénicos o carcinógenos, dando pie a enfermedades más severas como lo son el cáncer de pulmón.

## **II. Fundamento Teórico**

En esta sección se definirán algunos de los aspectos fundamentales del trabajo que se deben contemplar en la elaboración de un programa de Higiene y Seguridad Ocupacional, en cualquier tipo de trabajo de cualquier naturaleza donde laboren trabajadores; para facilitar la lectura las palabras subrayadas en el texto se definirán en el Apéndice 4.

### **II.1. Programa de Higiene y Seguridad Ocupacional (PHSO), Aspectos Generales**

En Venezuela, tenemos normas establecidas por la Comisión Venezolana de Normas Industriales, mejor conocidas por sus siglas, COVENIN y las reglas de la Ley Orgánica de Prevención, Condiciones y Medio Ambiente de Trabajo, LOPCYMAT, que apoyan la evaluación de los medios de trabajo para evitar un medio ambiente de trabajo crítico, que afecte la salud e integridad de los trabajadores. Según la norma COVENIN 2260-04, esto se alcanza con un conjunto de objetivos, acciones y metodologías establecidas para prevenir y controlar aquellos factores o condiciones de riesgo potenciales presentes en el ambiente de trabajo que pueden traer incidentes, accidentes de trabajo y enfermedades profesionales(ocupacionales), conocido cómo el PHSO. Se debe saber que la Higiene Ocupacional, es una ciencia dedicada al conocimiento y control de aquellos factores ambientales o tensiones emanadas o provocadas con motivo del trabajo y que puede ocasionar enfermedades, afectar la salud y el bienestar, o crear algún malestar significativo entre los trabajadores o los ciudadanos, y que la Seguridad Ocupacional se debe aplicar por medio de un conjunto de principios, leyes, criterios y normas formuladas, cuyo objetivo es el de controlar el riesgo de accidentes y daños, tanto personales como a los equipos y materiales que intervienen en el desarrollo de toda actividad productiva. (1)

### **II.1.1 Evaluación de las condiciones y medio ambiente de trabajo**

Las medidas necesarias para el reconocimiento, evaluación y control de los riesgos ocupacionales, potenciales o presentes asociados a una actividad laboral en ambientes de trabajo deben ser analizados en cuanto a procesos, materiales, equipos, productos, horarios de trabajo y número de trabajadores, por medio de la instancia, que se debe realizar con personal especializado, un estudio de línea base para la identificación de todos los riesgos a la salud y seguridad existentes en el lugar de trabajo para la fecha en que se realiza el estudio. Todos los agentes de riesgo encontrados en procedimientos de trabajo deben ser alertados para capacitar a los trabajadores sobre la protección de éstos, logrando un ambiente laboral seguro. En todo cambio de equipos, maquinaria, materiales o procesos, deben establecerse consideraciones de higiene y seguridad ocupacional que permitan la protección de los trabajadores ante los riesgos asociados a ese cambio, realizando previamente un análisis de estos, para establecer las medidas de protección y control correspondientes.

Los trabajadores y especialistas de manera conjunta realizarán los análisis correspondientes a los riesgos de salud y seguridad asociados a los puestos de trabajo y a la instalación, establecerán medidas para eliminar o minimizar esos riesgos. En toda orden de trabajo se debe incluir y dar prioridad a los aspectos de Higiene y Seguridad Ocupacional, partiendo del reconocimiento de los riesgos asociados donde la adquisición, de nuevos equipos, productos químicos o materiales debe incluir las consideraciones de Higiene y Seguridad Ocupacional, para ello se realizarán inspecciones que permitan detectar de manera temprana desviaciones de los estándares o normas establecidas y se efectuara un reporte de las recomendaciones generadas de esas inspecciones, se debe tener disponible a los trabajadores tanto del reporte de las recomendaciones como las acciones que se hayan realizado para corregir las desviaciones encontradas. (1)

El resultado del análisis de las condiciones y medio ambiente de trabajo debe ser considerado para establecer las metas, objetivos y plan de acción para el año siguiente, donde la gerencia debe asegurar que la prioridad para proteger a las personas en el ambiente de trabajo, sea en el orden siguiente:

1. Actuar sobre la fuente generadora de riesgo, por ejemplo, cambio de un químico tóxico por otro menos tóxico.
2. Establecer barreras que protejan a las personas de los agentes de riesgos.
3. Controlar la exposición a través de procedimientos administrativos, tales como descansos mas frecuentes y rotación en el trabajo.

Con miras a cubrir los diferentes agentes de riesgo del ambiente laboral se diseñaran entre otros los siguientes Subprogramas:

1. Identificación y notificación de riesgos.
2. Manejo de productos químicos.
3. Protección respiratoria.
4. Conservación de la audición.
5. Protección Radiológica.
6. Condiciones ergonómicas.
7. Saneamiento básico industrial.
8. Conservación de la visión.
9. Calidad de aire en edificaciones.
10. Control de riesgos Biológicos.
11. Control de riesgos psico-sociales. (1)

### **II.1.2 Investigación y análisis de incidentes, accidentes y enfermedades ocupacionales**

Todos los accidentes e incidentes deben ser investigados mediante la evaluación objetiva de los hechos y el establecimiento de recomendaciones o planes de acción a fin de determinar las causas y evitar su repetición. En ningún caso se debe considerar la investigación para efectos de asignar culpables. Ante la sospecha de la existencia de una enfermedad de origen ocupacional, se debe realizar un proceso de investigación donde quede claramente establecida la relación causa efecto entre dicha enfermedad y los factores de riesgos presentes en el ambiente de trabajo, dicha investigación debe realizarse según lo establecido en la Norma COVENIN 3835. (2) (3)

## II.2 Calidad del Aire

La calidad del aire se determina por sus propiedades físicas, químicas y biológicas, puesto que es fundamental para la respiración y la salud de las personas, y que también afectarán a la comodidad olfativa. Dichas propiedades se pueden desglosar en los siguientes parámetros:

- I. Vapor de agua o humedad relativa.
- II. Concentración del anhídrido carbónico (CO<sub>2</sub>) y del oxígeno (O<sub>2</sub>).
- III. Olores desagradables.
- IV. Contaminantes aéreos, por sustancias físicas, químicas o biológicas.

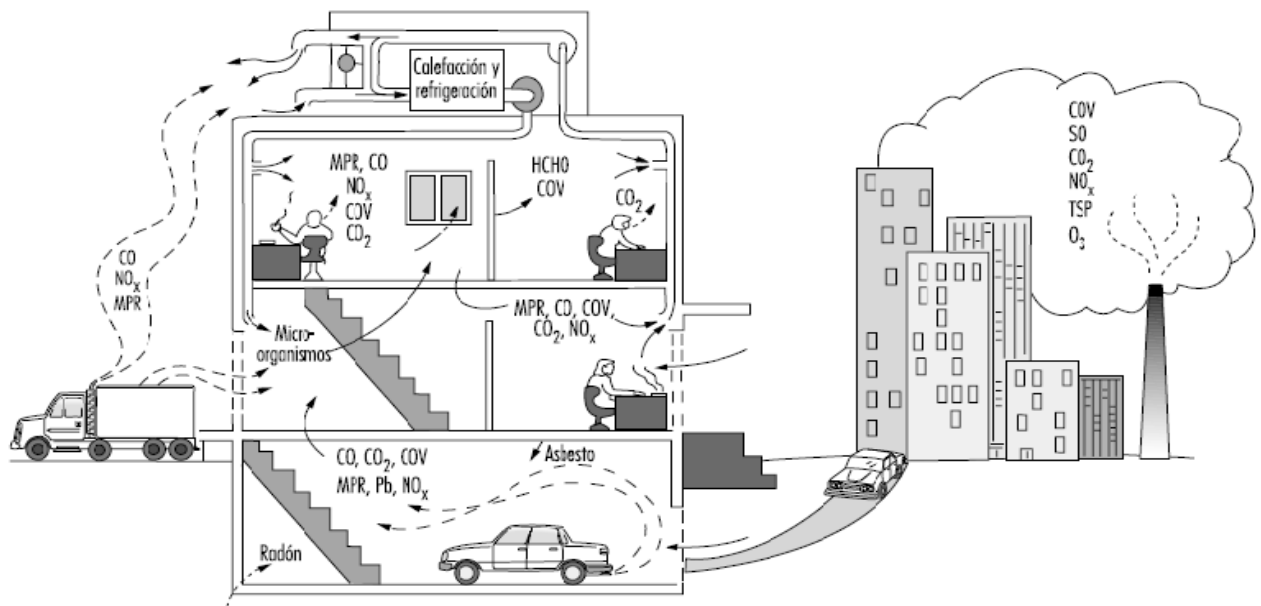
El factor clave para garantizar la calidad del aire será garantizar un caudal de renovación (m<sup>3</sup>/h) para mantener la concentración de contaminantes en límites aceptables. El procedimiento puede resultar bastante complejo, ya que se necesita:

1. Una fuente de aire limpio.
2. Una fuerza motriz que mueva el caudal.
3. Un recorrido de sección adecuada, con entrada y salida diferenciada.
4. Un sistema de regulación para modular los caudales en condiciones de invierno y verano. (4)

## II.2.1 Calidad del Aire, en espacios cerrados

El término *aire interior* suele aplicarse a ambientes de espacios cerrados no industriales, también conocido con su término en inglés *INDOOR*, como edificios de oficinas, edificios públicos (colegios, hospitales, teatros, restaurantes, etc.) y viviendas particulares. Las concentraciones de contaminantes en el aire de espacios cerrados de estas estructuras suelen ser de la misma magnitud que las encontradas habitualmente al aire exterior, y mucho menores que las existentes en el medio ambiente industrial, donde se aplican normas relativamente bien conocidas con el fin de evaluar la calidad del aire. Aun así, muchos ocupantes de edificios se quejan de la calidad del aire que respiran, por lo que es necesario investigar esta situación.

La calidad del aire en espacios cerrados, incluida la de las viviendas, se ha convertido en un problema de salud ambiental, como el control de la calidad del aire en el exterior o la exposición en el trabajo. Ya que una persona pasa entre el 58 y el 78 % de su tiempo en un medio ambiente cerrado, como personas más susceptibles (esto es, los ancianos, los niños pequeños y los enfermos) que pasan más tiempo en estos espacios. Es un asunto que comenzó a preocupar a las diferentes agencias internacionales de la calidad del aire a partir de 1973 cuando, debido a la crisis energética, los esfuerzos dirigidos a la conservación de energía se concentraron en la reducción de la entrada del aire exterior a los espacios interiores en la mayor medida posible, con el fin de disminuir los costes de calefacción y refrigeración de los edificios. Aunque no todos los problemas relacionados con la calidad del aire son consecuencia de medidas en materia de ahorro de energía, es evidente que conforme fue generalizándose ese principio, comenzaron a aumentar las quejas sobre la calidad del aire en espacios cerrados y a surgir todos los problemas.(4)



CO = monóxido de carbono; CO2 = dióxido de carbono; HCHO = formaldehído; NOx = óxidos de nitrógeno; Pb = plomo; MPR = materia particulada respirable; COV = compuestos orgánicos volátiles.

Figura 1-. Diagrama de un edificio que muestra diversas fuentes de contaminantes de interior y de exterior. (4)

## II.2.2 Investigación de calidad del aire en espacios cerrados

Cuando se realiza un estudio sobre la calidad del aire en espacios cerrados, los objetivos establecidos influirán profundamente en su diseño y en las actividades dirigidas a la toma de muestras y la evaluación, ya que en algunos casos privarán los procedimientos que proporcionen una respuesta rápida, mientras que en otros serán los valores globales. La duración del programa estará dictada por el tiempo necesario para obtener muestras representativas, y dependerá también de la estación y de las condiciones meteorológicas. Si el objetivo es realizar un estudio de exposición y efecto, además de muestras a largo y corto plazo para evaluar picos, será necesario tomar muestras personales para confirmar la exposición directa de las personas.

La solución a los problemas de la calidad del aire interior requiere a menudo, además de expertos en acondicionamiento del aire e higiene industrial, de especialistas en el control de la calidad del aire en espacios cerrados, en química analítica, en toxicología, en medicina ambiental, en microbiología, en epidemiología y en psicología. Al investigar un problema de calidad del aire en espacios cerrados de un edificio suele elaborarse previamente una estrategia práctica que consiste en una aproximación en fases. La primera, la investigación inicial, puede realizarse utilizando técnicas de higiene industrial y debe estructurarse de forma que el investigador no necesite ser un especialista en el campo de la calidad del aire. Se lleva a cabo una inspección general del edificio y se comprueban sus instalaciones, en particular las que afectan a la regulación y al funcionamiento correcto del sistema de calefacción, ventilación y acondicionamiento del aire, de acuerdo con las normas establecidas en el momento de su instalación.

Si el problema no se identifica y resuelve en esta primera fase, hay otras posteriores en las que se realizan investigaciones más especializadas que se ocupan de los problemas potenciales identificados en la primera fase. Tales investigaciones pueden incluir un análisis más detallado del sistema de calefacción, ventilación y acondicionamiento del aire del edificio, una evaluación más amplia de los materiales de los que se sospecha que emiten gases y partículas, un análisis químico detallado del aire ambiente en el edificio y evaluaciones médicas o epidemiológicas para detectar síntomas de enfermedad. (4)

## **II.3 Naturaleza y fuentes de contaminantes químicos en espacios cerrados**

### **II.3.1 Origen de los contaminantes**

La contaminación en espacios cerrados tiene diferentes orígenes: los propios ocupantes, los materiales inadecuados o con defectos técnicos utilizados en la construcción del edificio; el trabajo realizado en el interior; el uso excesivo o inadecuado de productos normales (plaguicidas, desinfectantes, productos de limpieza y encerado); los gases de combustión (procedentes del tabaco, de las cocinas, de las cafeterías y de los laboratorios); y la conjunción de contaminantes procedentes de otras zonas mal ventiladas que se difunde hacia áreas vecinas, afectándolas. Téngase en cuenta que las sustancias emitidas en el aire interior tienen muchas menos oportunidades de diluirse que las emitidas en el aire exterior debido a las diferencias de volumen de aire disponible.

Por último, debe considerarse también la contaminación procedente del exterior. Con respecto a la actividad humana, hay tres fuentes principales: la combustión en fuentes estacionarias (centrales energéticas), la combustión en fuentes móviles (vehículos) y los procesos industriales. Los cinco contaminantes más importantes emitidos por estas fuentes son: el monóxido de carbono, los óxidos de azufre, de nitrógeno, los compuestos orgánicos volátiles (incluidos los hidrocarburos), PAHs y las partículas. También hay contaminantes generados de forma natural propulsados a través del aire, como las partículas de polvo volcánico, la sal de suelo y de mar, las esporas y los microorganismos. (4)

### II.3.2 Contaminantes químicos característicos

Pueden existir como gases, vapores ó partículas que pueden haber penetrado al interior desde el ambiente exterior o bien haberse formado dentro del edificio. La importancia relativa del origen interior o exterior varía en función del tiempo. He aquí los contaminantes químicos principales

1. **Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)** producto metabólico que se utiliza a menudo como indicador del nivel de contaminación del aire en relación con la presencia de seres humanos en el espacio cerrado;
2. **Monóxido de carbono (CO)** óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), gases de combustión inorgánicos formados fundamentalmente durante la combustión de combustibles y de ozono (O<sub>3</sub>), producto de reacciones fotoquímicas que también puede ser liberado por algunas fuentes del espacio cerrado.
3. **Compuestos orgánicos** Se originan a partir de diversas fuentes en el espacio cerrado y exterior la mayoría están presentes a concentraciones muy bajas. Tales compuestos pueden agruparse en función de su punto de ebullición; en la Tabla 1 se muestra una clasificación utilizada que identifica cuatro grupos de compuestos orgánicos: *a*) Compuestos orgánicos muy volátiles (COMV); *b*) compuestos orgánicos volátiles (COV); *c*) compuestos orgánicos Semivolátiles (COSV), y *d*) compuestos orgánicos asociados a partículas (COAP). Los compuestos orgánicos de fase particulada se disuelven o adsorben en partículas. Pueden transformarse en vapor o en partículas, dependiendo de su volatilidad. Por ejemplo, los hidrocarburos poliaromáticos (HPA) constituidos por dos anillos de benceno fusionados (p. ej., el naftaleno) se encuentran principalmente en la fase de vapor y los constituidos por cinco anillos (p.ej., el benzo[a]pireno) predominantemente en la fase particulada. (4)

Tabla 1-. Clasificación de los contaminantes orgánicos en interiores.

<b>Categoría</b>	<b>Descripción</b>	<b>Abreviatura</b>	<b>Rango de Ebullición °C</b>	<b>Métodos de Muestreo</b>
1	Compuestos orgánicos muy volátiles (gaseosos)	COMV	<0 a 50-100	Muestreo de lotes; adsorción en carbón vegetal
2	Compuestos orgánicos volátiles	COV	50-100 a 240-260	Adsorción en Tenax, negro de humo molecular o carbón vegetal
3	Compuestos orgánicos Semivolátiles	COSV	240-260 a 380-400	Adsorción en espuma de poliuretano o XAD-2
4	Compuestos orgánicos asociados a partículas o materia orgánica particulada	COP	380	Filtros de recogida

Tomado de: Solá, Xavier Guardino y Guasch Farrás, Juan. *Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo*. Madrid : Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales Subdirección General de Publicaciones, 2001.

### II.3.3 Características de los contaminantes

Una evaluación de los contaminantes reconoce que agentes químicos, físicos y biológicos pueden causar: lesiones, enfermedades o la muerte. Contaminantes potentes son evaluados por expertos según la siguiente clasificación:

1. **Toxicidad del material:** La capacidad intrínseca del material para causar enfermedades o lesiones.
2. **Forma física o química del contaminante:** si es gas, vapor, o materia particulada (aerosol).
3. **Via de exposición:** Inhalación, subcutánea (piel) o ingestión.
4. **Peligro físico:** riesgo de cada compuesto hacia el fuego o explosión. (5)

#### II.3.3.1 Toxicidad del material

La toxicología desempeña un papel importante en la elaboración de normas y otras medidas de salud profesional. Las decisiones encaminadas a prevenir las lesiones y enfermedades profesionales se están basando cada vez más en información obtenida antes o en ausencia de los tipos de exposiciones humanas que proporcionarían datos definitivos sobre el riesgo. Además, los estudios toxicológicos pueden proporcionar una información precisa sobre la dosis y la respuesta en las condiciones controladas de la investigación de laboratorio, ésta información sobre la toxicidad, tipo de sustancia a la que se está expuesto (xenobiótico, genotóxicas, cancerígenos, etc), los riesgos y peligros que éstas pueden causar suelen ser difíciles de obtener en el contexto no controlado de las exposiciones profesionales. No obstante, esa información ha de evaluarse cuidadosamente para estimar la probabilidad de efectos adversos en los humanos, la naturaleza de esos efectos adversos y la relación cuantitativa entre las exposiciones y los efectos. (4)

Las expresiones *categoricas de toxicidad y clasificación de la toxicidad* se utilizan a veces en el ámbito de las actividades de regulación. Las categorías de toxicidad se refieren a una calificación arbitraria de las dosis o niveles de exposición que causan efectos tóxicos. Se habla así de “sumamente tóxico”, “muy tóxico”, “moderadamente tóxico”, etc. Lo más frecuente es que estas expresiones se apliquen a la toxicidad aguda. La clasificación de la toxicidad se refiere a la agrupación de las sustancias químicas en categorías generales conforme a su efecto tóxico principal. Se habla así de sustancias alergénicas, neurotóxicas, carcinógenas, etc. Esta clasificación puede ser útil en el ámbito administrativo como advertencia y como información.

La *relación dosis-efecto* es la relación entre la dosis y el efecto a nivel individual. Un incremento de la dosis puede incrementar la intensidad de un efecto o su gravedad. También existe *la relación dosis-respuesta* que es la relación entre la dosis y el porcentaje de individuos que presentan un determinado efecto. Al incrementarse la dosis lo normal es que aumente el número de individuos afectados en la población expuesta. El establecimiento de las relaciones dosis-efecto y dosis-respuesta es esencial en toxicología. En los estudios médicos (epidemiológicos) suele utilizarse como criterio para aceptar una relación causal entre un agente y una enfermedad el hecho de que el efecto o la respuesta sean proporcionales a la dosis.

*La dosis* suele definirse como la cantidad de un xenobiótico que entra en un organismo (en unidades como mg/kg de peso corporal). La dosis puede expresarse de diferentes maneras (más o menos informativas): *dosis de exposición*, que es la concentración en el aire del contaminante que se inhala durante un determinado período de tiempo (en el ámbito de la higiene industrial, normalmente ocho horas), o *dosis absorbida o retenida* (llamada también carga corporal en higiene industrial), que es la cantidad presente de la sustancia en el cuerpo en un determinado momento durante la exposición o después de ella. *La dosis tisular* es la cantidad de sustancia en un determinado tejido, y la dosis diana es la cantidad de sustancia (por lo general un metabolito) unida a la molécula crítica. (4)

En el concepto de *dosis* se suele incluir un elemento temporal, aun cuando no se exprese siempre. Según la ley de Haber, la dosis teórica es  $D = ct$ , donde D es la dosis, c es la concentración del xenobiótico en el aire y t la duración de la exposición a la sustancia química.

El *tiempo de latencia* es el tiempo que transcurre entre la primera exposición y la aparición de un efecto o respuesta observable. Esta expresión suele utilizarse en el caso de los efectos de los carcinógenos, en los que los tumores pueden aparecer mucho tiempo después del comienzo de la exposición y a veces mucho tiempo después de que ésta haya cesado. También se conoce el *umbral de dosis* el cual es un nivel de la dosis por debajo del cual no hay ningún efecto observable. Se cree que existen umbrales en el caso de determinados efectos, como los efectos tóxicos agudos, pero no en el de otros, como los efectos carcinógenos (por iniciadores de la formación de aductos de ADN). Otra concentración conocida es la DL50 (dosis letal) es la que produce una mortalidad del 50 % en una población animal. La DL50 solía considerarse en la bibliografía más antigua como una medida de la toxicidad aguda de las sustancias químicas. A mayor DL50, menor toxicidad aguda. De una sustancia química muy tóxica (con una DL50 baja) se dice que es *potente*, se tiene el *NOEL (NOAEL)* que es el nivel sin efecto (adverso) observado, o la dosis más alta que no produce efecto tóxico. Para establecer un NOEL se necesitan múltiples dosis, una población amplia e información complementaria para garantizar que la ausencia de respuesta no es un mero fenómeno estadístico y por último el *LOEL* que es la mínima dosis efectiva observada en una curva de dosis-respuesta, (es decir, la dosis mínima) que produce un efecto. (4)

### **II.3.3.2 Forma física o química del contaminante**

Las propiedades físicas de las sustancias inhaladas predicen el lugar de depósito; los irritantes producen síntomas en esos lugares. Las partículas grandes (10 a 20  $\mu\text{m}$ ) se depositan en la nariz y vías aéreas superiores, las partículas más pequeñas (5 a 10  $\mu\text{m}$ ) se depositan en la tráquea y los bronquios, y las partículas de menos de 5  $\mu\text{m}$  pueden alcanzar los alveolos. Las partículas de menos de 0,5  $\mu\text{m}$  son tan pequeñas que se comportan como gases tóxicos que se depositan de acuerdo con su solubilidad, los cuales son absorbidos por la mucosa húmeda de las vías aéreas superiores, en cuanto a los gases con una menor solubilidad éstos se depositan de forma más aleatoria por todo el tracto respiratorio.

Una vez dispersados en el aire, los gases y vapores contaminantes generalmente forman mezclas tan diluidas que sus propiedades físicas (como la densidad, la viscosidad, la entalpía, etc.) son indistinguibles de las del aire limpio. Puede considerarse que estas mezclas siguen las relaciones de las leyes de los gases ideales. No existen diferencias prácticas entre un gas y un vapor, salvo que este último se considera generalmente la fase gaseosa de una sustancia que puede existir en forma sólida o líquida a temperatura ambiente. Mientras están dispersadas en el aire, todas las moléculas de un compuesto dado son básicamente equivalentes con respecto a su tamaño y a las probabilidades de captura por las superficies del medio ambiente, del tracto respiratorio y de muestreadores o colectores de contaminantes. Los aerosoles, que son dispersiones de partículas sólidas o líquidas en el aire, tienen la variable adicional muy importante del tamaño de las partículas, el cual afecta su movimiento y, por tanto, a las probabilidades de que tengan lugar fenómenos físicos como coagulación, dispersión, sedimentación, impactación en las superficies, fenómenos de interfase y propiedades de dispersión de la luz. No es posible identificar una partícula dada por un único parámetro del tamaño. Por ejemplo, las propiedades aerodinámicas de una partícula dependen de la densidad y la forma, además de las dimensiones

lineales, y el tamaño eficaz para la dispersión de la luz depende del índice de refracción y de la forma. (4)

Muchas propiedades de las partículas, aparte del tamaño lineal, pueden influir de manera importante en su comportamiento en el aire y sus efectos sobre el medio ambiente y la salud. Estas propiedades son (definidas en el Apendice 8):

1. Superficie
2. Volúmen
3. Forma
4. Diámetro aerodinámico
5. Velocidad de sedimentación terminal

*Los aerosoles* suelen clasificarse en función de sus procesos de formación. Aunque la siguiente clasificación no es precisa ni exhaustiva, es de uso habitual y está aceptada en los campos de la higiene industrial y de contaminación del aire. a) *Polvo*: es un Aerosol formado mediante la subdivisión mecánica de material voluminoso en partículas menudas transportadas por el aire y con la misma composición química. Las partículas de polvo suelen ser sólidas y de forma irregular, y sus diámetros son superiores a 1  $\mu\text{m}$ . b) *Vapor*: es un Aerosol de partículas sólidas formadas por la condensación de vapores originados por combustión o sublimación a temperaturas elevadas. Las partículas primarias son generalmente muy pequeñas (menos de 0,1  $\mu\text{m}$ ) y tienen formas esféricas o cristalinas características Pueden ser químicamente idénticas al material del que se originan, o bien estar formadas de un producto de oxidación, como un óxido de metal. Dado que pueden formarse en concentraciones elevadas, a menudo se coagulan rápidamente, formando agregados de baja densidad global. c) *Humo*: es un Aerosol formado por la condensación de productos de combustión, generalmente de materiales orgánicos. Las partículas suelen ser gotitas de líquido de diámetros inferiores a 0,5  $\mu\text{m}$ . d) *Neblina*: es un Aerosol en gotitas formado por cizallamiento mecánico de un líquido voluminoso, por ejemplo, mediante atomización, nebulización, formación de burbujas o

pulverización. El tamaño de las gotitas oscila en un amplio rango, generalmente desde 2  $\mu\text{m}$  hasta más de 50  $\mu\text{m}$ . e) *Niebla*: es un Aerosol acuoso formado por condensación de vapor de agua en núcleos atmosféricos a humedades relativas elevadas. El tamaño de las gotitas suele ser mayor de 1  $\mu\text{m}$ . f) *Smog*: es el término inglés de uso popular que describe un aerosol contaminante y que deriva de una combinación de los términos ingleses “smoke”(humo) y “fog”(niebla). En la actualidad se utiliza de forma habitual para hacer referencia a cualquier mezcla de contaminación atmosférica. g) *Calina*: tipo de Aerosol de tamaño submicrométrico formado por partículas higroscópicas que captan vapor de agua a humedades relativas relativamente bajas. h) *Aitken o núcleos de condensación (NC)*: son partículas atmosféricas muy pequeñas (la mayoría menores de 0,1  $\mu\text{m}$ ) formadas por procesos de combustión y por conversión química a partir de precursores gaseosos.

Existen varios tipos de acumulación de las formas físicas del contaminante en los diferentes ambientes, uno de ellos se conoce como un término con el que se designan las partículas del aire ambiente cuyo diámetro oscila entre 0,1 hasta aproximadamente 1  $\mu\text{m}$ , nombrado Modo de acumulación, que suelen ser partículas esféricas (con superficies líquidas) y se forman por coagulación y condensación de partículas de menor tamaño que derivan de precursores gaseosos. Al ser demasiado grandes para coagularse rápidamente y demasiado pequeñas para sufrir una sedimentación eficaz, tienden a acumularse en el aire. Otro tipo de acumulación comúnmente conocido es, *Modo de partícula gruesa*, en donde las partículas del aire ambiental tienen un diámetro aerodinámico superior a unos 2,5  $\mu\text{m}$  y se forman generalmente mediante procesos mecánicos y resuspensión de polvo de superficie. (4)

### II.3.3.3 Via de exposición

*La absorción* es el paso de una sustancia del medio ambiente al organismo. Por lo general se entiende no sólo como el hecho de atravesar la barrera tisular sino también como su llegada ulterior a la circulación sanguínea. Existen personas que se hallan expuestas a numerosos tóxicos que están presentes en el medio ambiente profesional o general, y que pueden penetrar en el organismo humano por tres vías de entrada principales:

1. A través del tracto respiratorio, por inhalación de aire contaminado.
2. A través del tracto gastrointestinal, por ingestión de comida y bebida contaminadas.
3. A través de la piel, por penetración dérmica, también llamada percutánea.

En el caso de la exposición en la industria, la principal vía de entrada de tóxicos es *La absorción en los pulmones* (por inhalación) la principal vía de entrada de numerosos tóxicos que están en suspensión en el aire (gases, vapores, humos, nieblas, polvos, aerosoles, etc.), ésta vía es la conocida como el tracto respiratorio (TR) el cual es un sistema ideal para el intercambio de gases, pues posee una membrana cuya superficie es de 30 m<sup>2</sup> (expiración) a 100 m<sup>2</sup> (inspiración profunda), tras la cual hay una red de unos 2.000 km de capilares. Este sistema, que se ha ido desarrollando a lo largo de la evolución, está contenido en un espacio relativamente pequeño (la cavidad torácica) y cuenta con la protección de las costillas. Desde el punto de vista anatómico y fisiológico, el TR puede dividirse en tres compartimientos:

1. Parte superior o compartimiento nasofaríngeo (NF), que se inicia en los orificios de la nariz y se extiende hasta la faringe y la laringe; funciona como un sistema de acondicionamiento del aire.

2. Arbol traqueobronquial (TB), integrado por numerosos tubos de diversos tamaños que llevan el aire a los pulmones.
3. Compartimiento pulmonar (P), que consta de millones de alveolos (sacos de aire) dispuestos en formas arracimadas.

*Absorción pulmonar.* Los pulmones son la principal ruta de depósito y absorción de pequeñas partículas suspendidas en el aire, gases, vapores y aerosoles. En el caso de los gases y vapores muy hidrosolubles, una parte importante de la absorción se produce en la nariz y el árbol respiratorio, pero en el caso de las sustancias menos solubles se produce principalmente en los alveolos pulmonares. La barrera de difusión es sumamente pequeña, sólo dos delgadas capas de células y una distancia de micras entre el aire alveolar y la circulación sanguínea sistémica. Ello hace que los pulmones sean un órgano muy eficiente para el intercambio no sólo de oxígeno y dióxido de carbono, sino también de otros gases y vapores. En general, la difusión por la pared alveolar es tan rápida que no limita la captación. La velocidad de absorción, sin embargo, depende más del flujo (ventilación pulmonar, gasto cardíaco) y de la solubilidad (coeficiente de reparto sangre/aire). (4)

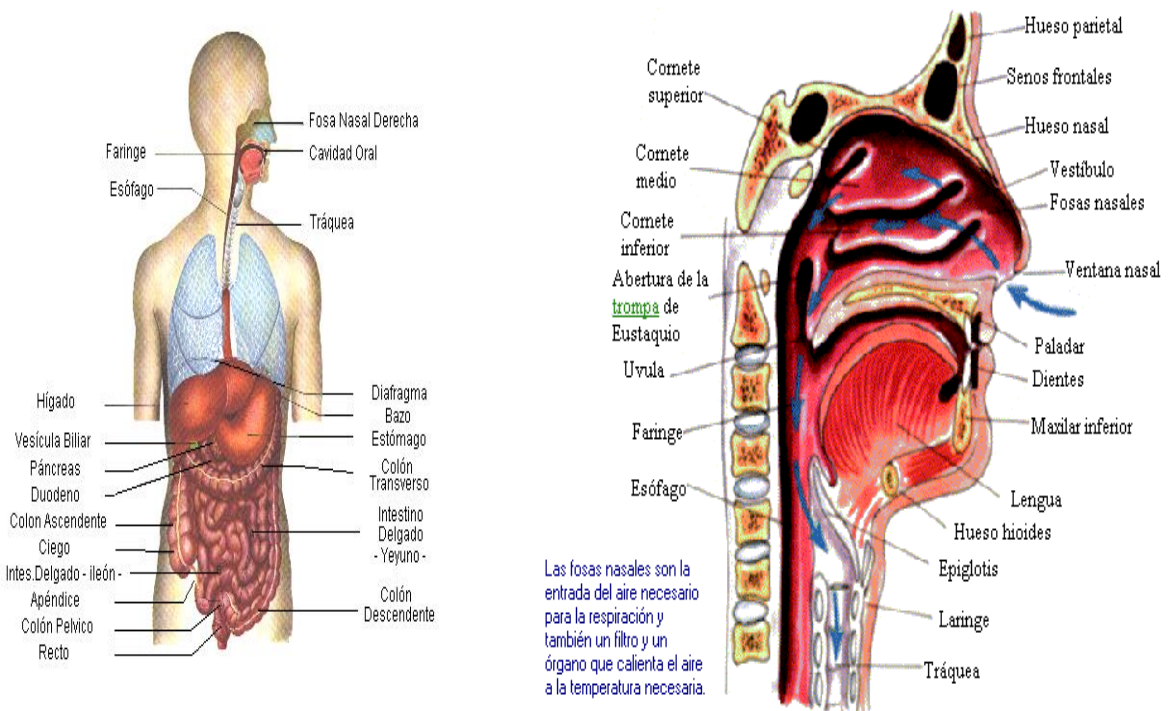


Figura 2. Vías del cuerpo humano, (respiratorias) (6)

*Absorción percutánea.* La piel es una barrera muy eficiente, tiene como función ser termorreguladora, proteger al organismo de los microorganismos, la radiación ultravioleta y otros agentes nocivos, y también de la pérdida de agua excesiva. La distancia de difusión en la dermis es del orden de décimas de milímetro. Además, la capa de queratina opone mucha resistencia a la difusión de la mayoría de las sustancias. No obstante, en el caso de algunas sustancias suele producirse una absorción dérmica significativa con resultado de toxicidad —sustancias liposolubles muy tóxicas como por ejemplo los insecticidas organofosforados y los disolventes orgánicos. Lo más frecuente es que esa absorción significativa se produzca como consecuencia de la exposición a sustancias líquidas. La absorción percutánea de vapores puede ser importante en el caso de los disolventes con presión de vapor muy baja y gran afinidad por el agua y la piel.

La piel (con una superficie de 1,8 m<sup>2</sup> en una persona adulta) recubre la superficie del cuerpo junto con las membranas mucosas de los orificios corporales. Es una barrera contra los agentes físicos, químicos y biológicos, manteniendo la integridad y homeostasis del cuerpo y realizando muchas otras funciones fisiológicas. La piel consta básicamente de tres capas: la epidermis, la piel propiamente dicha (dermis) y el tejido subcutáneo (hipodermis).

Desde el punto de vista toxicológico la que más nos interesa aquí es la epidermis. Está constituida por muchas capas de células. La capa superior es una superficie irregular de células muertas aplanadas (estrato córneo), bajo la cual hay una capa continua de células vivas (estrato córneo compacto) seguida de una típica membrana lipídica y después por los estratos lúcido, granuloso y mucoso. La membrana lipídica es una barrera protectora, pero en las partes velludas de la piel penetran por ella tanto los folículos pilosos como los canales de las glándulas sudoríparas. Así pues, la absorción por la piel puede producirse por cualquiera de los mecanismos siguientes:

1. Absorción transepidérmica por difusión a través de la membrana (barrera) lipídica, sobre todo de sustancias lipófilas (disolventes orgánicos, plaguicidas, etc.) y en pequeña medida de algunas sustancias hidrófilas a través de los poros.
2. Absorción transfolicular alrededor del tallo del pelo hasta penetrar en el folículo piloso, evitando así la barrera de la membrana; esta absorción se produce únicamente en las zonas de la piel que tienen vello.
3. Absorción a través de los conductos de las glándulas sudoríparas, que tienen una sección transversal de entre el 0,1 y el 1 % aproximadamente de la superficie total de piel (la absorción relativa presenta esa misma proporción).
4. Absorción a través de la piel cuando ésta sufre lesiones mecánicas, térmicas o químicas o por enfermedades cutáneas; en esos casos se produce una

horadación de las capas de la piel, incluida la barrera lipídica, lo que abre la puerta a la entrada de agentes tóxicos y nocivos.

La velocidad de absorción percutánea depende de muchos factores:

1. La concentración del tóxico, el tipo de vehículo (medio) y la presencia de otras sustancias.
  2. El contenido hídrico de la piel, su pH y su temperatura, el flujo sanguíneo local, la transpiración, la superficie de piel contaminada y el grosor de la piel.
  3. Características anatómicas y fisiológicas de la piel debidas al sexo y la edad, a variaciones individuales, a diferencias entre diversos grupos étnicos y razas, etc.
- (7)

## **II.4 Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (PAHs)**

Los PAHs (de sus siglas en inglés), son compuestos orgánicos formados por dos o más anillos aromáticos condensados. Los anillos pueden estar en forma recta ó angulados. La estructura condensada más sencilla, formada por sólo dos anillos aromáticos es el naftaleno. El Benzo(a)pireno , (BaP), es uno de los PAHs que posee la capacidad de desarrollar efectos carcinogénicos, genotóxicos y/o mutagénicos y se halla presente en la mayoría de las fuentes de producción de estos compuestos. Lo anterior, sumado al tiempo de permanencia en el medio ambiente (vida media en el suelo de 162 días), hacen que este compuesto sea empleado como elemento de referencia en diferentes estudios ambientales. (7)

### **II.4.1 Formación**

Se forman por pirólisis o combustión incompleta de materia orgánica que contiene carbono e hidrógeno. A elevadas temperaturas, la pirólisis de compuestos orgánicos produce fragmentos de moléculas y radicales que se combinan para dar lugar a los PAHs. La composición de los productos de la pirosíntesis depende del combustible, la temperatura y el tiempo de permanencia a altas temperaturas. Los combustibles que forman PAHs son metano, otros hidrocarburos, hidratos de carbono, ligninas, péptidos, etc. Sin embargo, los compuestos insaturados y las estructuras cíclicas suelen favorecer la formación de los PAHs. Evidentemente, los PAHs se liberan de la zona de combustión en forma de vapores. Debido a sus bajas presiones de vapor, la mayoría de los PAHs se condensan en el acto sobre partículas de hollín o forman ellos mismos partículas muy pequeñas. Los PAHs liberados a la atmósfera en forma de vapor son adsorbidos por las partículas presentes en ella. Por ello, se producirá una diseminación de aerosoles que contiene PAHs, que pueden ser transportados a grandes distancias por los vientos.

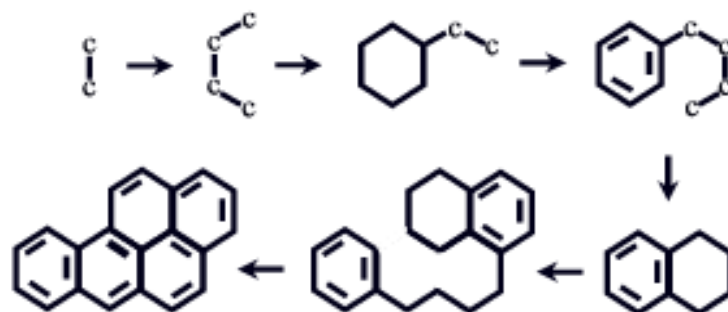


Figura 3-. Mecanismo de formación del B (a) P en condiciones de pirolisis. (7)

#### II.4.2 Estabilidad

Los sistemas conjugados de orbitales  $\pi$  de los PAHs son los responsables de su estabilidad química. Son sólidos a temperatura ambiente y su volatilidad es pequeña. Dependiendo de su carácter aromático los PAHs absorben la luz ultravioleta y producen un espectro fluorescente característico. Son solubles en muchos disolventes orgánicos, pero prácticamente insolubles en agua, tanto menos cuanto mayor sea su peso molecular.

Químicamente, los PAHs reaccionan por sustitución del hidrógeno o por adición cuando se produce la saturación, conservándose el sistema de anillos. La mayoría de los PAHs sufren fotooxidación, siendo ésta una forma para eliminarlos de la atmósfera. La reacción de fotooxidación más frecuente es la formación de endoperóxidos, que pueden convertirse a quinonas.

Los PAHs reaccionan rápidamente con óxidos de nitrógeno o  $\text{HNO}_3$ . Por ejemplo, el antraceno puede oxidarse a antraquinona por acción del  $\text{HNO}_3$  o dar un derivado nitrogenado mediante una reacción de sustitución con  $\text{NO}_2$ . El hecho de que los PAHs considerados cancerígenos o no, al reaccionar con otras sustancias no significa que se inactiven como tales; por el contrario, muchos de ellos se transforman en cancerígenos más potentes que el correspondiente compuesto progenitor.

Así el benzo(a)antraceno que está presente en el alquitrán de hulla, en el humo del cigarrillo, en las fábricas de gas; es un carcinógeno débil, pero algunos de sus derivados lo son mucho más como los 6-, 7-, 8- y 12- metilbenzo(a)antraceno y algunos de sus derivados dimetilados. (7)

### **II.4.3 Fuentes de exposición**

Pueden hallarse casi en todas partes, en el aire, la tierra y el agua, procedentes de fuentes naturales o antropogénicas. La contribución de las fuentes naturales, como los incendios forestales y los volcanes, etc, es mínima comparada con las emisiones causadas por el ser humano. La combustión de combustibles fósiles es la principal fuente de emisión de PAHs. Otras emisiones proceden de la combustión de residuos y madera, así como de los vertidos de petróleo crudo o refinado que en sí mismo contiene PAHs. Estos compuestos también están presentes en el humo del tabaco y en los alimentos a la parrilla, ahumados y fritos.

La principal fuente de PAHs son las atmósferas de trabajo de alquitrán (hulla), en fábricas de gas y coque. Generalmente, el contenido de BaP es máximo en el aire de estas atmosferas, con concentraciones de hasta 500 mg/m<sup>3</sup> de BaP. Otros tipos de procesos estudiados recientemente como fuentes de emisión de PAHs, son los que se necesitan para la preparación de alimentos (por cocción), por su utilización de aceites vegetales, y los propios alimentos en los cuales se han encontrado concentraciones inquietantes de PAHs, como en el pescado, pollo, carne, por medio de la contaminación de los procesos de ahumado, secado y cocción, especialmente asando a la parrilla y friendo. En la siguiente lista se han utilizado las mediciones de BaP en diferentes tipos de lugares de trabajo (ambientes externos e internos), para clasificarlos según el grado de exposición:

1. Muy alta a BaP (> 10 mg/m<sup>3</sup>): Trabajos en fábricas de gas y coque; plantas de aluminio fábricas de electrodos de grafito; manipulación de breas y alquitranes calentados.

2. Moderada (0,1 a 10 mg/m<sup>3</sup>): Trabajos en fábricas de gas y coque; acerías; fábricas de electrodos de grafito; plantas de aluminio; fundiciones.
3. Baja (< 0,1 mg/m<sup>3</sup>): Fundiciones; producción de asfaltos; plantas de producción de aluminio con electrodos precocidos; talleres de reparación de automóviles y garajes; minas de hierro y construcción de túneles.

Los trabajadores que permanecen cerca de los hornos están altamente expuestos a estos PAHs. Mediante técnicas de muestreo personal, se ha podido comprobar la presencia de otros PAHs como naftaleno, fenantreno, fluoranteno, pireno y antraceno en las muestras de aire tomadas. Las fuentes de PAHs en el trabajo, además del alquitrán de hulla y el asfalto, son el negro de humo, la creosota, los aceites minerales (aceites lubricantes y aceites de corte), los humos y hollines procedentes de diferentes combustiones y los gases de escape de los vehículos. (7)

#### **II.4.4 Efecto sobre la salud**

No todos los PAHs han mostrado poseer efectos carcinogénicos, genotóxicos o mutágenos y muchas veces el efecto se atribuye a la presencia conjunta de más de un compuesto de la familia y de algunos de sus derivados. (Tabla 2). Los efectos tóxicos de algunos PAHs sobre la piel están asociados con dermatitis aguda y crónica con síntomas de quemazón, picor y edema, que son más pronunciados en las regiones de la piel expuesta. La exposición prolongada causa pigmentación en las zonas de la piel expuesta, con cornificación de las capas superficiales y telangioectasis. También se puede observar irritación de las vías aéreas superiores con bronquitis y tos crónica. En los ojos producen lagrimeo, fotofobia, edema de párpados entre otros. Actualmente se admite que los PAHs son previamente activados en el organismo antes de ejercer su efecto como cancerígeno/mutágeno. Tras la exposición prolongada pueden producir cáncer cutáneo (escroto y cara), cáncer broncogénico en vías respiratorias, cáncer de vejiga; como también pueden originar leucemia y linfoma. (7)

En la especie humana la vía respiratoria es considerada la más importante, particularmente para individuos ocupacionalmente expuestos, de igual manera la vía dérmica puede ser tanto o más importante. Muchas de estas sustancias también tienen efecto negativo sobre el sistema inmunológico, característica que parece estar asociada a la capacidad carcinogénica. Un esquema propuesto para la *carcinogenicidad* por exposición ambiental considera las siguientes etapas: exposición, activación metabólica, formación de aductos entre PAHs y ADN, mutaciones en genes, también es importante recalcar que la aparición del cáncer es un proceso que involucra varias etapas, siendo también influenciado por susceptibilidad individual y otros factores, tales como la edad, sexo, etnia, estado de salud, nutrición y polimorfismo genético. En general, una mayor concentración de aductos PAHs-ADN se encuentra en personas ocupacionalmente expuestas.

En relación al efecto de los PAHs como posibles disruptores endocrinos, muchos estudios indican que diferentes compuestos químicos presentes en el ambiente, además de los PAHs, como los pesticidas, dioxinas, furanos y bifenilos policlorados, presentan actividad estrogénica *in vitro*. De cualquier manera la potencia de estos compuestos es muy baja comparada con estrógenos endógenos y además no está claro si los humanos ante una mezcla química ambiental reciben un efecto estrogénico neto. (7)

Tabla 2-. Datos relativos a los efectos carcinogénicos de algunos PAHs. (7)

<b>COMPUESTO</b>	<b>Poder cancerígeno relativo a su activación en el Sistema inmunológico</b>	<b>Poder cancerígeno relativo en humanos</b>
Antraceno	?	3
Benzo(a)antraceno	+	2A
Benzo(b)fluoranteno	++	2B
Benzo(k)fluoranteno	--	2B
Benzo(a)pireno	+++	2A
Benzo(e)pireno	+	3
Benzo(g,h,i)perileno	--	3
Criseno	--	3
Dibenzo(a,h)antraceno	+++	2A
Fenantreno	?	3
Fluoranteno	--	3
Fluoreno	?	3
Indeno(123-cd)pireno	+	2B
Pireno	--	3

<b>+++:</b>	Activo	<b>1:</b>	carcinógeno para humanos
<b>++:</b>	Moderado	<b>2A:</b>	probablemente carcinógeno para humanos
<b>+:</b>	Débil	<b>2B:</b>	posible actividad carcinógena para humanos
<b>--:</b>	inactivo	<b>3:</b>	inclasificable como carcinógeno para humanos
<b>?:</b>	Desconocido	<b>4:</b>	posiblemente no carcinógeno para humanos

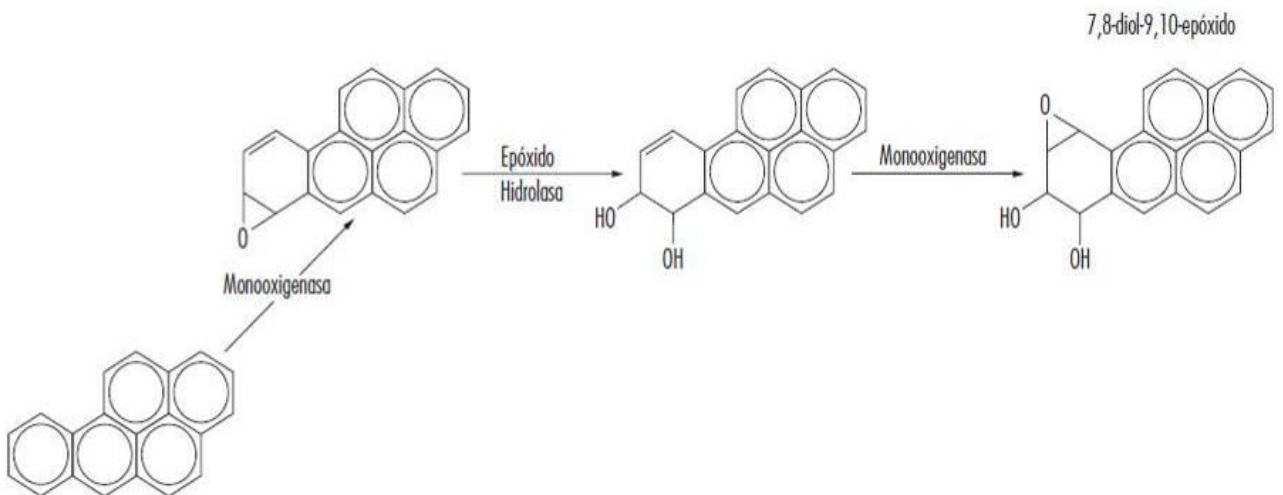


Figura 4-. Bioactivación del Benzo(a)Pireno. (7)

#### II.4.5 Riesgo ocupacional

La presencia de irritantes respiratorios en el lugar de trabajo puede ser desagradable y un factor de distracción y conducir a una situación de baja moral y menor productividad. Ciertas exposiciones son peligrosas e incluso pueden resultar letales. En cualquiera de los extremos, el problema de los irritantes respiratorios y de las sustancias químicas tóxicas inhaladas es frecuente; muchos trabajadores se enfrentan diariamente a la amenaza de la exposición a los mismos. Estos compuestos son capaces de causar daños mediante muy diversos mecanismos, y el alcance de la lesión puede variar de forma considerable, dependiendo del grado de exposición y de las propiedades bioquímicas del agente inhalado. En cualquier caso, todos comparten la característica de su inespecificidad; es decir, por encima de cierto nivel de exposición suponen una amenaza para su salud de prácticamente todas las personas.

Muchas sustancias inhaladas tienen efectos tóxicos sistémicos después de ser absorbidas por inhalación. Las propiedades físicas de las sustancias inhaladas predicen el lugar de depósito; los irritantes producen síntomas en esos lugares. Las partículas grandes (10 a 20  $\mu\text{m}$ ) se depositan en la nariz y vías aéreas superiores, las partículas más pequeñas (5 a 10  $\mu\text{m}$ ) se depositan en la tráquea y los bronquios, y las partículas de menos de 5  $\mu\text{m}$  pueden alcanzar los alveolos. Las partículas de menos de 0,5  $\mu\text{m}$  son tan pequeñas que se comportan como gases. Los gases tóxicos se depositan de acuerdo con su solubilidad. Los gases hidrosolubles son absorbidos por la mucosa húmeda de las vías aéreas superiores; los gases con una menor solubilidad se depositan de forma más aleatoria por todo el tracto respiratorio.

Para las sustancias cancerígenas, la EPA ha establecido el concepto de *unidades de riesgo*. Representan un factor utilizado para calcular el aumento de la probabilidad de que un ser humano contraiga un cáncer debido a la exposición durante toda su vida a una sustancia cancerígena en el aire a una concentración de 1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . El concepto es aplicable a sustancias que pueden estar presentes en el aire interior (metales como el

arsénico, el cromo VI y el níquel; compuestos orgánicos como el benceno, el acrilonitrilo y los hidrocarburos aromáticos policíclicos; o materia particulada, como el amianto).

EL cáncer de escroto es asociado a los hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs), muchos de los cuales son cancerígenos en animales, en particular algunos PAHs con anillo en las posiciones 3-, 4-, y 5-, como el benzopireno y el dibenzoantraceno. Además de las mezclas que contienen los PAHs, el calentamiento de los compuestos orgánicos puede originar la formación de compuestos cancerígenos. Otras ocupaciones asociadas a un aumento de la incidencia de CPNM (Cancer de Piel No Melanómico) en relación con los PAHs son: trabajadores en procesos de reducción del aluminio, trabajadores en la gasificación del carbón, trabajadores de hornos de coque, sopladores de vidrio, ingenieros ferroviarios, trabajadores de la construcción de carreteras y del mantenimiento de autopistas, trabajadores que tienen contacto con el aceite de esquisto, ajustadores y montadores de herramientas. Los alquitranes de hulla, las breas de alquitrán de hulla, otros productos derivados del carbón, el aceite de antraceno, el aceite de creosota y los aceites lubricantes son algunos de los materiales y mezclas que contienen PAHs cancerígenos. (4)

## II.4.6 Características físico-químicas

Tabla 3-. Formulas y Características físicas de los 16 PAHs prioritarios por la US-EPA.  
(8)

Compuesto	Fórmula química	Peso Molecular	Punto de Fusión °C	Punto de Ebullición °C	Presión de Vapor mmHg (25-30)°C
<b>Naftaleno</b>	C <sub>10</sub> H <sub>8</sub>	128,2	80,5	218	8,2x10 <sup>-2</sup>
<b>Acenaftileno</b>	C <sub>12</sub> H <sub>8</sub>	152,2	95	270	-
<b>Acenafteno</b>	C <sub>12</sub> H <sub>10</sub>	154,2	96,2	279	-
<b>Fluoreno</b>	C <sub>13</sub> H <sub>10</sub>	166,2	116-117	295	6,64x10 <sup>-5</sup>
<b>Antraceno</b>	C <sub>14</sub> H <sub>10</sub>	178,2	216-217	340	1,95x10 <sup>-4</sup>
<b>Fenantreno</b>	C <sub>14</sub> H <sub>10</sub>	178,2	100-101	340	6,8x10 <sup>-4</sup>
<b>Fluoranteno</b>	C <sub>16</sub> H <sub>10</sub>	202,2	110-111	393	1,9x10 <sup>-3</sup>
<b>Pireno</b>	C <sub>16</sub> H <sub>10</sub>	202,2	152-153	360	6,85x10 <sup>-7</sup>
<b>Benzo(a)antraceno*</b>	C <sub>18</sub> H <sub>12</sub>	228,3	159-160	435	1,1x10 <sup>-7</sup>
<b>Criseno*</b>	C <sub>18</sub> H <sub>12</sub>	228,3	250-254	448	4,3x10 <sup>-9</sup>
<b>Benzo(a)pireno*</b>	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	252,3	176-177	496	5,5x10 <sup>-9</sup>
<b>Benzo(k)fluoranteno*</b>	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	252,3	215-216	-	9,6x10 <sup>-11</sup>

<b>Benzo(b)fluoranteno*</b>	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	252,2	-	-	-
<b>Benzo(g,h,i)perileno</b>	C <sub>22</sub> H <sub>12</sub>	276,3	273	542	1,01x10 <sup>-10</sup>
<b>Dibenzo(a,h)antraceno*</b>	C <sub>22</sub> H <sub>14</sub>	278,3	266	535	2,77x10 <sup>-12</sup>
<b>Indeno(1,2,3,c,d)pireno*</b>	C <sub>22</sub> H <sub>12</sub>	276,3	-	-	-

## II.5 Perspectiva de muestreo del aire

El Muestreo del Aire, es una parte del proceso global llamado, Evaluación de la exposición, que tiene por objeto la definición de una exposición individual o grupal hacia agentes químicos, físicos y biológicos en el medio ambiente. La fuente de los agentes pueden ser naturales, operaciones industriales, emisiones de vehículos, casas, agropecuaria, las operaciones de demolición, los sitios de eliminación de residuos, vertidos accidentales, etc. El muestreo del aire es clasificado por una variedad de propósitos y bajo diferentes circunstancias:

1. *Exposición Ocupacional:* Comúnmente el agente contaminante es conocido, es llevado a cabo para evaluar normas legales o para observar que se esta dentro de los límites recomendados. Se hace énfasis en la recolecta de suficientes muestras para describir el mejor resultado, para , la exposición de un turno promedio de trabajo, en el caso de exposición a corto plazo y también describir la exposición en el peor de los casos (maxima concentración encontrada del agente toxico).
2. *Contaminación Ambiental:* largos muestreos para saber la exposición de una comunidad a los agentes toxicos. Cortos muestreos, para a) Identificar los olores o agentes irritantes de los cuales la comunidad se ha quejado o b) identificar agentes toxicos en humos o emisiones desconocidas.

3. *Evaluación de la calidad de aire en espacios cerrados*: Largos y cortos tiempos de muestreo de dióxido de carbono, monóxido de carbono, asbestos, vapores orgánicos, bioaerosoles y radon.
4. *Respuesta a una Emergencia*: Muestreo para identificar agentes desconocidos, evaluaciones con sistemas de lectura directa para vapores inflamables, y otros agentes comunes contaminantes, se utiliza para evaluar a tiempo inmediato agentes peligrosos. (5)

Una estrategia de Muestreo, se debe realizar, para saber que las muestras tomadas encontrarán la solución a la necesidad de cada situación, para ello se deben responder las siguientes preguntas antes de ejercer el muestreo:

1. Cuál es la razón de este Muestreo?.
2. Cuál es la zona de trabajo o exposición que debemos muestrear?
3. Qué contaminantes deberíamos medir?
4. Qué tipo de muestreo deberíamos seguir?
5. Cuántas muestras se deberían recolectar?
6. Cuándo se deberá muestrear?
7. Quién debería hacer el muestreo y el análisis de las muestras?
8. Como se usaran los resultados y como se entregaran?

### **II.5.1 Tipos de muestreo del aire**

Existen tres principales tipos de muestreo de aire: personales, del área y de fuente.

#### **II.5.1.1 Muestreo personal**

La medición de estas muestras son en una exposición particular de los contaminantes contenidos en el aire de un ambiente específico. Se llevan a cabo usando equipos de muestreo que la persona lleva consigo misma o se colocan en la zona de respiración de la persona mientras ella sigue sus actividades. Son coleccionadas para la post-comparación de una norma estandar propuesta por:

requerimientos de regulación, recomendación de un grupo consenso, asociación de profesionales o agencia gubernamental. Ya que la carga de un equipo de muestreo pesado y muy voluminoso no permiten el libre movimiento de las personas a evaluar, se deben escoger bien los métodos para el muestreo, usando: (5)

1. Equipos de muestreo, incluyendo bombas de pequeño tamaño con un dispositivo de recolección de la muestra por adsorción del contaminante contenido en el aire.
2. Monitor pasivo en base a difusión del contaminante hacia la muestra, donde éste queda capturado.
3. Un equipo pequeño de lectura directa de la señal del contaminante, con una alarma de gran alcance y capacidad de almacenamiento de los datos obtenidos.

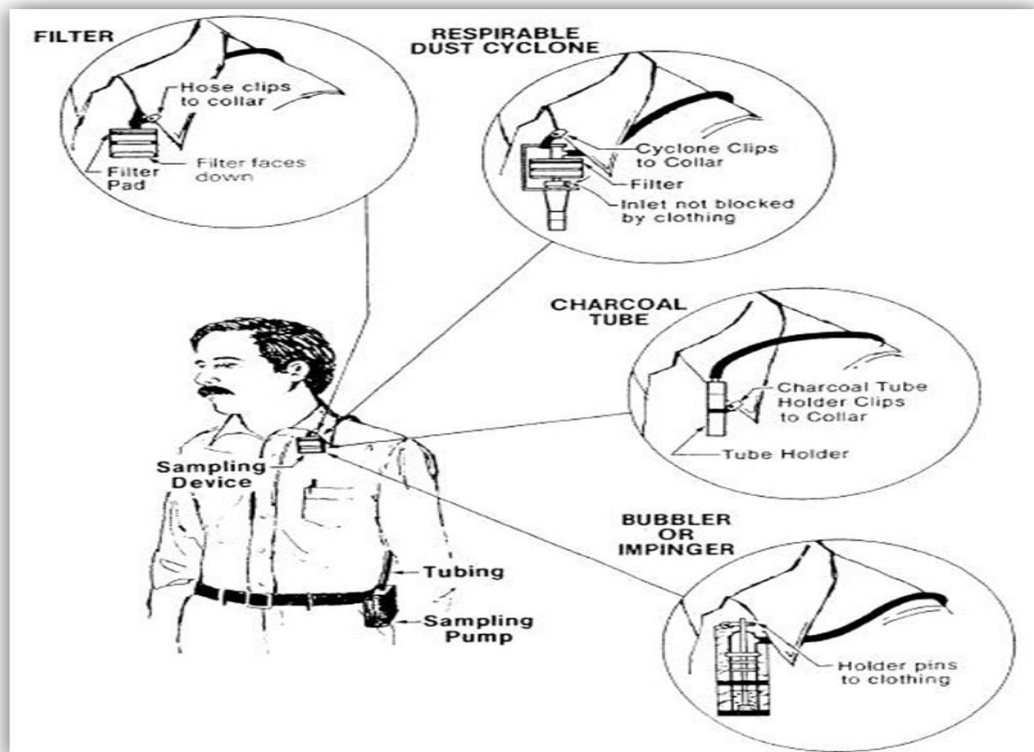


Figura 5-. Colección de muestras personales en la zona de respiración con bombas de muestreo personal. (5)

### **II.5.1.2 Muestreo del área (Indoor)**

Con este tipo de muestra el nivel del contaminante se mide en un área en particular, siendo el muestreo continuo, periódico o en puntos definidos en el tiempo. Se utiliza cuando:

1. El muestreo personal no esta disponible.
2. Cuando se necesita arreglar un goteo o escape del contaminante, siendo confirmado primero que el escape es pequeño, no dañino a corto-plazo.

Este tipo de muestreo no es confiable para una evaluacion de muestras personales, ya que el personal o las personas comunes, de un sitio particular, tienen libre movimiento por todo el espacio, expuestos a diferentes tipos de concentraciones de los contaminantes existentes en el aire de ese ambiente.(5)

### **II.5.1.3 Muestreo de la fuente**

Estas muestras son tomadas directamente en la fuente del contaminante, siendo tomadas a diferentes velocidades o medidas de inmediato para goteos o escapes del contaminante, o control de malfuncionamiento de un sistema. Esta muestra tampoco sirve para la toma de muestras personales. Y aunque parece igual al de muestra de área, son diferentes, ya que no pretenden reflejar las concentraciones en un área ó de un espacio definido u ocupado.(5)

## **II.5.2 Tipos de muestras**

Las muestras de aire también se clasifican por:

### **II 5.2.1 Muestras integradas**

Estima la exposición sobre un período de tiempo como un turno de trabajo con una colecta de una o mas muestras personales que cubren el tiempo del turno de trabajo completo. El termino ‘ integrado’ significa que la medición de los niveles de exposición

se integran o promedian con las diferentes concentraciones y tiempos de muestreos durante el periodo de tiempo de interés.

En la evaluación de la contaminación ambiental, las muestras son tomadas por un periodo de tiempo de 24 horas, mientras que en una exposición ocupacional, la concentración media ponderada en el tiempo se calcula para obtener el promedio para el periodo de tiempo en los turnos de trabajo conocido por sus siglas en inglés como, TWA, casi siempre el periodo de tiempo son 8 horas del turno de trabajo, también existe el límite de exposición a corto-plazo, conocido por sus siglas en inglés como STEL, dónde se muestrea por 15 minutos o se toman una o mas muestras separadas que cubran el plazo de 15 minutos, que es el periodo de tiempo en el que se espera obtener la mayor concentración de la exposición. (5)

Según la Norma COVENIN 2253-2001 (9), en nuestro país, se establecen las Concentraciones Ambientales Permisibles (CAP) de sustancias químicas en los lugares de trabajo, bien sea polvos, gases, vapores o humos que debido a sus propiedades o a las características del proceso, pasan al ambiente de trabajo y, representan las condiciones bajo las cuales se acepta que casi todos los trabajadores puedan estar expuestos repetidamente día tras día (8 h/d, 5 días/semana) sin sufrir efectos adversos a su salud. Se deben tener en cuenta que es de máxima importancia manejar los términos de Concentración Ambiental Permisible (CAP), Índice Biológico de Exposición (IBE), Límite de Exposición Breve (LEB) y Límite Techo (T), ya que serán los que se tomen en cuenta para la comparación de los resultados arrojados por los análisis químicos cuantitativos, ver anexo (). Pero como se puede observar en la tabla, se tienen limitaciones para obtener mas datos por las normas nacionales, por lo cual también se incluirán las normas internacionales, NIOSH 5506 y 5515, respectivamente para los análisis de CG(FID) y HPLC(UV/FL).

### **II.5.2.2 Muestra instantánea**

Estas muestras son utilizadas en los casos cuando no se tiene tiempo para un plan de muestreo, sino se va directo a la busca del pico de maxima exposición, es decir, el de mayor concentración o si esta presente o no el agente contaminante que se desea evaluar en el aire. Se hace una colecta de la muestra sobre un periodo de tiempo muy corto, casi siempre menor a 5 minutos. (5)

## **II.6 Técnicas del muestreo del aire**

Existen dos principales categorías de tecnicas de muestreo:

1. Dispositivos de recolección de muestra, que son analizados en un laboratorio.
2. Instrumentos de lectura directa.

Ambas categorías tienen amplio uso en muestras: de gas, vapor y materia particulada (aerosol).

### **II.6.1 Dispositivos de recolección de muestra.**

Con esta técnica se recolecta la muestra en la zona afectada y luego se envia a un laboratorio para ser analizada. Se utiliza para recolectar muestras personales o ambientales, tienen el mismo principio pero lo que las diferencia es que el muestreo ambiental se lleva a cabo con equipos de mayor capacidad al contrario del muestreo personal que tiene equipos más compactos. Existen Normas o protocolos expuestos por casas expertas en muestreo y análisis de agentes toxicos en el aire, como la OSHA, que ya tienen métodos que se pueden seguir, para encontrar el metodo adecuado se deben tomar en cuenta los siguientes factores:

1. Características físicas y químicas del contaminante
2. Posibles interferencias en la recolección y análisis de la muestra.
3. Exactitud y precisión requeridas.
4. Tipo de muestra (personal, área o fuente).
5. Período de tiempo del muestreo. (5)

## **II.6.2 Métodos de recolección de la muestra**

### **II.6.2.1 Muestreo a base de bombas**

El sistema del muestreo consiste de una bomba a baterías, calibrada, un dispositivo recolector de muestra y de mangueras que conectan el sistema (como se observa en la Figura 5). Donde existe un flujo ajustable para el requerimiento del muestreo que se desea llevar a cabo, existen bombas de alto-flujo (1-10L/min) y de bajo(suave)-flujo (1-1000cm<sup>3</sup>/min). El bajo-flujo tiene dos diseños:

1. *Flujo pulsante*, es una bomba que funciona con un pistón que mueve o impulsa volumen conocido de aire, mientras un contador va grabando el número de pulsaciones.
2. *Flujo constante*, es una bomba que tiene un monitor que señala el flujo de aire.(5)

#### **II.6.2.1.1 Calibración de la bomba**

Antes de utilizar la bomba, esta se necesita calibrar, ya que los cálculos son en base a los flujos de aire que pasan por el dispositivo que recolecta la muestra, se necesita ser muy preciso en los flujos anotados en el momento del muestreo. Así el flujo de aire del muestreo se conoce bien antes de comenzar (línea base del flujo), esta se observa durante el muestreo periódicamente, para saber que tan estable es el flujo y que no cambie bruscamente. Con estos datos se terminan los cálculos luego del análisis químico en el laboratorio. (5)

#### **II.6.2.1.2 Cálculo del volumen del aire**

Una vez que la bomba está calibrada, y se determinó el flujo, la cantidad de volumen de aire es calculado para:

1. Bomba de flujo continuo:

$$\text{Flujo de aire (L/min)} \times \text{Tiempo de muestreo (min)}$$

## 2. Bomba de pistón:

Volumen de aire por pulso (L/pulsaciones) x Número de pulsaciones

Un parametro clave que se debe tomar en cuenta, es la velocidad de muestreo para la recolección de la muestra. Dos conceptos ayudarán a determinar la mejor velocidad de muestreo que se debe usar:

1. *Límite de Detección* (LOD, mejor conocido por sus siglas en ingles), es la última cantidad de contaminante que se puede ver por el método de análisis, incluso si la cantidad no puede ser determinada con precisión.
2. *Límite de Cuantificación* (LOQ, mejor conocido por sus siglas en ingles), es la mínima cantidad de contaminante que puede ser cuantificada con un grado específico de precisión.

La forma de reportar los resultados analíticos, con respecto al LOD y el LOQ, es:

1. Si el resultado es inferior al LOD, se reporta como, <LOD, con el LOD especificado.
2. Si el resultado es mayor que el LOD, pero inferior al LOQ, se reporta como no detectado, pero no cuantificado, con el LOQ especificado.

El LOQ, es utilizado para determinar el volumen mínimo de muestreo que se necesita para la precisión del análisis, el cual despues determinará la velocidad del muestreo. En primer lugar se debe decidir la mínima concentración en el aire del agente toxico que se necesita cuantificar. Usualmente esta concentración es un porcentaje del límite de exposición permitido, sobre el 10% o menor. (5)

Para este paso se utiliza la siguiente ecuación:

$$SV = \frac{LOQ}{EL \times F}$$

Donde :

- SV(L) → Mínimo volúmen de muestreo.  
LOQ( $\mu\text{g}$ ) → Menor límite de cuantificación.  
EL( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) → Límite de exposición permitido.  
F → Porcentaje de EL que necesita ser cuantificado.

Una vez que el volúmen es determinado, ese valor puede ser usado para seleccionar la velocidad de muestreo, junto con el tiempo de muestreo, con la siguiente ecuación (5):

$$SV (L) = \textit{Velocidad de muestreo (L/min)} \times \textit{tiempo de muestreo (min)}$$

### II.6.2.1.3 Recolector de muestra

El equipo específico de recolecta de la muestra depende del material que se va a muestrear:

#### II.6.2.1.3.1 Gas y vapor

Para gases y vapores, los recolectores de muestra más comunes son:

1. *Tubos de adsorción*, los cuales contienen, carbon activado, gel de sílice u otros adsorbentes químicos, esto va a depender del contaminante que se desea adsorber. Los tubos contienen dos secciones del material adsorbente, separadas por un material inerte (Figura 6.1). Cuando el aire contaminado pasa a través del tubo, el químico adsorbe el agente tóxico selectivamente en la superficie de las partículas de la sección llamada, parte delantera (del frente). Si la parte delantera del tubo se satura del contaminante, éste traspasara de la capa delantera hacia la sección trasera del tubo (o de atrás) y se recojera las moléculas restantes del contaminante. El tubo se envía al laboratorio y se analizan las dos secciones del tubo y si existe un traspaso significativo de las moléculas del contaminante hacia la sección trasera, será cuestionable ese monitoreo de la muestra, el cual deberá ser repetido para un mejor resultado. Este tipo de recolección de muestra es muy útil para investigaciones de la calidad de aire en interiores.
2. *Dispositivos de extracción gas-líquido*, tales como pequeños frascos con un tubo alimentador de aire que burbujea al líquido dentro del frasco, ya sea agua desionizada o un disolvente químico, que reaccionan con el contaminante, adsorbiéndolo. También conocidos como *burbujeadores*(Figura 6.2).
3. *Bolsas hechas de Tedlar o Teflón*, la bomba ayuda a llenar la bolsa del aire del ambiente a muestrear y se lleva directo al laboratorio para ser analizada. (5)

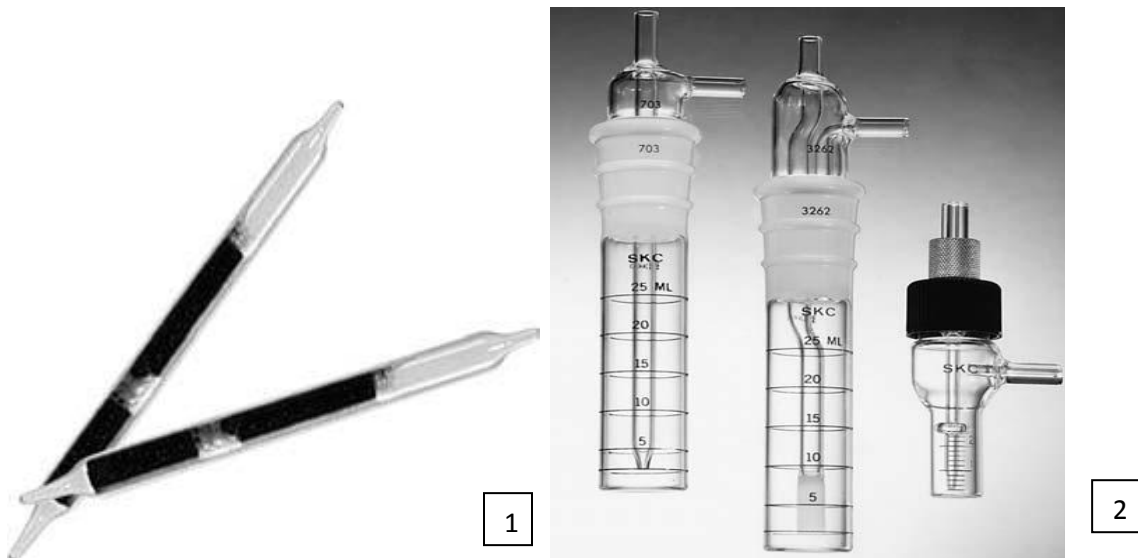


Figura 6-. Ejemplos de: 1-.Tubos adsorbentes de carbon activado, 2-.Extracción gas-líquido, burbujeadores, en sus diferentes capacidades de volumen. (5)

### II.6.2.1.3.2 Partículas

Para este tipo de materia, se utiliza comúnmente:

1. *Filtros*, se clasifican y utilizan dependiendo del agente a recolectar, están hechos de diferentes materiales, el tamaño mas común es de 37mm de diametro y este se encuentra en un envase que lo recubre (cassette del filtro, caparazón), que se encuentra adjunto a la bomba. El cassette, tiene un pequeño hueco por donde entra el aire monitoreado, el cual evita que entren particulas grandes hacia el filtro. El filtro es utilizado para recolectar muestras de número total de partículas. Algunos cassette de filtros recolectan partículas mayores a las que están relacionadas a las partículas respirables, pero otros son específicos para este tipo de proyectos.
2. *Impactadores inerciales*, un flujo de aire se hace impactar sobre la superficie de un recolector.

3. *Burbujeadores*, como se explico atrás, son los recolectadas sobre un líquido, que contienen un tubo alimentador del aire monitoreado hacia el fondo de un frasco que contiene agua desinizada o un disolvente químico que interacciona con el contaminante. (figura 6.2) (5)

### **II.6.2.2 Muestreo pasivo**

En esta técnica no se utiliza fuerza externa, para atraer el contaminante al recolector de la muestra, simplemente se utiliza la teoria difusión con una velocidad conocida del contaminante sobre el recolector, con la Ley de Fick. El contaminante se mueve del área que contiene la mayor concentración del mismo (ambiente a muestrear), hacia la zona de menor concentración (dentro del recolector de la muestra), donde queda atrapado para luego analizarlo en el laboratorio. Sirve para Gases, vapores y materia particulada (aerosol). (5)

## **II.7 Muestreo de aire en una jornada de trabajo**

Cuando la evaluación de la exposición a agentes químicos, por inhalación, requiere la realización de mediciones de la concentración en ambientes de trabajo, es preciso responder a cuestiones cómo: el tiempo de duración de las mediciones, el número de éstas, la ubicación, el número de trabajadores a muestrear, el número de jornadas, el tratamiento de los datos y las conclusiones de valoración posibles.

### **II.7.1 Número de trabajadores a muestrear. Grupos homogéneos de exposición (GHE)**

La existencia de varias personas que realizan tareas similares en condiciones ambientales parecidas, plantea la posibilidad de realizar mediciones de la exposición a una parte de ellos y ahorrar medios, considerando que la exposición es común a todos. Los resultados son considerados entonces como correspondientes a una única exposición y se tratan como tales. El grupo de trabajadores se denomina entonces Grupo Homogéneo de Exposición (GHE).

### **II.7.2 Número mínimo de muestras por jornada**

Se basa en obtener un número de mediciones que representen, como mínimo, el 25% del tiempo de exposición (jornada de trabajo), en función del tiempo de muestreo.

### **II.7.3 Tipos de muestreo en una jornada**

La concentración media ponderada correspondiente a una jornada de trabajo se puede obtener midiendo durante la duración total de la jornada laboral o estimándola a partir de mediciones de duración inferior. La concentración ambiental en un puesto de trabajo varía de forma aleatoria a lo largo de la jornada laboral y de una jornada a otra; motivado a variaciones no detectables en las condiciones de trabajo, formas de

realización de las tareas, tiempos dedicados a cada tarea, corrientes de aire, movimientos de los trabajadores, etc.

Las concentraciones deben corresponder con las existentes en el puesto de trabajo, para esto se definen diferentes modelos de planificación de las mediciones a realizar en el muestreo de una jornada de trabajo, dónde siempre que sea posible la duración de las muestras se adaptarán a las distintas fases o tareas de trabajo, así se obtiene por una parte mayor información sobre los focos de contaminación y, por otra, los resultados de las muestras correspondientes a cada tarea corresponderán a periodos en principio de menor variabilidad. Estos modelos son:

1. **Modelos A:** supone la toma de una (1) muestra de duración igual al periodo de exposición.
2. **Modelo B:** implica cubrir el periodo de exposición con dos (2) o más muestras consecutivas.
3. **Modelo C y D:** suponen muestrear parte de la exposición total de la jornada (entre el 70% y 80%) suponiendo que la concentración media de ese periodo es extrapolable a la de la totalidad de la exposición, la diferencia como en el caso (a y B) es que el modelo C, se refiere a tomar una sólo muestra, mientras q el D a varias consecutivas.
4. **Modelo E:** se basa en tomar muestras de igual duración, repartidas de forma aleatoria durante la jornada laboral, con tratamiento estadístico a los resultados permite estimar el valor más probable de la media del periodo de exposición.
5. **Modelo F:** se basa en el muestreo de ciclos de trabajo. El ciclo de trabajo es el conjunto de tareas consecutivas que se repite una y otra vez constituyendo el trabajo del individuo durante toda la jornada, dónde la media de varios ciclos de trabajo debería aproximarse a la concentración media de la exposición.

## **II.8 Análisis de las muestras**

Cuando el proceso del muestreo se realiza con la técnica de dispositivos de recolección de muestra, ya estudiados atrás, estas muestras recolectadas se envían al laboratorio para un análisis del agente tóxico capturado en los recolectores.

### **II.8.1 Tratamiento de muestras**

El tipo de muestras ambientales, como de aire, debido a su matriz que contiene interferencias no deseadas que a la hora de un análisis químico pueden interferir en los resultados deseados de un tipo de compuesto en particular, son muchas veces necesariamente tratadas antes de analizarse químicamente.

#### **II.8.1.1 Extracción en fase sólida (SPE)**

En algunas muestras las interferencias, de otros compuestos que están contenidos en los extractos de la fracción deseada a analizar, son tan fuertes que el extracto debe ser sometido a un tratamiento previo al análisis del equipo que se va a utilizar. Dichos tratamientos pueden ser de purificación, limpieza de compuestos ya conocidos de la matriz que interfieren en nuestros análisis y en otros casos de separación de iones, aniones o sales. Uno de los tratamientos más efectivos previos a utilizar en análisis cromatográficos es la extracción en fase sólida, EFS, mejor conocida con sus siglas en inglés como SPE. Los principales objetivos de la SPE son, la limpieza o “clean-up”, concentración y cambio de solvente (por ejemplo, de acuoso a orgánico). Ofrece mayor selectividad y limpieza, menor consumo de disolventes, ahorro de tiempo y posibilidad de automatización.

Se basa en el principio de retención selectiva al igual que la cromatografía líquida. La extracción se lleva a cabo en una columna de extracción en modo de jeringa que contiene gel sílice u otro tipo de rellenos, los pasos de la SPE son.

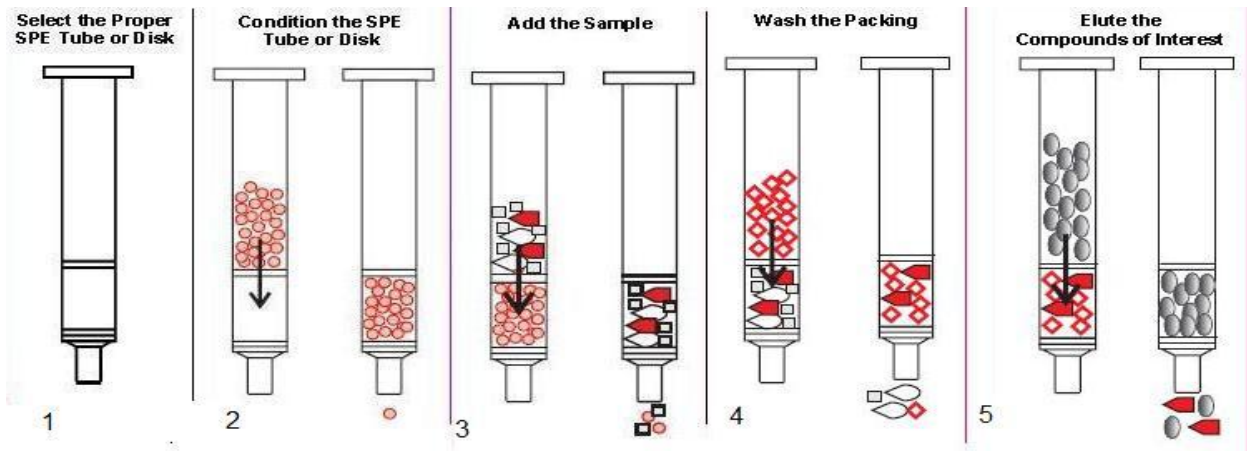


Figura 7 -. Pasos de cómo tratar la muestra con sorbentes selectivos, SPE.

1. Seleccionar el tubo o disco con el sólido apropiado para su muestra.
2. Acondicionar o activar con el solvente adecuado el tubo o disco de la SPE.
3. Añadir la muestra en el tubo o disco de la SPE.
4. Lavar el sólido para asentar la muestra en el tubo o disco de la SPE.
5. Eluir los compuestos de interés por SPE.

La selección correcta del sólido o tubo de la SPE va a depender de la solubilidad de la muestra en los diferentes eluentes, el solvente en dónde se encuentra el analito de interés y la polaridad de la muestra.

## **II.8.2 Técnicas de análisis químico**

Estas técnicas identifican la masa o cantidad de un compuesto químico o clase de compuestos en una muestra. Existe una solapación entre las técnicas de análisis usados para gases, vapor y materia particulada, ya que se pueden analizar por las mismas técnicas, que son: (5)

### **II.8.2.1 Cromatografía como técnica de separación**

La cromatografía agrupa un conjunto importante y diverso de métodos que permiten a los científicos separar componentes estrechamente relacionados en mezclas complejas, lo que en muchas ocasiones resulta imposible por otros medios. En toda separación cromatográfica, la muestra se desplaza con fase móvil, que puede ser un gas, un líquido o un fluido supercrítico. Esta fase móvil se hace pasar a través de una fase estacionaria con la que es inmisible, y que se fija a una columna o superficie sólida. La selección de las fases permite que los componentes de la muestra se distribuyan de modo distinto entre la fase móvil y la fase estacionaria. Aquellos componentes que son fuertemente retenidos por la fase estacionaria se mueven lentamente con el flujo de la fase móvil, como consecuencia de las distintas movilidades, los componentes de la muestra se separan en bandas o zonas discretas que pueden analizarse cualitativamente y/o cuantitativamente. Existen principalmente dos tipos de técnicas cromatográficas, la de gases y cromatografía de líquidos, las cuales se diferencian por la parte móvil que utilizan. (10)

#### **II.8.2.1.1 Cromatografía de Gases (CG)**

Es Comúnmente usada para gases, vapores orgánicos como solventes o alcoholes, y algunos compuestos que son sólidos a temperatura ambiente pero pueden ser suficientemente volátiles a 225°C. Opera con el principio de que la muestra volátil se mezcla con el gas de arrastre y se introduce a una columna que separa los

componentes en la muestra en diferentes tiempos de acuerdo con lo que tarda el compuesto en salir de la columna. (5)

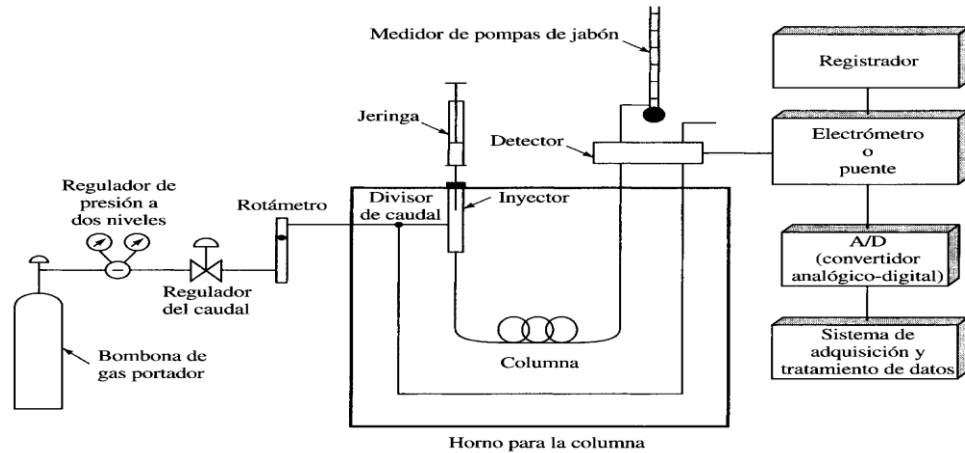


Figura 8-. Representación esquemática de un CG. (10)

En todas las técnicas cromatográficas el componente más importante es la columna, ya que es aquí donde ocurre la separación de los compuestos de interés, la temperatura de la columna es una variable primordial para un trabajo preciso, por lo general para lograr una separación eficiente se emplea una programación de temperatura, donde esta variable se aumenta de manera continua o progresiva. Posterior a la separación de los compuestos estos llegan al detector. El detector a utilizar en CG, particularmente para los PAHs, es el detector de ionización a la llama, ya que muchos compuestos orgánicos que se exponen a temperaturas de una llama Hidrogeno/aire, producen iones y electrones que pueden conducir la electricidad a través de la llama. Al aplicar la diferencia de potencial de varios (cientos) de Voltios entre el extremo del quemador y el electrodo colector situado por encima de la llama, la corriente que resulta es leída por un amplificador de la señal y reportada por el sistema computarizado. (10)

### **II.8.2.1.2 Cromatografía Líquida de Alta Eficiencia (HPLC, siglas en inglés).**

Es la técnica analítica de separación más utilizada, debido a su sensibilidad, facilidad en las determinaciones cuantitativas, es idóneo para la separación de compuestos no volátiles o termolábiles lo que le permite ser empleada tanto en la industria como en muchos campos de la ciencia. La fase móvil es un disolvente, a partir de lo cual se puede realizar una elusión, utilizando sólo un disolvente, denominado elusión isocrática o con varios solventes de diferentes polaridades, llamado elusión con gradiente.

Al igual que para la cromatografía de gases, para líquidos en donde ocurre la separación de los componentes en columna, ésta en general tiene una longitud entre 10 y 30 cm en analítica, a diferencia de la columnas cromatográficas para gases estas en su mayoría son rectas y se pueden alargar de ser necesario acoplando otra columna. A continuación se presenta un esquema de los componentes principales de un equipo HPLC.

Luego de la separación de los compuestos tenemos a los detectores en cromatografía de líquidos son de dos tipos básicamente. Aquellos que responden a una propiedad de la disolución, como índice de refracción/ conductimetría, y los detectores basados en una propiedad del soluto y generan una señal como la absorbancia en UV, fluorescencia o electroquímica. Para captar los PAHs por HPLC, se utilizan, detectores de absorción UV más simples son los fotómetros de filtros con una lámpara de mercurio como fuente, lo más común en estos casos es aislar la línea empleando filtros, y los detectores de Fluorescencia, la cual se detecta por un detector fotoeléctrico colocado perpendicularmente al haz de excitación, los más sencillos utilizan una fuente de excitación de mercurio y varios filtros para aislar la radiación emitida. (10)

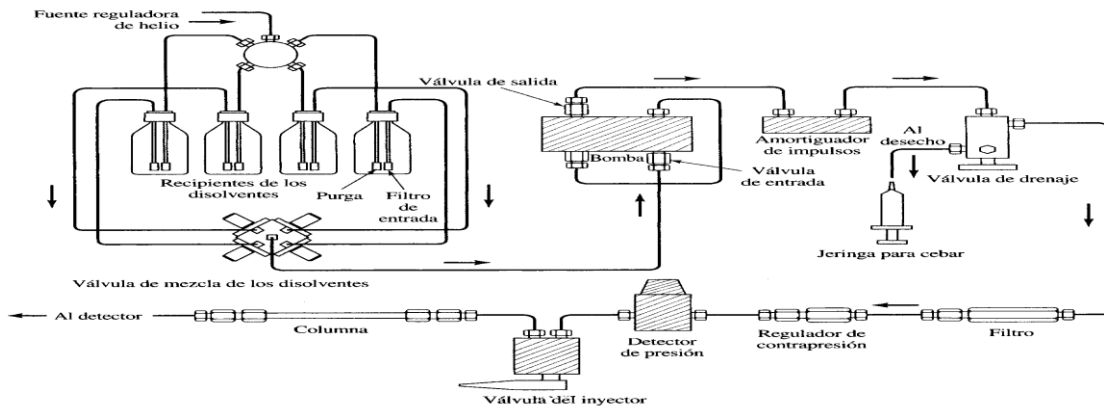


Figura 9. Esquema general de un Cromatógrafo líquido de alta eficiencia (HPLC). (10)

## II.9 Cálculo y análisis de los datos

### II.9.1 Cálculo de la concentración de la jornada

El laboratorio determina la cantidad del contaminante en la muestra. Y esta expresado en unidades de peso o masa, como miligramos (mg) o microgramos ( $\mu\text{g}$ ). Con el fin de calcular la concentración en el aire de los contaminantes, es necesario dividir la masa del contaminante por el volumen de aire que la muestra representa. Esta es la razón por la cual la calibración de las bombas se debe llevar a cabo con mucho cuidado, tener una atención escrupulosa a la hora de anotar los tiempos del comienzo y final del monitoreo, y los chequeos periódicos de la bomba durante su trabajo en el muestreo. La ecuación [1] para el cálculo de la concentración en el aire de los contaminantes, es la siguiente:

$$\text{Concentraci3n en el aire (mg/m}^3\text{)} = \frac{\text{Resultado del laboratorio (mg del contaminante)}}{\text{Volumen de aire de la muestra (m}^3\text{)}} \quad [1]$$

Esta concentración de ( $\text{mg/m}^3$ ), aplica para concentraciones de gases, vapores y materia particulada. Sin embargo, algunas veces los límites de exposición permitidos están expresados en parte por millón del contaminante por el volumen (ppm). (5)

Si sólo una muestra fue recolectada cubriendo el tiempo completo del periodo de exposición escogido para el monitoreo, entonces el cálculo para la concentración del

contaminante en el aire representa la la concentración media ponderada en el tiempo (TWA). Sin embargo, si dos o más muestras secuenciales fueron recolectadas (una después de la otra) en lugar de una sola muestra para cubrir el tiempo completo del periodo de exposición escogido para el monitoreo, el TWA es calculado por la ecuación [2] que se muestra a continuación:

$$TWA = \sum_n \left[ \frac{\text{Concentración}_n \times \text{tiempo}_n}{\text{Periodo de exposicion}} \right] \quad [2] \quad n \rightarrow \text{Número de muestras tomadas.}$$

La ecuación se entiende como la suma del producto de las diferentes concentraciones de las muestras tomadas, con el tiempo que cubren del periodo de monitoreo total, dividido por el mismo. En la exposición ocupacional, se considera 8horas (o 480min.) aún si el turno durara más, ya que los límites de estas exposiciones están basados en 8horas por días de trabajo, conocido como la Exposición Diaria (ED), siéndo entonces el Periodo de exposición igual a 8 horas, la ecuación [2], se convierte en la ecuación [3] para la exposición diaria por jornada de trabajo: (5)

$$\boxed{ED} = \sum_n \left[ \frac{\text{Concentración}_n \times \text{tiempo}_n}{\boxed{8 \text{ Horas}}} \right] \quad [3]$$

**II.9.2 Comparación con el Valor Límite Ambiental de Exposición**  
**ED)**

**Diaria(VAL-**

La norma UNE-EN 689 “Guía para la evaluación de la exposición a agentes químicos por comparación con el valor límite” propone dos sistemas de toma de decisiones según el número de jornadas para los que se dispone de valores de concentración ponderada durante toda la jornada referida a un periodo de 8 horas:

1. Sistema de decisión a partir de un pequeño número de muestras ( $n \leq 6$ ).
2. Sistema de decisión a partir de un gran número de muestras ( $n \geq 6$ ).

#### **II.9.2.1 Sistema de decisión a partir de un pequeño número de muestras ( $n \leq 6$ )**

Este sistema permite, con un número reducido de muestras, decidir sobre si la exposición es aceptable o inaceptable, aunque queda abierta la posibilidad de no alcanzar ninguna de estas dos conclusiones. La sistemática es la siguiente:

1. Obtener una concentración ponderada durante toda la jornada  $n$  ( $n$ =número de la jornada a analizar), referida a un periodo de 8 horas ( $ED_n$ ).
2. Dividir  $ED$  por el valor límite VLA-ED, obteniendo el índice de exposición de la jornada  $n$ , Ecuación [4]:

$$I_n = ED_n / VLA-ED \quad [4]$$

3. Decidir según el resultado de la ecuación [4], como sigue:

- 3.1.** Si  $I_n \leq 0,1$ , la exposición es aceptable.
- 3.2.** Si  $I_n > 1$ , la exposición es inaceptable.
- 3.3.** Si  $0,1 < I_n \leq 1$ , se procede a obtener mas datos.

Esta metódica se limita a establecer, con un grado de fiabilidad elevado, si se superará o no el valor VLA-ED.

### III. Antecedentes

Los PAHs son un grupo numeroso de sustancias que, químicamente, son derivados poliméricos del benceno. Historicamente fueron los primeros agentes químicos en ser reconocidos como causantes de tumores malignos en humanos. Los PAHs se forman básicamente cuando la materia orgánica se somete a una elevada temperatura durante suficiente tiempo. Además, el hábito de fumar, el consumo excesivo de alimentos ahumados o demasiado tostados por efecto del fuego, y determinadas actividades laborales, pueden llegar a incrementar la exposición hasta superar los considerados niveles de riesgos.

Muchas investigaciones del riesgo ante PAHs, se han limitado a los muestreos de la calidad de aire en interiores y exteriores, para encontrar las concentraciones de los diferentes PAHs en el aire, de los cuales solo se han logrado cuantificar un reducido grupo de ellos. La US-EPA (Agencia de protección ambiental de Estados Unidos), encontró que casi la mitad del total de los casos de cáncer provenientes de los contaminantes existentes en el aire pueden atribuirse a los compuestos orgánicos volátiles (VOCs) mientras que el 40% de estos casos se atribuyen a los PAHs, el promedio de riesgo de cáncer fue 17 casos de 100.000 personas. Estos compuestos son relacionados en primera instancia con su concentración existente en el aire, una fracción de esta concentración se enlaza a las partículas que se logran depositar en la vegetación o agua, donde se van acumulando en la cadena alimentaria.

Los PAHs están divididos en dos grupos basados en la evidencia existente de sus efectos cancerígenos. En el primer grupo están: Benzo[a]antraceno, Benzo[b]fluoranteno, Benzo[a]pireno, criseno, dibenzo[a,b]antraceno, indeno[1,2,3-cd]pireno, los cuales tienen evidencia de carcinógenos en estudios sobre animales, y se hace referencia sobre ellos como PAH-B2. Concentraciones de PAH-B2, se han encontrado en alimentos y muestras de aire. El segundo grupo está conformado por: Antraceno, Benzo[g,h,i]perileno, Fenantreno, Pireno y Fluoranteno, son reportados como clasificables carcinógenos y se hace referencia sobre ellos como PAH-CD. (11)

En los últimos años, muchos estudios han sugerido riesgos para el aumento de ciertos tipos de cáncer en cocineros y otros trabajadores de servicios de alimentos. Debido a esto, muchos investigadores han hecho hincapié en investigar composiciones PAHs del aire en interiores, resultantes de los procesos de cocción. Por ejemplo, encontraron que el uso del gas natural para cocinar aumentaría las concentraciones de PAHs en el aire interior. Otros han encontrado que las concentraciones de PAHs contenida en los gases calientes de aceite de cocina (Rango de 1,08 hasta 22,8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) fueron superiores a los de una sala de oficina donde el 96% de los cigarrillos se consume dentro de las 6 horas de trabajo (1,2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). En particular, sugirió que el proceso de cocción es la más importante contribuyente a la actividad total mutagénico del aire interior. (12)

La calidad del aire en cocinas caseras y comerciales, está contaminado por PAHs provenientes de las fuentes de emisión como las cocinas eléctricas ó a gas, parrilleras, hornos, brasas, etc. La contaminación del aire en la cocina en China es grave debido al proceso de cocción convencional. Los aerosoles que se producen al cocinar hacen una contribución significativa a la concentración de PAHs del aire interior, incluyendo dos etapas: (1) los PAHs se evaporan al calentar el aceite, (2) Los compuestos orgánicos a altas temperaturas se rompen parcialmente en fragmentos inestables (pirólisis), para que luego todos los radicales se recombinen formándose PAHs relativamente mas estables (este proceso es llamado pirosíntesis).(13)

Los estudios epidemiológicos muestran una elevada incidencia de cáncer entre las mujeres no fumadoras con la exposición a largo plazo al humo de aceite de cocina(23), y una tasa de cáncer de vejiga entre los cocineros con una excesiva exposición al aire de la cocina. El objeto es determinar si los diferentes métodos para cocinar los alimentos que desprenden el humo proveniente del aceite en la cocina, contaminado de PAHs , contribuyen a los patrones de contaminación de los diferentes PAHs en el aire de interiores y si son contribución de cada fuente para los niveles globales de los PAHs, con el fin de controlar estas emisiones de forma efectiva.

La pirólisis de la materia orgánica es un proceso muy extendido, lo que explica la amplia distribución de los PAHs en todos los compartimientos ambientales (aire, agua, suelo, sedimentos y tejidos biológicos) y en los alimentos (carnes y pescados ahumados, cereales, azúcar y dulces, aceites, grasas, leche y derivados lácteos, etc). Aunque la concentración de PAHs no parece incrementarse a medida que se sube por una cadena trófica, su carácter lipofílico sí tiene gran influencia en su mayor afinidad por los tejidos vivos, en especial los ricos en grasa. (14)

La concentración de 12 PAHs en el aire de 6 cocinas caseras y 4 cocinas comerciales en China fueron medidas durante el período 1999-2000. El promedio de la concentración total de PAHs en el aire fue  $17 \text{ ng/m}^3$ , comprendido principalmente de PAHs de 3- y 4-anillos, y  $7,9 \text{ ng/m}^3$  en cocinas caseras, dominado por PAHs de 2- y 3-anillos. El nivel de B[a]P en cocinas caseras fue  $0,0061\text{-}0,024 \text{ ng/m}^3$  y en cocinas comerciales fue  $0,15\text{-}0,44 \text{ ng/m}^3$ . Un estudio comparativo de niveles de PAHs se llevó a cabo en el aire durante tres tipos diferentes de métodos de cocción, hervir, asar a la parrilla y freír. El método de hervir, fue el que produjo menor concentración de PAHs. La fritura de pescado y alimentos bajos en grasa, produjo más PAHs que el método de asado en pescado excepto para Pireno y Antraceno. En las cocinas comerciales las fuentes de PAHs son dos, el humo de aceites y los métodos de cocción. (15)

En la India, la población que vive en casas rurales utiliza biomasa no-procesada, como una fuente de energía y preparación de alimentos. Este proceso se lleva a cabo dentro de las casas rurales siendo esta una fuente de contaminantes que se liberan en el interior de la casa de una manera descontrolada. El estudio ha revelado concentraciones de PAHs clasificados como cancerígenos, encontrados en un nivel alto en muestreos personales realizados en mujeres que cocinaban y en las áreas alrededor de la fuente. Las concentraciones eran mayores a la hora de la cocción de los alimentos y menores en el período sin la cocción de los alimentos. La exposición diaria de altas concentraciones de PAHs, durante la cocción de los alimentos puede impactar crónicamente la zona pulmonar de las mujeres en la India, debido a éste proceso por la quema de biomasa no-procesada. (16)

Cocinar con gas es una fuente importante en emisiones de partículas finas ( $PM_{2,5}$ ), los diferentes métodos de cocción donde se liberan éstas partículas son llamados: a vapor, hervir, freir-revolviendo, freir en sartén o plancha, freido sumergido (profundo), los cuales fueron investigados en cocinas caseras. Con experimentos controlados, se encontraron concentraciones de los siguientes contaminantes: Carbón elemental, carbon orgánico, PAHs, metales e iones, en los cinco métodos. Los resultados arrojaron que el freido sumergido (profundo) liberó el mayor número de partículas finas y con el mayor nivel de concentración de contaminantes, seguido del freído con sartén, freir revolviendo, hervido y a vapor, reconociéndose así que el método de cocción a base de aceite contiene la concentración mas alta de COV y COSV. (17)

La alta volatilidad y formación en fuentes de energía, de los PAHs, los relaciona tanto a la materia particulada como a la fase gaseosa. Los compuestos mas volátiles con 2 o 3 anillos aromáticos, están principalmente relacionados a la fase gaseosa, mientras que los compuestos que contienen más de tres anillos aromáticos, están generalmente relacionados con materia particulada. Este carácter de volatilidad de cada PAH y otras características, determinan la forma en que los PAHs son emitidos a la atmosfera. La US-EPA en 1987 implementó el tamaño específico estandar de las partículas para la calidad de aire ambiental, que aplica solo para partículas con diámetros más pequeños o iguales a  $10\mu m$  ( $PM_{10}$ ), pero hoy en día se toman en cuenta las de igual o menor diámetro,  $PM_{2,5}$  y  $1,0\mu m$ , ya que estas representan el tamaño de partículas que logran penetrar hacia las regiones mas profundas del sistema respiratorio. Este tipo de partículas se determinan con la sensibilidad necesaria por los métodos cromatográficos, CG y HPLC los cuales son útiles para la identificación y cuantificación de compuestos de interés en muestras complejas, los métodos analíticos convencionales para la determinación de PAHs han sido por medio de: GC-FID/MS y HPLC-UV/FL. El método TO-13A, "Determinación de PAHs en el aire usando GC/MS", normado por la EPA en 1989 es el comúnmente seguido por los investigadores.(18)

#### **IV. Planteamiento del Problema**

Los antecedentes mostrados, se han centrado en un grupo de estudios, llevados a cabo para conocer la calidad de aire en espacios cerrados de cocinas, ya sean caseras o comerciales, ya que la emisión de agentes contaminantes proviene, no solo de fuentes externas, sino también de fuentes internas de zonas cerradas, entre estas tenemos: las generadoras de energía y las que se utilizan para métodos de cocción de los alimentos ya sean eléctricas, con toma de gas o con quema de biomasa (cocinas, hornos, parrillas, etc). (11-18)

Desde un punto de vista de Higiene Ocupacional, los trabajadores que se someten por tiempo prolongado a un alto riesgo de contaminación en su ambiente laboral, pueden llegar a sufrir enfermedades a corto o largo plazo, para evitar esta situación es necesario el estudio de la calidad de aire en los turnos de trabajo (8 h). Existen normas que han implementado el valor límite ambiental de exposición diaria (VLA-ED) de los agentes contaminantes, los cuales no pueden ser sobrepasados.(4)

Los estudios en cocinas donde se encuentran fuentes emisoras de PAHs han llamado la atención por que han logrado captar este tipo de agente contaminante, ya que estas fuentes tienen los procesos de combustión incompleta necesarios para llevar a cabo su emisión a estos ambientes de trabajo. En los análisis de la calidad de aire particularmente de los PAHs, se ha considerado muy importante el muestreo personal de los trabajadores en cocinas, ya que están expuestos por muchas horas ante los vapores, gases y partículas, estas últimas se encuentran en el rango del tamaño considerado respirable, comprobados como dañinos para la Salud.

Considerando todo lo que implica el método de estudio de la calidad de aire, la preservación, tratamiento y análisis de las muestras por el laboratorio es de mucha importancia, ya que el resultado que se obtenga será el que determine si es o no un ambiente correcto para los trabajadores, excluyendolos de un daño ocupacional o si se deben tomar medidas para que la exposición diaria (ED) este por debajo del valor límite ambiental de exposición diaria permitido por jornada laboral. (5)

## V. Objetivos

### V.1 Objetivo General

Evaluar los niveles de exposición diaria ED ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ), para PAHs, de trabajadores en el ambiente laboral del área de una cocina comercial y su comparación con el Valor Limite Ambiental (VLA) permisible, empleando las técnicas de muestreo personal de: tubos de adsorción, extracción gas-líquido y filtros; y su análisis cromatográfico por HPLC-UV/FL y GC-FID.

### V.2 Objetivos Específicos

- A-** Diseñar e implementar un plan de muestreo para la evaluación de la calidad del aire en el área de la cocina del local comercial, y del nivel de exposición de los trabajadores (Indoor). Asi como en el área externa al espacio de estudio (Outdoor).
- B-** Comparar ventajas y desventajas de las técnicas de muestreo: tubo de adsorción, extracción gas-líquido y filtro.
- C-** Extraer, identificar y cuantificar los PAHs, emitidos por las fuentes de riesgo ubicadas en el área de la cocina, para su determinación con las técnicas de análisis cromatográfico, HPLC-UV/FL y GC-FID.
- D-** Analizar los resultados obtenidos de acuerdo a los diferentes tipos de muestreo y técnicas de análisis cromatográfico y comparar con el Valor Límite Ambiental de Exposición Diaria, normados nacional e internacionalmente.

## **VI. Metodología**

### **VI.1 Metodología de muestreo**

#### **VI.1.3. Materiales y equipos a utilizar**

Se realizaron tres técnicas de muestreo, tubo adsorbente, extracción gas – líquido (burbujeador) y filtro, por lo que los materiales y equipos requeridos para el muestreo fueron:

- a) Filtro, PTFE, con cassette y porta filtro.
- b) Tubo adsorbente, XAD-2 (100 mg/50 mg), con tapas de plástico.
- c) Dispositivo extracción gas – líquido, Burbujeador, con capacidad de 25mL.
- d) Acetonitrilo (ACN), grado pesticida (HPLC), marca Fischer.
- e) Bomba de muestreo personal de 2L / min.
- f) Papel de aluminio.
- g) Pinzas.
- h) Cava, preservación de las muestras.

#### **VI.1.2. Programa de Higiene y Seguridad Ocupacional (PHSO)**

Para la estrategia de exposición se debían responder varias preguntas antes de hacer cualquier paso del plan de muestreo, para tener una idea de la estructura de la investigación de la calidad de aire en cocinas comerciales.

##### **VI.1.2.1 Aspectos generales de la estrategia de asesoramiento de exposición**

###### **VI.1.2.1.1. Razón del monitoreo**

El muestreo se realizó para la identificación y cuantificación de los PAHs presentes en cocinas comerciales, como prueba de la existencia de éstos contaminantes en ambientes de trabajo, siéndo esto un riesgo para la salud de los trabajadores.

#### **VI.1.2.1.2. Zona de evaluación de calidad del aire (Indoor).**

Las zonas estudiadas fueron, locales comerciales ubicados en la ciudad de Caracas, capital de Venezuela, donde se llevó a cabo la preparación masiva de alimentos mediante fuentes de riesgo de emisión de compuestos considerados cancerígenos (9), como los PAHs, en ambientes de trabajo.

#### **VI.1.2.1.3. Dimensiones del área a ser muestreada**

Se realizó un diagrama del local con las dimensiones de las áreas, sistema de ventilación del local y posibles fuentes de emisión de PAHs, según los pasos de la Norma COVENIN 2250-2000. (20)

#### **VI.1.2.1.4. Fuente contaminante en ambiente de trabajo**

Se tomaron en cuenta las fuentes de riesgo de emisión PAHs que tenían como combustible:

- a) Carbón.
- b) Aceite.

#### **VI.1.2.1.5. Plan de muestreo**

Con la estrategia de exposición al riesgo se debía llevar a cabo el plan de muestreo, el cual consistió en seleccionar:

1. Tipo de muestreo
2. Técnica de muestreo
3. Número de muestras y duración de cada muestreo
4. Trabajadores a muestrear
5. Días y horas de realización del muestreo
6. Número de muestreos a realizar

#### VI.1.2.1.5.1. Tipo de muestreo

Se realizaron muestreos sistemáticos y por ciclos de actividad del local comercial en (22):

- a) El área de la cocina, (Indoor)
- b) Muestreos personales, en los trabajadores seleccionados.
- c) Muestreos de contaminación externa, (Outdoor).

#### VI.1.2.1.5.2. Técnica de muestreo

Para los diferentes tipos de muestreo: área, personal y externo, se tomaron en cuenta las siguientes técnicas:

- a) Tubos de adsorción, XAD-2.
- b) Extracción gas-líquido, (Burbujeador), donde se utilizó el solvente óptimo para la mejor recuperación de los PAHs, el cual fué acetonitrilo puro según las normas.(21)
- c) Filtros PTFE, requerido por las normas para captar la materia particulada de PAHs.

Todos los sistemas de muestreo consistieron en una (1) bomba de muestreo personal, mangueras flexibles de PCV, base para la colocación de los diferentes tipos de recolector de muestra, ver Figura 10. (5):



**Figura 10** -. Sistema de Muestreo Personal del Aire por: 1) Tubos de adsorción, 2) Burbujeadores, 3) Filtro PTFE con Cassette. (5)

### VI.1.2.1.5.3. Número de muestras y duración de cada muestreo

Con la proposición de la norma UNE-EN 689 (ver tabla 4), se fijó el número de muestras y el tiempo de duración que se utilizaron para las diferentes técnicas de muestreo:

Tabla 4 -. Número mínimo de muestras a tomar por técnica de muestreo y su tiempo de duración, según la norma UNE-EN 689.

Tiempo de duración de la muestra	Ejemplos de tipo de medición	Nº de muestras necesario para abarcar el 25% de la exposición (supuestas 8 horas)	Nº mínimo de muestras recomendado por UNE-EN 689
10 segundos	Equipos de lectura directa. Medición puntual.	720	30
1 minuto	Tubos detectores de corta duración (tubos colorimétricos)	120	20
5 minutos	Tubos detectores de corta duración	24	12
15 minutos	Tubos adsorbentes (carbón activo, gel de sílice). Borboteadores. etc.	8	4
30 minutos	Tubos adsorbentes (carbón activo, gel de sílice). Borboteadores. etc.	4	3
1 hora	Filtros para muestreo de aerosoles	2	2
2 horas	Filtros para muestreo de aerosoles	1	1

\* La exposición debe ser uniforme.

#### VI.1.2.1.5.4. Trabajadores a muestrear

Los trabajadores se escogieron, con la teoría de Grupos homogéneos de exposición (GHE) (22), tomando en cuenta las limitaciones para realizar el muestreo, ver tabla 5.

Tabla 5-. Número de trabajadores a muestrear pertenecientes a un GHE.

N	8	9	10	11-12	13-14	15-17	18-20	21-24	25-29	30-37	38-49	50	> 50	$N_0=0,1N$
n	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	22	$P=0,1$
N	12	13-14	15-16	17-18	19-21	22-24	25-27	28-31	32-35	36-41	42-50	>50		$N_0=0,1N$
n	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	29		$P=0,05$
N	6	7-9	10-14	15-26	27-50	>50								$N_0=0,2N$
n	5	6	7	8	9	11								$P=0,1$
N	7-8	9-11	12-14	15-18	19-26	27-43	44-50	>50						$N_0=0,2N$
n	6	7	8	9	10	11	12	14						$P=0,05$

Extraído de Leidel, Busch y Lynch. Occupational Exposure Sampling Strategy. NIOSH, 1977.

(22)

#### VI.1.2.1.5.5. Días y horas de realización del muestreo

Se realizó un horario de ciclos de actividad según la emisión de humo y tareas repetidas de los trabajadores, fijando un día y hora en el horario de ciclos clasificados con alta y baja actividad, en los que se llevaron a cabo los tipos y técnicas de muestreos. (22)

#### VI.1.2.1.5.6. Número de muestreos a realizar

Se decidieron realizar tres (3) tipos de muestreo, en:

- a) Uno (1), área de la cocina (Indoor),
- b) Tres (3), por trabajador seleccionado (personal), y
- c) Tres (3) afuera del local (contaminación externa, Outdoor).

### VI.1.2.1.6. Muestreo

#### VI.1.2.1.6.1. Calibración de la bomba

La técnica de calibración que se utilizó para este tipo de bomba fue el de burbuja con ayuda de una bureta, se siguió según la norma COVENIN 2250:2000. (20)

#### VI.1.2.1.6.2. Sistema de muestreo

El montaje del sistema se llevó a cabo siguiendo los siguientes pasos(5):

- a) Se calibró la bomba, observándose un flujo constante.
- b) Se colocaron los dispositivos de captación según la técnica de muestreo, bien sea, tubo de adsorción, burbujeador ó filtro.
- c) Se conectaron las mangueras flexibles a las salidas y entradas del flujo de aire, como al dispositivo de captación de muestra, sin observarse fugas.
- d) Se colocó el sistema de muestreo a cada trabajador seleccionado.

#### VI.1.2.1.6.3. Cadena de custodia de las muestras

El almacenamiento, preservación e identificación de las muestras, se llevaron a cabo, según: (21)

- a) Se identificó cada muestra con una etiqueta, ver figura 11.
- b) Se preservaron las muestras envolviéndolas en papel aluminio, durante el muestreo y al finalizar éste se mantenían en una cava con hielo, hasta llegar al laboratorio.
- c) En el laboratorio, fueron refrigeradas a  $\leq 4^{\circ}\text{C}$  y el tiempo de espera de las muestras para el análisis químico no excedió 20 días.

Fecha :	Trabajador:
Hora:	Area de cocina:
Tipo de método:	

Figura 11-. Etiqueta de identificación para cadena de custodia de muestras.

## **VI.2 Metodología del análisis experimental**

### **VI.2.3. Materiales y equipos a utilizar**

- a) Filtros para jeringa, de 0.45  $\mu\text{m}$ , 25 mm, PTFE.
- b) Pipetas de diferente volumen cada una en mL.
- c) Jeringa o micropipetas, 1 a 100mL.
- d) Matraces aforados de 10 a 100mL
- e) Equipo de ultrasonido.
- f) Cartuchos de SPE (LC - Alúmina N, LC - Florisil y LC – PH).
- g) Sistema de extracción, clean-up, SPE al vacío.
- h) HPLC(UV/FLD), con capacidad de gradiente, integrador electrónico, y columna específica para PAHs
- i) GC (FID), con integrador electrónico y columna capilar específica de PAHs.

### **VI.2.4. Análisis de las muestras**

- a) Extracción de los PAHs.
- b) Purificación de los extractos.
- c) Caracterización y cuantificación de los PAH.

#### **VI.2.2.1 Extracción de los PAHs**

Cada muestra se traspasó a un envase ámbar de capacidad  $\geq 5\text{mL}$ , para la extracción de los PAHs, se agregó 5mL de acetonitrilo puro y se colocaron en un baño agua en el equipo de ultrasonido por un tiempo de media hora, (30min), y luego se filtraron los extractos con un filtro para jeringa de 0.45 $\mu\text{m}$  PTFE y conservaron en viales ámbar de 2mL de capacidad, estos pasos son mostrados en la figura 12 , según la técnica de muestreo: tubo adsorción, extracción líquido – gas y filtro.

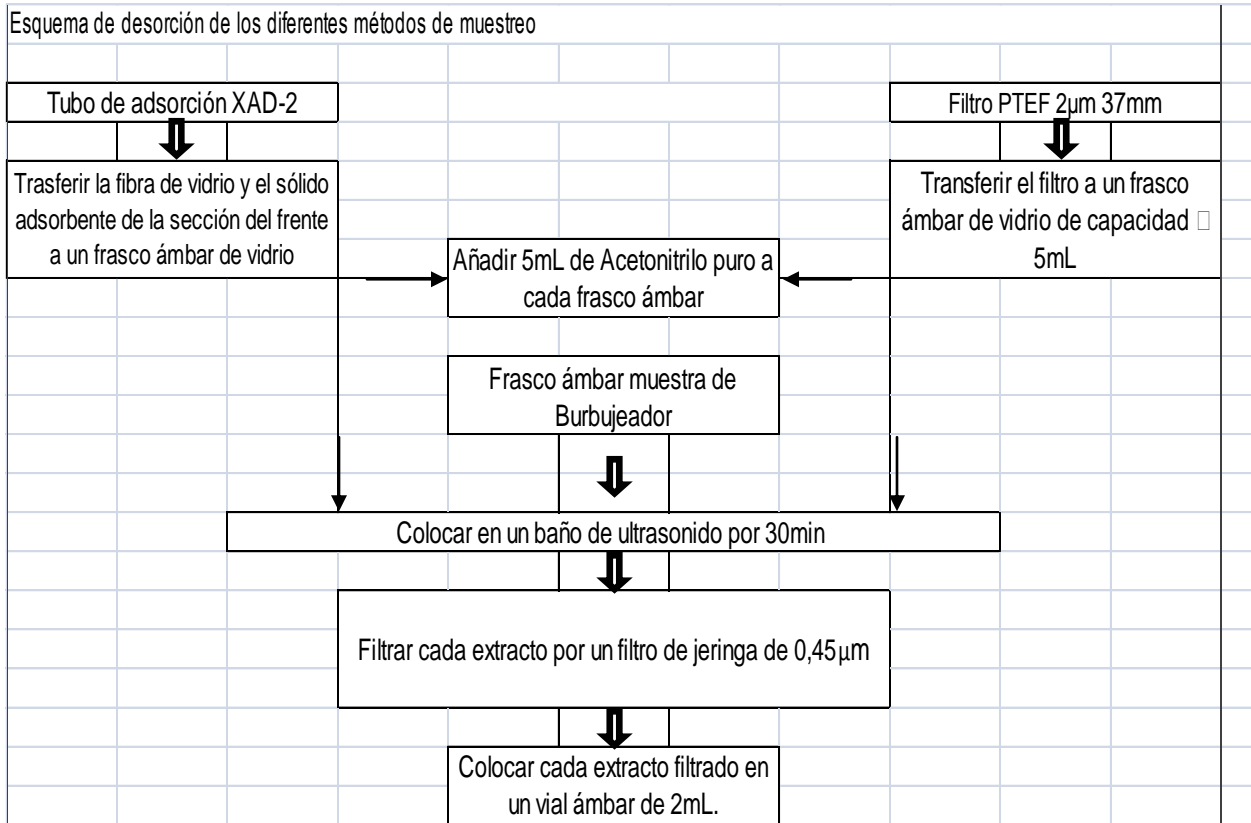


Figura 12-. Esquema de los pasos de la extracción de los PAHs por ultrasonido, según la técnica de muestreo.

#### VI.2.2.2 Purificación de los extractos

Algunos extractos de la sección anterior (VI.2.2.a)), se sometieron a una extracción en fase sólida (SPE), para este proceso se escogieron los siguientes cartuchos de fase sólida adecuados para el aislamiento de los PAH's (23,24):

- a) LC – Alúmina N (neutra), 6mL.
- b) LC – Florisil, 6mL.
- c) LC – Ph (Fenil), 3mL.

Se Fijaron los solventes para llevar a cabo la extracción según las características físico-químicas de los compuestos y tipo de sorbente de extracción dependiendo de la fase en que se trabajó reversa o normal , (26-31):

1. Se acondicionó con ACN puro.
2. Se adicionó la muestra.
3. El orden de elusión de fase normal, fue: Hex/4:1 Hex:DCM/MeOH.
4. El orden de elusión de fase inversa, fue: MeOH/DCM/1:1Hex:DCM/Hex.
5. Se realizó pre-concentración de cada extracto con la ayuda del sistema por vacío de extracción en fase sólida, figura 13.



Figura 13-. Equipo de SPE al vacío, SUPELCO.

### VI.2.2.3 Identificación y cuantificación de los PAHs

#### VI.2.2.3.3 Identificación para PAHs

El análisis químico de identificación de los PAHs, se llevó a cabo por dos técnicas cromatográficas, La cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) y la cromatografía de gases (GC), como lo requerían las normas NIOSH 5515 y 5506.(8,21)

##### a) Técnica de HPLC

La caracterización y cuantificación se llevó a cabo utilizando un cromatógrafo de alta eficiencia modelo Hewlett Packard HP de la serie 1100 (Agilent Technologies), .Las condiciones cromatográficas utilizadas para la separación cromatográfica fué en el detector de UV a una longitud de onda de 254nm y con el detector de fluorescencia, un barrido de emisión y excitación, para lograr el máximo de intensidad de cada compuesto (PAHs), obteniéndose la separación de 10 PAHs por medio de un gradiente de elusión y una columna específica para PAHs bajo las condiciones óptimas, ver tabla 6 y 7:

Tabla 6-. Barrido de emisión y excitación, HPLC del detector de Fluorescencia.

Tiempo en corrida HPLC-FLD (min)	Excitación (nm)	Emisión (nm)
0,0	254	300
19,2	270	380
21,9	285	450
23,2	330	385
24,7	260	400
28,0	295	405
34,6	300	500

Tabla 7-. Condiciones de las variables del HPLC/UV-FLD.

Variable del HPLC	Condición utilizada		
Columna específica para PAHs	Merck-Purospher STAR LichroCART 150mm, ID 4.5, RP-18 (5µm) Con guarda columna, RP-18		
Flujo	0,5mL/min		
Volumen de Inyección	10µL		
Gradiente de elusión (ACN/H <sub>2</sub> O 18Ω) (33)	% ACN	% H <sub>2</sub> O 18Ω	Tiempo (min)
	40	60	0
	50	50	5
	40	60	10
	30	70	15
	20	80	20
	0	100	25
	20	80	35
	40	60	40
	60	40	45

## b) Técnica de GC

La caracterización y cuantificación también se llevó a cabo utilizando un cromatógrafo de gases modelo THERMO 3000, con un detector de llamas (FID), donde se logró la separación de 10 PAHs, mediante una columna capilar, una rampa de temperatura y el flujo constante del gas portador, Nitrogeno, éstas condiciones son mostradas en la tabla 8.

Tabla 8-. Condiciones de las variables del CG-FID

<b>Variables del GC</b>	<b>Condiciones utilizadas</b>		
Columna capilar	J&W DB-5 30m – ID 0,32mm - 5 $\mu$ m		
Volumen de inyección	2 $\mu$ L		
Flujo del gas de arrastre (Nitrógeno)	1.5mL/min		
Temperatura	Inyector		200°C
	Detector-FID		250°C
Rampa de temperatura Horno/Columna	T(°C)	°C/min	Tiempo de espera(min)
	130	-	0
	290	4	5

#### **VI.2.2.3.2 Cuantificación de PAHs**

La cuantificación de los PAHs se realizó por el método de calibración externa con diez (10) patrones certificados del grupo de PAHs, ampollas de 100µg/mL marca CHEM SERVICE, donde se realizaron las curvas de calibración con un rango de concentraciones de 0,1 a 10 µg/mL por las dos técnicas cromatográficas: HPLC y GC, donde se obtuvieron los cromatogramas que se utilizaron para fijar el orden de elución, tiempo de retención (min), límite de detección (LD) y límite de cuantificación (LC), para cada PAHs.

## VII. Discusión de Resultados

### VII.1. Ubicación y descripción del local

Para la evaluación de la calidad de aire en locales comerciales, se logró obtener el permiso de un local que tenía todas las características que se ajustaban a la necesidad de este estudio.

#### VII.1.1. Ubicación del local

El local que se evaluó se encuentra ubicado al noroeste de la ciudad de Caracas, como se puede observar en el mapa satelital, figura 14.

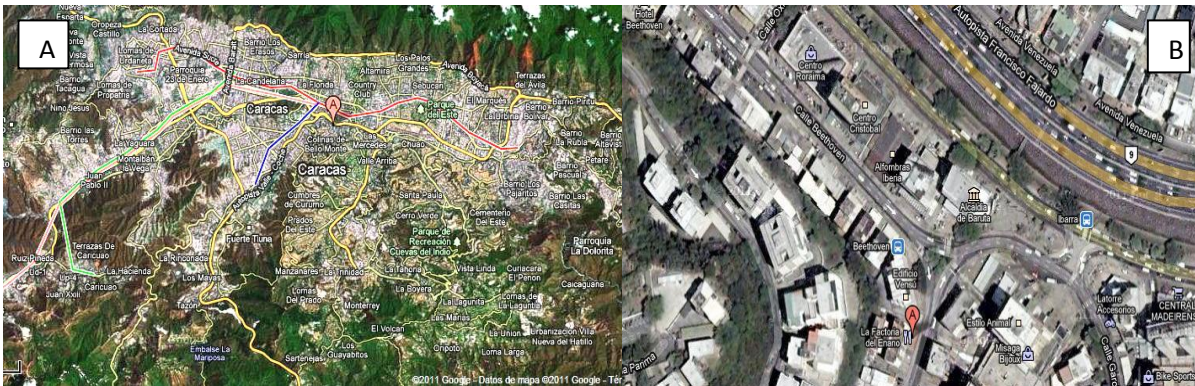


Figura 14-. A- Mapa satelital del local B-. Mapa de la urbanización del local a muestrear.

#### VII.1.2. Descripción del local

El local consta de un área de cocina abierta hacia el ambiente de las mesas de los consumidores, dividida por una pared la cual hace la separación de dos sub áreas: la cocina de tipo de cocción con aceite y la cocina de tipo de cocción al carbón, para una mejor visualización de esto se hizo un diagrama Figura 15 , en el cual se logra observar lo descrito anteriormente mas el sistema de ventilación del local, según lo indican los números en el diagrama se tiene:

1. Campana de extracción en el área de cocción con aceite.
2. Campana de extracción en el área de cocción al carbón.
3. Extractor ubicado en ventana en el área de cocción al carbón .
4. Extractor ubicado en ventana en el área de cocción con aceite.
5. 6 y 7. Salidas de aire acondicionado que entra en el área de consumidores del local.

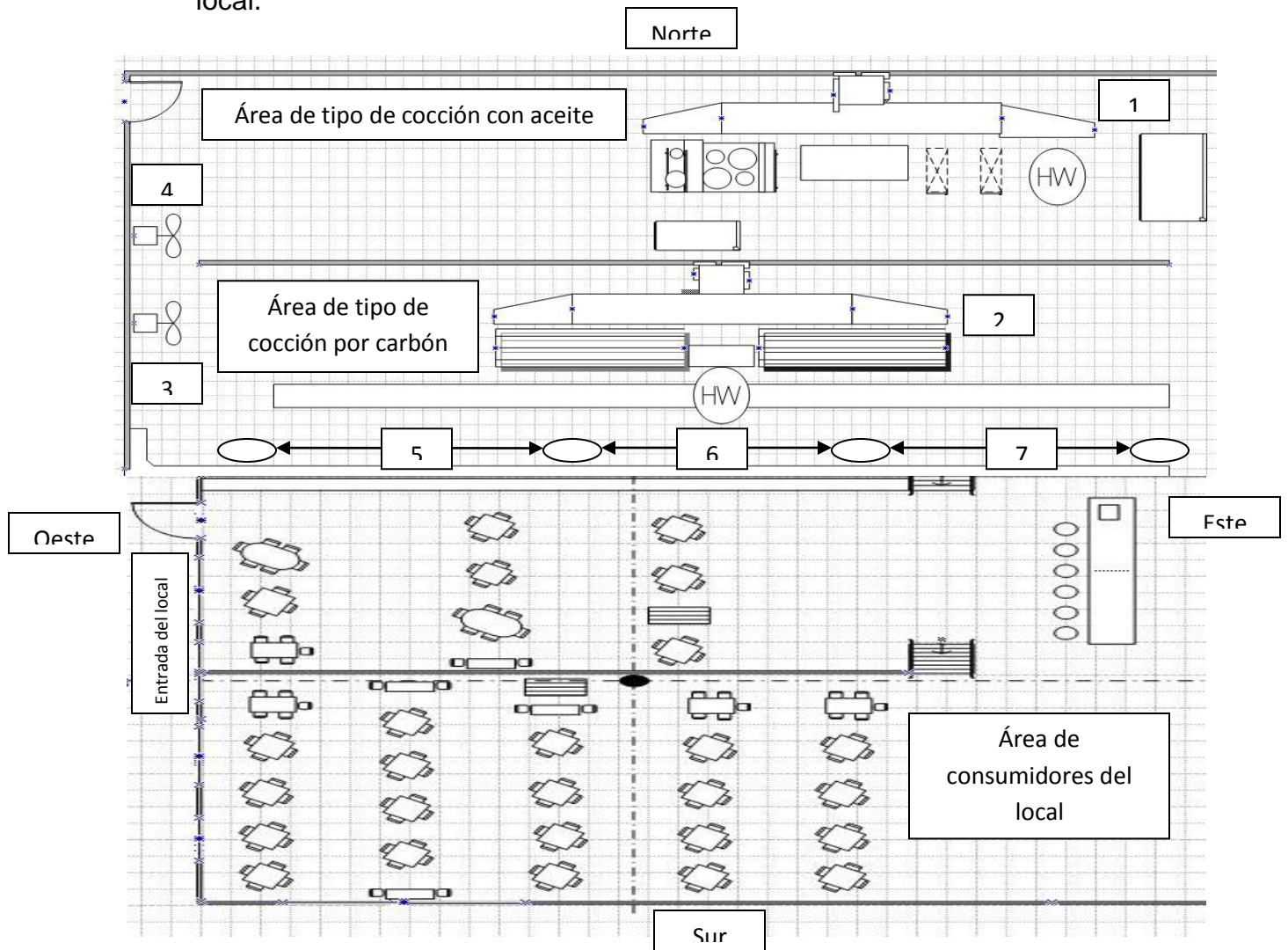


Figura 15-. Diagrama del local sub-dividido por sus áreas tipo de cocción por aceite, tipo de cocción al carbón y consumidores del local.

La capacidad máxima del local es de 156 personas sentadas, en 36 mesas y la barra.

## **VII.2. Estrategia de exposición al riesgo (22)**

Lo principal de este estudio, fue el análisis de la calidad de aire en el interior del local el cual se abordó de manera metodológica, se requirió de cuatro (4) visitas previas donde se llevó a cabo el diagnóstico del local, estas visitas consistieron en la observación del espacio, distribución y clasificación de las diferentes áreas, logrando obtener:

- a)** Reconocimiento de las fuentes de riesgo de emisión de los PAH's, en el ambiente laboral.
- b)** Análisis de los puestos de trabajo, con grupos homogéneos de exposición de trabajadores en el área de cocina.
- c)** Itinerario de las diferentes actividades llevadas a cabo por los diferentes grupos de trabajadores y horario por emisión de humo.
- d)** Selección de los trabajadores a ser muestreados, según GHE por medio de factores de frecuencia, estática del movimiento y distancia de la fuente de riesgo, con respecto al trabajador.

Esto permitió obtener las bases del plan de muestreo correcto con respecto a los objetivos planteados.

### **VII.2.3. Fuente contaminante en ambiente de trabajo**

Las posibles fuentes de riesgo para emisión de PAH's, se encontraban en el área de la cocina del local la cual se puede dividir, en dos sub áreas:

#### **VII.2.1.1. Área de cocción al carbón**

El diagrama de la figura 15 muestra en el área de la cocina, del tipo de cocción al carbón, cuatro (4) fuentes de riesgo de emisión de los PAHs:

1. Dos (2) brasas para preparación de pollo, que tienen carbón como combustible.
2. Una (1) parrillera para preparación de carnes rojas, que tiene carbón como combustible.
3. Un (1) intercambiador de calor, para realizar baño de maría para preparación de contornos de los platos, calentado por medio de dos hornillas, que tiene por combustible gas natural.

#### **VII.2.1.2. Área de cocción con aceite**

El diagrama de la Figura 15 muestra en el área de la cocina, del tipo de cocción con aceite , seis (6) fuentes de riesgo de emisión de los PAHs:

1. Un (1) reverbero para preparación de sopas y/o contornos de los platos, consiste en una (1) hornilla con toma de gas.
2. Una (1) cocina de cuatro (4) hornillas para preparación de contornos de platos, con toma de gas.
3. Una (1) plancha eléctrica, para preparación de carnes blancas y rojas.
4. Dos (2) freidoras profundas, para preparación de contornos.
5. Un (1) intercambiador de calor, para hacer baño de maría para preparación de contornos, calentado por medio de dos (2) hornillas con toma de gas.

#### VII.2.4. Análisis de puestos de trabajo

En las cuatro (4) visitas previas al local, lo primero que se evaluó fue el sistema de ventilación del mismo, ya que como se iba a tratar con la contaminación del aire, uno de los aspectos más problemáticos es la dilución de los contaminantes (PAHs) emanados por el humo en el ambiente de trabajo de los GHE, y se observó que el local estaba bien equipado con respecto a la extracción del humo que se generaba, pero aún en los ciclos más críticos de la generación del humo a veces no era suficiente el sistema de extracción que se tenía en el local, ya que se observaba la acumulación del humo en los lugares más próximos a las fuentes de riesgo.

##### VII.2.2.1. Grupo Homogéneo de Exposición (GHE)

Para la selección de los trabajadores en riesgo, se tomaron en cuenta tres variables de mucho peso a la hora de buscar un trabajador en riesgo:

1. La distancia del trabajador con respecto a la fuente de riesgo.
2. El tiempo del trabajador sometido a la exposición en riesgo.
3. La frecuencia con que se somete el trabajador al riesgo.

Tabla 9-. Clasificación del personal del local

Descripción actividad	Número de trabajadores	Turno
Cocina de cocción con aceite	3	Tarde/Noche
Cocina de cocción al carbón	3	Matutino/Tarde/Noche
Servicio de limpieza	2	Matutino/Tarde
Encargado de la barra	1	Tarde/Noche
Mesoneros	6	Tarde/Noche
Cajeros	2	Tarde/Noche

Se realizó la clasificación del personal del local, según el tipo de trabajo obteniendo, seis (6) grupos homogéneos de exposición al riesgo, de los cuales sólo dos (2) estaban en el ambiente del área de la cocina del local, con esto ya se pre-seleccionaron los trabajadores a muestrear según los GHE:

- a) Cocina de cocción al carbón, tres (3) trabajadores.
- b) Cocina de cocción con aceite, tres (3) trabajadores.

#### **VII.2.2.2 Área de cocina, tipo de cocción al carbón**

Este GHE se dividía en: dos (2) trabajadores frente a la brasa (1 metro aprox.) donde preparaban los alimentos como carnes blancas, rojas y contornos, pero también se encargaban del almacenamiento y manejo del carbón dónde movían y trasladaban el carbón hacia la brasa. Un (1) trabajador ubicado frente a la brasa (3 metros aprox.) que se encargaba de la preparación de las bebidas y a veces de empacar los pedidos para llevar. La actividad en el local era de todos los días en el mismo puesto de trabajo, donde se encontraban todo su turno (tarde y/o noche) a una distancia menor a un metro y 3 metros respectivamente, de las fuentes de riesgo de emisión de los PAHs, expuestos a un ambiente de trabajo de humos, vapores y materia particulada, visibles en ciertas horas del turno, por la frecuencia, lo estático del movimiento de éste grupo en sus puestos de trabajo y la cercanía a las fuentes de riesgo de emisión de los PAHs, se decidió que éstos trabajadores eran de gran importancia en el muestreo para la captación de los PAHs y se tomaron como un sub-grupo en riesgo dentro del personal del local.

El carbón utilizado era, carbón refino, compuesto por:

- |                   |        |                   |       |
|-------------------|--------|-------------------|-------|
| a) Pol mínima     | 99,80% | e) Humedad máxima | 0,05% |
| b) Máximo color   | 100%   | f) PPM S máxima   | 2     |
| c) Ceniza máxima  | 0,04%  |                   |       |
| d) Glucosa máxima | 0,04%  |                   |       |

### VII.2.2.3 Área de cocina, tipo de cocción con aceite

Este GHE se dividía en: dos (2) trabajadores frente a las fuentes de riesgo los cuales se encargaban de la preparación de las carnes blancas, rojas y mariscos. Un (1) trabajador ubicado de espaldas a las fuentes de riesgo, el cual se encargaba de la preparación de los alimentos frescos como ensaladas y frutas. Su actividad en el local era de todos los días en el mismo puesto de trabajo, donde se encontraban todo su turno (tarde y/o noche) a una distancia menor a un ( $\leq 1$ m) metro de las fuentes de riesgo de emisión de los PAHs, expuestos a un ambiente de trabajo de humos, vapores y neblinas, observadas en ciertas horas del turno. Ya que el grupo estaba bajo un mismo ambiente, se tomo como un sub-grupo en riesgo dentro del personal del local, dónde los trabajadores de mayor importancia para el muestreo eran los dos (2) encargados de la cocción con aceite de los alimentos. El aceite utilizado marca "CHEF", mezcla de aceites vegetales (aceite de maravilla 80%, Aceite de Soya 20%), ácido cítrico y dimetilpolixiloxano., los componentes son por cada 100mL:

Energía (kcal)	98	Proteínas (g)	2,5
Grasa Total (g)	2,7	Grasa saturada (g)	1,6
Grasa Monoinsat.(g)	0,9	Grasa Polliinsat.(g)	0,2
Ac. Grasos Trans (g)	0,2	Colesterol(mg)	6,5
H.de C. Totales (g)	16,0	Sodio (mg)	70,0

### VII.2.3 Plan de muestreo

Una vez finalizada la estrategia de exposición al riesgo, donde se lograron visualizar todas las variables que afectaban a los GHE en el área de la cocina, donde se encontraban las fuentes de riesgo de emisión de los PAHs, y se seleccionaron los GHE y sub-grupos de los trabajadores de importancia para el muestreo, se logró con ayuda de la literatura (23), llevar a cabo el plan de muestreo, el cual consistió en seleccionar:

1. Tipo de muestreo
2. Técnica del muestreo personal
3. Número de muestras y duración de cada muestreo
4. Trabajadores a muestrear
5. Días y horas de realización del muestreo
6. Número de muestreo a realizar

#### VII.2.3.1. Tipo de muestreo

El tipo de muestreo que se realizó fue, muestreo sistemático (5,23), ya que éste tipo de muestreo dejó seleccionar a los trabajadores de mayor importancia según las variables ya nombrados, frecuencia, tiempo de exposición y distancia con respecto a la fuente de riesgo de emisión de los PAHs del local. Se realizaron tres muestreos con diferentes objetivos:

- a) **Muestreo del área (Indoor), de la cocina del local:** Este estudio consistió en la hipótesis: de si se captarían o no los agentes contaminantes PAHs en los puestos de trabajo, para ello se llevó a cabo un muestreo preliminar colocando sistemas estáticos a 70, 100 y 310cm de distancia con respecto a la fuente de riesgo de emisión de los PAHs, ver figura 16.

- b) Muestreos personales en los trabajadores seleccionados:** ya que el primer muestreo llamado preliminar captó PAHs en el área de la cocina del local, se llevó a cabo el muestreo personal directamente colocado sobre los trabajadores seleccionados, para evaluar la exposición al riesgo de PAHs de los trabajadores por ciclo de actividad como la exposición diaria (ED), por turno de 8h.
- c) Muestreo de contaminación externa (Outdoor):** Este consistió en tomar muestras fuera del local con sistemas estáticos de muestreo según la corriente de entrada de aire (ver figura 16), con el objetivo de ver que tanto afectaba los resultados de la calidad de aire (Indoor) , la contaminación externa (Outdoor).

#### **VII.2.3.2. Técnica del muestreo personal**

Para escoger qué tipo de técnica era la ideal para llevar a cabo el muestreo personal, se tomo en cuenta el manejo y los riesgos de cada una de las técnicas de muestreo (tubo de adsorción Vs. extracción gas – líquido, burbujeo), ya que el sistema de muestreo se colocaba sobre los trabajadores. En el muestreo de área se comprobó que el método de extracción gas – líquido (burbujeo), era muy grande y pesado, es decir poco favorecedor a la hora de lograr colocárselo a un trabajador con el área de la cocina reducida y el espacio que tenían los trabajadores para moverse era limitado, de un riesgo alto ya que el recolector de muestra era de vidrio conteniendo acetonitrilo puro y las fuentes de riesgo estaban muy cercanas a los trabajadores, siéndo esto una gran desventaja. Mientras que el método de tubo de adsorción era pequeño y ligero, no representó un riesgo hacia los trabajadores por ser un fino tubo de vidrio conteniendo el sólido XAD-2 compacto. Por lo que se decidió tomar el sistema de muestreo personal y externo con el tubo de adsorción y filtro de PTFE (ver figura 17).

### VII.2.3.3. Número de muestras y duración de cada muestreo

Estas variables se lograron fijar gracias a las normas de muestreo encontradas en la bibliografía (20-23), (COVENIN y UNE-EN 689) dónde se fijó el tiempo de duración del muestreo junto con el número mínimo de muestras dependiendo de la técnica utilizada, tabla 10.

Tabla 10-. Duración de muestreo y número mínimo de muestras a tomar por tipo de método utilizado.

Duración (min)	Método del muestreo	N° mínimo de muestras UNE 689
30	Tubo de adsorción	3
30	Extracción Gas -Líquido	3
60	Filtro	1

(22)

### VII.2.3.4. Trabajadores a muestrear

El muestreo sistemático permitió seleccionar a los trabajadores de mayor importancia para este estudio, tomando en cuenta las variables que hacen que el trabajador este más expuesto dentro de los sub-grupos de GHE, fueron seleccionados:

#### a) Área de cocina, de tipo de cocción al carbón:

- ✓ Cocinero principal de la brasa al carbón (M1).
- ✓ Encargado de las bebidas (M2).

#### b) Área de cocina, de tipo de cocción con aceite:

- ✓ Chef del área (M3).

En el diagrama (Figura 16) se observan los trabajadores según la selección que se hizo, con respecto a la distancia de la fuente de riesgo – trabajador (M1-M2-M3).

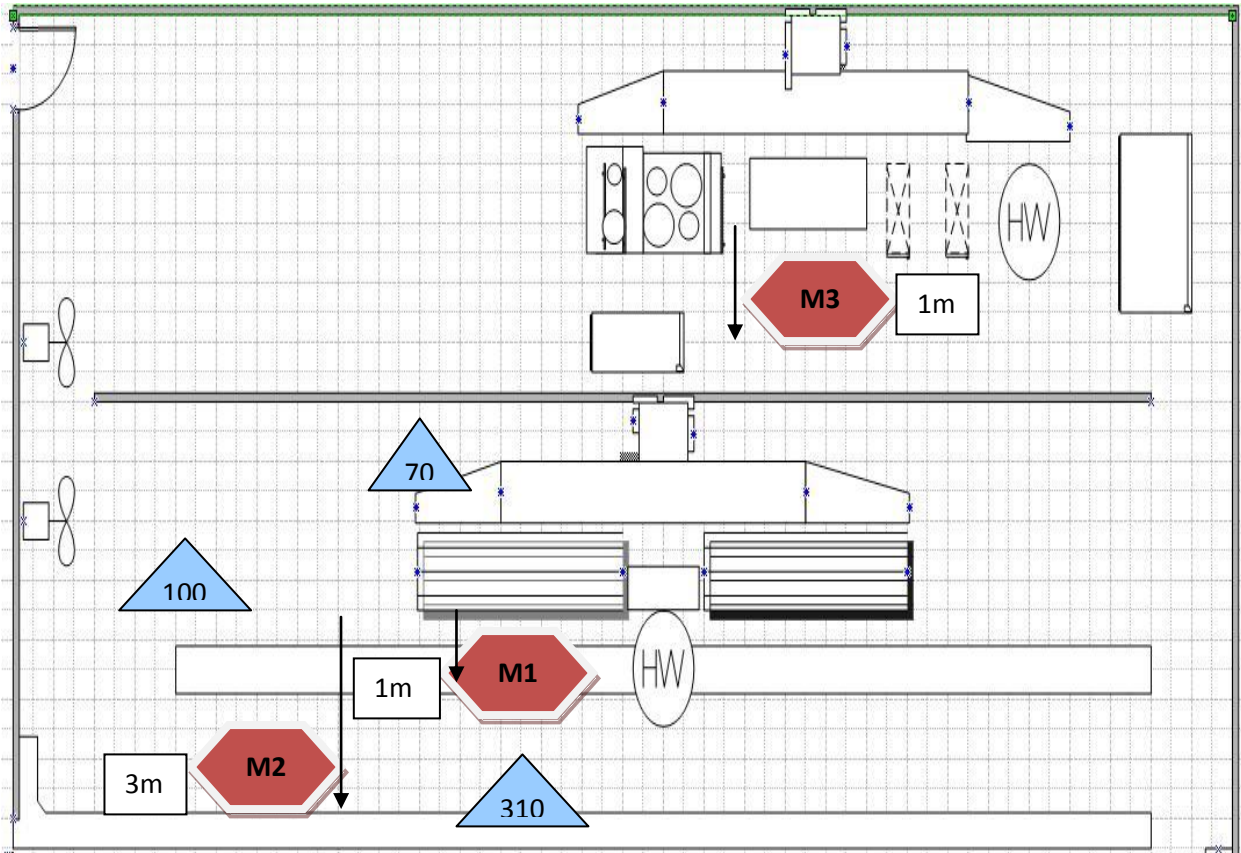


Figura 16-. Diagrama de puntos de muestreo de área y de los trabajadores seleccionados, en la sub-áreas de la cocina.

#### VII.2.3.5. Días y horas de realización del muestreo

Una de las variables más importantes observada durante la estrategia de exposición al riesgo fue, que la actividad del área de la cocina aumentaba en los días: viernes, sábado y domingo, esto se logro comprobar en las visitas previas, al analizar estos tres días, se observó que sólo los viernes por la demanda de los consumidores el local se veía en la necesidad de encender todas las fuentes de emisión, lo cual aumentaba la exposición al riesgo de los trabajadores en el área de la cocina de tipo de

cocción al carbón, al considerar esto en el plan de muestreo se fijó que los muestreos se llevarían a cabo los días viernes para así obtener un resultado en la mayor exposición de los puestos de trabajo, como un estudio preliminar.

Las horas en las que se realizaron los muestreos se fijaron con un horario de actividad de emisión de humo que se observó en las diferentes horas de los turnos de trabajo, describiendo así también de manera indirecta las horas de actividades repetidas por los GHE, las cuales se dividieron en ciclos de actividad alta y baja. En la tabla 11, se lograron ordenar todos los datos del diagnóstico de las cuatro (4) visitas previas y de los mismos días de los muestreos realizados y se resumieron en los siguientes 4 ciclos de actividad alta.

Tabla 11-. Ciclos de actividad alta (mayor emisión de humo) en el local con respecto a las horas de trabajo

<b>Ciclo</b>	<b>Hora</b>
1	10:30am a 11am
2	12:30pm a 1:30pm
3	2pm a 2:30pm
4	4:30pm a 6pm

Ya que la hora también se debía fijar para lograr una comparación de los resultados del análisis, y por observaciones muy claras de que los ciclos de actividades del trabajador eran iguales, se fijaron los ciclos 1, 2 y 3, como las horas de muestreo junto con horas de actividad baja, que llevan a obtener la concentración media ponderada de la jornada del trabajador (8h), ED, Exposición Diaria.

### VII.2.3.6. Número de muestreos a realizar

Se hicieron tres (3) muestreos personales a cada uno de los trabajadores seleccionados y tres (3) muestreos externos, (Outdoor):

Tabla 12-. Muestreos realizados en los trabajadores seleccionados

Días de muestreo (Viernes)	Tipo de muestreo	Técnica de muestreo	Número de recolector de muestra por día
14/04/11*	Area de cocina del Local (indoor)	Burbujeo y tubo de adsorción XAD-2	3
		Filtro PTFE	1
15/04/11	Personal	tubo de adsorción XAD-2	3
13/05/11	Trabajadores área de tipo cocción al Carbón	Filtro PTFE	1
20/05/11			
20/05/11	Personal	tubo de adsorción XAD-2	3
27/05/11	Trabajador área de tipo cocción con aceite y Externa	Filtro PTFE	1
03/06/11			

\* Jueves.

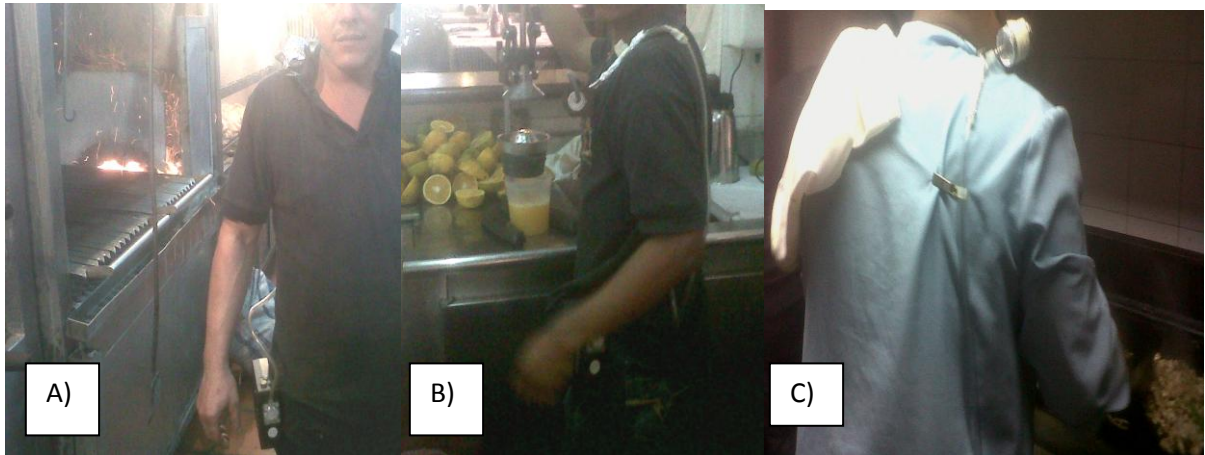


Figura 17-. Sistema de muestreo Tubo de adsorción XAD-2 y Filtro PTFE para todos trabajadores A) M1, B)M2 y C)M3.



Figura 18-. A) Muestreo externo (Outdoor) XAD-2, B) Sistema extracción gas – Líquido (Burbujeador), C) Muestreo de área por burbujeador, (Indoor) de la cocina del local (a 100cm de la Brasa).

### VII.3. Análisis de las muestras

#### VII.3.1. Extracción de los PAHs

Todas las muestras se sometieron a un baño de ultrasonido por media hora (30min), luego se filtraron con ayuda de una jeringa desechable y un filtro de PTFE 0.45 $\mu$ m, y se trasvasaron a viales ámbar de 2mL de capacidad.(21)

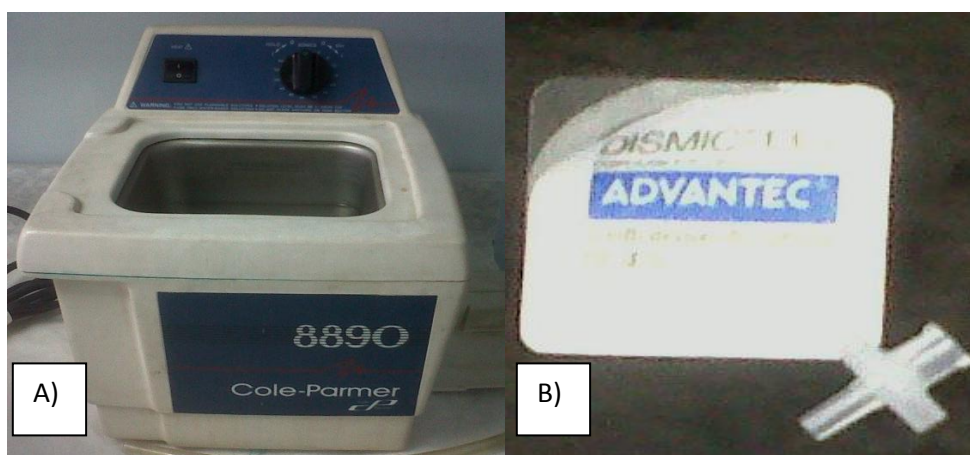


Figura 19-. A) Equipo de ultrasonido, B) Filtro de 0.45 $\mu$ m PTEF, para jeringa.

#### VII.3.2. Purificación de los extractos

Los extractos de las técnicas de muestreo de extracción gas - Líquido y filtro PTFE, necesitaron un paso adicional de limpieza y/o purificación, por lo cual se decidió hacer la técnica de extracción en fase sólida (SPE), siendo la más apropiada para el análisis de grupos de compuestos con características similares entre sí, como los PAHs, con el mismo objetivo de las columnas cromatográficas, la separación de grupos de compuestos por medio de diferentes solventes (gradiente de polaridad) que se hacen pasar a través del sólido adsorbente que retiene los compuestos de interés o a las interferencias. Dentro de la gama de posibles columnas se escogieron tres tipos de

sólidos adsorbentes recomendados para PAHs (24-32), antes de su inyección al cromatografo:

1. LC- Alúmina N, (neutra, pH  $\approx$  6.5).
2. LC- Florisil, ( $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ ).
3. LC- Ph (Fenil).

Lo primero que se tomó en cuenta para la purificación de los extractos es que éstos estaban en una matriz de acetonitrilo puro, siendo éste un solvente moderadamente polar, por lo que esto nos llevó a pensar en el gradiente de elución de los compuestos , ya que se pensaba que por el tipo de muestra se podrían tener diferentes compuestos en la matriz como:

- ✓ Hidrocarburos saturados.
- ✓ Hidrocarburos aromáticos.
- ✓ Compuestos polares.

Tanto la columna del sólido adsorbente de LC- Alúmina N, como LC-Florisil, son columnas de fase normal, que tenían el mismo propósito adsorber los compuestos polares, gracias a sus interacciones polar-polar y enlace de hidrógeno, dejándo eluir de primeros los compuestos menos polares, como los PAHs. En cambio el LC-Ph, es de fase reversa, que está constituido a base de silica enlazado al fenil, el cual tiene interacciones no polar-no polar y fuerzas Van der Waals, lo que lo hace selectivo para los compuestos aromáticos, como los PAHs, dejándolos retenidos y luego con un solvente más apolar que rompa éstas fuerzas de enlace se logran eluir los compuestos de interés, aislandolos de los otros compuestos que se contenía en la matriz. Con esto se logró hacer la técnica de SPE siguiendo un diagrama de elución descrito en la figura 20. Estos extractos se inyectaron en el equipo de HPLC, con detector de UV y FLD, observándose una gran diferencia con los extractos que no se sometieron a este paso adicional, logrando observar picos cromatográficos diferenciables de las interferencias de la matriz de las diferentes muestras.

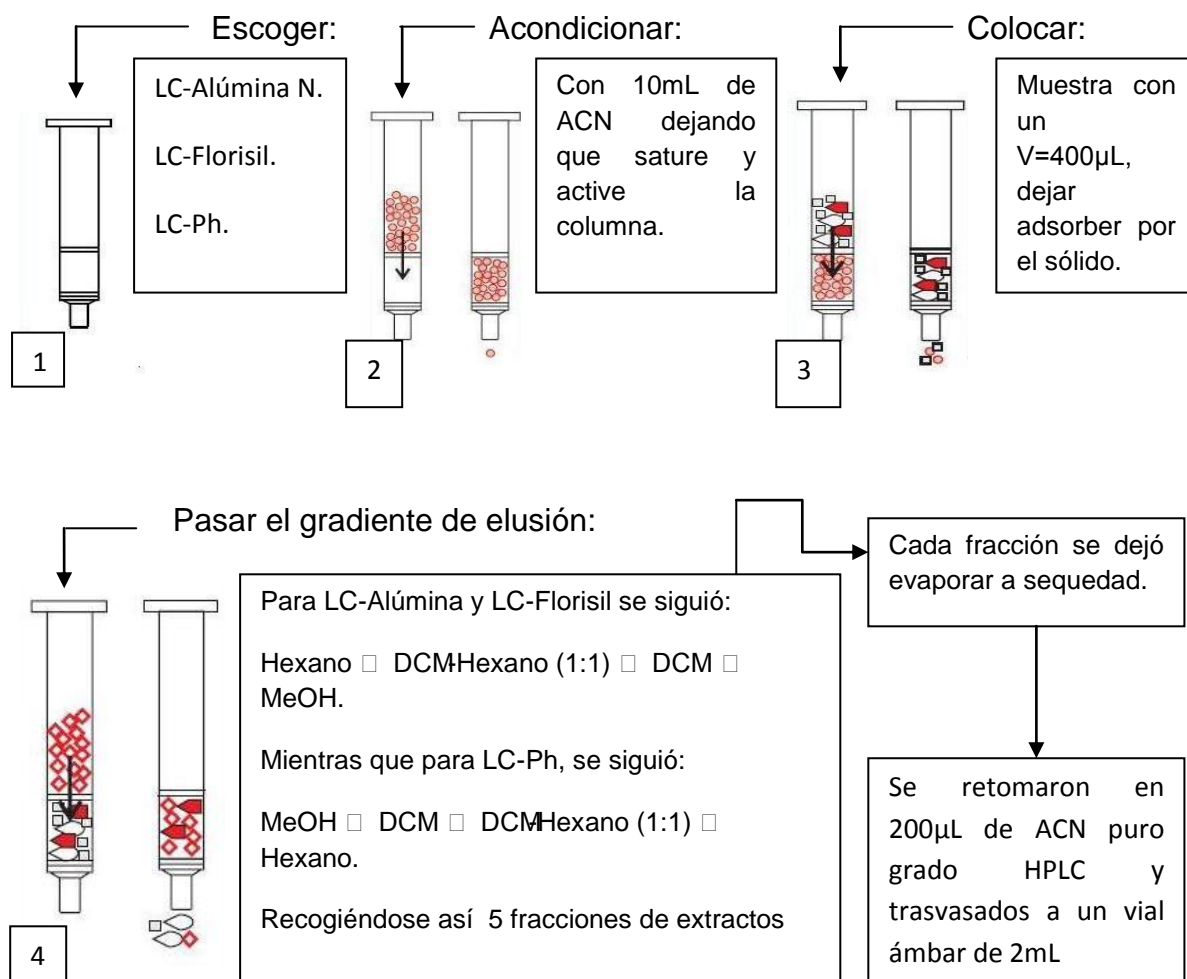


Figura 20-. Esquema para la limpieza y pre-concentración de las muestras de extracción gas - Líquido y filtro PTFE, por SPE. (24)

### VII.3.3. Identificación y cuantificación de los PAHs

#### VII.3.3.1. Análisis por HPLC - UV/FL



Figura 21-. Cromatógrafo de alta eficiencia, HPLC con detector UV y FL.

La técnica de HPLC, escogida para el análisis de las muestras de este estudio de calidad de aire en las cocinas comerciales, dónde se llevaron a cabo las corridas de cada patrón certificado (0,1-10 $\mu$ g/mL) por separado y luego del multipatrón de los 10 PAHs, ver tabla 13, para lograr la separación e identificación de cada PAHs, ver figura 22.

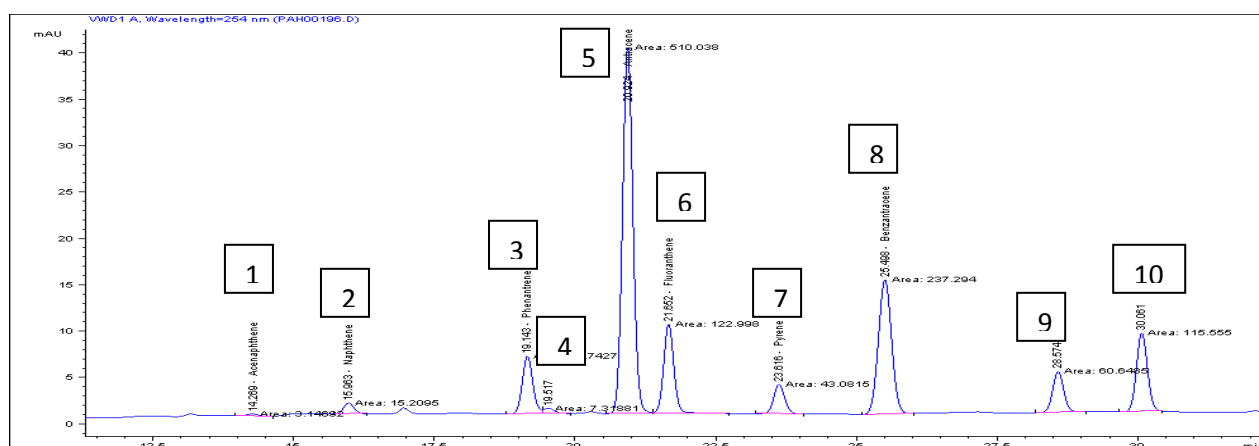


Figura 22-. Cromatograma del multipatrón de 0,5ppm por HPLC-UV.

Tabla 13-. Identificación por tR de los PAHs, por HPLC, detector UV y FLD.

<b>Orden de Elusión de los PAHs</b>	<b>Detector</b>	<b>Nombre Compuesto</b>	<b>Tiempo de retención, tR (min)</b>
1	UV	Acenafteno	13,978
	FLD		14,115
2	UV	Naftaleno	15,595
	FLD		15,697
3	UV	Fluoreno	18,863
	FLD		18,957
4	UV	Fenantreno	19,238
	FLD		20,003
5	UV	Antraceno	20,639
	FLD		20,742
6	UV	Fluoranteno	21,381
	FLD		22,792
7	UV	Pireno	23,289
	FLD		23,392
8	UV	Benzantraceno	24,979
	FLD		25,084
9	UV	Criseno	27,870
	FLD		27,961
10	UV	Benzo(a)pireno	29,397
	FLD		29,484

### VII.3.3.1.1 Muestreo de área (Indoor)

#### VII.3.3.1.1.1 Técnica de extracción gas-líquido

Un ensayo de SPE fue realizado con un patrón de Benzo(a)pireno de 10µg/mL, tratado como una muestra (ver figura 20), dónde se obtuvo una recuperación del 89% del patrón en el extracto de hexano. El análisis de la muestra de área por extracción gas-líquido (burbujeador), se llevo a cabo inyectando cada extracto de hexano de los diferentes sorbentes utilizados en la SPE, por HPLC-UV/FL, observándose una resolución mayor en los cromatogramas de los extractos, figura 23, comparados con el cromatograma de la muestra sin tratar , ver figura 24.

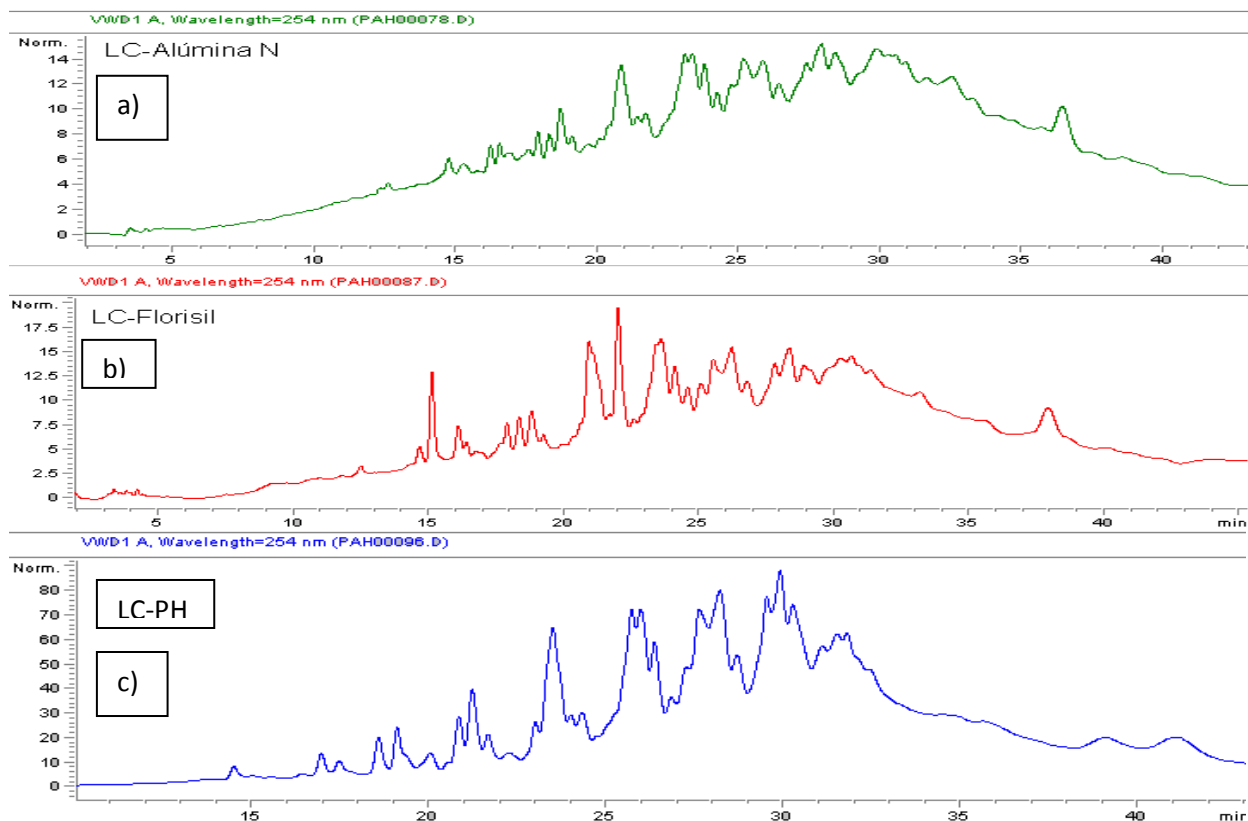


Figura 23-. Cromatogramas HPLC-UV del extracto de hexano de la muestra de área por extracción gas-líquido (Burbujeador) tratada con los sorbentes de SPE: a)LC-Alúmina N, b)LC-Florisil, c)LC-Ph.

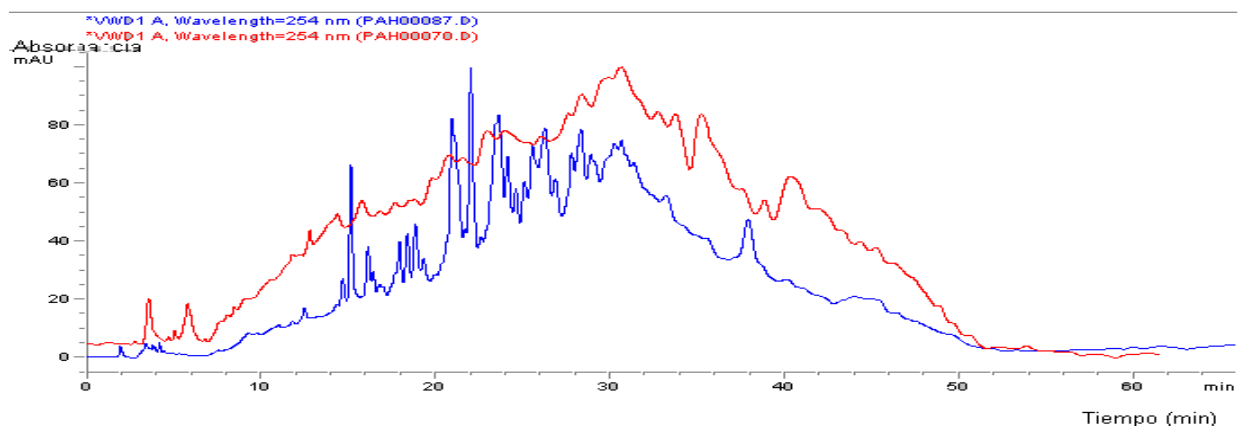


Figura 24-. Comparación por HPLC-UV de la muestra de extracción gas-líquido sin tratar (cromatograma rojo) y tratado con LC-Florasil por SPE (Cromatograma azul).

Se logró extraer, identificar y cuantificar en el tratamiento de SPE, como se resume en los datos de la tabla 14, 10 PAHs identificados por LC-Alúmina N y con la concentración mas alta para algunos de estos hidrocarburos, mientras que en el sorbente LC-Ph 8 PAHs y en el sorbente LC-Florasil 7 PAHs; dónde existe un compromiso de número de hidrocarburos identificados Vs. mayor resolución de picos, por lo que se puede pensar que se podría tener un mejor resultado con un tratamiento de la muestra haciendose pasar por dos de los sorbentes, LC-Alúmina N y luego LC-Florasil ó LC-Ph; para posteriormente ser analizada cromatograficamente.

Tabla 14-. Concentración de PAHs, tratamiento por SPE de la muestra de área extracción gas-líquido, con una distancia de la fuente de 70cm.

Compuesto SPE	Concentración PAHs (mg/m <sup>3</sup> x10 <sup>-3</sup> ) ±0,05 Técnica extracción gas-líquido		
	LC - Alúmina N	LC - Florisil	LC - PH
Naftaleno	39,52	nd	19,74
Acenafteno	3,57	nd	nd
Fenantreno*	99,79	111,87	133,51
Fluoreno	28,44	27,03	10,37
Antraceno*	234,98	56,18	63,83
Fluoranteno	10,81	nd	16,69
Pireno	87,12	189,44	125,13
Benzo(a)antraceno	19,37	6,96	nd
Criseno*	65,10	38,37	71,71
Benzo(a)pireno*	32,40	4,92	31,35

El Valor Límite Ambiental (VLA) permisible no está normado para los 10PAHs analizados en este trabajo, sólo para los hidrocarburos señalados tanto en las tablas como en las figuras de esta discusión con un asterisco (\*), el cual es de 0,2mg/m<sup>3</sup>, y no debe superarse en ninguna jornada de trabajo.

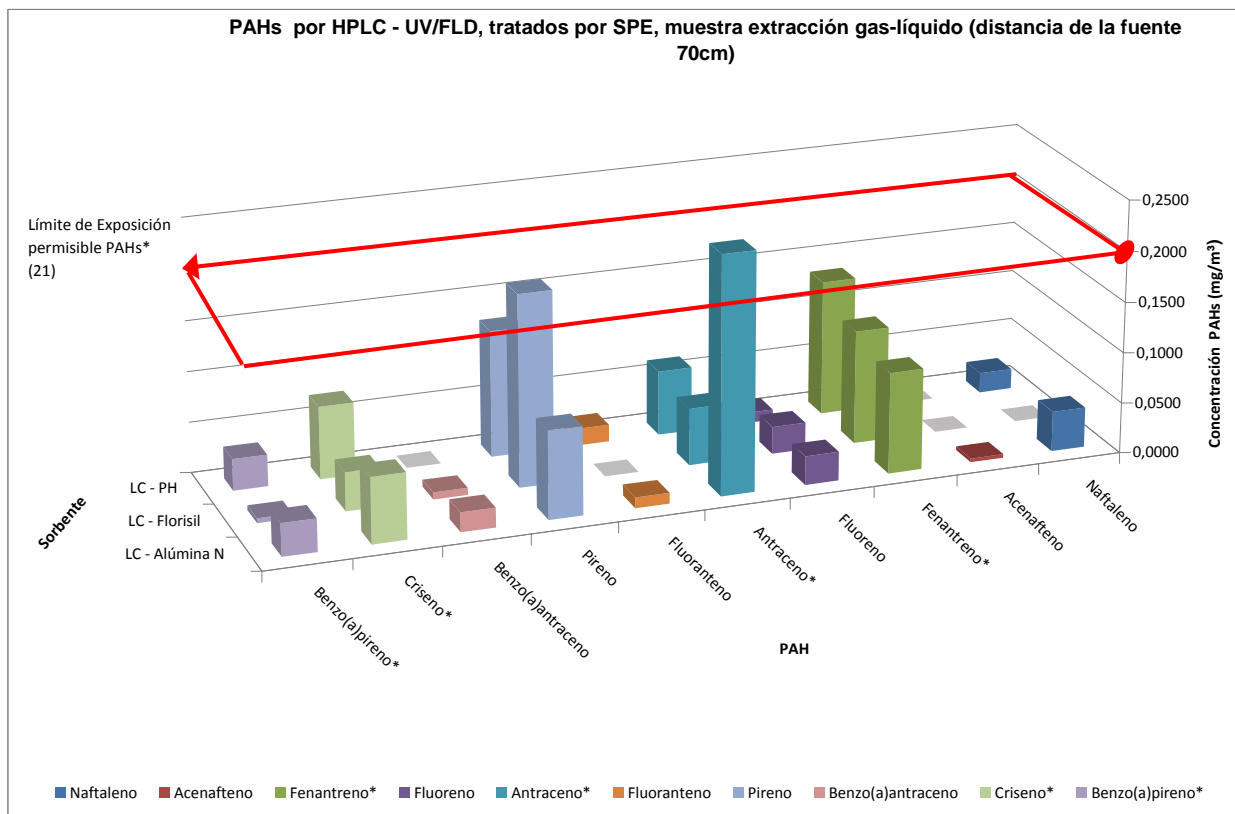


Figura 25-. Comparación de PAHs en mg/m<sup>3</sup> analizados por HPLC, de la muestra extracción gas-líquido del muestreo de área (Indoor) a 70cm, según el tratamiento de SPE.

Como se observa en la figura 25 el único compuesto que supera este valor es el extraído por LC-Alúmina N, Antraceno\*, con una concentración de 0,235mg/m<sup>3</sup>, sin embargo también es de notar que en los sorbentes LC-Ph y LC-Florisol existen compuestos que se destacan por su concentración que aunque no supera el VLA, están muy cercanos o de valor importante, como lo son: Pireno (0,19 mg/m<sup>3</sup>), Fenantreno\*(0,13 mg/m<sup>3</sup>) y Criseno\*(0,07 mg/m<sup>3</sup>). Este muestreo de área cumplió con el objetivo de asegurar que se captaron los PAHs en el ambiente laboral de la cocina del local.

### VII.3.3.1.1.2 Técnica tubo de adsorción XAD-2

Los tubos de adsorción XAD-2 son selectivos para compuestos contaminantes como los PAHs (5), esto permitió obtener un fondo menor en estos cromatogramas con respecto a la técnica de muestreo por burbujeador y sin necesidad de pasos extras a la hora de tratar las muestras, ver figura 26.

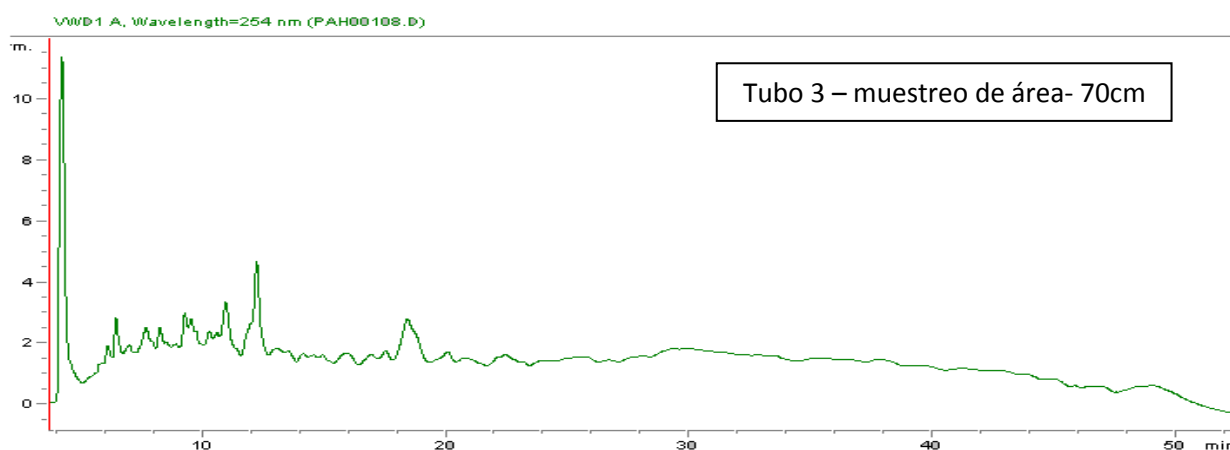


Figura 26-. Cromatograma por HPLC-UV, muestra de área por técnica de tubo XAD-2.

Se logró extraer, identificar y cuantificar, en cada tubo de adsorción utilizado, los grupos de PAHs según un gradiente de distancia con respecto a la fuente de riesgo que en este caso era la brasa al carbón, y en diferentes horas de actividad de emisión de humo de la brasa. Encontrándose como se logra ver en la figura 27 construída con los datos que se muestran en la tabla 15, ciclos con mayor y menor concentración en  $\text{mg}/\text{m}^3$  de cada PAH captado en las horas de muestreo que coinciden con las horas de actividad de mayor y menor emisión de humo de la fuente, ver tabla 11. El muestreo de área, dónde se buscaba captar PAHs, indicó las horas de mayor exposición las cuales fueron de 12:30pm y 2:00pm, que serían tomadas en cuenta a la hora de llevar a cabo el muestreo personal en los trabajadores del área de la cocina.

Tabla 15-. Concentración de PAHs por ciclos de actividad en mg/m<sup>3</sup>, según hora de muestreo y distancia con respecto a la fuente, con técnica de tubos de adsorción XAD-2

Hora de muestreo (am/pm)	12:31 p.m.	01:24 p.m.	02:02 p.m.
Distancia a la fuente (cm)	310	100	70
Compuesto	Concentración por Ciclo (mg/m <sup>3</sup> x10 <sup>-3</sup> ) ±0,05 tubo XAD-2		
	Tubo1	Tubo 2	Tubo 3
Naftaleno	30,08	14,62	65,00
Acenafteno	22,18	nd	22,18
Fenantreno*	49,77	10,86	49,77
Fluoreno	27,64	12,69	27,64
Antraceno*	3,83	2,67	nd
Fluoranteno	nd	2,17	8,96
Pireno	nd	2,29	2,57
Benzo(a)antraceno	3,32	2,00	3,49
Criseno*	0,17	6,33	nd
Benzo(a)pireno*	20,33	nd	20,33

\*compuestos que deben cumplir con el VLA-ED.

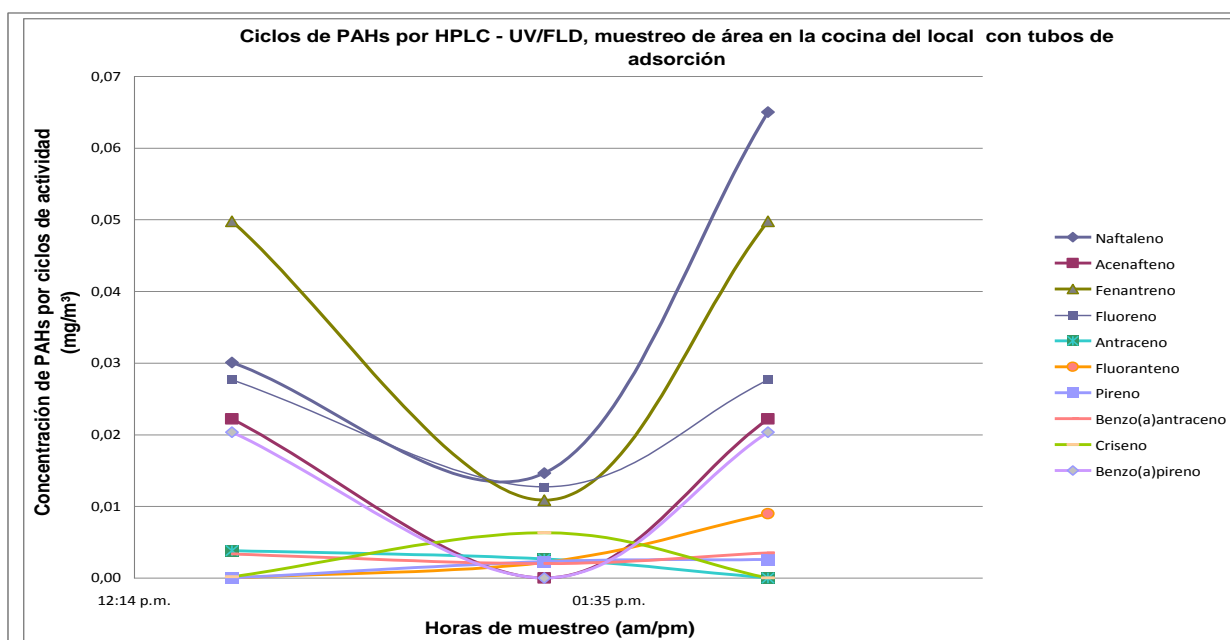


Figura 27-. Concentración de PAHs en mg/m<sup>3</sup> por HPLC, en ciclos actividad con tubo de adsorción, muestreo de área (Indoor).

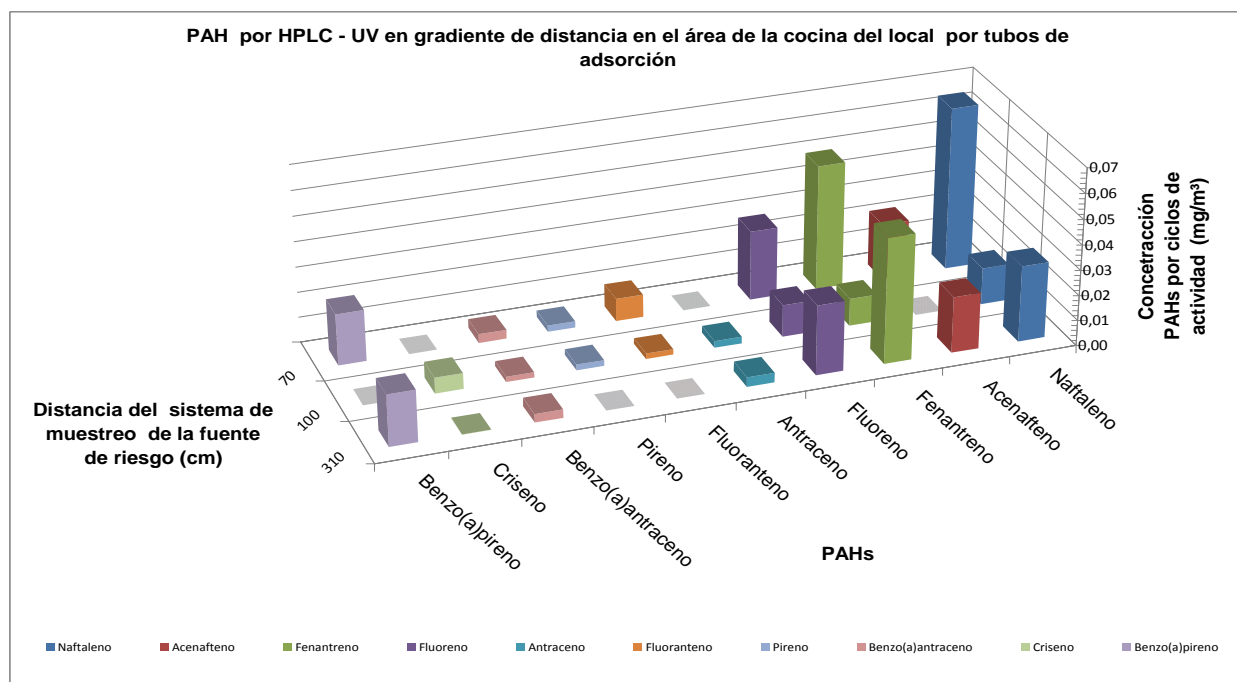


Figura 28-. Comparación de PAHs en  $\text{mg}/\text{m}^3$  analizados por HPLC, según distancia de sistema de muestreo estático con tubo de adsorción con respecto a la fuente de riesgo, en muestreo de área

La figura 28, representa los PAHs captados según su concentración en  $\text{mg}/\text{m}^3$  con respecto a cada distancia seleccionada para la evaluación del alcance de los hidrocarburos en el área de la cocina. Se observa que en todas las distancias con respecto a la fuente de riesgo, se captaron 8 PAHs, siéndoles de mayor concentración en 70cm a las 2:00pm y 310cm a las 12:30pm, comprobándose que estas son las horas de mayor exposición (mayor actividad); mientras que las de menor concentración se observan a 100cm de la fuente de riesgo a la 1:30pm, siéndole esta una de las horas de menor actividad, y en cuanto a esta distancia las bajas concentraciones encontradas posiblemente también se deban, a la ubicación del sistema del muestreo (mayor extracción del humo). En ésta técnica de tubo de adsorción ningún compuesto superó el VLA, recordando que por el dispositivo de burbujeador tratado por SPE con el sorbente LC-Alúmina, en el cual se identificaron 10 PAHs, se obtuvo superación del VLA con el compuesto de Antraceno\* ( $0,235 \text{ mg}/\text{m}^3$ ) observándose una diferencia de magnitud con respecto a las señales más importantes captadas por tubo XAD-2 con un rango de (0,07 a 0,02)  $\text{mg}/\text{m}^3$ ,

identificadas con los compuestos: Naftaleno, Fenantreno\*, Fluoreno, Acenafteno y Benzo(a)pireno\*, nombrados según el orden de proporción decreciente.

### VII.3.3.1.2 Muestreo externo (Outdoor)

La contaminación externa del local se evaluó con la técnica de tubo de adsorción, con un sistema de muestreo estático colocado en una ventana de entrada de aire del local, ver figura 18A), obteniendo los grupos de PAHs como se muestran en la tabla 16.

Tabla 16-. Concentración de PAHs mg/m<sup>3</sup>, contaminación externa del local.

<b>Concentración PAHs (mg/m<sup>3</sup> x10<sup>-3</sup>) ±0,05 con tubo XAD-2</b>			
<b>Compuesto</b>	<b>Fecha de muestreo externo</b>		
	20/05/2011	27/05/2011	03/06/2011
Naftaleno	7,57	34,23	34,23
Acenafteno	33,38	144,61	144,61
Fenantreno*	6,57	34,84	35,71
Fluoreno	4,31	4,33	4,52
Antraceno*	1,14	1,68	1,68
Fluoranteno	nd	4,25	4,25
Pireno	0,10	5,20	7,00
Benzo(a)antraceno	2,84	nd	1,98
Criseno*	nd	nd	1,80
Benzo(a)pireno*	5,94	2,52	2,80

\*compuestos que deben cumplir con el VLA-ED

Se observa una mayor concentración de PAHs en los días 27/05/2011 y 03/06/2011 posiblemente proveniente de un mayor flujo automotriz en estos días, de los datos de la tabla 16 con la cuál se contruyó la figura 29 donde destacan los compuestos como: el Naftaleno (0,03 mg/m<sup>3</sup>), el Acenafteno (0,14 mg/m<sup>3</sup>) y el Fenantreno\*(0,03 mg/m<sup>3</sup>).

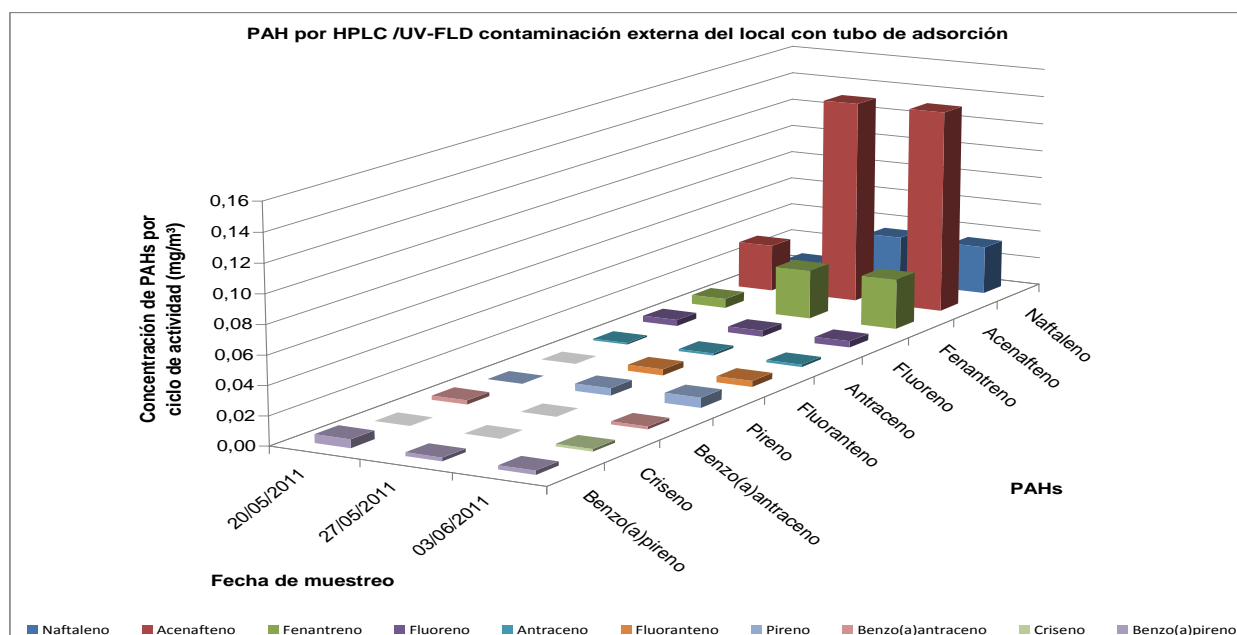


Figura 29-. Comparación de PAHs analizados por HPLC, en muestreo externo con tubo de adsorción.

El muestreo externo (Outdoor), ayuda a evaluar y definir, la duda de que los PAHs que se captan en el área interna (Indoor) provienen de la contaminación ambiental que logra entrar por el sistema de aire del local, esto se aclara cuando se evalúan los datos mas adelante con respecto al muestreo personal en los trabajadores, ya que este muestreo externo se llevo a cabo los días de los muestreos personales, con un tubo de adsorción el cuál tuvo un tiempo de muestreo de 30min, siéndo equivalente a un tubo de adsorción en el muestreo personal ya que tuvo las mismas condiciones de tiempo, sobre el trabajador expuesto (Indoor), dando pie a una comparación entre las concentraciones encontradas en los ciclos de captación de los diferentes PAHs con el análisis de este muestreo externo, al observar los ciclos de captación del trabajador M2, en específico para el Naftaleno ( $\leq 0,16 \text{ mg/m}^3$ ), Acenafteno ( $\leq 0,18 \text{ mg/m}^3$ ) y Fenantreno\* ( $\leq 1,40 \text{ mg/m}^3$ ) se observa una mayor concentración en el área interna dando a entender que estos compuestos proviene del área interna del local, ya que se encontraron en menor concentración en el área externa, siéndo generados por las fuentes de riesgo para PAHs de la cocina del local.

### **VII.3.3.1.3 Muestreo personal**

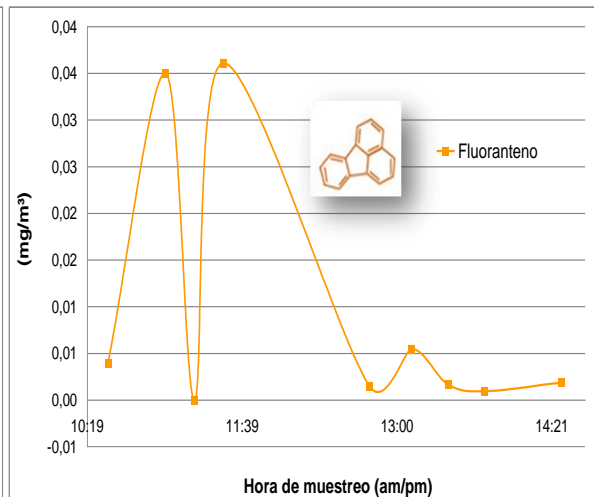
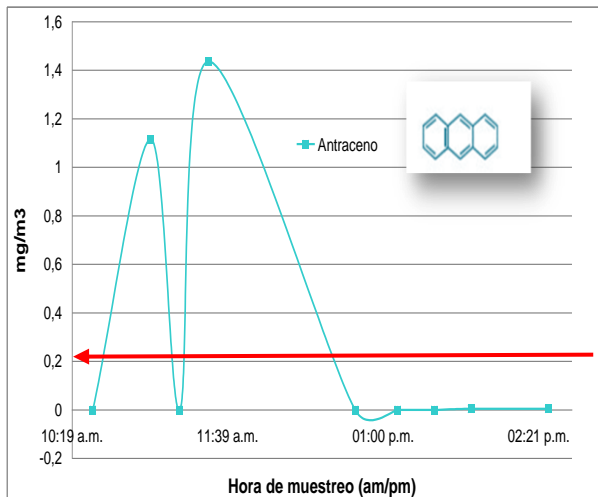
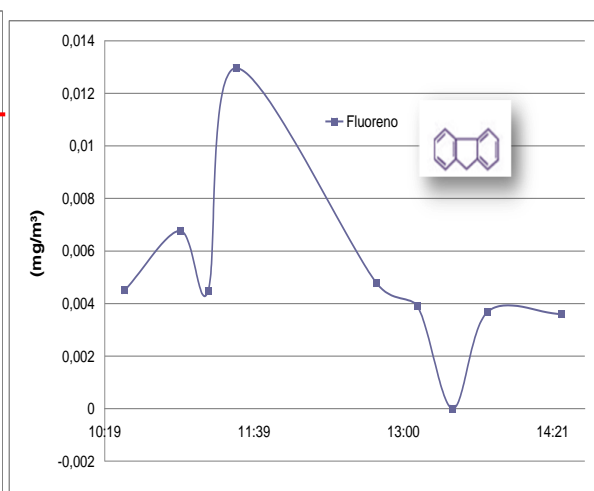
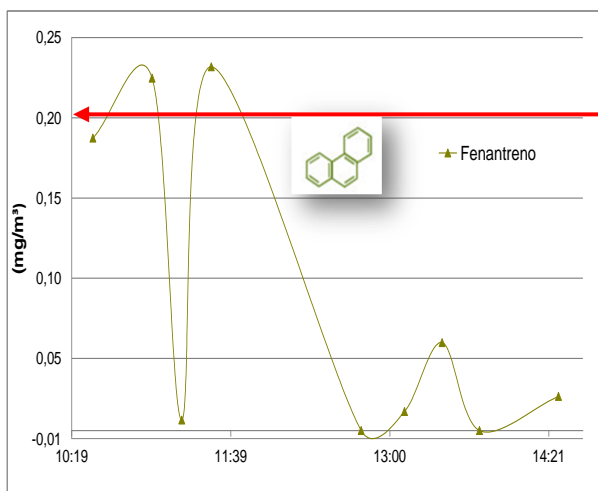
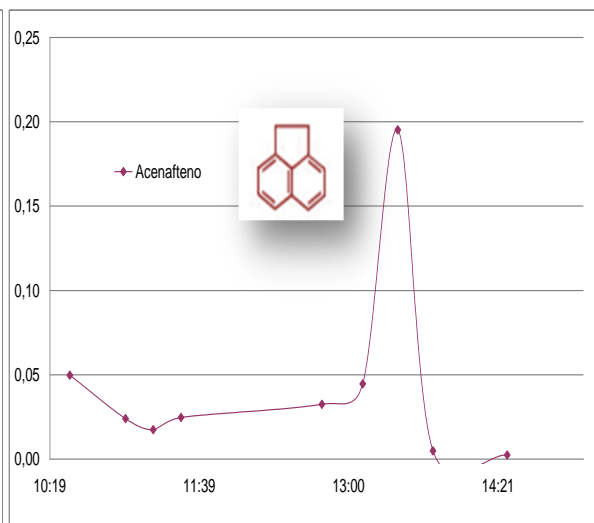
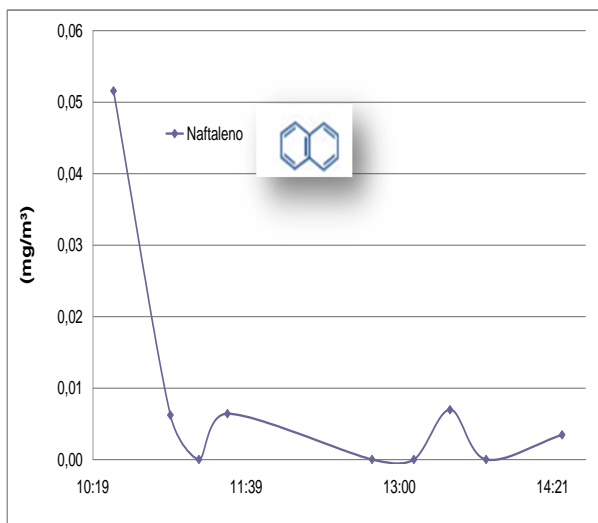
Los muestreos personales se llevarón a cabo por la técnica de tubo de adsorción y según el horario que se realizó en las visitas previas de actividad alta según la emisión de humo de las fuentes de riesgo en el área de tipo cocción al carbón y cocción con aceite, observándose los siguientes resultados por la técnica de HPLC-UV/FL.

#### **VII.3.3.1.3.1 Area de cocina al carbón**

##### **VII.3.3.1.3.1.1 Trabajador M1**

Como se puede observar en la figura 30, se obtuvo ciclos de actividad según la concentración obtenida de cada PAHs en las horas de muestreo personal, las cuales coincidieron con las emisiones de humo de actividad alta (ver tabla 11), con las de mayor concentración, y de actividad baja con las menor concentración de PAHs, obteniéndose patrones de ciclos de actividad que se agrupan por compuestos según su similitud:

1. Fenantreno, fluoreno, antraceno, fluoranteno, criseno y benzo(a)pireno: siguen un patrón de similitud de formación de dos a tres ciclos con su mayor concentración apareciendo en el horario de 12-1pm, hora de mayor actividad.
2. Acenafteno y Benzo(a) antraceno: siguen un patrón de similitud de formación de un solo ciclo con su mayor concentración apareciendo en el horario de 1:30-2pm, hora de menor actividad.
3. Naftaleno y pireno: siguen un patrón de similitud dónde su mayor concentración aparece al principio de la jornada de trabajo.



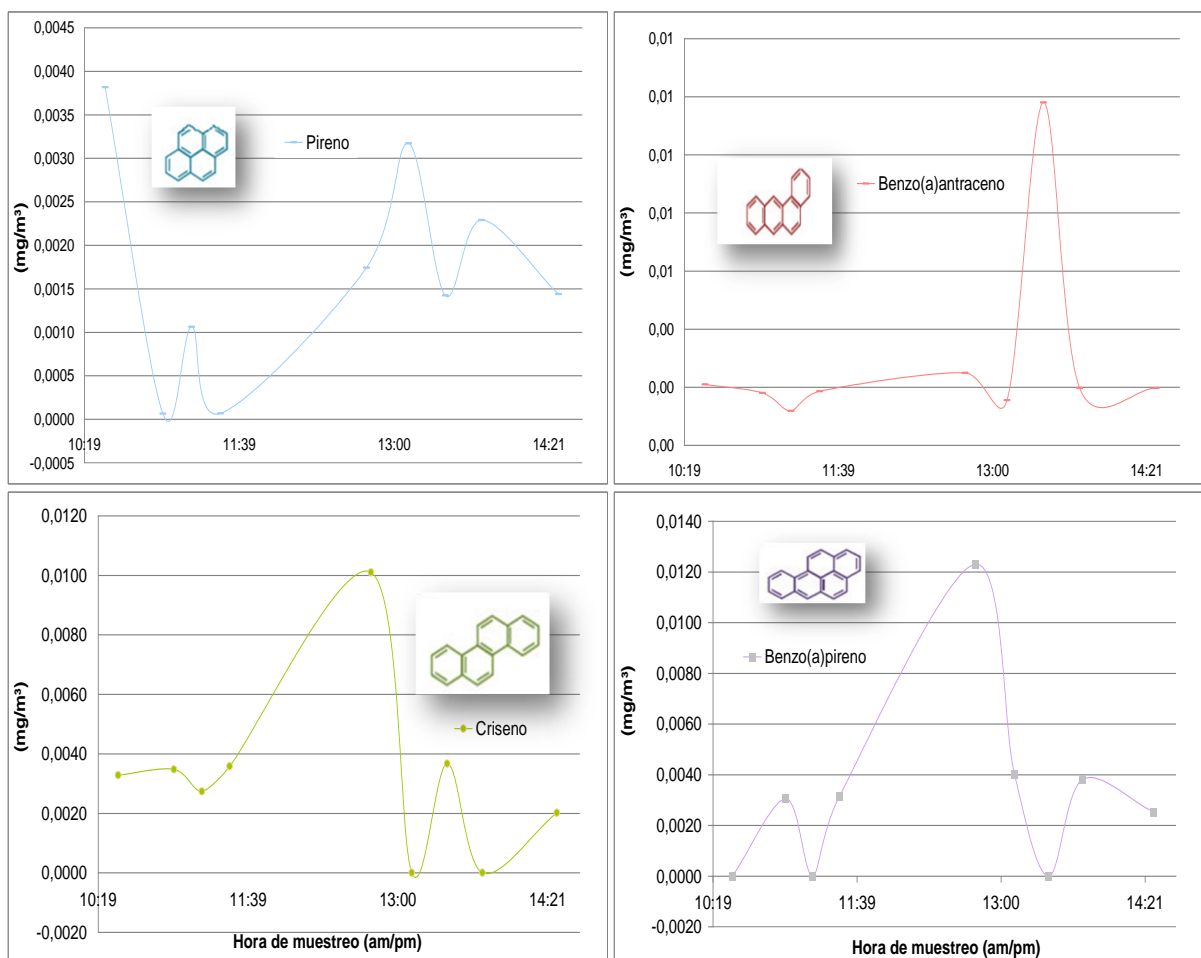


Figura 30-. Concentración de PAHs ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) por HPLC, en ciclos de actividad del trabajador M1 del área de carbón, muestreo personal.

En estos gráficos se observa que las concentraciones por ciclos de actividad de los compuestos, fenantreno y antraceno, superan en dos horarios distintos de trabajo, de 10:30 a 11am y de 12 a 1pm, el VLA permisible para estos hidrocarburos, señalado en los gráficos con una flecha roja. Al calcular para el trabajador M1 la Exposición Diaria (ED) por jornada de trabajo mostrada en la tabla 17, datos con los que se obtuvo la figura 31 dónde se observa que todos los PAHs se encuentran por debajo del Valor Límite Ambiental de Exposición Diaria, VLA-ED, destacando que el Antraceno\* se encuentra cerca de este valor con una concentración de  $0,165 \text{ mg}/\text{m}^3$ , en el muestreo del día 20/05/2011.

Tabla 17-. Exposición diaria ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ), del trabajador M1 en el área de carbón.

Compuesto	Fecha de muestreo personal		
	15/04/2011	13/05/2011	20/05/2011
Naftaleno	0,47	0,27	4,14
Acenafteno	16,67	4,03	6,34
Fenantreno*	4,19	2,58	40,59
Fluoreno	0,65	0,87	1,56
Antraceno*	0,19	0,62	164,79
Fluoranteno	0,22	0,64	4,84
Pireno	0,29	0,54	0,25
Benzo(a)antraceno	1,05	0,43	0,37
Criseno*	1,12	0,16	0,67
Benzo(a)pireno*	0,84	0,80	0,40

\*compuestos que deben cumplir con el VLA-ED.

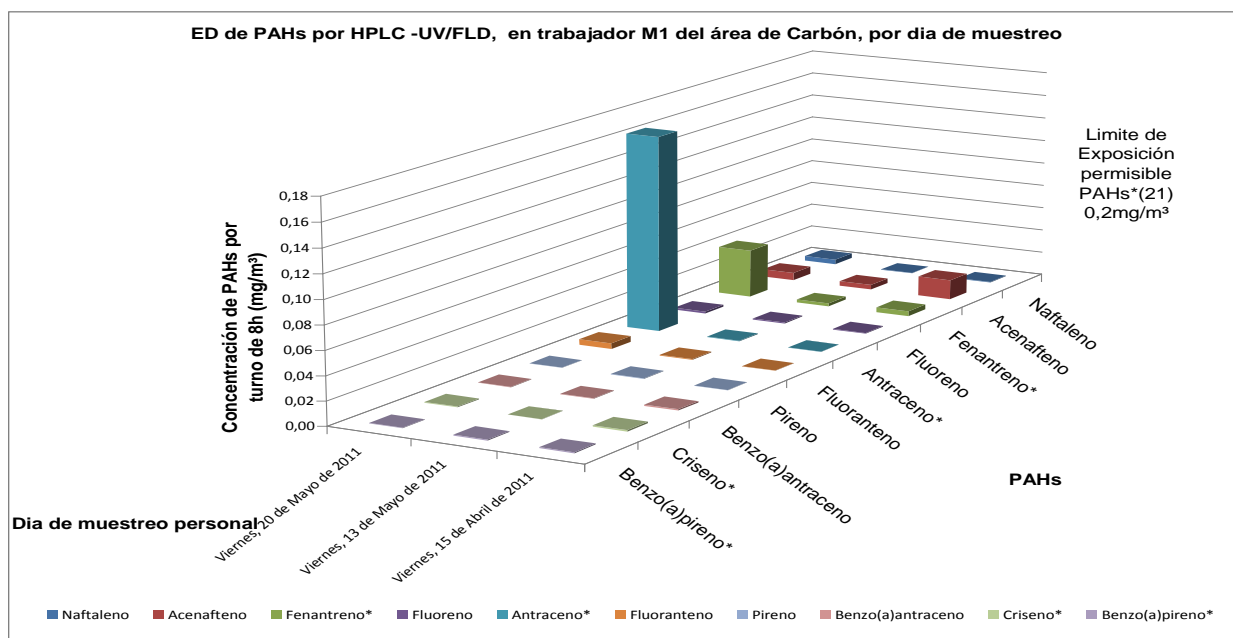


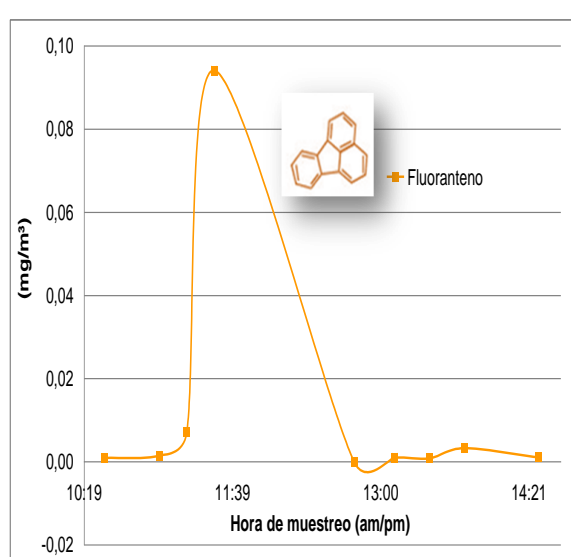
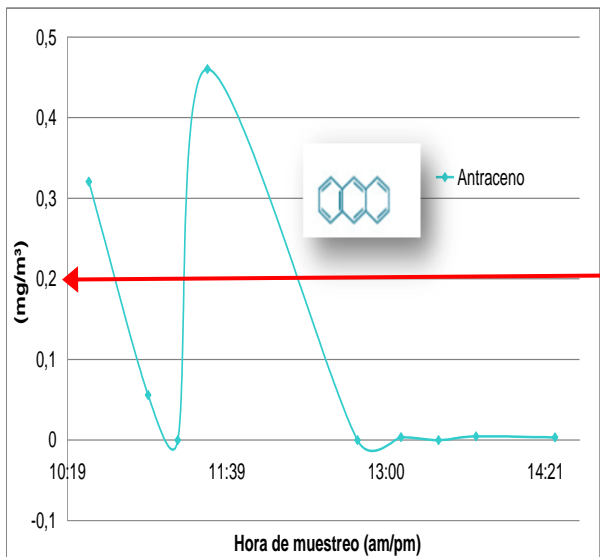
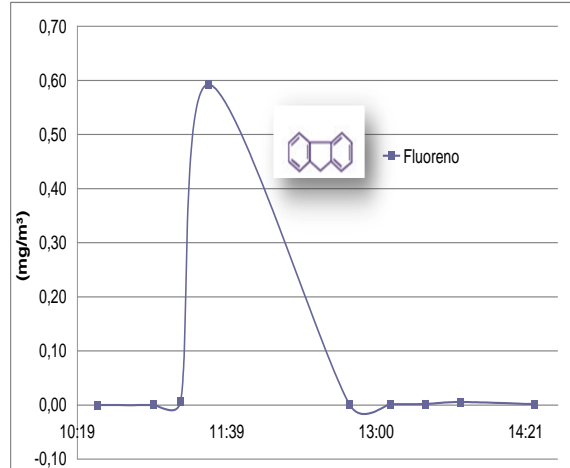
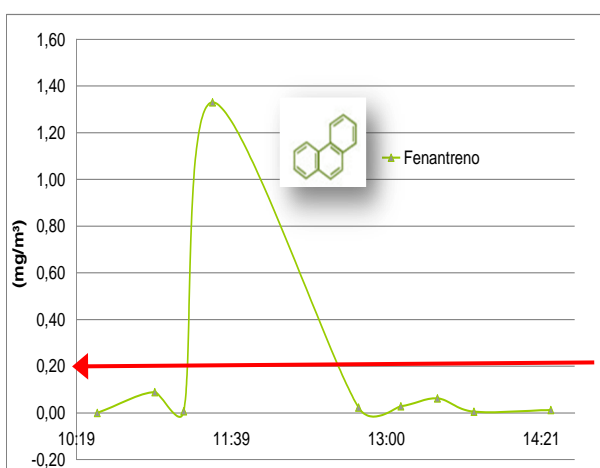
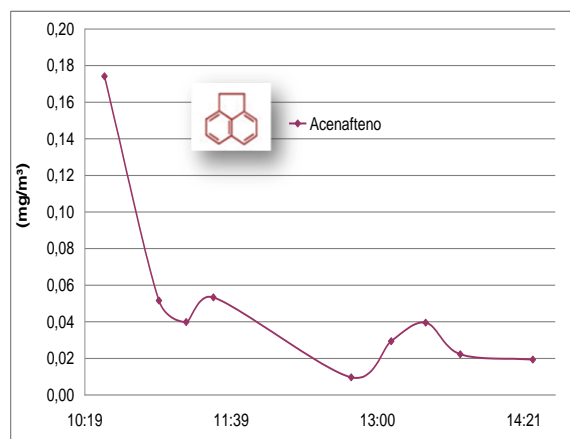
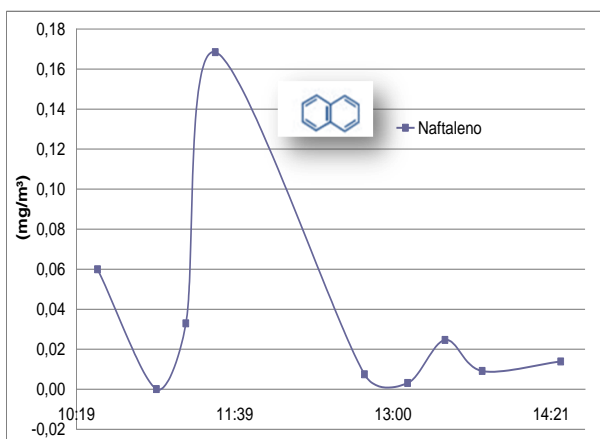
Figura 31-. Exposición diaria del trabajador M1 en  $\text{mg}/\text{m}^3$ , por HPLC, muestreo personal.

### VII.3.3.1.3.1.2 Trabajador M2

Como se puede observar en la figura 32, se obtuvo ciclos de actividad según la concentración obtenida de cada PAHs en las horas de muestreo personal del trabajador M2, obteniéndose patrones de ciclos de actividad que se agrupan por compuestos según su similitud:

1. Naftaleno, fenantreno, fluoreno, antraceno, fluoranteno, pireno, benzo(a) antraceno, criseno y benzo(a)pireno: siguen un patrón de similitud de formación de uno a tres ciclos con su mayor concentración apareciendo el horario de 12-1pm, hora de mayor actividad.
2. Acenafteno: sigue un patrón de similitud dónde su mayor concentración aparece al principio de la jornada de trabajo.

En estos gráficos se observa que en las concentraciones por ciclos de actividad de los compuestos Fenantreno\*, Antraceno\* y Pireno, se supera el VLA permisible para estos hidrocarburos en el horario de trabajo, de 12 a 1pm, mientras que el Antraceno\* también lo supera en el horario, de 10:30 a 11am, señalado en los gráficos con una flecha roja.



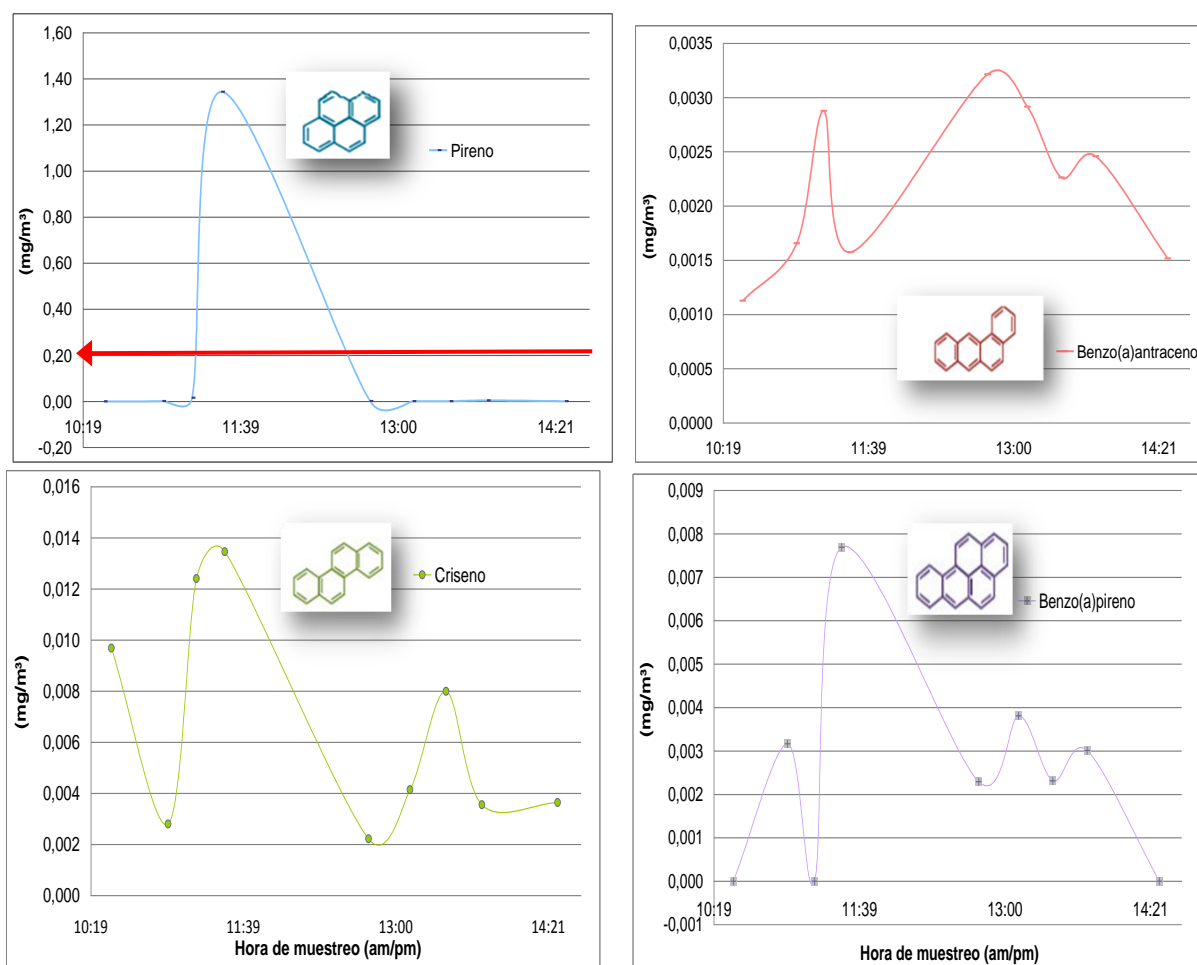


Figura 32-. Concentración de PAHs ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) por HPLC, en ciclos de actividad del trabajador M2 del área de carbón, muestreo personal.

Al calcular, para el trabajador M2, la Exposición Diaria (ED) por jornada de trabajo mostrada en la tabla 18, se tiene que todos los PAHs se encuentran por debajo del VLA-ED, pero como se puede apreciar en la figura 33 los compuestos como: Fenantreno\*(0,09  $\text{mg}/\text{m}^3$ ), Antraceno\*(0,08  $\text{mg}/\text{m}^3$ ) y Pireno(0,08  $\text{mg}/\text{m}^3$ ), se encuentran próximos a la mitad de este valor en el muestreo del día 20/05/2011.

Tabla 18-. Exposición diaria ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ), del trabajador M2 en el área de carbón.

Compuesto	Fecha muestreo personal		
	15/04/2011	13/05/2011	20/05/2011
Naftaleno	4,24	1,97	14,74
Acenafteno	5,80	5,37	18,02
Fenantreno*	5,99	3,42	91,65
Fluoreno	0,87	0,79	38,94
Antraceno*	0,44	0,87	84,71
Fluoranteno	0,52	0,40	6,23
Pireno	1,17	0,40	86,91
Benzo(a)antraceno	0,55	0,52	0,28
Criseno*	2,37	0,86	1,68
Benzo(a)pireno*	0,30	0,52	0,70

\*compuestos que deben cumplir con el VLA-ED.

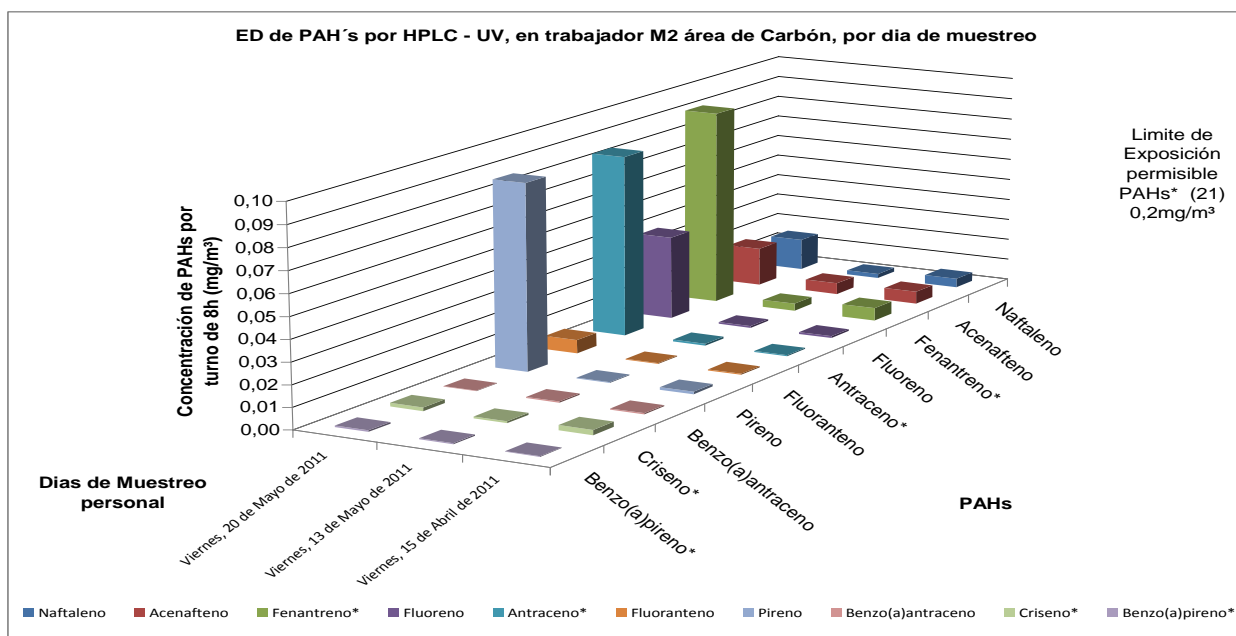


Figura 33-. Exposición diaria del trabajador M2 en  $\text{mg}/\text{m}^3$ , por HPLC, muestreo personal.

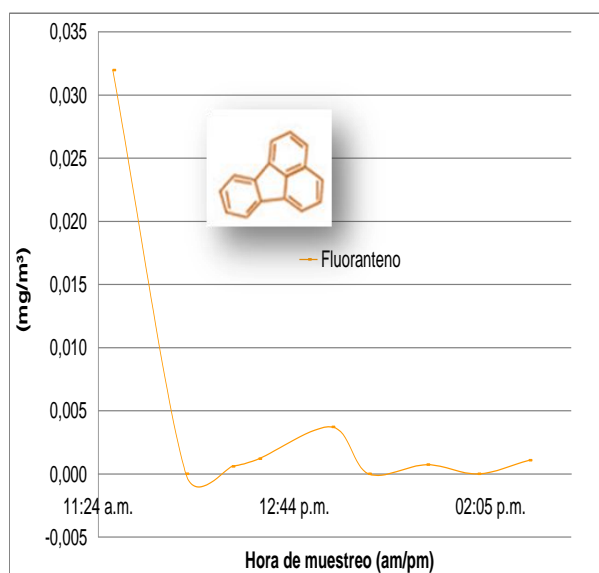
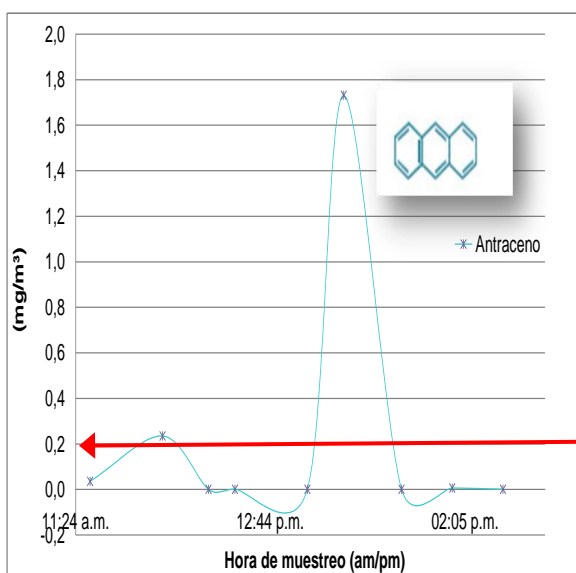
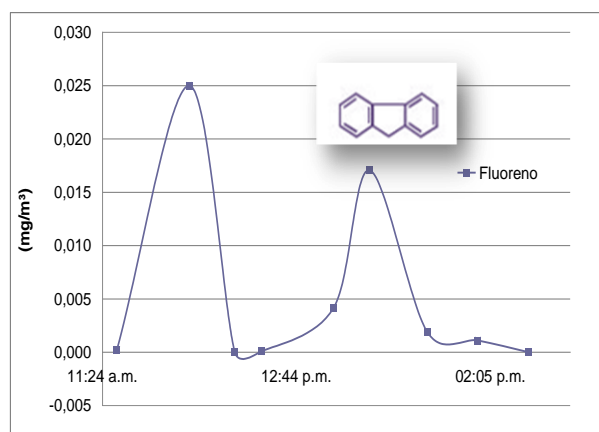
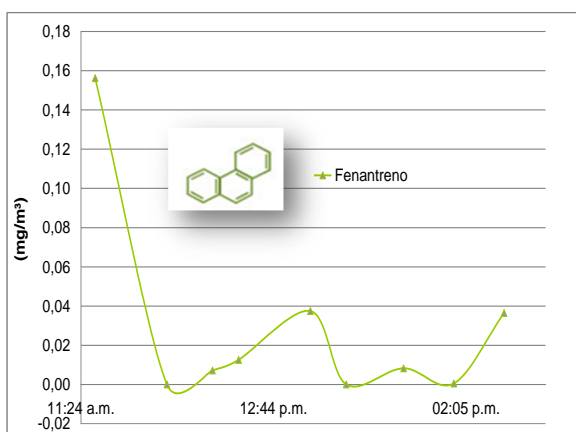
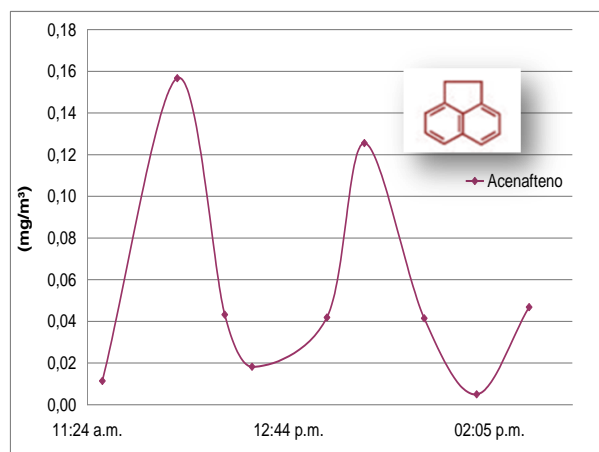
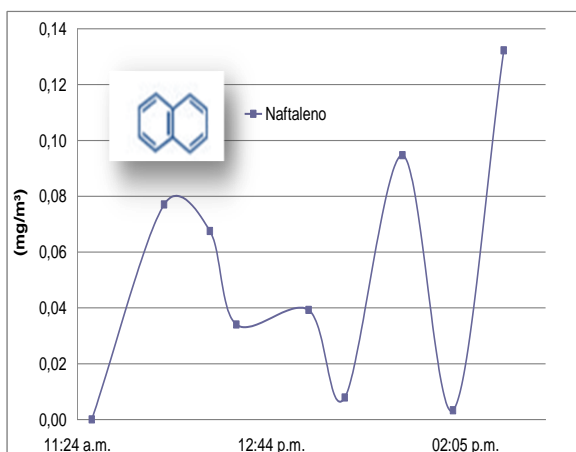
### VII.3.3.1.3.2 Area de cocina con aceite

#### VII.3.3.1.3.2.1 Trabajador M3

Como se puede observar en la figura 34, se obtuvo ciclos de actividad según la concentración obtenida de cada PAHs en las horas de muestreo personal del trabajador M3, obteniéndose patrones de ciclos de actividad que se agrupan por compuestos según su similitud:

1. Naftaleno, criseno y benzo(a)pireno: siguen un patrón de similitud de formación de dos a tres ciclos con su mayor concentración apareciendo el horario de 2-2:30pm, hora de mayor actividad.
2. Acenafteno y fluoreno: siguen un patrón de similitud de formación de dos ciclos con su mayor concentración apareciendo el horario de 11:30-12:30pm, hora de menor actividad.
3. Antraceno, pireno y benzo(a)antraceno: siguen un patrón de similitud de formación de dos a tres ciclos con su mayor concentración apareciendo el horario de 1-2pm, hora de mayor actividad.
4. Fenantreno y fluranteno: siguen un patrón de similitud donde su mayor concentración aparece al principio de la jornada de trabajo.

En estos gráficos se observa que en la concentración por ciclos de actividad del compuesto de Antraceno\*, se supera en dos horarios distintos de trabajo, de 11:30 a 12pm y de 1 a 2pm, el VLA permisible para estos hidrocarburos, señalado en el gráfico con una flecha roja.



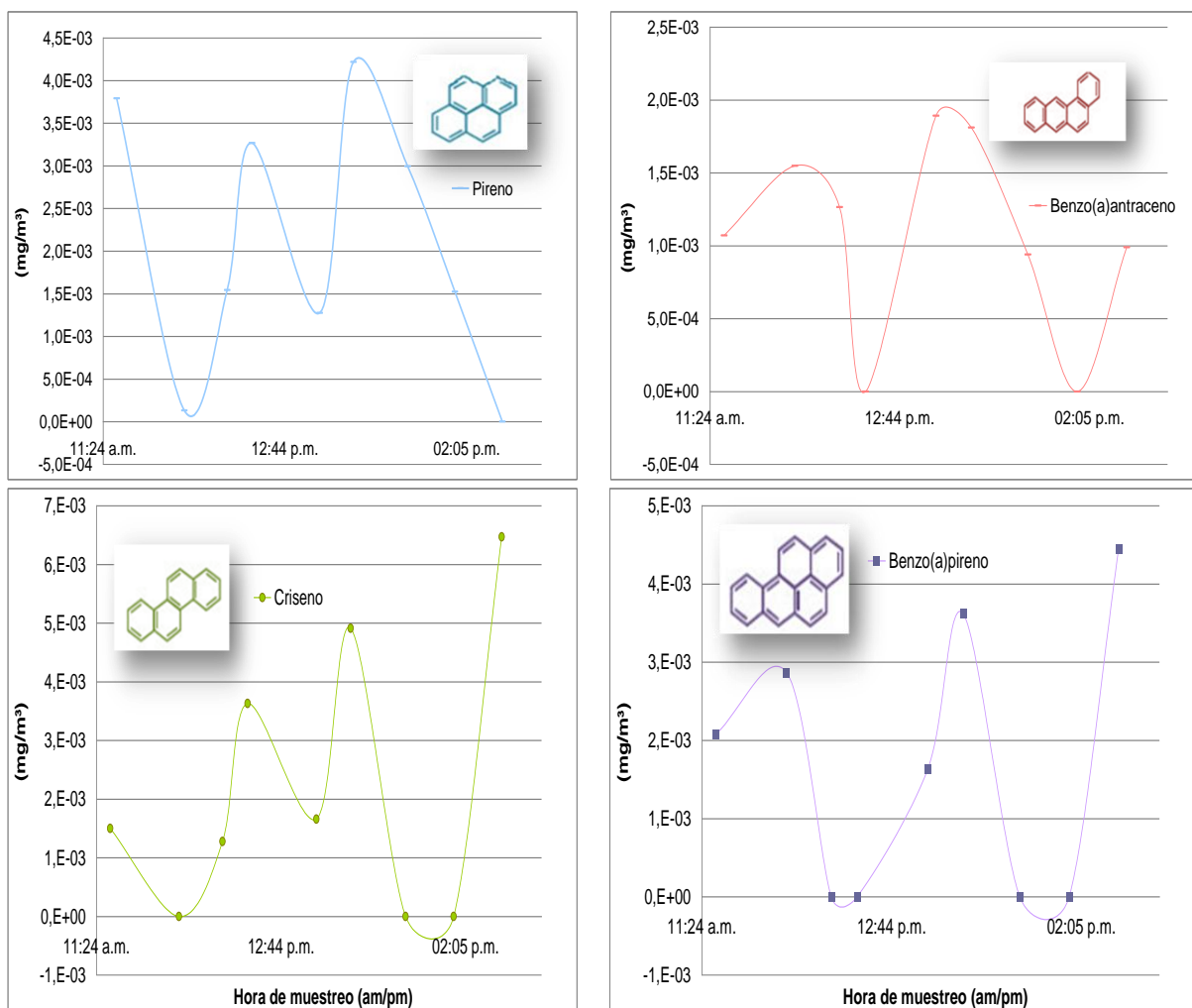


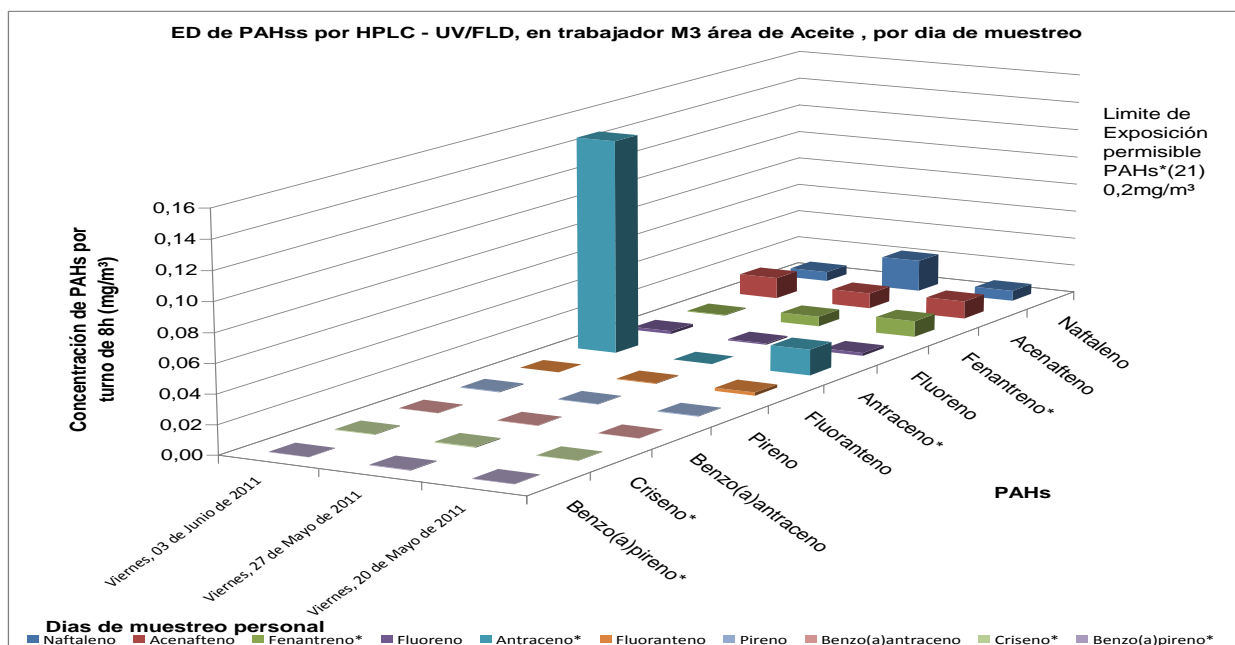
Figura 34-. Concentración de PAHs (mg/m<sup>3</sup>) por HPLC, en ciclos de actividad del trabajador M3 del área de aceite, muestreo personal.

Al calcular, para el trabajador M3, la Exposición Diaria (ED) por jornada de trabajo mostrada en la tabla 19, se tiene que todos los PAHs se encuentran por debajo del valor límite ambiental de exposición diaria, VLA-ED, aunque al observar la figura 35 el Antraceno\*(0,149mg/m<sup>3</sup>) se encuentra próximo a este valor en el muestreo del día 03/06/2011.

Tabla 19-. Exposición diaria (mg/m<sup>3</sup>), del trabajador M3 en el área de aceite.

Compuesto	Fecha de muestreo		
	20/05/2011	27/05/2011	03/06/2011
Naftaleno	7,40	22,36	6,71
Acenafteno	12,42	10,93	14,83
Fenantreno*	11,25	6,90	0,66
Fluoreno	2,08	0,92	1,99
Antraceno*	17,97	0,00	148,42
Fluoranteno	2,21	0,46	0,05
Pireno	0,48	0,36	0,62
Benzo(a)antraceno	0,17	0,32	0,26
Criseno*	0,34	0,68	0,53
Benzo(a)pireno*	0,33	0,51	0,31

\*compuestos que deben cumplir con el VLA-ED.

Figura 35-. Exposición diaria del trabajador M3 en mg/m<sup>3</sup>, por HPLC, muestreo personal

### VII.3.3.2. Análisis por GC-FID



Figura 36-. Cromatografo de Gases, GC con detector FID, Thermo.TraceGC.

La técnica de GC, en este estudio de calidad de aire en las cocinas comerciales se llevó a cabo para tener una alternativa de un análisis menos costoso y sin necesidad de tratamientos extras como lo fue la SPE para lograr resolver las muestras de extracción gas-liquido por la técnica de HPLC-UV/FLD, problema que no se observó en los cromatogramas por GC, ver figura 26. Se realizaron corridas de cada patrón certificado (0,1-10 $\mu$ g/mL) por separado y luego del multipatrón de 10 PAHs, ver tabla 20, para lograr la separación e identificación de cada uno de estos hidrocarburos ver figura 37.

Tabla 20-. Identificación en tR de los PAHs, por GC, detector FID.

Orden de elusión PAHs	Tiempo de retención, tR (min)
Naftaleno	1.49
Acenafteno	1.83
Fluoreno	2.51
Fenantreno	4.69
Antraceno	7.28
Fluoranteno	9.68
Pireno	15.80
Benzo(a)antraceno	21.16
Criseno	22.78
Benzo(a)pireno	22.46

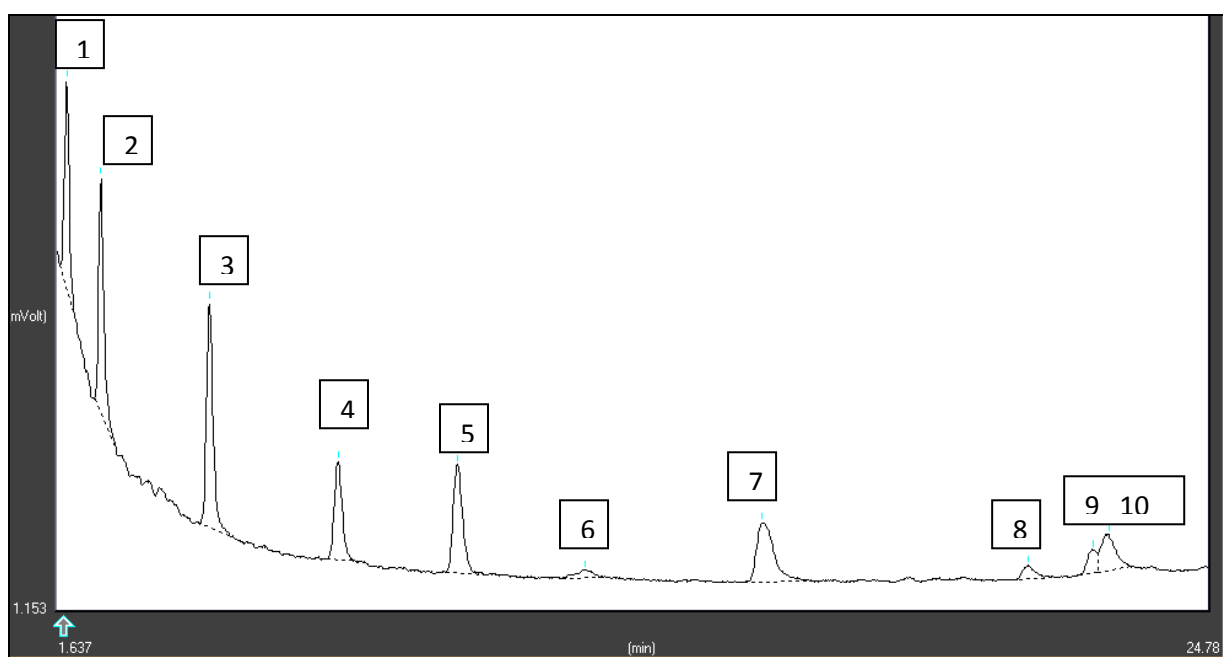


Figura 37-. Cromatograma del multipatrón de 0,5ppm por GC-FID. 1-. Naftaleno, 2-. Acenafteno, 3-. Fenantreno, 4-. Fluoreno, 5-. Antraceno, 6-. Fluoranteno, 7-. Pireno, 8-. Benzo(a)antraceno, 9-. Criseno y 10-. Benzo(a)pireno.

### VII.3.3.2.1 Técnica de Filtro PTFE

Se lograron extraer, identificar y cuantificar los grupos de PAHs como se muestra en la tabla 21, del filtro PTFE perteneciente al sistema de muestreo estático de área (Indoor) conectado antes del burbujeador de la distancia de 70cm de la fuente de riesgo.

Tabla 21-. Concentración de PAHs mg/m<sup>3</sup>, en muestreo de área por técnica de filtro

<b>Hora de muestreo (am/pm)</b>	12:35pm
<b>Distancia a la fuente (cm)</b>	70
<b>Compuesto</b>	<b>Concentración PAHs (mg/m<sup>3</sup>x10<sup>-3</sup>) ±0,05 por Filtro PTFE</b>
Naftaleno	80,23
Acenafteno	nd
Fenantreno*	nd
Fluoreno	nd
Antraceno*	38,85
Fluoranteno	nd
Pireno	27,27
Benzo(a)antraceno	17,29
Criseno*	45,74
Benzo(a)pireno*	nd

\*compuestos que deben cumplir con el VLA-ED.

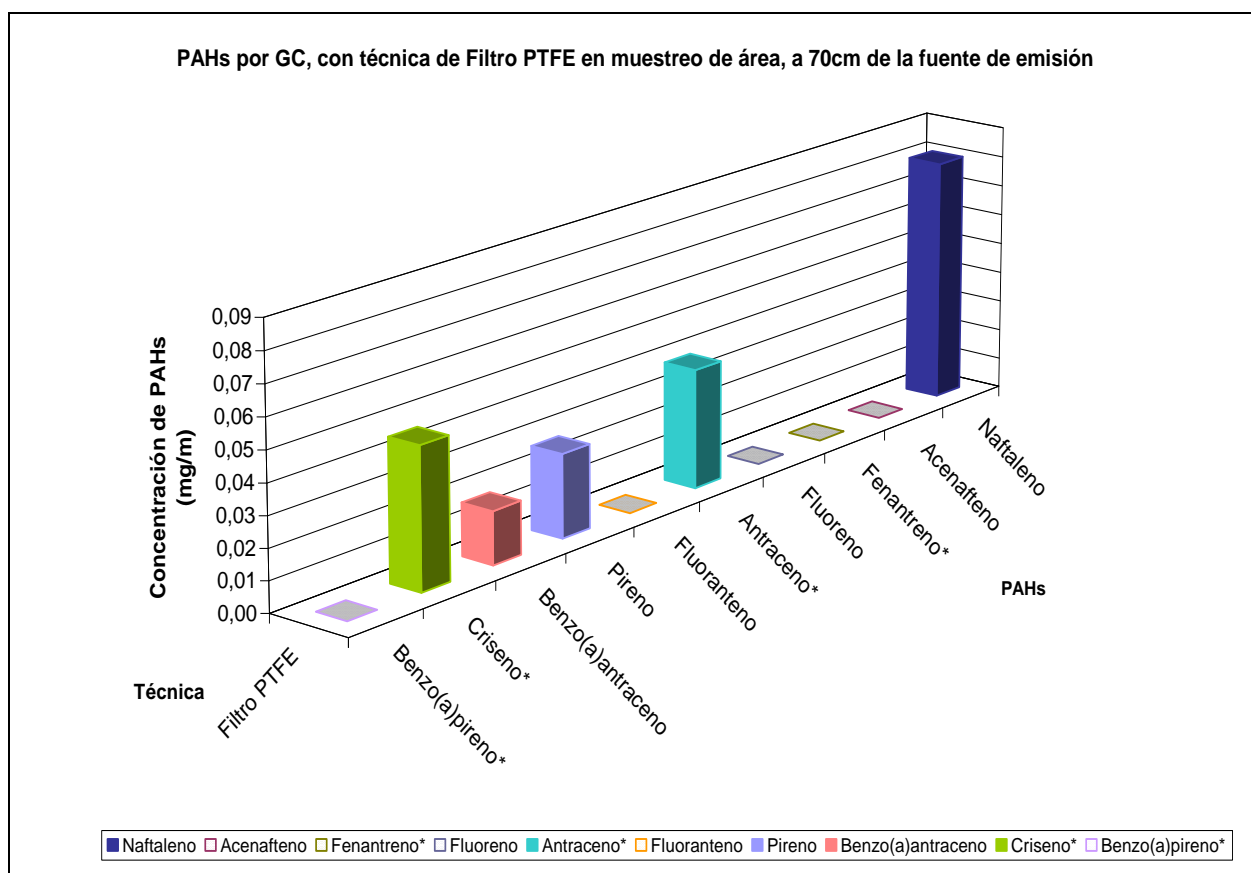


Figura 38-. Comparación de PAHs en  $\text{mg}/\text{m}^3$  analizados por GC-FID, según la distancia del sistema de muestreo estático con Filtro PTFE con respecto a la fuente de riesgo, muestreo de área (Indoor).

La figura 38, representa los PAHs captados en el área según su concentración en  $\text{mg}/\text{m}^3$  con respecto a 70cm de distancia de la fuente de emisión, se captaron 5 PAHs: Naftaleno, Criseno\*, Antraceno\*, Pireno y Benzo(a)antraceno; nombrados en forma decreciente. En ésta técnica ningún compuesto superó el VLA, para el muestreo de área del sistema de filtro PTFE (Indoor).

### **VII.3.3.2.2 Muestreo personal**

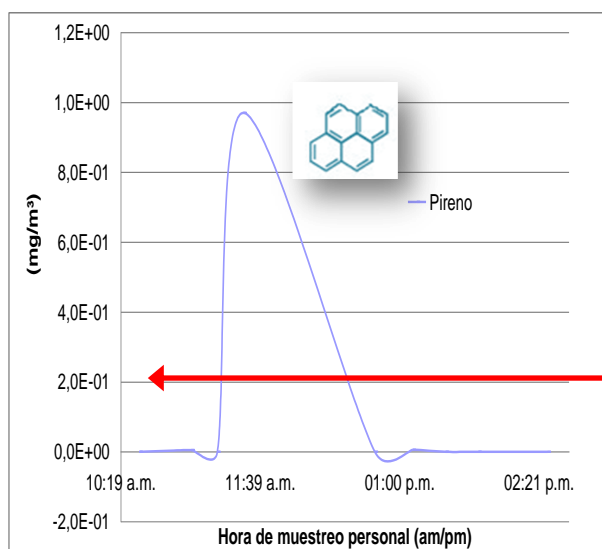
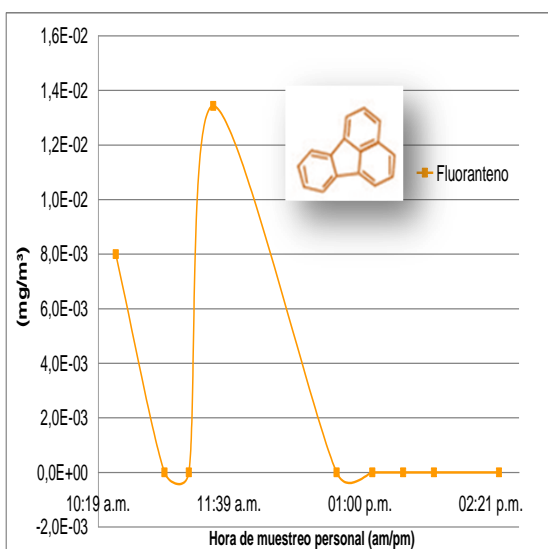
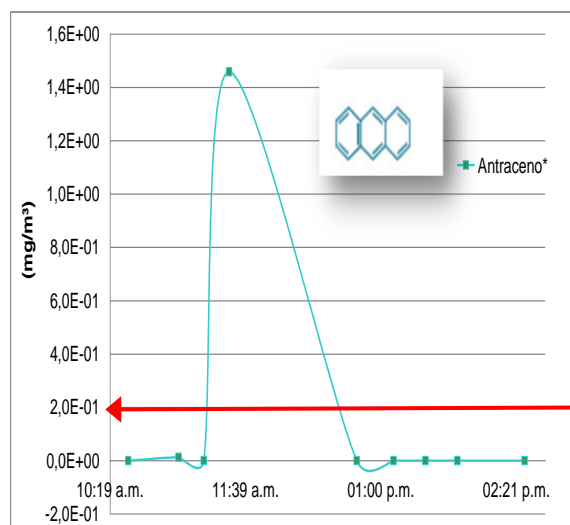
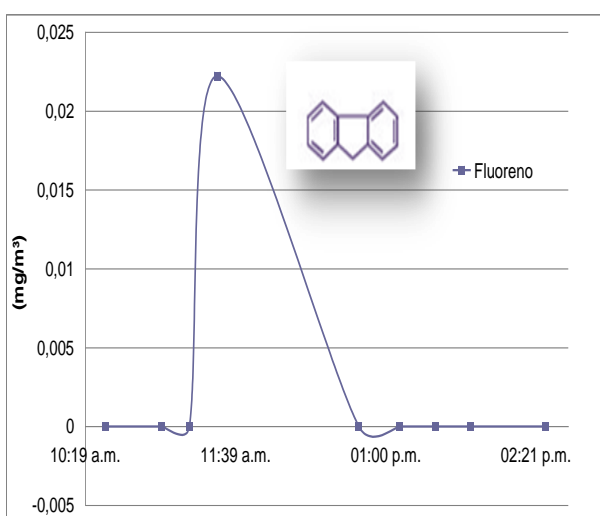
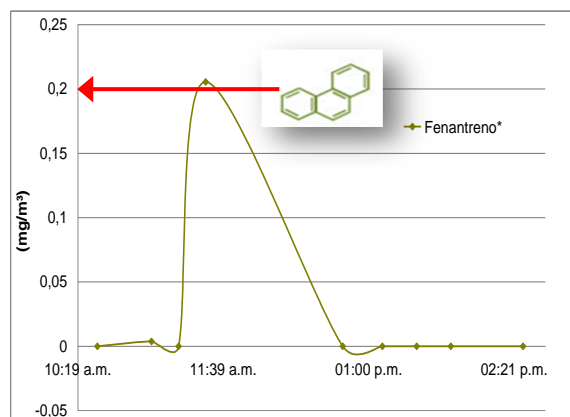
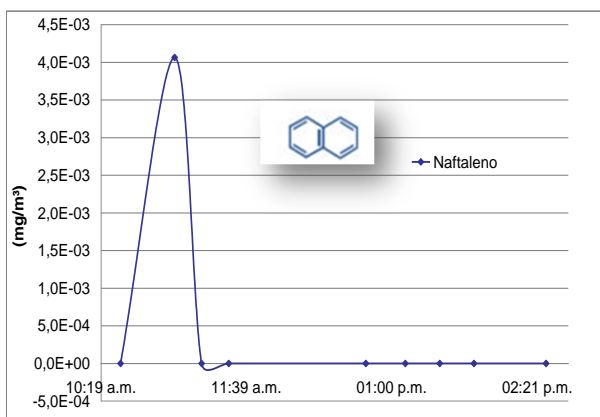
#### **VII.3.3.2.2.1 Area de cocina al carbón**

Los muestreos personales se llevarón a cabo por la técnica de tubo de adsorción y según el horario que se realizó en las visitas previas de actividad alta según la emisión de humo de las fuentes de riesgo en el área de tipo cocción al carbón, a manera de comparar ya que se obtuvo un resultado de mayor exposición para el trabajador M2 los siguientes resultados corroboran que los compuestos encontrados en alta concentración en los ciclos de actividad alta por HPLC/UV-FL, también se encuentran al analizar la muestra por GC-FID.

##### **VII.3.3.2.2.1.1 Trabajador M2**

Como se puede observar en la figura 39, se obtuvo ciclos de actividad según las horas de muestreo personal del trabajador M2, obteniéndose patrones de ciclos de actividad que se agrupan por compuestos según su similitud:

1. Fenantreno, fluoreno, antraceno, fluoranteno y pireno: siguen un patrón de similitud de formación de un solo ciclo con su mayor concentración apareciendo el horario de 12:30-1pm, hora de mayor actividad.
2. Naftaleno y benzo(a)pireno: sigue un patrón de similitud de formación de uno a dos ciclos con su mayor concentración apareciendo al principio de la jornada de trabajo.
3. Benzo(a)antraceno y criseno: siguen un patrón de similitud de formación de tres a cuatro ciclos con su mayor concentración apareciendo el horario de 1-1:30pm, hora de mayor actividad.



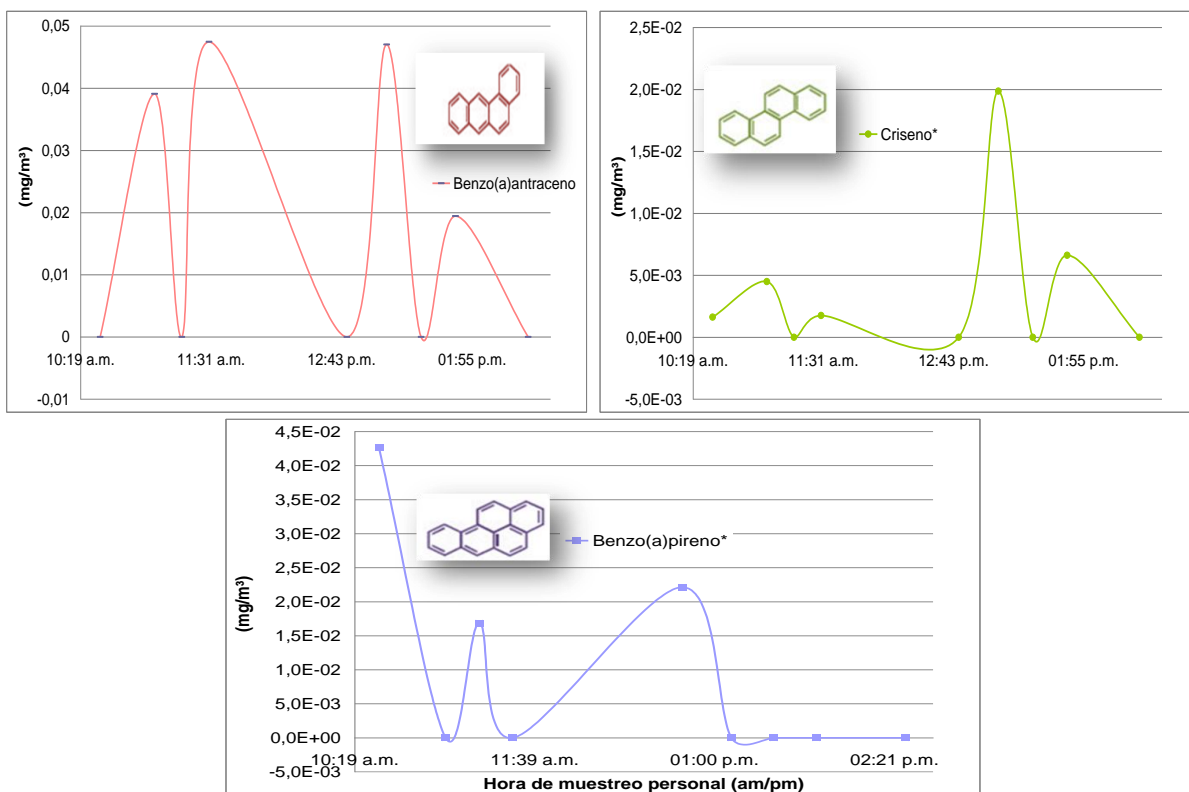


Figura 39-. Concentración de PAHs (mg/m³) por GC, en ciclos de actividad del trabajador M2 del área de carbón, muestreo personal.

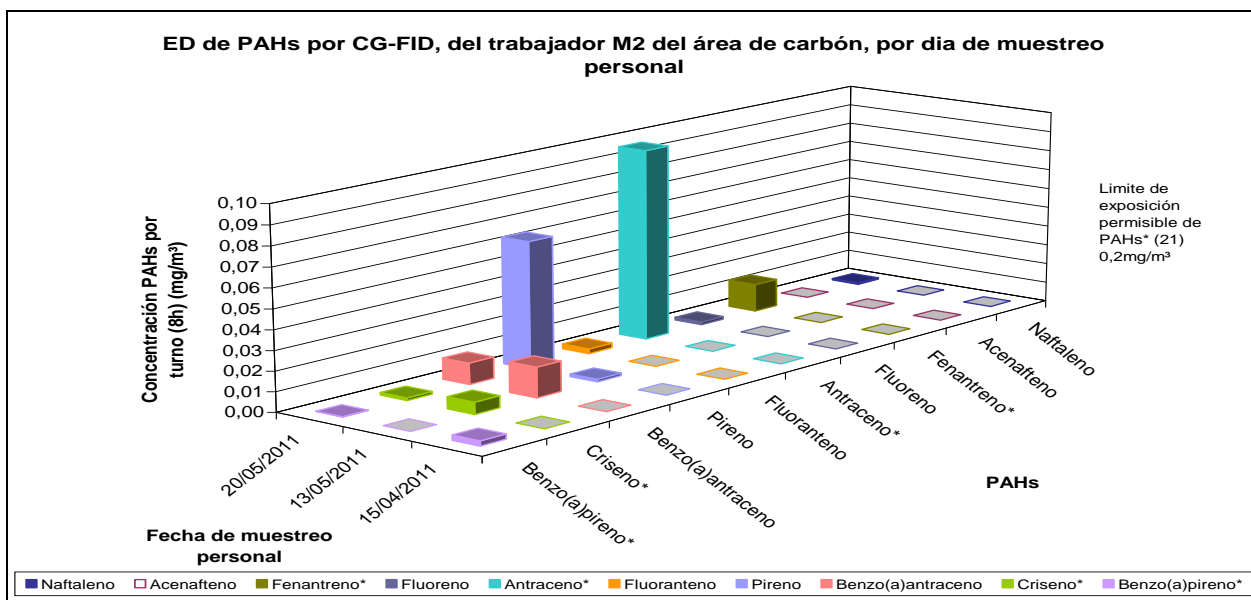


Figura 40-.Exposición diaria del trabajador M2 en mg/m³, por GC-FID, muestreo personal

En estos gráficos se observa que la concentración por ciclos de actividad de los compuestos de Fenantreno\*, Antraceno\* y Pireno, de 12:30 a 1pm, corroborando los resultados obtenidos por HPLC-UV/FI de ésta muestra con similitud en los patrones de ciclos de actividad, con uno o dos ciclos que superan en el horario de trabajo el VLA permisible. Al calcular, para el trabajador M2, la exposición diaria (ED) por jornada de trabajo mostrada en la tabla 22 , se tiene que todos los PAHs se encuentran por debajo del VLA-ED, como se puede observar en la figura 40, quedando los compuestos: Antraceno\*(0,097mg/m<sup>3</sup>) y Benzo(a)antraceno(0,064mg/m<sup>3</sup>); observando menos identificación de PAHs en GC-FID , nueve (9), que por HPLC-UV/FL, diez (10).

Tabla 22-. Exposición diaria de PAHs en mg/m<sup>3</sup> por GC, del trabajador M2 encargado de las bebidas en el área de la cocina con tipo de cocción al carbón, en muestreo personal.

Trabajador M2: encargado de las bebidas, área de carbón	Fecha de muestreo personal		
	15/04/2011	13/05/2011	20/05/2011
	ED Concentración PAHs por turno (8h) (mg/m <sup>3</sup> x10 <sup>-3</sup> ) ±0,08 por GC-FID		
Compuesto			
Naftaleno	nd	nd	0,79
Acenafteno	nd	nd	nd
Fenantreno*	nd	nd	13,98
Fluoreno	nd	nd	1,44
Antraceno*	nd	nd	96,56
Fluoranteno	nd	nd	2,42
Pireno	nd	1,32	63,66
Benzo(a)antraceno	nd	15,09	10,64
Criseno*	nd	6,01	1,30
Benzo(a)pireno*	2,54	nd	0,18

\*compuestos que deben cumplir con el VLA-ED.

## VII.4. Análisis de los resultados

### VII.4.1. Comparación con el Valor Límite Ambiental de Exposición Diaria (VAL-ED)

Tomando el sistema de decisión de un número pequeño de muestras  $n \leq 6$ , ya que se lograron tres valores de exposición diaria por cada trabajador M1, M2 y M3, se procedió a sacar el cálculo del índice de exposición según se explicó en la sección II.9.2.1 por medio de la ecuación [4], y los resultados se muestran en las tablas 23, 24 y 25. Donde se busca comprobar que la exposición al riesgo para PAHs, que tienen un VAL-ED=0,2mg/m<sup>3</sup>, es:

- A-. Si  $I_n \leq 0,1$ , la exposición es aceptable.
- B-. Si  $I_n > 1$ , la exposición es inaceptable.
- C-. Si  $0,1 < I_n \leq 1$ , indeterminación, se procede a obtener mas datos.

Tabla 23-. Índice de exposición para trabajador M1, según ED por jornada de trabajo por HPLC y GC.

Trabajador M1: encargado de la brasa, área Carbón	Índice de Exposición por jornada de muestreo personal						Media Geométrica MG
	HPLC	GC	HPLC	GC	HPLC	GC	
	I15/04/2011		I13/05/2011		I20/05/2011		
Compuesto							
Fenantreno*	0,02	-	0,01	-	<b>0,2</b>	-	0,04
Antraceno*	0,001	-	0,003	-	<b>0,8</b>	-	0,01
Criseno*	0,006	-	0,0008	0,007	0,003	0,004	-
Benzo(a)pireno*	0,008	0,02	0,008	-	0,004	0,06	-

Tabla 24-. Índice de exposición para trabajador M2, según ED por jornada de trabajo por HPLC y GC.

Trabajador M2: encargado de las bebidas, área Carbón	Índice de Exposición por jornada de muestreo personal						Media Geométrica MG
	HPLC	GC	HPLC	GC	HPLC	GC	
	I15/04/2011		I13/05/2011		I20/05/2011		
Fenantreno*	0,03	-	0,02	-	<b>0,5</b>	0,07	0,06
Antraceno*	0,002	-	0,004	-	<b>0,4</b>	<b>0,5</b>	0,02
Criseno*	0,01	-	0,004	0,03	0,008	0,006	-
Benzo(a)pireno*	0,008	0,03	0,008	-	0,004	0,002	-

Tabla 25-. Índice de exposición para trabajador M3, según ED por jornada de trabajo por HPLC y GC.

Trabajador M3: Chef de cocina del área de aceite	Índice de Exposición por jornada de muestreo personal						Media Geométrica MG
	HPLC	GC	HPLC	GC	HPLC	GC	
	I20/05/2011		I27/05/2011		I03/06/2011		
Fenantreno*	0,06	0,003	0,03	-	0,003	-	-
Antraceno*	0,09	0,09	-	-	<b>0,7</b>	0,08	0,4
Criseno*	0,002	0,002	0,003	0,004	0,003	0,001	-
Benzo(a)pireno*	0,003	-	0,005	-	0,003	-	-

Para los cuatro compuestos que son parte del grupo de los PAHs que tienen VAL-ED, tanto el antraceno como el fenantreno dieron un índice de exposición tipo C esto quiere decir,  $0,1 \leq I_h \leq 1$  indeterminado, en la jornada de trabajo del día 20/05/2011 para los trabajadores M1 y M2, y para el trabajador M3 el antraceno también dio un índice de exposición tipo C en la jornada de trabajo del día 03/06/2011. Sin poder llegar a una conclusión. AL calcular la media geométrica (MG), por la ecuación [5] de

los tres valores de ED para cada trabajador, indicando la tendencia central de la distribución de los datos de ED, se puede concluir que siendo MG:

$$MG = (I_1 \times I_2 \times \dots \times I_n)^{(1/n)} \quad [5]$$

**A-** Si  $MG \leq 0,5$ , la exposición es aceptable.

**B-** Si  $MG > 0,5$ , No es posible alcanzar una conclusión definitiva.

Como se logra observar en las tablas 23, 24 y 25, la MG, tanto para el antraceno como el fenantreno son tipo A, es decir,  $\leq 0,5$  indicando que la exposición al riesgo de estos dos compuestos para los trabajadores M1, M2 y M3; es aceptable, en el período de muestreo en el que fueron evaluados bajo las condiciones de este trabajo, pero como se tuvo una indeterminación en el índice de exposición y aunque los resultados obtenidos no superan los VAL-ED, no permiten concluir con fiabilidad aceptable si se superarán en el futuro, ni tampoco permiten asegurar que no se superarán, por lo que se considera aportar recomendaciones para mejorar la fiabilidad de esta evaluación, optando por:

- A-** Aumentar el número de mediciones, hasta tener datos suficientes que permitan obtener alguna de las dos conclusiones bien definidas.
- B-** Implantar directamente medidas de prevención y protección, es decir, decidir "por el lado de la seguridad", hacia los trabajadores tomando en cuenta los datos obtenidos respecto al muestreo y la exposición.
- C-** Planificar una vigilancia periódica de la concentración del ambiente de trabajo, para comprobar que la exposición se mantiene por debajo del VAL-ED de forma continua a lo largo del tiempo, esta es la opción mas conveniente.

#### VII.4.2. Comparación de ED, en trabajadores del área de tipo de cocción por carbón Vs por aceite

Para esta discusión sólo se tomaron en cuenta los días de mayor exposición de cada trabajador M1, M2 y M3; para observar los compuestos y magnitudes de exposición diaria a los que están sometidos en su ambiente laboral.

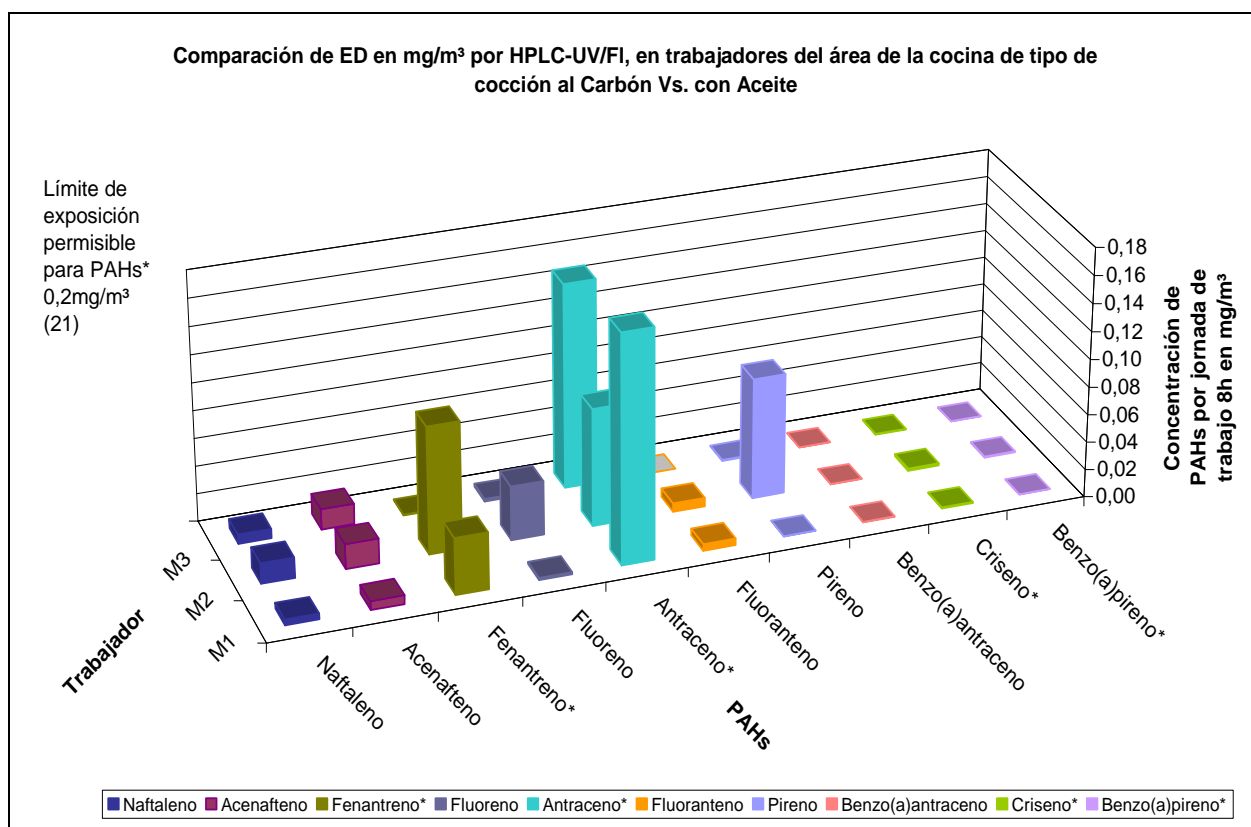


Figura 41-. Comparación de ED, en  $\text{mg}/\text{m}^3$ , en trabajadores del área de la cocina por tipo de cocción al carbón Vs. Tipo de cocción con aceite.

Los trabajadores están expuestos a compuestos en común que deben mantenerse por debajo del VLA-ED, el Antraceno\* para los tres trabajadores y Fenantreno\* tanto para M2 como M3, en magnitudes de concentración de exposición diaria muy cercanas a las del VLA-ED pero sin superarlo, ( $\square 0,18\text{mg}/\text{m}^3$ ).

### VII.4.3. Comparación del trabajo actual con los antecedentes.

Los investigadores resumidos con sus trabajos en la tabla 26, lograron identificar en ambientes similares a los del presente trabajo PAHs para emisión de humos en combustión de biomasa con respecto a los tipos de cocción en la cocina (incluyendo aceite y carbón), dónde se observa que algunos compuestos son captados como se llevo a cabo en este trabajo en muestreos personales y con dispositivos de tubos de adsorción XAD-2, pero también mediante otras técnicas de muestreo como **Mannino & Orecchio** en el 2008(34), por medio de los dispositivos pasivos siguiendo un gradiente de difusividad de la concentración; encontrándose que el compuesto que coincide en 5 de estas investigaciones es el Criseno, siguiendo los compuestos: Naftaleno, Fenantreno, Antraceno, Pireno y Benzo(a)antraceno, encontrados en 4 de ellos, con una concentración bastante significativa en cada trabajo. Los trabajos que mayor coincidencia en captación de PAHs y en orden de magnitud con respecto a la concentración cuantificada del trabajo actual presentado, son los que se llevaron a cabo con la misma técnica de muestreo con tubo de adsorción XAD-2 y se analizaron mediante cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC), coincidiendo que la principal fuente de emisión para PAHs es la quema de combustible fósil, la cual afecta no sólo a los trabajadores sino que también afecta a la comunidad que existe alrededor de las fuentes de riesgo para PAHs(35), afectando principalmente el crecimiento de niños(36-38).

Tabla 26-. Comparación resultados PAHs , con respecto a los antecedentes.

Año	2011		2008		2006		2004		2003		2002	
Antecedente	Vázquez, M.		Mannino & Orecchio		Preuss & Roalf		Bhargava & Khanna		Zhu & Wang		De la Cruz	
Técnica	XAD-2 / HPLC-UV/FL & GC-FID		Cocinas/ pasivo		XAD-2/ HPLC-DAD		Filtros/ HPLC-UV		Cocinas/ XAD-2/ Filtro/HPLC-FL		Aceite CCF/UV	
PAHs	µg/m <sup>3</sup>		µg/Kg		µg/m <sup>3</sup>		µg/m <sup>3</sup>		µg/m <sup>3</sup>		µg/Kg	
Naftaleno	14,74	x		x	146.41	x			3.0	x	26,13	
Acenaftileno				x		x						
Acenafteno	18,02	x		x	111.35	x			6.0	x		
Fluoreno	38,94	x		x	112.85	x			1.3	x		
Fenantreno	91,65	x	5290	x	298.28	x			0.45	x		
Antraceno	164,79	x	567	x	69.01	x			0.47	x		
Fluoranteno	6,23	x		x	1102.58	x			1.4	x		x
Pireno	86,91	x	3832	x	560.52	x			5.9	x		x
Benzo(a) Antraceno	15,09	x		x	223.68	x	4,11	x	0.78	x		x
Criseno	6,01	x	3046	x	162.73	x	9,56	x	1.9	x		
Benzo(b) fluoranteno				x		x	1,87	x				
Benzo(k) fluoranteno				x		x	4,39	x	0.72	x		
Benzo(a) pireno	2,54	x		x		x	1,86	x	0.44	x		x
Dibenzo(a,h) antraceno				x		x	6,23	x				x
Benzo(g,h,i) perileno				x		x						
Indeno(1,2,3-c,d)pireno				x		x	2,04	x				

## VIII. Conclusiones

### I. DISEÑO Y ESTRATEGIA

El plan de muestreo diseñado, en conjunto con la estrategia de riesgo seguida, permitió:

- a) Seleccionar los períodos adecuados (duración) del muestreo (2 horas). Escoger los días apropiados de muestreo (Viernes); así como las horas de mayor emisión de fuentes de hidrocarburos (11 am a 6 pm).
- b) Decidir la mejor ubicación de los dispositivos de muestreo (“indoor y outdoor”) y la selección y ubicación de los trabajadores a muestrear.
- c) El muestreo se realizó con ahorro de materiales, instrumentos y tiempo de trabajo, siguiendo la teoría de Grupo Homogéneo de Exposición.

### II. DISPOSITIVOS DE MUESTREO

- a) De los dispositivos de muestreo estudiados, el tubo de adsorción XAD-2, presentó las ventajas de: muestreo adecuado de PAHs, facilidad de uso, disposición de los trabajadores a portarlo, menor riesgo de accidente sobre los usuarios y su producto una vez desorbido no requiere de tratamiento para inyectarlo en cromatografía.
- b) Con la técnica del tubo de adsorción, en el muestreo de los 3 trabajadores se identificaron 10 de los PAHs, siendo el Antraceno\* el compuesto de mayor concentración,  $ED_{max}=(0,16 \text{ mg/m}^3)$ .
- c) En el muestreo externo (outdoor) con el tubo de adsorción, se identificaron 10 de los hidrocarburos en estudio, destacando por su mayor concentración: Naftaleno ( $0,03 \text{ mg/m}^3$ ), Acenafteno ( $0,14 \text{ mg/m}^3$ ) y Fenantreno\* ( $0,03 \text{ mg/m}^3$ ).

### III. PAHs EMITIDOS POR LAS FUENTES

- a) La identificación de los horarios de alta y baja actividad en la emisión de humo en el área de la cocina, para cada trabajador expuesto, permitió definir los diversos ciclos de captación encontrado para cada PAH.
- b) Para los tres trabajadores seleccionados, en el análisis de los diversos ciclos de concentración de PAH contra el tiempo de muestreo, se encontró que el Fenantreno\*, el Antraceno\* y el Pireno, superaron el Valor Límite Ambiental permitido de  $0,2 \text{ mg/m}^3$ .

### VI. ANALISIS DE LOS RESULTADOS

- a) El trabajador mas expuesto resulto, el de ubicación estática, en la cocción al carbón (M2). La presencia de Fenantreno\*, Antraceno\* y Pireno, en su entorno, superan el VLA ( $0,2 \text{ mg/m}^3$ ) en dos horarios de los ciclos de captación de PAHs. Se demostró con las técnicas cromatograficas utilizadas.
- b) La tendencia central de la distribución de los datos de Exposición Diaria, para los tres trabajadores muestreados, demostró que la exposición de PAHs es aceptable. Justificado con los cálculos de la Media Geométrica, para los compuestos que superaron el VLA: Fenantreno\*, Antraceno\* y Pireno.

## IX. Recomendaciones

- ✚ El dispositivo de muestreo gas-líquido es recomendable, por su economía, versatilidad y sencillez en muestreos estáticos de ambiente, pero no para el tipo personal.
  
- ✚ Realizar el análisis de las muestras por otros equipos de mayor capacidad de detección, como la espectrometría de masas, para ampliar la identificación de los PAHs y otros compuestos tóxicos de interés en la rama de la higiene ocupacional.
  
- ✚ Tomar acciones en los horarios en donde se observó que compuestos como: Fenantreno\*, Antraceno\* y Pireno, superaron el VLA, ofreciendo a los trabajadores protección de las vías respiratorias (tapa bocas, mascaros o si es posible añadir un extractor o sistema de ventilación que diluya la concentración de estos compuestos) para aminorar los efectos de la alta emisión de humo a estas horas.
  
- ✚ Seguir en la investigación de este problema de higiene ocupacional, para lograr tener mayor resultados que respalden los riesgos de exposición encontrados en este trabajo preliminar y a futuro añadir información más específica para ampliar la norma Venezolana (COVENIN), para compuestos como PAHs.

## X. Bibliografía

1. **COVENIN, Norma 2266(R).** *GUIA DE LOS ASPECTOS GENERALES A SER CONSIDERADOS EN LA INSPECCION DE LAS CONDICIONES DE HIGIENE Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO.* Fondonorma, Venezuela, 1998.
2. **COVENIN Norma 2260(R).** *PROGRAMA DE HIGIENE Y SEGURIDAD OCUPACIONAL ASPECTOS GENERALES.* Fondonorma, Venezuela, 2004.
3. **COVENIN, Norma 3835.** *GUIA PARA LA DETERMINACION DEL CARACTER PROFESIONAL (OCUPACIONAL) DE ENFERMEDADES EN LOS TRABAJADORES.* Fondonorma, Venezuela, 2004.
4. **Solá, Xavier Guardino y Guasch Farrás, Juan.** *Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo.* Madrid : Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales Subdirección General de Publicaciones, 2001.
5. **MCDERMOTT, HENRY J.** *AIR MONITORING FOR TOXIC EXPOSURES.* New Jersey : John Wiley & Sons, Inc, 2004.
6. Anatomía Humana. Noviembre 2010.  
<http://www.anatomiahumana.ucv.cl/efi/esplac/fosasna.gif>.
7. *Hidrocarburos aromaticos policiclicos. Riesgos para la salud y marcadores biológicos.* **Mastandrea, Carlos, et al.** Santa Fe : Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana, 2005. 39 (1): 27-36.
8. *POLYNUCLEAR AROMATIC HYDROCARBONS by GC: METHOD 5515.* **B.R. Belinky, NIOSH/DPSE and E.J. Slick y J.C. Holt, D.E. Bilak and J.B. Perkins.** Salt Lake City, UT. : NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM), Fourth Edition, 1994. Issue 2.
9. **COVENIN, Norma 2253:2001.** *CONCENTRACIONES AMBIENTALES PERMISIBLES DE SUSTANCIAS QUIMICAS EN LUGARES DE TRABAJO E INDICES BIOLOGICOS DE EXPOSICION.* Tercera revisión. Fondonorma, Venezuela, 2001.

10. **Skoog, Douglas, James, Holler y Nieman, Timothy.** *Instrumental Analítico.* Madrid : McGraw-Hill/Interamericana de España, 2001. 5ta Edición.
11. *Ranking Cancer Risks of Organic Hazardous Air Pollutants in the United States.* **Loh, Miranda, et al.** 8, s.l. : Environmental Health Perspectives , 2007, Vol. 115.
12. *Emission of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Their Carcinogenic Potencies from Cooking Sources to the Urban Atmosphere.* **Li, Chun-The, et al.** 4, Tainan : Environmental Health Perspectives, April 2003, Vol. 111.
13. *Sources and patterns of polycyclic aromatic hydrocarbons pollution in kitchen air, China.* **Zhu, Lizhong and Wang, Jing.** 50: (611-618), China : s.n., 2003, Vol. Chemosphere.
14. *Los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos y la Salud Humana.* **Vives, Ingrid, Grimalt, Joan y Guitart, Raimon.** 3, Barcelona-España : Asociación para el Avance de la Ciencia y la Tecnología en España(AACTE)., Septiembre de 2001, Vol. Apuntes de Ciencia y Tecnología.
15. *Atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in Asia: A review from 1999-2004.* **Chang, Kuan-Foo, et al.** 142: (388-396), Asia : ELSEVIER, 2006, Vol. Environmental Pollution.
16. *Exposure risk to carcinogenic PAHs in indoor-air during biomass combustion while cooking in rural India.* **Bragava, Anuj, et al.** 38: (4761-4767), India : ELSEVIER, 2004, Vol. Atmospheric Environmental.
17. *Chemical characteristics of fine particles emitted from different gas cooking methods.* **See, Siao Wei et Balasubramanian, Rajasekhar.** 42: (8852-8862), s.l. : ELSEVIER, 2008, Vol. Atmospheric Environmental.
18. *Development of analytical methods for polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in airborne particulates: A review.* **Li-bin, Liu, et al.** Japan : Journal of Environmental sciences, 2007, Vol. 19.

19. **COVENIN, Norma 2252:1998.** *POLVOS. DETERMINACION DE LA CONCENTRACION EN EL AMBIENTE DE TRABAJO. Primera revisión.* Fondonorma, Venezuela, 1998.
20. **COVENIN, Norma 2250:2000.** *VENTILACION DE LOS LUGARES DE TRABAJO. Primera revisión.* Fondonorma, Venezuela, 2000.
21. **L. D. Olsen, B. R. Belinky, C. E. Neumeister, L. B. Jaycox, and D. D. Dollberg, NIOSH/DPSE 5506 .** *POLYNUCLEAR AROMATIC HYDROCARBONS by HPLC.* NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM), Fourth Edition, 1998.
22. **Ana María Gutiérrez Strauss.** *Guía técnica para el análisis de exposición a factores de riesgo ocupacional en el proceso de evaluación para calificación de origen de la enfermedad profesional.* Ministerio de la Protección Social, Bogotá, Octubre de 2009.
23. **Guía para la evaluación de la exposición agentes químicos por comparación con el valor límite.** Apéndice 4, REAL DECRETO 374/2001 de 6 de abril BOE nº 104, de 1 de mayo 2001. Ministerio del Trabajo y Asuntos Sociales España.
24. **Guide to Solid Phase Extraction,** Bulletin 910, SUPELCO, Sigma-Aldrich Co. 1998.
25. **Henry Labrador, Liliana López y Federico Galarraga.** *Estudio geoquímico de crudos del campo Guafita, Estado Apure, Venezuela.* INTERCIENCIA 20 (1):30-36.
26. **Vladimir Díaz, Roberto Bauza, Nuri Cepeda, Elisabeth Behling, Altamira Díaz, Nola Fernández y Nancy Rincón.** *Desarrollo y validación de un método micro-SARA para la determinación de fracciones orgánicas de crudo en aguas de producción petrolera con tratamiento anaeróbico.* CIENCIA 15(1), 95 - 104, 2007 Maracaibo, Venezuela.

27. **De la Cruz y Huaman.** *Formación de HAP y del 3,4-Benzo(a)pireno en aceites comestibles alterados por recalentamiento.* Universidad Nacional Mayo de San Marcos, Facultad de Farmacia y Bioquímica. 2002, Lima-Perú.
28. **W. Kanchanamayoon & N. Tatrahun.** *Determination of PAHs in water samples by SPE and GC.* World Journal of Chemistry 3 (2): 51-54, 2008.
29. **Meng-Xia Xie, Fang Xie, Zhi-Wei Deng, Guo-Shun Zhuang.** *Determination of PAHs in aerosol by solid-phase extraction and GC/MS.* Talanta 60 (2003).
30. **Araceli PEÑA, Johanna MORALES, Carmen LABASTIDA y Santiago CAPELLA.** *EXTRACCIÓN EN FASE SÓLIDA COMO UNA ALTERNATIVA PARA EL PROCEDIMIENTO DE LIMPIEZA EN LA DETERMINACIÓN DE HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS POR CROMATOGRAFÍA DE GASES: APLICACIÓN A ORGANISMOS MARINOS.* Rev. Int. Contam. Ambient. 19 (1) 13-23, 2003. México.
31. **M.J. García Martínez y Dr. J.E. Ortiz.** *Técnicas analíticas: identificación de familias de compuestos. Extracción y Análisis de Muestras de Petróleo.* 2004
32. **CROMATOGRAFÍA Y TÉCNICAS AFINES. Sociedad Española de Cromatografía y Técnicas Afines.** Madrid, diciembre de 2007 Vol. 28, núm. 2 ISSN 1132-1369 (<http://www.secyta.org>).
33. **Suh Y. Lee.** **EMISIONES DE LOS APARATOS DE COCINA DE LOS VENDEDORES AMBULANTES (ASADORES AL CARBÓN).** Oficial de la EPA para el Proyecto: Paul M. Lemieux *Air Pollution Prevention and Control Division, U.S. National Risk Management Research Laboratory. Washington, DC. E.E.U.U. 2008.*

34. **Mannino Maria Rosaria y Santino Orecchio.** *Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in indoor dust matter of Palermo (Italy) area: Extraction, GC–MS analysis, distribution and sources.* Atmospheric Environment 42 (2008) 1801–1817. Italia.
35. **Spheres of Influence | Better Burning, Better Breathing:** Improving Health with Cleaner Cook Stoves Environmental Health Perspectives, volume 118, number 3, March 2010. Uttar Pradesh, India.
36. **Erin E. Dooley.** Forum Children's Health Coal Fire emissions Curb Children's Growth Environmental Health Perspectives, volume 119, number 6, June 2011.
37. **Frederica Perera, Agnieszka Pac, Lu Wang, Elzbieta Flak, Elzbieta Mroz, Ryszard Jacek, Tricia Chai-Onn, Wieslaw Jedrychowski, Elizabeth Masters, David Camann and John Spengler.** Estimating Individual-Level Exposure to Airborne Polycyclic Aromatic Hydrocarbons throughout the Gestational Period Based on Personal, Indoor, and Outdoor Monitoring Hyunok Choi. *Environ Health Perspect* 116:1509–1518 (2008).
38. **Ralf Preuss, Bernd Robach, Michael Wilhelm, Thomas Bruning, Jurgen Angerer.** *External and internal exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) among workers in the production of re-proofs materials – Proposal of a biological monitoring guidance value.* Int. J. Hyg. Environ.-Health 209 (2006) 575–580. Alemania.
39. **Vargas, Ricardo Morales.** *Contaminación del aire y efectos tóxicos por partículas respirables (PM10) en el humo, de madera en comercios de alimentos San José - Costa Rica.* Rev. costarric. salud pública v.12 n.22 San José jul. 2003.

## XI. Apéndices

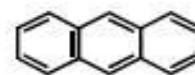
### Apéndice 1-. Figura de las estructuras de los 17 PAHs. (21)



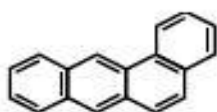
Acenafteno



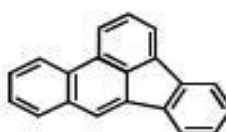
Acenaftileno



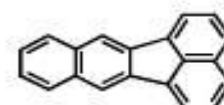
Antraceno



Benzo(a)antraceno



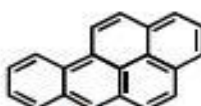
Benzo(b)fluoranteno



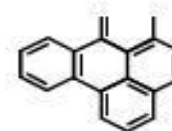
Benzo(k)fluoranteno



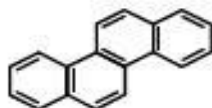
Benzo(g,h,i)pirileno



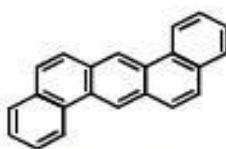
Benzo(a)pireno



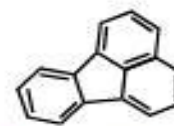
Benzo(e)pireno



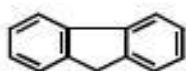
Criseno



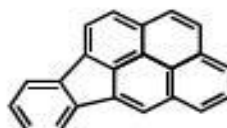
Dibenzo(a,h)antraceno



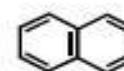
Fluoranteno



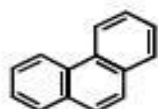
Fluoreno



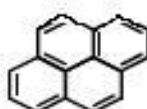
Indeno(1,2,3,c,d)pireno



Naftaleno



Fenantreno



Pireno

## Apéndice 2-. Límites de Exposición Permisibles para los 17 PAHs. (21)

Compuestos orden alfabético	<u>OSHA</u>	<u>NIOSH</u>	<u>ACGIH</u>
1. ACENAPHTHENE	--	--	--
2. ACENAPHTHYLENE	--	--	--
3. ANTHRACENE	0.2 mg/m <sup>3</sup>	--	--
4. BENZ[A]ANTHRACENE	--	--	--
5. BENZO[B]FLUORANTHENE	--	--	suspect carcinogen
6. BENZO[K]FLUORANTHENE	--	--	--
7. BENZO[GHI]PERYLENE	--	--	--
8. BENZO[A]PYRENE	0.2 mg/m <sup>3</sup> (benzene sol.)	0.1 mg/m <sup>3</sup> (cyclohexane sol.)	suspect carcinogen
9. BENZO[E]PYRENE	--	--	--
10. CHRYSENE	0.2 mg/m <sup>3</sup> (benzene sol.)	lowest feasible, carcinogen	suspect carcinogen
11. DIBENZ[A,H]ANTHRACENE	--	--	--
12. FLUORANTHENE	--	--	--
13. FLUORENE	--	--	--
14. INDENO[1,2,3-CD]PYRENE	--	--	--
15. NAPHTHALENE	10 ppm	10 ppm; STEL 15 ppm	10 ppm; STEL 15 ppm
16. PHENANTHRENE	0.2 mg/m <sup>3</sup>	--	--
17. PYRENE	--	--	--

**Apéndice 3-. Concentraciones ambientales permisibles de sustancias químicas. (9)**

Sustancias	CAP		LEB	
	ppm	mg/m <sup>3</sup>	ppm	mg/m <sup>3</sup>
<b>Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos, Partículas, ver Alquitrán, Sustancias Volátiles</b>				
<b>Alquitrán de Carbón, sustancias volátiles como solubles en Benceno</b>		0,2 A1		
<b>Benzo (a) antraceno</b>	A2			
<b>Benzo (a) pireno</b>		A2		
<b>Benzo (b) fluoranteno</b>		A2		
<b>Criseno (1-2 Benzofenantreno)</b>		A3		
<b>Indeno</b>	10			
<b>Naftaleno, piel*</b>	10 A4		15 A4	

**Piel\*:** Se refiere a la significativa contribución potencial que abarca la exposición por la ruta cutánea, incluyendo membrana mucosa y los ojos, bien por contacto con vapores, o el de mayor importancia, por contacto directo de la sustancia con la piel.

**A1:** Cancerígeno confirmado en humanos.

**A2:** Supuesto cancerígeno en humanos.

**A3:** Cancerígeno en animales.

**A4:** No clasificado como cancerígeno en humanos.

#### **Apéndice 4-. Conceptos generales y específicos (1) (2) (3) (4) (5)**

**Trabajador:** Es toda persona que realiza un trabajo, de cualquier clase por cuenta ajena y bajo dependencia de otro. La prestación de sus servicios debe ser remunerada.

**Medio Ambiente de Trabajo:** Es el lugar, local o sitio, cerrado o al aire libre, donde personas vinculadas por una relación de trabajo prestan servicios a empresas, oficinas, explotaciones, establecimientos industriales, agropecuarios y especiales o de cualquier naturaleza que sean públicos o privados.

**Medios de Trabajo:** Son todas las maquinarias, equipos, herramientas, materia prima, productos intermedios o finales usados por el trabajador en razón de su trabajo.

**Riesgo:** Es la probabilidad de ocurrencias de un accidente de trabajo o de una enfermedad profesional.

**Enfermedad profesional(Ocupacional):** Es el estado patológico contraído con ocasión del trabajo o exposición al medio en el que el trabajador se encuentra obligado a trabajar, y aquellos estados patológicos imputables a la acción de agentes físicos, condiciones ergonómicas, meteorológicas, agentes químicos, agentes biológicos, factores psicológicos y emocionales, que se manifiestan por una lesión orgánica, trastornos enzimáticos o bioquímicos, trastornos funcionales y desequilibrio mental, temporales o permanentes, contraídos en el ambiente de trabajo.

**Incidente:** Es todo suceso imprevisto y no deseado que interrumpe o interfiere el desarrollo normal de una actividad sin consecuencias adicionales.

**Accidente:** Es todo suceso imprevisto y no deseado que interrumpe o interfiere el desarrollo normal de una actividad y origina una o más de las siguientes consecuencias: Lesiones personales, daños materiales y/o pérdidas económicas.

**Accidente de Trabajo:** Es toda lesión funcional o corporal, permanente o temporal, inmediata o posterior, o la muerte, resultante de la acción violenta de una fuerza exterior que pueda ser determinada o sobrevenida en el curso del trabajo por el hecho o con ocasión del trabajo; será igualmente considerado como accidente de trabajo, toda lesión interna determinada por un esfuerzo violento, sobrevenida en las mismas circunstancias.

**Toxicidad:** La capacidad intrínseca que posee un agente químico de producir efectos adversos sobre un órgano.

**Xenobióticos:** “Sustancias extrañas”, es decir, extrañas al organismo. Lo contrario son los compuestos endógenos. Entre los xenobióticos figuran los fármacos, las sustancias químicas industriales, los venenos presentes en la naturaleza y los contaminantes del medio ambiente.

**Las sustancias químicas genotóxicas:** son compuestos capaces de modificar el material hereditario de las células vivas.

**Peligro:** La posibilidad de que la toxicidad sea efectiva en un contexto o situación determinados.

**Riesgo (toxicológico):** La probabilidad de que se produzca un efecto adverso específico. Suele expresarse como el porcentaje de casos de una población dada durante un determinado período de tiempo. La estimación del riesgo puede basarse en casos reales o en una proyección de casos futuros a partir de extrapolaciones.

**Superficie:** Para las partículas esféricas, la superficie varía según el cuadrado del diámetro. Sin embargo, para un aerosol con una concentración de masa dada, la superficie total del aerosol aumenta de manera inversamente proporcional al tamaño de las partículas. Para las partículas no esféricas o agregadas, y para las partículas con hendiduras o poros internos, la relación de la superficie respecto al volumen puede ser mucho mayor que para las esferas.

**Volumen:** El tamaño de las partículas varía según el cubo del diámetro; por tanto, las pocas partículas más grandes de un aerosol tienden a dominar su concentración de volumen (o masa).

**Forma:** la forma de una partícula afecta a su resistencia aerodinámica además de a su área de superficie y, por tanto, a sus probabilidades de movimiento y depósito. *Densidad.* La velocidad de una partícula en respuesta a fuerzas gravitatorias o de inercia aumenta según la raíz cuadrada de su densidad.

**Diámetro aerodinámico:** el diámetro de una esfera de densidad uno que tiene la misma velocidad de sedimentación terminal que la partícula en estudio es igual a su diámetro aerodinámico. Está determinado por el tamaño real de la partícula, por su densidad y por un factor de forma aerodinámico

**Velocidad de sedimentación terminal:** es la velocidad de equilibrio de una partícula que está cayendo bajo la influencia de la gravedad y la resistencia de los líquidos.

**Edema (o hidropesía):** es la acumulación de líquido en el espacio [tisular](#) intercelular o intersticial, además de en las cavidades del organismo.

**Cornificación:** proceso en el cual las células basales se transforman en células córneas planas, sin núcleo.

**Telangiectasis:** dilatación de vasos sanguíneos superficiales de la piel.

**Concentración Ambiental Permissible (CAP):** Es la concentración promedio ponderada en el tiempo de sustancias químicas a las que se pueden estar expuestos los trabajadores, repetidamente durante ocho (8) horas diarias y cuarenta (40) horas semanales sin sufrir daños adversos para su salud.

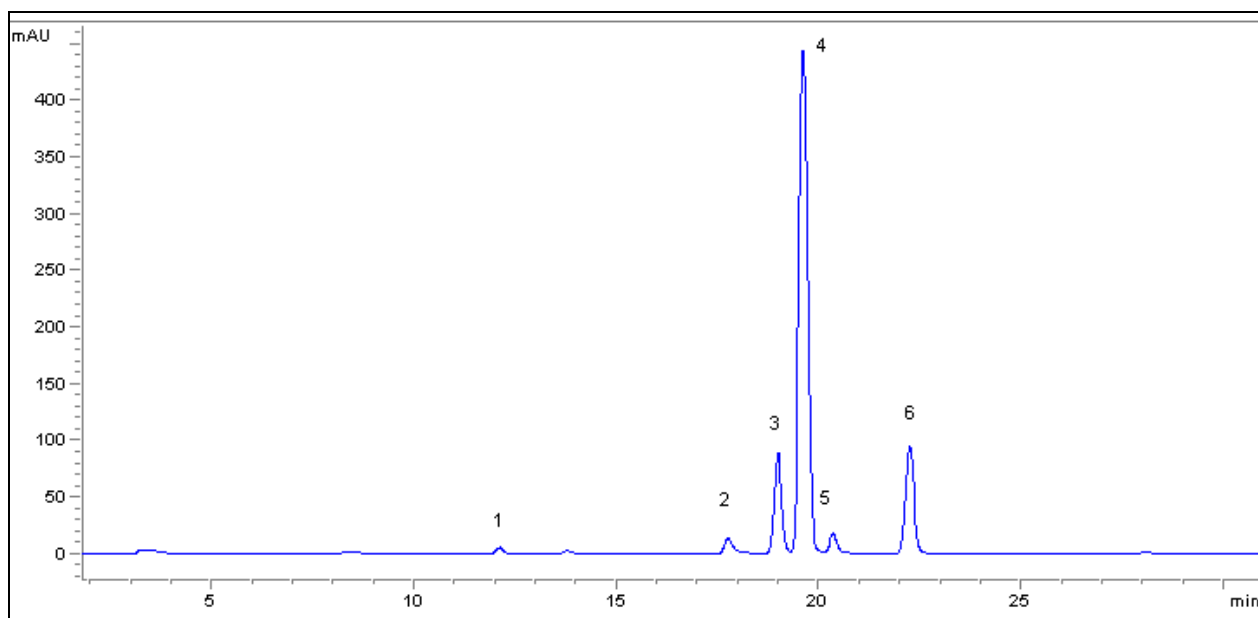
**Índice Biológico de Exposición (IBE):** Son valores referenciales que se usan para evaluar la exposición a riesgos potenciales de la salud en el campo de la higiene ocupacional. Los IBE representan los niveles determinantes que tienen mayor probabilidad de ser observados, en especímenes colectados de un trabajador saludable, que ha sido expuesto a sustancias químicas en la misma extensión a la que estaría un trabajador sometido a una exposición CAP.

**Límite de Exposición Breve (LEB):** Es la concentración del contaminante que nunca debe excederse durante la jornada de trabajo y a la cual se cree que pueden estar expuestos los trabajadores durante un período de 15 minutos máximo, sin sufrir:

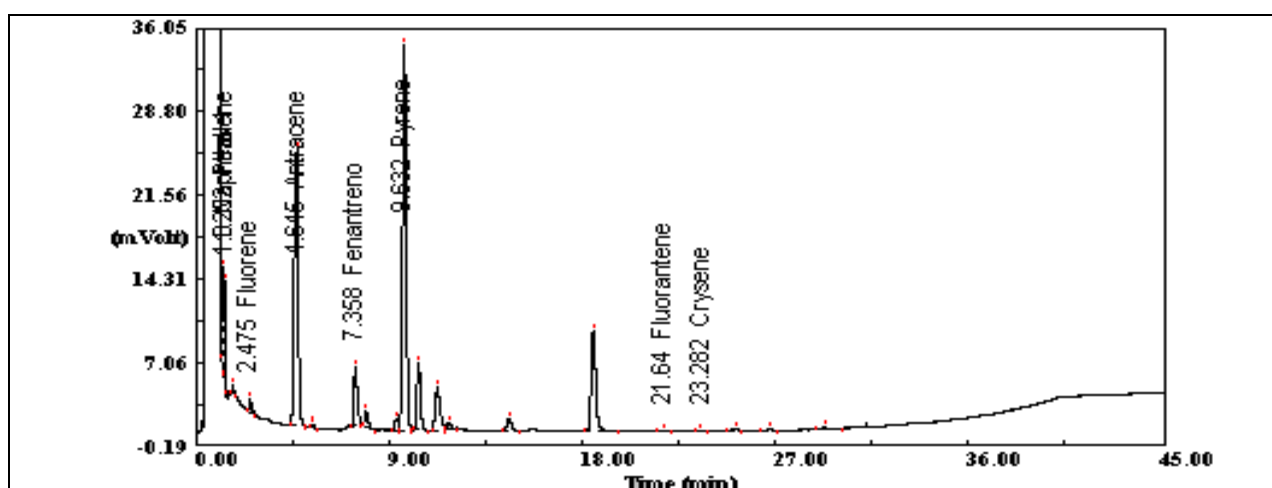
1. Irritación
2. Daño tisular crónico o irreversible
3. Narcosis de intensidad suficiente como para aumentar la propensión a accidentes
4. La reducción de su capacidad para ponerse a salvo por medios propios

Nota: Las exposiciones por encima del CAP y hasta la LEB no deben ser mayores de 15 minutos y no mas de cuatro (4) veces al día, con intervalos entre exposición de al menos sesenta (60) minutos, siempre que no se exceda la concentración promedio ponderada.

**Apéndice 5-. Cromatogramas del análisis por HPLC-UV/FL y GC-FID, de la muestra por la técnica de tubo de adsorción del trabajador M2 en la sub-área de carbón, puesto de trabajo estático.**



Compuestos identificador por **HPLC-UV**: 1) Acenafteno 2) Fluoreno 3) Fenantreno 4)Antraceno 5) Fluoranteno y 6) Criseno.



Compuestos identificados por **GC-FID**: Naftaleno, Fluoreno, Fenantreno, Antraceno, Pireno, Fluoranteno, Criseno.

**Apéndice 6-. Tabla de compuestos identificados en el aroma de la carne de res cocida. (39)**

**ANEXO 1**

**Número de compuestos identificados en el aroma de la carne de res cocida<sup>5</sup>**

<b>Alifáticos</b>			
Alcanos y alquenos	44	Alicíclicos	
Alcoholes	30	Terpenos	3
Aldehídos	41		
Cetonas	32	<b>Aromáticos</b>	
Ácidos	22	Benzenos /naftalenos	26
Esteres	7	Fenoles	1
Aminas	1	Alcoholes	2
Tioles, sulfuros, y tioesteres	23	Aldehidos y cetonas	6
Eteres	3	Acidos	1
		Nitrilos	1
<b>Heterocíclicos</b>			
Furanos	23	Lactonas	16
Pirroles	3	Oxazoles	1
Piridinas	3	Tiazolinas	3
Pirazinas	34	Oxazolinas	1
Tiofenos	22	Tritiolanos	1
Tiazoles	10	Tritianos	2
Tetrahydroquinoxalinos	2		

### Apéndice 7-. Cálculo del análisis de las concentraciones Exposición Diaria en mg/m<sup>3</sup>, de los trabajadores.

Compuesto	Ecuación de la recta
Naftaleno	$y = 31,49x - 0,071$ $R^2 = 0,9965$
Acenafteno	$y = 15,749x + 0,4334$ $R^2 = 0,9963$
Fenantreno	$y = 14,283x + 0,0941$ $R^2 = 0,9892$
Fluoreno	$y = 162,19x + 0,1665$ $R^2 = 0,9971$
<b>Antraceno</b>	<b><math>y = 14,644x + 0,0313</math></b> <b><math>R^2 = 0,9963</math></b>
Fluoranteno	$y = 242,49x - 1,9153$ $R^2 = 0,9984$
Pireno	$y = 82,522x + 5,5715$ $R^2 = 0,985$
Benzo(a)antraceno	$y = 468,68x - 5,4057$ $R^2 = 0,9986$
Criseno	$y = 127,55x - 2,3644$ $R^2 = 0,9975$
Benzo(a)pireno	$y = 241,01x - 4,9102$ $R^2 = 0,9952$

Tomando los datos para el Antraceno por HPLC-UV, se tiene:

Volúmen de aire muestreado (L) =  
Flujo (L/min) x tiempo de muestreo (min)

$$V_{\text{aire}} (\text{L}) = 1,86 (\text{L/min}) \times 32 \text{min} = \mathbf{59,52 \text{L}}$$

El pico del cromatograma para el Antraceno dio un área bajo la curva de:

$$\text{área antraceno} = \mathbf{6596,48}$$

Despejando de la curva de calibración:

$$\text{Concentración}_{\text{ant}} = (6596,48 - 0,0313) / 14,644 = \mathbf{6,37 \mu\text{g/mL}}$$

Como se desorbió el tubo de adsorción en 5 mL de ACN en un baño de ultrasonido se puede calcular la masa de Antraceno:

$$\text{masa}_{\text{ant}} = 6,37 \mu\text{g/mL} \times 5 \text{mL} = \mathbf{0,5308 \mu\text{g}}$$

Por la Ecuación [1], tenemos:

$$\text{Concentración}_{\text{ant en aire}} = \frac{0,4127 \mu\text{g} \times (1 \text{mg}/1000 \mu\text{g})}{59,52 \text{L} \times (1 \text{m}^3/1000 \text{L})}$$

$$59,52 \text{L} \times (1 \text{m}^3/1000 \text{L})$$

$$\text{Concentración de}_{\text{ant en aire}} = \mathbf{0,3206 \text{ mg/m}^3 \text{ Tubo 1}}$$

$$\text{Concentración de}_{\text{ant en aire}} = \mathbf{0,0557 \text{ mg/m}^3 \text{ Tubo 2}}$$

$$\text{Concentración de}_{\text{ant en aire}} = \mathbf{0,5308 \text{ mg/m}^3 \text{ Tubo 3}}$$

Con la Ecuación [2], se obtiene la Exposición Diaria en el turno de 8h:

$$ED \text{ (mg/m}^3\text{)} = \frac{(0,3206+0,0557+0,5308) \text{ mg/m}^3}{3} \times \frac{(32+31+30) \text{ min}}{480\text{min}} = \mathbf{0,05858 \text{ mg/m}^3}$$

La desviación estándar de este cálculo se basa en el error que pertenece al muestreo y al error del tratamiento de la muestra en el análisis, dónde:

$$CV_M = \text{Coeficiente de Variación del muestreo} = 0,05$$

$$S_M = (0,05 \times 2(L/\text{min}))/100 = 0,001$$

Mientras que para el análisis se tiene una pipeta volumetrica tipo A, con un  $S_a = 0,01$ .

$$S_{\text{conc. tubo3}} = 0,0530822 \dots \times ((S_a/V_{\text{desorción}})^2 + (S_M/\text{flujo de aire})^2)^{(1/2)}$$

$$S_{\text{conc. tubo3}} = 0,00005$$

$$S_{ED} = ((S_{\text{conc. tubo1}})^2 + (S_{\text{conc. tubo2}})^2 + (S_{\text{conc. tubo3}})^2)^{(1/2)}$$

$$S_{ED} = 0,00008$$

### Apéndice 8-. Cronograma de Actividades de la TEG

Actividades	2010		2011									
	N o v	D i c	E n e	F e b	M a r	A b r	M a y	J u n	J u l	A g o	S e p	O c t
Revisión Bibliográfica	√		√		√		√		√		√	
Optimización de Métodos Análisis Químico			√ HPLC	√ HPLC	√ HPLC	√ SPE	√ GC	√ GC				
Toma de Muestras						√ M <sub>área</sub>	√ M <sub>per</sub>	√ M <sub>ext</sub>				
Análisis de muestras por HPLC y CG							√	√	√			
Análisis de Resultados							√	√	√	√	√	
Redacción del TEG									√	√	√	√
Corrección TEG										√	√	√
Presentación TEG												