



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE MEDICINA  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

PETRÓLEOS MEXICANOS  
SUBDIRECCIÓN DE SERVICIOS DE SALUD  
GERENCIA DE SERVICIOS MÉDICOS  
HOSPITAL CENTRAL SUR DE ALTA ESPECIALIDAD

*“Concentraciones ambientales de residuos de Sevoflurano en el área de quirófanos centrales del Hospital Central Sur de Alta Especialidad de Petróleos Mexicanos en condiciones habituales de la práctica clínica; mediante análisis por Cromatografía de Gases Capilar que se realizó durante los días comprendidos entre el 31 de enero al 05 de febrero de 2011. “*

TESIS DE POSGRADO  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
MÉDICO ESPECIALISTA EN ANESTESIOLOGÍA

PRESENTA:

DRA. NADIA LIMETA CHINO

ASESORES:

DRA. MARIA EUGENIA ROMERO CABRERA

DRA. SUSANA RAMÍREZ VARGAS

D. EN C. CESAR ALBERTO CRUZ SANTIAGO



MÉXICO D.F.

2011



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

DR. CARLOS FERNANDO DÍAZ ARANDA

DIRECTOR

DRA. JUDITH LÓPEZ ZEPEDA

JEFA DEL DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN

DR. JOSÉ LUIS REYNADA TORRES

PROFESOR TITULAR DEL CURSO DE ANESTESIOLOGÍA

DRA. MARÍA EUGENIA ROMERO CABRERA

ASESORA DE TESIS

DRA. SUSANA RAMÍREZ VARGAS

ASESORA DE TESIS

D.EN C. CESAR ALBERTO CRUZ SANTIAGO

ASESOR DE TESIS

... el camino ha sido largo, pero rico en aventuras y conocimiento. A Lestrigones, Cíclopes y furioso Poseidón temí, pero los dominé al expulsarlos de mi interior. En los mercados fenicios pude llenar mis alforjas de preciosos objetos y en las ciudades egipcias aprender de sus sabios. A la meta debo el viaje, y aprender tuve que lo más importante no ha sido el objetivo, sino el maravilloso recorrido que hube de experimentar para valorar hoy los resultados. Ítaca es la culminación de este sueño...

## GRACIAS

A Dios por la vida que me ha dado, por llenarme de su luz y misericordia infinita.

A mi Madre, por los cuidados de que me ha colmado y por el inmenso amor que me tiene, por el espíritu de lucha constante y por la enorme fuerza con la que me ha protegido aún al enfrentarse a la adversidad.

A mi Hermana: Nallely, gracias por existir, si un amigo es un hermano que se elige, yo no tengo que buscar amigos teniéndote a ti, te amo pequeña.

A mis ángeles: Salvador Chino, Alberta Montellano y Elías Limeta; porque desde donde están guían mi camino y me llenan de alegría con su recuerdo.

A mi abuela Esperanza: como su nombre y hermosa herencia, por todo su amor y por enseñarme a confiar en mí y mis anhelos.

A mis tíos: Ignacia, Amalia, Eusebio, Genaro, Wilfrido, Eloísa, Anabel y Norma. No hay palabras para agradecer tanto amor, gracias por su ejemplo y su generosidad, por hacer de mí un ser humano íntegro que es feliz por tenerlos a su lado.

A mis primos: Oscar, Omar, Edgar, Cesar, Lisbeth, Arely y Dana; por su inmenso cariño y por ser el motor que me impulsa a ser el mejor ejemplo para ustedes.

A Rodrigo: Por estar aquí, por tu apoyo incondicional y por el amor que trajiste a mi vida.

A mis maestros de la Anestesiología, por permitirme crecer y desarrollarme como especialista, por su sabiduría y paciencia.

Dra. Nadia Limeta Chino

## ÍNDICE

Índice	4
Resumen	5
Definición del Problema	6
Marco Teórico	6
Justificación	11
Hipótesis	12
Objetivo General	12
Objetivos Específicos	12
Tipo y Diseño del estudio	13
Definición del Universo	13
Material y Métodos	15
Presentación de Resultados	17
Discusión	23
Conclusiones	23
Anexos	25
Anexo 1 Consentimiento Informado	25
Anexo 2 Plano del Quirófano Central H.C.S.A.E.	28
Anexo 3 Archivo Fotográfico	29
Anexo 4 Curva de Calibración	31
Anexo 5 Cromatogramas Representativos por Sala	32
Bibliografía	34

## RESUMEN

Titulo: Concentraciones ambientales de residuos de Sevoflurano en el área de quirófanos centrales del Hospital Central Sur de Alta Especialidad de Petróleos Mexicanos en condiciones habituales de la práctica clínica; mediante análisis por Cromatografía de Gases Capilar que se realizó durante los días comprendidos entre el 31 de enero al 05 de febrero de 2011.

Objetivo: Se obtuvieron las concentraciones ambientales de residuos de Sevoflurano en el área de quirófanos centrales del Hospital Central Sur de Alta Especialidad de Petróleos Mexicanos en condiciones habituales de la práctica clínica; mediante análisis por Cromatografía de Gases Capilar.

Material y métodos: Se tomaron muestras de aire de las 6 salas quirúrgicas del Quirófano Central del Hospital Central Sur de Alta Especialidad de Petróleos Mexicanos que emplean predominantemente la técnica de Anestesia General y se les sometió a análisis por Cromatografía de Gases capilar.

Resultados:

1. Se observó que las concentraciones ambientales de residuos anestésicos es proporcional a su empleo.
2. Los niveles de residuos anestésicos aumentan durante su empleo y disminuyen hasta desaparecer totalmente 24 horas después.
3. En algunas ocasiones se encontraron residuos volátiles diferentes al anestésico esperado.

Conclusiones: Se encontraron de 86.66229832 a 199.7369159 ppm (Partes por Millón) de Sevoflurano, en condiciones habituales de práctica clínica con un promedio general de 130.6577569 ppm esto representa 128.6577569 ppm por arriba de los niveles permisibles, lo que nos sugiere que deben integrarse otras técnicas anestésicas como la Anestesia Intravenosa Total o el trabajo continuo de las Unidades Manejadoras de Aire para reducir los niveles ambientales de Sevoflurano.

## **DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

La administración continua de fármacos anestésicos volátiles en la práctica de la Anestesiología genera residuos que son liberados al aire ambiente, mismos que no han sido determinados por análisis por Cromatografía de Gases Capilar en condiciones de práctica habitual en el H.C.S.A.E. Pemex.

En el ejercicio de la Anestesiología, se cuenta con una amplia variedad de fármacos volátiles, de los cuales el Sevoflurano es el más usado en el H.C.S.A.E. por lo que debe establecerse si existen concentraciones ambientales de residuos de Sevoflurano en las salas quirúrgicas que emplean predominantemente Anestesia General Balanceada de los Quirófanos Centrales del H.C.S.A.E. PEMEX en condiciones habituales de la práctica clínica.

## **MARCO TEÓRICO**

El hombre ha estado constantemente expuesto a fuerzas físicas, compuestos químicos y agentes biológicos, que dependiendo de su naturaleza y concentración en el ambiente, pueden llegar a ser tóxicos.

El medio en el que se desenvuelve el anesthesiólogo no escapa a esta tendencia. En el quirófano se encuentran en forma exclusiva contaminantes ambientales, los cuales han permanecido en él, dañando al personal que comúnmente labora en estas áreas, cuando menos en lo que respecta a nuestro país. (9).

En Inglaterra en 1893 F. W. Hewitt reportó que el cloroformo se convertía en ácido clorhídrico y fosgeno, provocando faringitis, traqueítis y cefalea en quienes lo administraban. (31).

En 1949 H. B. Wertham en Alemania, reportó la presencia de depresión, fatiga, cefalea, anorexia, náuseas, pérdida de memoria y lesiones periodontales, en un cirujano, un anesthesiólogo y una enfermera, con muchos años de trabajar juntos, utilizando éter para anestesiar a los pacientes. (31)

En 1967 en Rusia, A. I. Vaisman, investigando las condiciones de trabajo de 354 anestesiólogos que utilizaban éter, halotano, metoxifluorano y óxido nitroso, encontró que la mayoría presentaba cefalea y fatiga. Por otra parte, de 31 anestesiólogas embarazadas, 18 abortaron. (31)

El 6 de mayo de 1963 en Santiago de Chile, explotó un cilindro de ciclopropano; murieron dos niños y cuatro médicos, entre ellos el Dr. Mario Torres, Presidente de la Sociedad Chilena de Anestesiología. (31)

Afortunadamente con el paso de los años debido a la evolución en la conformación química de los anestésicos Halogenados se ha observado una menor incidencia en los efectos tóxicos, menores daños a la salud y menos efectos adversos. Como en el caso del Sevoflurano.

En Quito, Ecuador, en 1975 durante la VIII Asamblea de la CLASA basados en una amplia bibliografía mundial, recolectada por la comisión, los congresistas concluyeron que los riesgos profesionales del personal que labora en los quirófanos, se dividen en cuatro grupos:

1. Riesgos ocasionados por la inhalación crónica de anestésicos volátiles residuales que existen en el ambiente de los quirófanos.
2. Riesgos ocasionados por infecciones transmitidas por los pacientes al personal que los atiende.
3. Riesgo ocasionado por agentes físicos, químicos y biológicos manejados en los quirófanos. (25)
4. Riesgos ocasionados por la naturaleza del trabajo del anestesiólogo, principalmente por el estrés y el cansancio. (31, 28, 5, 30).

Los riesgos potenciales encontrados en la literatura por la contaminación ambiental de los gases anestésicos son: toxicidad sobre el sistema nervioso central con sintomatología múltiple, oncogénesis, abortos, infertilidad, toxicidad sobre el sistema hematopoyético, hepatotoxicidad, nefrotoxicidad, trastornos del

ritmo cardiaco, miastenia gravis, dermatitis. (2,9) Existiendo además, una mayor incidencia de tener hijos del sexo femenino en médicos anestesiólogos. (17)

Lo más importante en cuanto a los residuos anestésicos es que los vapores anestésicos no entren en la atmósfera del quirófano y que sus concentraciones estén bien controladas por un sistema de eliminación adecuado. (2, 3, 5)

El National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) desde 1996 ha recomendado que los límites superiores en la atmósfera de los quirófanos sea 25 partes por millón (ppm) para el óxido nitroso y 2 ppm para los agentes halogenados. Estas recomendaciones sólo son alcanzables con una máquina de anestesia absolutamente hermética y con un buen extractor que recambia el volumen del quirófano de 20 a 25 veces por hora, y una válvula de evacuación efectiva. (2, 3, 5, 12, 27)

A partir de 1976, en los países del primer mundo las salas quirúrgicas se construyen con extractores potentes, eficientes y silenciosos, que recambian el volumen del aire de 15 a 20 veces por hora, y no se permite que los aparatos de anestesia funcionen si no tienen instalada una válvula de evacuación de gases al exterior o al sistema de extracción, ya que está perfectamente demostrado que con éstos dispositivos se elimina del ambiente el 90% de los vapores y gases anestésico residuales. (1, 5, 7)

Actualmente el Hospital Central Sur de Alta Especialidad de PEMEX cuenta con Máquinas de Anestesia nuevas instaladas en 2009 de la Compañía General Electric de modelo Datex Ohmeda S/5 Avance® Carestation que entre otras características cuentan con un sistema de absorción y evacuación de gases que hace que disminuya la contaminación al ambiente de quirófano.

Sin embargo en México y prácticamente en toda América Latina los quirófanos de los hospitales no cuentan con extractor de aire, ya que las leyes de ingeniería sanitaria no lo exigen, y los aparatos de anestesia por ser más baratos no cuentan con válvula de evacuación de gases. (5, 8, 17, 23)

Por otra parte, algunos fármacos pueden ser capaces de producir alteración hepática aguda y crónica, además de hipersensibilidad, como ocurre con el halotano, la cual se presenta en el 25% de los pacientes anestesiados. Un daño hepático grave ocasiona un incremento modesto y transitorio de los niveles de transaminasas séricas, que es común en pacientes expuestos al halotano. (4, 5, 9, 26)

La mortalidad por hepatitis e insuficiencia hepática fulminante por halotano oscila entre el 20-40% de los casos. Se ha comprobado la aparición de cirrosis posterior a los brotes de hepatitis por halotano. (5, 6, 9).

El Sevoflurano es otro anestésico inhalatorio halogenado también tipo éter, de más reciente introducción a la práctica clínica, con importantes características y ventajas ya probadas en la práctica anestésica-quirúrgica mundial que lo ha constituido en la actualidad como el agente anestésico para inducción inhalatoria más usado con olor agradable, no irritante de las vías aéreas, muy baja solubilidad sangre-gas que le permite tener una inducción, eliminación y recuperación muy rápidas, sin daño hepático, estabilidad cardiovascular y depresión respiratoria menor.

En 1986, en el Hospital de Especialidades Centro Médico Nacional "La Raza", se realizó un estudio en 20 anestesiólogos con diferente tiempo de antigüedad en la práctica médica de la Anestesiología, a los que se les tomaron muestras sanguíneas para la determinación de anestésicos halogenados (halotano y enflurano) y correlacionarlos con alteraciones perceptuales, cognoscitivas y psicomotoras. Los resultados mostraron: falta de coordinación motora, inseguridad, ambivalencia, hostilidad, necesidad de apoyo, timidez, alteraciones visomotoras e incertidumbre. (14).

En 1999, en la Universidad Autónoma de Tamaulipas se realizó un diseño de encuesta descriptiva con el objetivo de identificar algunos trastornos emocionales presentes en la práctica del anestesiólogo (depresión, alcoholismo, drogadicción, divorcio y suicidio) a 358 anestesiólogos, de los cuales el 12% manifestaron

depresión, 2% adicción, 19% alcoholismo, 11% divorcio, 5% suicidios. Así mismo en muchos estudios realizados a nivel mundial en la última década, se han reportado trastornos del sueño vigilia, personalidad y psicofísicos. (3, 10, 11, 12)

La exposición crónica a residuos anestésicos produce alteraciones a nivel inmunológico (formando auto-anticuerpos microsomales y antimitocondriales para el hepatocito), hepáticos, tumorales, genéticos, de conducta e introducción enzimática microsomal en el personal de quirófano. (13)

En cuanto a la técnica anestésica que reduce de manera significativa la contaminación en los quirófanos, así como los costos de operación, está el circuito cerrado con técnica cuantitativa, en comparación con el semiabierto. (15, 16).

El mecanismo de acción de los anestésicos halogenados no es bien conocido, sin embargo se han planteado muchas teorías al respecto:

1. Solubilidad lipídica (Meyer y Overton 1901-1902): la potencia narcótica de una serie química es proporcional a sus coeficientes de partición aceite/agua. Acción en los lípidos de las células neuronales.
2. Teoría de los hidratos (Linnus Pauling 1955): Se forman clatratos (microcristales de varias moléculas de agua) en las membranas celulares, afectando su función.
3. Teoría molecular y celular (Franks y Lieb 1994): Los receptores del GABA (ácido gama amino butírico), pueden actuar potenciando la respuesta inhibitoria, sin embargo existe poca evidencia de que se afecten los sistemas de un segundo mensajero. Por otro lado, existen sitios moleculares, para unión a proteínas de la membrana celular (30).

Después de la administración a través de los pulmones, la velocidad de penetración de los anestésicos generales depende de: la velocidad de entrada a la circulación (absorción), la pendiente del gradiente de concentración entre la

sangre y el tejido (distribución), flujo sanguíneo del tejido y afinidad para el anestésico.

Todos los anestésicos administrados por inhalación se absorben y difunden rápidamente al SNC. Se muestran en la Tabla 1 algunas de las características fisicoquímicas de algunos halogenados. (31)

**TABLA 1. NOMBRE, ESTRUCTURA QUÍMICA Y ALGUNAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE ANESTÉSICOS INHALATORIOS MÁS USADOS EN LA ACTUALIDAD.**

	Desflurano	Isoflurano	Sevoflurano
Nombre y Estructura química	Difluorometil 1-fluoro-2,2,2-trifluoroetil éter. $C_3F_4OCH_3$	1-cloro-2,2,2-Trifluoroetil Difluorometil éter $CHF_2OCHClCF_3$	Fluorometil -2,2,2-trifluoro -1-(trifluorometil)-etil éter $CH_2FOCH(CF_3)_2$
Peso molecular	168	184.5	200.1
Punto de ebullición	22.8	48.5	58.5
Coficiente Sangre/ Gas	0.42-0.45	1.38	0.68
CAM*	6	1.15	1.71-2.05
Presión de vapor a 20° C	667	240	157

\*.Concentración Alveolar Mínima

Las concentraciones de los gases anestésicos en el ambiente de trabajo se pueden determinar utilizando métodos analíticos como la cromatografía de gases.

## JUSTIFICACIÓN

A pesar de que los potenciales estragos en la salud del personal que labora en las áreas quirúrgicas por exposición a los anestésicos volátiles han sido ampliamente demostrados en la literatura, a la fecha no se conocen las concentraciones ambientales del Halogenado más utilizado en el Hospital Central Sur de Alta Especialidad de Petróleos Mexicanos (Sevoflurano).

La alta frecuencia del uso de este agente en la práctica de la Anestesia en el H.C.S.A.E. hace necesario establecer sus concentraciones ambientales para hacer un uso racional del mismo entre el personal del Servicio de Anestesiología

de esta Institución; así como el empleo adecuado de los sistemas de extracción de gases que ya existen en estos quirófanos, esto con la finalidad de crear un ambiente con mayor seguridad sanitaria para el personal que labora en esta área. Al realizarse la determinación de estas concentraciones con un análisis por cromatografía de gases capilar no se incurre en ningún riesgo para el personal activo del quirófano ni con sus actividades habituales.

## **HIPÓTESIS**

### HIPÓTESIS VERDADERA

El uso habitual de Sevoflurano en la administración de Anestesia General Balanceada a dosis anestésicas genera residuos ambientales en el Quirófano central del HCSAE Pemex.

### HIPÓTESIS NULA

El uso habitual de Sevoflurano en la administración de Anestesia General Balanceada a dosis anestésicas no genera residuos ambientales en el Quirófano central del HCSAE Pemex.

## **OBJETIVOS**

### OBJETIVO PRIMARIO

Determinar las concentraciones ambientales de, Sevoflurano en las salas del Quirófano Central del Hospital Central Sur de Alta Especialidad de Petróleos Mexicanos. (HCSAE PEMEX) mediante análisis por Cromatografía de Gases Capilar en las salas quirúrgicas que emplean predominantemente Anestesia General Balanceada.

### OBJETIVOS SECUNDARIOS

Evaluar las concentraciones ambientales de, Sevoflurano en las salas del Quirófano del Hospital Central Sur de Alta Especialidad de Petróleos Mexicanos. (HCSAE PEMEX) mediante análisis por Cromatografía de Gases Capilar en las

salas quirúrgicas que emplean predominantemente Anestesia General Balanceada y compararlas con los Estándares Internacionales Permitidos.

Indicar las recomendaciones pertinentes que reduzcan los riesgos por exposición a Halogenados en el personal de los quirófanos de H.C.S.A.E. en caso necesario.

### **TIPO DE ESTUDIO**

Se trata de un estudio de Cohorte-longitudinal-observacional y prospectivo, con recolección prolectiva de datos y de modelo homodémico para las características de las muestras

### **DISEÑO**

La investigación se realizó activamente mediante la búsqueda de información documental, recolección y obtención de reactivos que se detallan a continuación: tubos de ensayo para la recolección de muestras a analizar, cromatógrafo de gases, muestras de aire ambiente obtenidas en las salas quirúrgicas a estudiar, realización de las Curvas de Calibración con las características requeridas en el laboratorio de Cromatografía de la División de Posgrado de la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México.

La descripción de los hallazgos de residuos anestésicos en el aire ambiente se hizo de manera cuantitativa mediante el método descrito para la confección de un cromatograma con los valores que se obtuvieron.

### **DEFINICIÓN DEL UNIVERSO**

Se tomaron muestras de aire en 6 quirófanos del H.C.S.A.E. que emplean la Anestesia General Balanceada como técnica anestésica, cuyas medidas físicas se determinaron en metros de las especificaciones técnicas del edificio con apoyo del Departamento de Mantenimiento de este Hospital, se calculó su volumen como dato referencial.

## TAMAÑO DE LA MUESTRA

Se incluyeron los análisis de 36 muestras, distribuidas de la siguiente manera: 1 muestra por día por cada una de las 6 salas quirúrgicas incluidas durante 6 días consecutivos de una semana establecida. Al tratarse de un estudio observacional no se requiere de un número específico de muestras.

## CRITERIOS

- Criterios de Inclusión: Muestras de aire ambiental obtenidas del fuelle de las máquinas de anestesia en funcionamiento de las 6 salas quirúrgicas del H.C.S.A.E. que emplean predominantemente Anestesia General Balanceada en el horario de 7 am a las 15 horas.

Sala 1	Sala 3	Sala 4	Sala 5	Sala 7	Sala 8
Cirugía Cardiovascular y de Tórax	Cirugía Otorrinolaringológica	Cirugía Oncológica y Cirugía Plástica y Reconstructiva	Cirugía Laparoscópica Ginecológica y de Cirugía General	Cirugía Ortopédica y Cirugía de Columna	Neurocirugía

- Criterios de Exclusión: Muestras de aire ambiental obtenidas del fuelle de las máquinas de anestesia que no estén en funcionamiento de las 6 salas quirúrgicas del H.C.S.A.E. que emplean predominantemente Anestesia General Balanceada y/o que por causas fortuitas se encuentren utilizando otra técnica anestésica en el momento de la toma de la muestra.
- Criterios de Eliminación : Muestras de aire ambiental obtenidas del fuelle de las máquinas de anestesia de las salas quirúrgicas del H.C.S.A.E. que no emplean predominantemente Anestesia General Balanceada.

## **DEFINICIÓN DE VARIABLES**

### **VARIABLES INDEPENDIENTES**

Condiciones de recolección de las muestras: horario, tipo de envase contenedor, técnica anestésica empleada durante la recolección de las muestras.

### **VARIABLES DEPENDIENTES TIPO CUANTITATIVO**

1. Determinación en Partes por millón de Sevoflurano en las muestras obtenidas.

## **MATERIAL Y MÉTODOS**

Se utilizaron tubos Vacutainer™ cerrados al vacío, de los empleados comúnmente para la toma de muestras de sangre con tapó rojo, el cual viene recubierto en su cara interna con una fina capa de glicerina que favorecen el sellado. Los tubos miden (10 X 1.3 cm) con capacidad aproximada de 10 ml. Las muestras se tomaron directamente del fuelle de las máquinas tipo Datex Ohmeda Modelo Aestiva y modelo Avance (existentes en quirófano); retirando el tapón de los tubos durante 10 segundos y tapándolos inmediatamente a temperatura ambiente (20-22°C) y en horarios preestablecidos durante 6 días consecutivos en 1 semana específica. En tales días se tomaron las muestras diariamente de lunes a sábado a las 12:00 horas (del 31 de enero de 2011 al 05 de febrero de 2011)

Los tubos con las muestras de aire se mantuvieron en congelación y se transportaron al laboratorio de Cromatografía de la Sección de Química Orgánica de la División de Posgrado de la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México autorizado por el Comité de Investigación. Se inició la identificación y cuantificación de los residuos del anestésico Sevoflurano, utilizando un cromatógrafo de gases HEWLETT PACKARD; Modelo 5890 Series II, con detector de ionización de flama. (Archivo Fotográfico)

Las condiciones de operación utilizadas fueron las siguientes: columna de sílice fundida de 6'X 1/8", sin empacar. Operada a temperatura de 40°C, con flujo de

Hidrógeno de 22ml/min como gas acarreador, la temperatura del inyector y del detector fue aproximadamente de 100°C. La identificación de los compuestos se realizó por comparación de los tiempos de retención del Sevoflurano en la fase estacionaria de la columna. Las concentraciones del anestésico se determinaron con curvas de calibración realizadas 3 veces para corroborar la reproductibilidad de la muestra y preparándose con concentraciones conocidas de los mismos por vaporización y comparándose con su correspondiente área. Para ello, se inyectaron a temperatura ambiente, utilizando una jeringa Hamilton específica para gas de 250 microlitros (Archivo Fotográfico), obteniendo la muestra en fase gaseosa de cada tubo.

Para la cuantificación se realizaron curvas de calibración basales con 2 valores para cada punto (7 puntos en total). Las curvas de calibración se obtuvieron haciendo diluciones de anestésicos mediante vaporización en condiciones similares a la práctica clínica. Además se aplicó un microlitro de anestésico puro, que se mide con jeringa Hamilton, y se permite un tiempo de estabilización de 60 minutos, para después empezar a tomar muestras de la mezcla de este frasco, y poder realizar las demás diluciones en otros frascos con las mismas características y condiciones.

Al finalizar las determinaciones, se realizaron segundas inyecciones de los frascos con las diluciones de anestésicos, con el fin de confirmar las señales y tiempos de retención establecidos, y así, evitar errores de interpretación de las áreas integradas.

Los resultados obtenidos se expresaron en términos de microgramos de anestésico por mililitro de aire, convirtiéndolas a partes por millón, de acuerdo a la fórmula considerada.  $1 \text{ mcg Sevoflurano /mL Aire} = 1 \text{ Parte Por Millón}$  en términos de volumen.

## PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

TABLA 2

VALORES NUMÉRICOS STANDARD DE LA CURVA DE CALIBRACIÓN

Concentración (%v/v)	Concentración (mg Sevoflorano/mL Aire)	Area pico
1	105.66	43069
1	105.66	42215
2	211.32	123401
2	211.32	122736
3	316.98	196843
3	316.98	195975
4	422.64	260698
4	422.64	261071
5	528.3	323363
5	528.3	323720
6	633.96	361955
6	633.96	359913
7	739.62	393760
7	739.62	389368

TABLA 3

PARTE 1

VALORES INDIVIDUALES POR MUESTRA OBTENIDOS POR  
CROMATOGRAFÍA DE GASES CAPILAR Y SUS PROMEDIOS

<b>Fecha y Lugar de toma de Muestra</b>	<b>Area pico de la muestra</b>	<b>Concentración (<math>\mu\text{g}_{\text{sevoflorano}}/\text{mL}_{\text{aire}}</math>)</b>
31/01/2011- SALA 1	76657	146.846128
31/01/2011- SALA 3	74391	143.4238806
31/01/2011- SALA 4	88159	164.2171295
31/01/2011- SALA 5	77525	148.157030
31/01/2011- SALA 7	79841	151.6547933
31/01/2011- SALA 8	76455	146.5410556
PROMEDIO	78838	150.1400033
01/02/2011-SALA 1	78240	149.2368683
01/02/2011-SALA 3	77772	148.530067
01/02/2011-SALA 4	83430	157.0751137
01/02/2011-SALA 5	67173	132.5228296
01/02/2011-SALA 7	76856	147.1466696
01/02/2011-SALA 8	78743	149.9965287
PROMEDIO	77035.66667	147.4180128

TABLA 3

PARTE 2

VALORES INDIVIDUALES POR MUESTRA OBTENIDOS POR  
CROMATOGRAFÍA DE GASES CAPILAR Y SUS PROMEDIOS

Fecha y Lugar de toma de Muestra	Area pico de la muestra	Concentración ( $\mu\text{g}_{\text{sevoflorano}}/\text{mL}_{\text{aire}}$ )
02/02/2011- SALA 1	109502	196.4505919
02/02/2011- SALA 3	104287	188.5745901
02/02/2011- SALA 4	93757	172.6715606
02/02/2011- SALA 5	111678	199.7369159
02/02/2011- SALA 7	76112	146.0230367
02/02/2011- SALA 8	878116	163.6991106
PROMEDIO	97192	177.859301
03/02/2011-SALA 1	44194	97.81858314
03/02/2011-SALA 3	42038	94.56246427
03/02/2011-SALA 4	44195	97.82009339
03/02/2011-SALA 5	41468	93.68651393
03/02/2011-SALA 7	39600	90.88045231
03/02/2011-SALA 8	38244	88.83254081
PROMEDIO	41621.5	93.93344131

TABLA 3

PARTE 3

VALORES INDIVIDUALES POR MUESTRA OBTENIDOS POR  
CROMATOGRAFÍA DE GASES CAPILAR Y SUS PROMEDIOS

Fecha y Lugar de toma de Muestra	Area pico de la muestra	Concentración ( $\mu\text{g}_{\text{sevoflorano}}/\text{mL}_{\text{aire}}$ )
04/02/2011- SALA 1	39153	90.20536644
04/02/2011- SALA 3	46782	101.727134
04/02/2011- SALA 4	44832	98.78212851
04/02/2011- SALA 5	43036	96.06970297
04/02/2011- SALA 7	36807	86.66229832
04/02/2011- SALA 8	40126	91.67484865
PROMEDIO	41789.33333	94.18691315
05/02/2011-SALA 1	ND	ND
05/02/2011-SALA 3	ND	ND
05/02/2011-SALA 4	ND	ND
05/02/2011-SALA 5	ND	ND
05/02/2011-SALA 7	ND	ND
05/02/2011-SALA 8	25221	69.164435
PROMEDIO	25221	69.164435

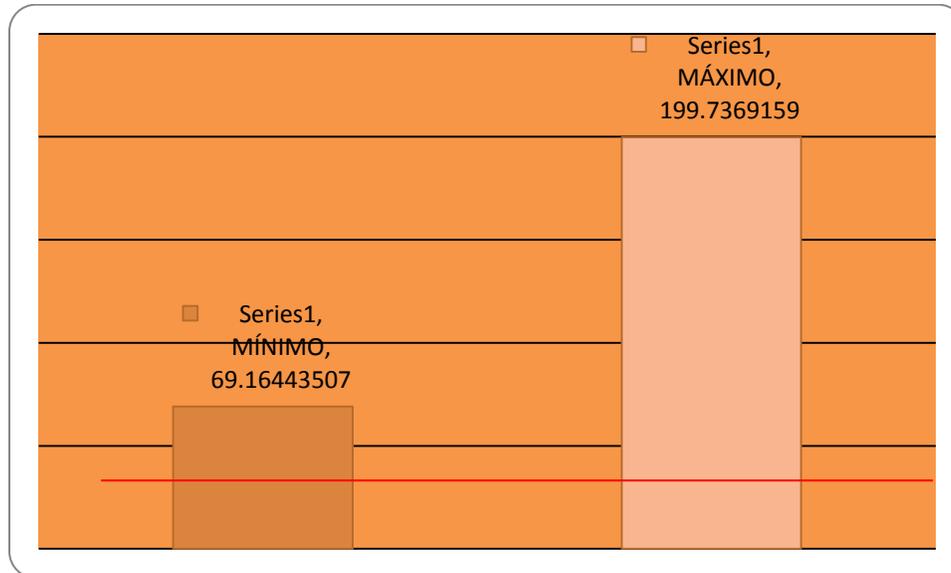
TABLA 4

SEVOFLURANO AMBIENTAL EXPRESADO EN PARTES POR MILLÓN						
SALA	LUNES 31-01-2011	MARTES 01-02-2011	MIERCOLES 02-02-2011	JUEVES 03-02-2011	VIERNES 04-02-2011	SABADO 05-02-2011
SALA 1	146.846128	149.236868	196.450591	97.8185831	90.2053664	ND
SALA 3	143.423880	148.530067	188.574590	94.5624642	101.727134	ND
SALA 4	164.217129	157.075113	172.671560	97.8200933	98.7821285	ND
SALA 5	148.157030	132.522829	199.736915	93.6865139	96.0697029	ND
SALA 7	151.654793	147.146669	146.023036	90.8804523	86.6622983	ND
SALA 8	146.541055	149.996528	163.699110	88.8325408	91.6748486	69.164435.
<b>PROMEDIO POR SALA</b>	150.140003	147.418012	177.859301	93.9334413	94.1869131	69.1644350
<b>PROMEDIO GENERAL</b>	130.6577569					

ND: No Detectable por el equipo empleado.

## GRÁFICA 1

### VALORES GLOBALES MÍNIMOS Y MÁXIMOS EN PPM DE SEVOFLURANO AMBIENTAL



— LÍMITE MÁXIMO PERMITIDO DE SEVOFLURANO AMBIENTAL (2PPM)

## ESTRATEGIA DE ANÁLISIS

Una vez cumplidos la metodología planteada y los criterios planteados , así como las características de las salas quirúrgicas a estudiar se estableció:

1. Curva de calibración: cuyos valores numéricos se exponen en la Tabla 3 y el Anexo 4.
2. Se establecieron las mediciones promedio por día de cada sala a analizar con un promedio de 130.6577569 ppm.
3. Se encontraron de 86.66229832 a 199.7369159 ppm (Partes por Millón) de Sevoflurano, en condiciones habituales de práctica clínica excediendo todos los resultados los límites máximos permisibles. Esto representa 128.6577569 ppm por arriba de los niveles permisibles.

4. El valor máximo se detectó el 02/02/2011 en la sala 5 con una determinación de 199.7369159 ppm. El valor mínimo se detectó el 05/02/2011 en la sala 8 con una determinación de 69.16443507

## **DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES**

El Sevoflurano es un anestésico volátil administrado por inhalación. Puede ser administrado por cualquier método de inhalación con aparatos especialmente diseñados, recomendados para proporcionar un control sobre la concentración al vapor inhalado y evitar la contaminación del medio ambiente en la sala quirúrgica. (33).

Diversos estudios señalan al circuito cerrado como el mejor método para disminuir la concentración de anestésicos del medio ambiente durante el procedimiento quirúrgico (15 y 16). Este procedimiento no es el empleado en las salas quirúrgicas de esta institución, por lo que se esperaba encontrar concentraciones moderadas de residuos anestésicos en el ambiente de las salas quirúrgicas. Sin embargo, los resultados obtenidos en partes por millón y su comparación directa con el estándar internacional (2 ppm según la NIOSH) hacen evidente la alta concentración de este halogenado en el aire ambiental.

Se encontraron de 86.66229832 a 199.7369159 ppm (Partes por Millón) de Sevoflurano, en condiciones habituales de práctica clínica con un promedio general de 130.6577569 ppm esto representa 128.6577569 ppm por arriba de los niveles permisibles.

Se observó que las concentraciones de residuos anestésicos desaparecen completamente del ambiente después de 24 horas, por lo que los sistemas de extracción se consideran eficaces, aunque existe la necesidad de evaluar la eficiencia de los mismos en el entendido de que la concentración ambiental de los residuos de Sevoflurano dependen de la velocidad de evacuación de estos por las Unidades Manejadoras de Aire (UMA).

Por todo lo anterior podemos concluir que la hipótesis verdadera se puede aceptar.

Se sugieren algunas medidas para disminuir el riesgo de inhalación de residuos anestésicos halogenados:

1. El modo de operación para los sistemas de extracción con velocidad de recambio de 20-25 veces por hora de forma ininterrumpida.
2. Utilizar preferentemente el sistema cerrado, así como el empleo de válvulas de evacuación de gases en cada una de las máquinas.
3. Rotar al personal de Anestesiología por servicios donde no se manejan halogenados.
4. Medir la concentración de residuos halogenados en el ambiente de los quirófanos en forma periódica.
5. Calibración frecuente de los vaporizadores y mantenimiento de los equipos, para evitar fugas del fármaco durante los procedimientos anestésicos.
6. Integración de técnicas anestésicas que no requieran el uso de Halogenados, (Anestesia Regional, Anestesia Total Intra Venosa)

## Anexo 1



PETROLEOS MEXICANOS  
SUBDIRECCIÓN DE SERVICIOS DE SALUD  
HOSPITAL CENTRAL SUR DE ALTA ESPECIALIDAD  
DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN

### CARTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

Dado que el cumplimiento de las normas éticas es de vital importancia en la investigación clínica, debe considerarse que el afán por conseguir los objetivos de ésta, jamás debe sacrificar su contenido humano.

De acuerdo con la Ley General de Salud, Título Segundo. De los Aspectos Éticos de la Investigación y debido a que esta investigación se consideró como riesgo mínimo o mayor de acuerdo al artículo 17 y en cumplimiento con los siguientes aspectos mencionados con el Artículo 21:

I. La justificación y los objetivos de la investigación se basan en que a pesar de que los potenciales estragos en la salud del personal que labora en las áreas quirúrgicas por exposición a los anestésicos volátiles han sido ampliamente demostrados en la literatura, a la fecha no se conocen las concentraciones ambientales del Halogenado más utilizado en el Hospital Central Sur de Alta Especialidad de Petróleos Mexicanos (Sevoflurano).

La alta frecuencia del uso de este agente en la práctica de la Anestesia en el H.C.S.A.E. hace necesario establecer sus concentraciones ambientales para hacer un uso racional del mismo entre el personal del Servicio de Anestesiología de esta Institución; así como el empleo adecuado de los sistemas de extracción de gases que ya existen en estos quirófanos, esto con la finalidad de crear un ambiente con mayor seguridad sanitaria para el personal que labora en esta área. Al realizarse la determinación de estas concentraciones con un análisis por cromatografía de gases capilar no se incurre en ningún riesgo para el personal activo del quirófano ni con sus actividades habituales. Con el presente estudio se propone determinar la existencia de residuos del anestésico empleado con mayor frecuencia en el aire ambiente de los Quirófanos Centrales del H.C.S.A.E; de existir tales residuos cuantificarlos por Cromatografía de Gases Capilar en Partes por Millón.

II. Se nos ha informado que los procedimientos a realizarse en el inmueble del H.C.S.A.E. PEMEX, tales como la medición de las salas quirúrgicas y la toma de muestras de aire ambiental no interferirán de ninguna manera en las condiciones de operación del Quirófano Central ni en su personal, cumpliendo de esta manera con los principios de no crear perjuicio alguno durante el desarrollo de este proyecto

III. Se nos plantearon las molestias o los riesgos esperados, que incluyen el traslado de las muestras al laboratorio de Cromatografía en un lapso no mayor a las 4 horas posteriores de la toma, lo cual sucederá únicamente durante el tiempo contemplado para la investigación y se realizará por la titular del estudio exclusivamente

IV. Los beneficios que puedan observarse, tales como el hallazgo de concentraciones de Sevoflurano en el aire ambiente, ayudaran a determinar recomendaciones en la práctica de la Anestesiología para reducir su emisión y de esta forma los potenciales estragos en la salud del personal del Quirófano Central del H.C.S.A.E

V. La finalidad de establecer en los criterios de exclusión a las demás salas quirúrgicas se realizó con fines de simplificación de la muestra y no con fines de dolo, considerando que al emplearse técnicas anestésicas que no utilizan al halogenado estudiado ubican a estas mismas salas en un sitio privilegiado con menor riesgo de exposición a los residuos ambientales de Sevoflurano

VI. La garantía de recibir respuesta a cualquier pregunta y aclaración al inicio y a lo largo del desarrollo del proyecto se ha reiterado de manera constante tanto al Comité de Investigación como al Comité de Ética de esta Institución, incluyendo las relacionadas con los procedimientos, riesgos, beneficios y otros asuntos relacionados con la investigación.

VII. La libertad de retirar el consentimiento en cualquier momento y dejar de participar en el estudio se nos ha brindado en todo momento sin que por ello se creen prejuicios para la institución, el investigador o los objetivos del estudio.

VIII. El compromiso de proporcionarnos información actualizada obtenida durante el estudio aunque ésta pudiera afectar la voluntad de los Comités de Ética e Investigación está hecho.

IX. Que si existen gastos adicionales, éstos serán absorbidos por el presupuesto de la investigación.

Con fecha \_\_\_\_\_, habiendo comprendido lo anterior y una vez que se aclararon todas las dudas que surgieron con respecto a la participación del H.C.S.A.E. PEMEX en el proyecto, aceptamos su participación en el estudio que como proyecto para tesis se presenta y se titula:

*“Concentraciones ambientales de residuos de Sevoflurano en el área de quirófanos centrales del Hospital Central Sur de Alta Especialidad de Petróleos Mexicanos en condiciones habituales de la práctica clínica; mediante análisis por Cromatografía de Gases Capilar que se realizará durante los días comprendidos entre el 31 de enero al 05 de febrero de 2011. “*

Comité De Investigación

Comité de Ética

H.C.S.A.E. PEMEX

H.C.S.A.E. PEMEX

Nombre, y firma del testigo 1

Nombre, y firma del testigo 2

Dirección

Dirección

C. Nadia Limeta Chino Médico Residente del 3er Año de Anestesiología H.C.S.A.E. PEMEX

Nombre y firma del Investigador Responsable o Principal

Este documento se extiende por duplicado, quedando un ejemplar en poder del Comité de Investigación y el Comité de Ética del H.C.S.A.E. y el otro en poder del investigador.

En la formación del investigador se debe crear conciencia de la responsabilidad que asume, así como de que todo lo técnicamente posible, no es éticamente aceptable.



### ANEXO 3 ARCHIVO FOTOGRÁFICO



FACULTAD DE QUIMICA UNAM



DIVISIÓN DE POSGRADO



CROMATÓGRAFO DE GAS Y EQUIPO DE CÓMPUTO ANEXO PARA ANÁLISIS



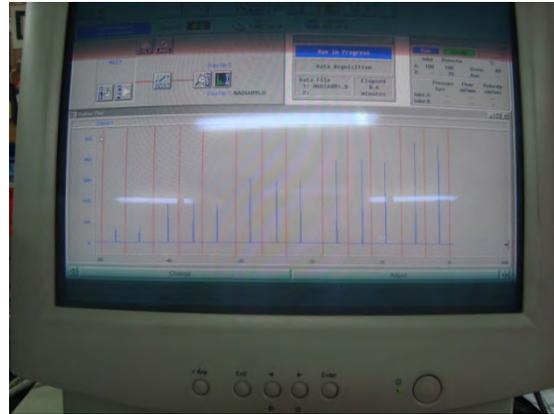
JERINGAS HAMILTON



VAPORIZADOR DE SEVOFLURANO



**TANQUE DE HIDRÓGENO PARA  
ACARREO DE LA MUESTRA**



**REPRODUCIBILIDAD DE LA MUESTRA EN LA CURVA  
DE CALIBRACIÓN**

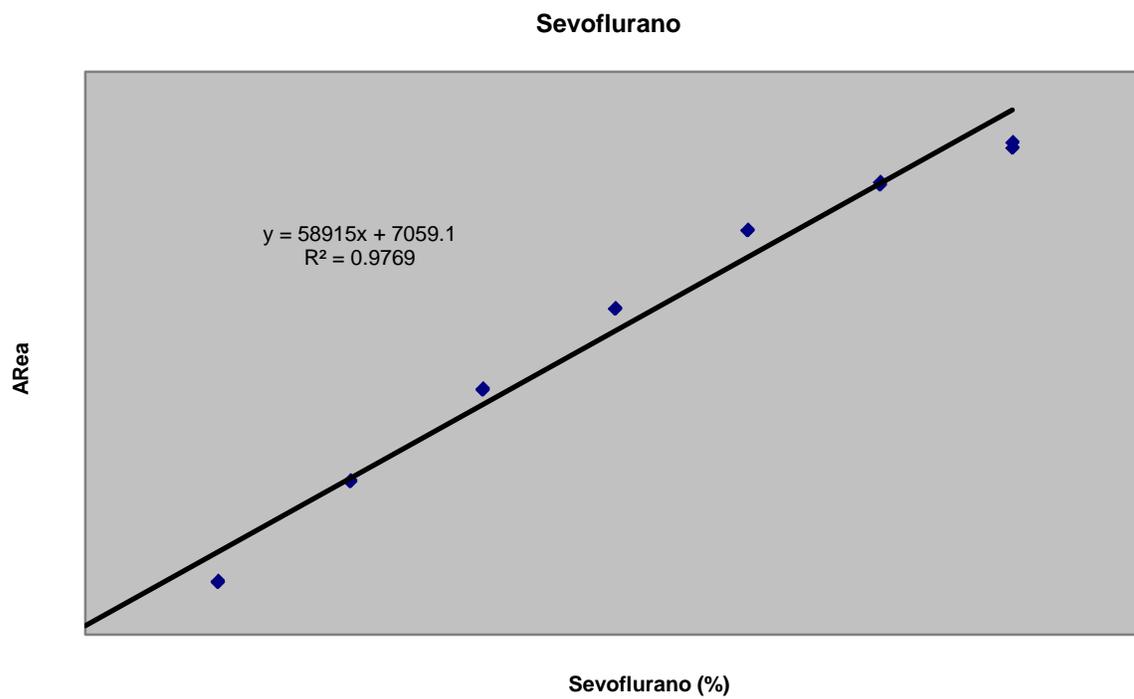


**UNIDADES MANEJADORAS DE AIRE QUIRÓFANO CENTRAL**

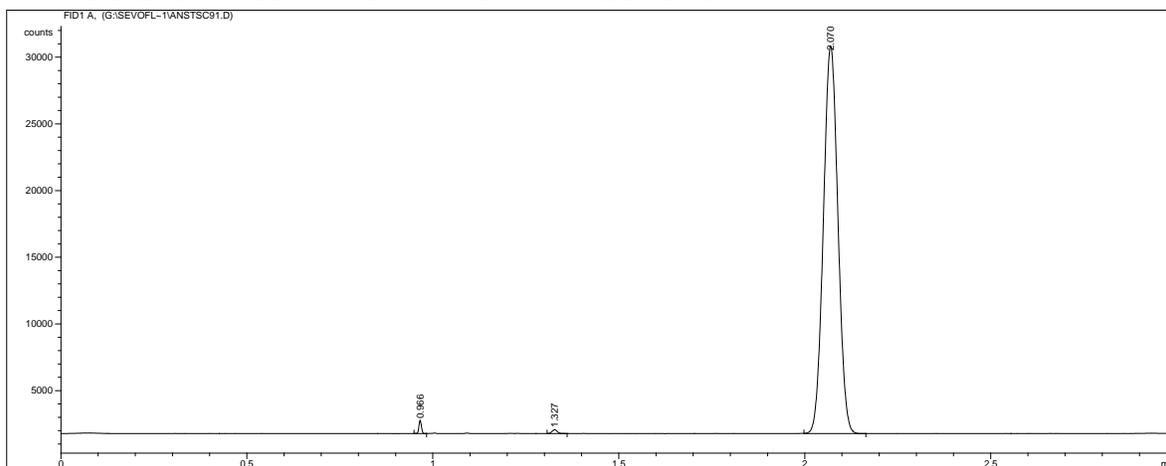


**MODELOS DE MÁQUINAS DE ANESTESIA EMPLEADOS EN EL H.C.S.A.E.**

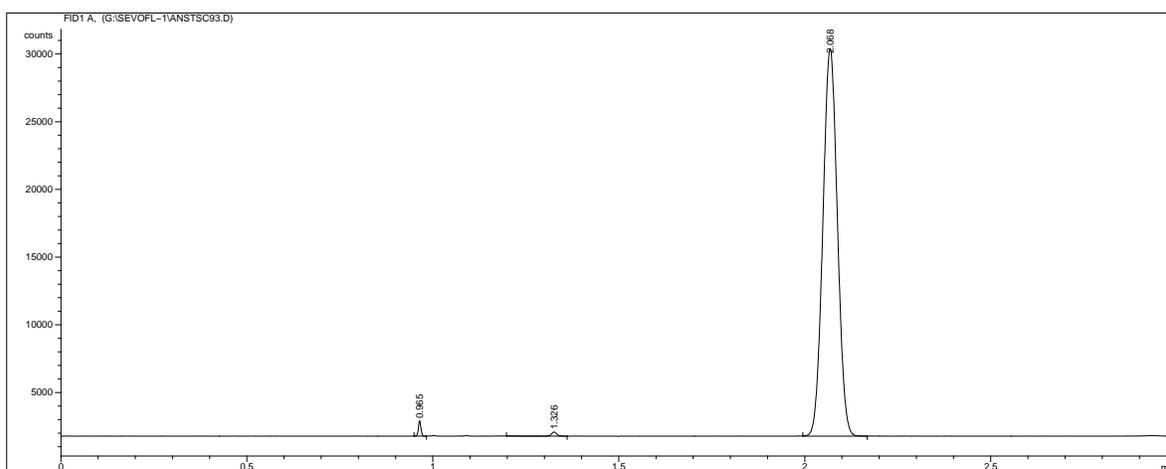
## ANEXO 4 CURVA DE CALIBRACIÓN AJUSTADA



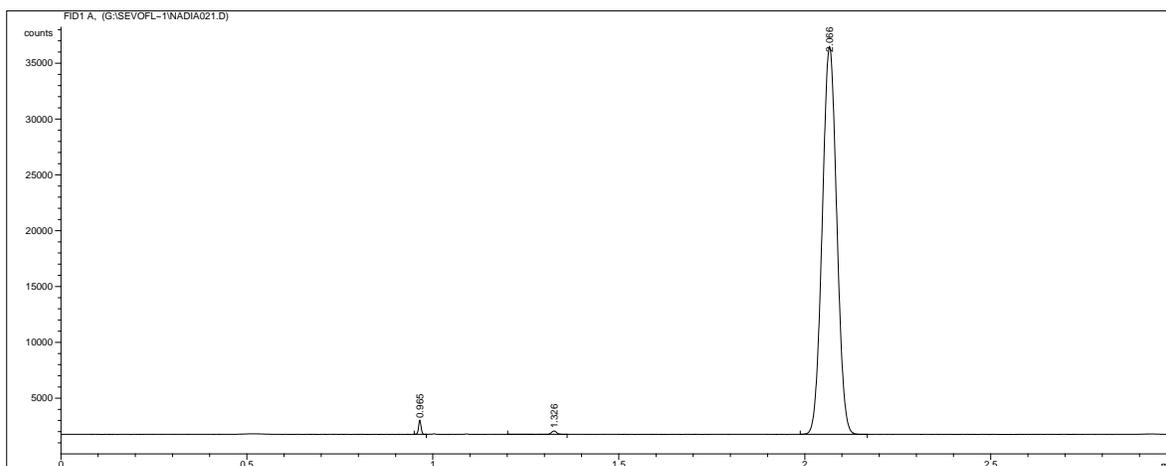
## ANEXO 5 CROMATOGRAMAS REPRESENTATIVOS POR SALA



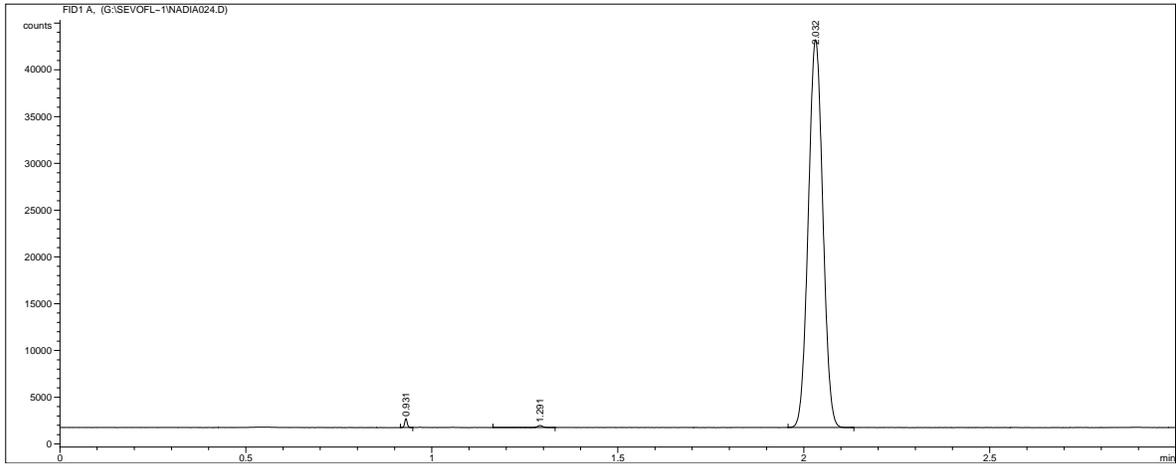
01/02/2011 SALA 1



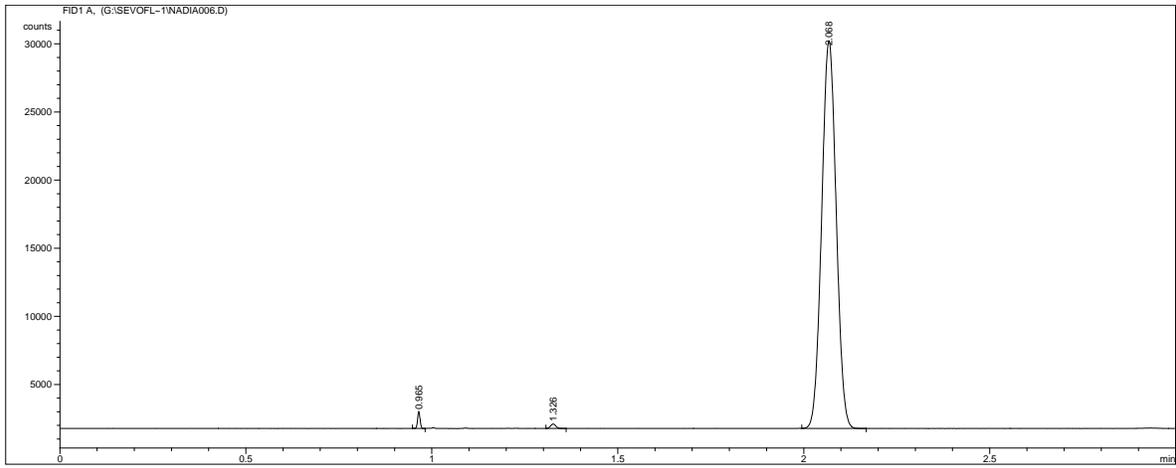
01/02/2011 SALA 3



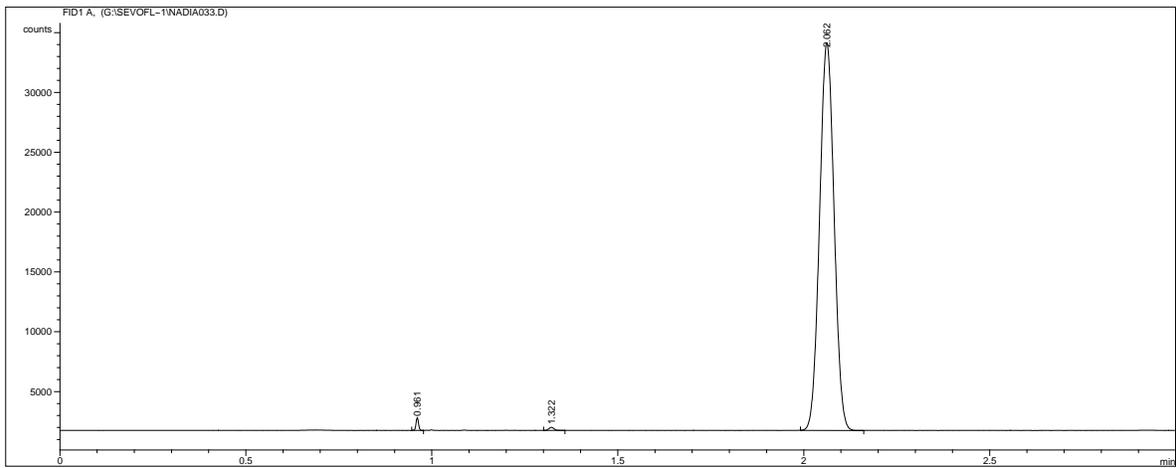
01/02/2011 SALA 4



02/02/2011 SALA 5



01/02/2011 SALA 7



02/02/2011 SALA 8

## BIBLIOGRAFÍA

1. Adaya GAS, Lorenzana-Jimenez M, Cortinas DNC. Cuantificación de halotano y enflurano por cromatografía en fase gaseosa en los quirófanos de un hospital pediátrico. *Rev Mex Anest.* 1987; 10: 147-150.
2. Alderete AM, Dosta H, Guevara O. Pruebas de funcionamiento hepático en anestesiólogos. Tesis, UNAM, D. F., 2000.
3. Angeles-Mar O, Villarejo DM, Pastrana MJL, Becerril MM, Graet SA, Pérez-Tamayo L, Navarrete LR. Evaluación de la función hepática durante la anestesia general con halotano y enflurano en relación con el stress quirúrgico. *Rev Mex Anest.* 1985; 8: 27-34.
4. Anguiano MM, Meraz SR, Soto RB. Contaminación por halotano en el quirófano, con el uso de dos circuitos anestésicos: circuito semicerrado y circuito semiabierto. *Rev Mex Anest.* 1996; 19:65-69.
5. ArteagaMGI. Riesgos socio profesionales del anestesiólogo. *Anest Mex.* 1999; 11: 38-40.
6. Cohen EN. Toxicity of inhalation anaesthetic agents, *Br J Anaesth.* 1978; 50: 665-75
7. De Lille-Fuentes R. Contaminación ambiental en sala de operaciones y sus consecuencias para el anestesiólogo y el personal que labora en ella. *Rev Mex Anest.* 1985; 8: 121-124.
8. Ebers AS y Crowder M. General Anesthetics. En: Hardman JG., Limbird LE., Goodman AG (Eds), Goodman y Gilman's The Pharmacological Basis of Therapeutics, tenth edition, McGraw.Hill, medical publishing division, New York, 2001; 337-65.
9. Granados TS, Lorenza-Jiménez M, Carlos. SL. Contaminación por anestésicos halógenos durante el uso de tres circuitos anestésicos. *Rev Mex Anest.* 1986; 9: 159-167.
10. Harrison W, Braunwald E, Kurt J, Isselbacher. Principios de medicina interna 13a Ed. Interamericana, México 1994: 1511-1515.
11. Hoerauf KH, Wallner T, Akca O, Taslimi R, Sessler DI. Exposure to sevoflurane and nitrous oxide during four different methods of anesthetic induction. *Anest Anal.* 1999; 88(4): 925-929.

12. Huazango G. Cómo elaborar un proyecto de investigación. *Anest Méx.* 1999; 11(1): 36-39
13. Jacobs MB. *Analytical chemistry of industrial poisons, hazards ad solvents*, New York: interscience Publishers, 1941: 64-67.
14. Jonson GJ, Butrino LF, Calderón MRM, Pérez-Tamayo L. La influencia de la contaminación por óxido nitroso y halogenados sobre la determinación del sexo en los hijos de anesestesiólogos. Tesis, UNAM, D.F., 1986.
15. Kanmura Y, Sakai J, Yoshinaka H, Shirao K. Causes of nitrous oxide contamination in operating rooms, *Anesthesiology* 1999; 90(3): 693-696.
16. Leor MH, Lorenzana-Jimenez M, Melaman SE, Zepeda EE. Contaminación y costos de operación en anestesia pediátrica con el uso de dos circuitos anestésicos: circuito cerrado vs circuito semiabierto. *Rev Mex Anest.* 1987; 10: 135-146.
17. Leor MH, Mora SMA, Melman SE, Lorenzana-Jiménez M. Contaminación por gases anestésicos halogenados en quirófano del hospital infantil de México "Federico Gómez" y circuito cerrado. Tesis, UNAM, D.F., 1988.
18. Martínez YJA, Mendoza FVM, Lorenzana- Jimenez M, Pérez RJL, Zúñiga OV, Villarejo DM, Pérez-Tamayo L. Alteraciones perceptuales en el anesestesiólogo secundarias a las concentraciones de anestésicos halognados en sangre. Tesis, UNAM, D.F., 1986.
19. McCammon C, Daniels W., Lee SHealth Hazard Evaluation Report No. 97-0062 1996 National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH)
20. Moreno-Alatorre CR. Breves reflexiones sobre la historia de la anesestesiología en México. *Rev Mex Anest.* 1985; 8: 127-129.
21. Moreno AL, Cano VF, *Epidemiología clínica*. Ed: Facultad de Medicina, UNAM, 1988: 59-81
22. Moreno AL, Güemez SC, Lopez MS. Factores de riesgo en la comunidad I. elementos para el estudio de la salud colectiva. Ed: Facultad de Medicina, UNAM, 1990: 23-41.
23. Montesano DJR. *Manual del protocolo de investigación*. Ed: Auroch, México, 1999: 14-15

24. Munguía F, Espinoza E. Contaminación de quirófanos por halotano y óxido nítrico en el centro hospitalario 20 de noviembre. *Rev Mex Anest.* 1982; 5: 73-78.
25. Prado BS, Mendoza FVM, Becerril MM, García PE, Castillo VFJ, Irigoyen ML, Pérez-Tamayo L. Alteraciones hepáticas e inmunológicas en anestesiólogos producidas por residuos de anestésicos inhalatorios. *Rev Mex Anest.* 1985; 8: 115-120.
26. Serrano MY y Millán GG. Cartas al editor. Riesgo laboral en anestesiólogos y cirujanos. *Rev Mex Anest.* 2000; 23:100
27. Stephen P y Shane AT. Investigación en las ciencias de la salud, Ed: Churchill Livingstone Alambra Longman, Madrid 1993: 395.
28. Stock JGL, Strunin L. Unexplained hepatitis following halothane. *Anesthesiology* 1985
29. Stoelting RK, Miller RD. Bases de la anestesia 3ª. Ed. Interamericana, México 1998: 2611-2613.; 63:424-439.
30. Tait AR, Tuttle DB. Prevention of occupational transmission of human immunodeficiency virus and hepatitis B virus among anesthesiologists: a survey of anesthesiology practice. *Anesth Analg.* 1994; 79: 623-628.
31. Uriah MGL, de Lille FR, Roa AL. Trastornos psicofísicos y del sueño vigilia en personal médico que labora en áreas quirúrgicas. *Rev Mex Anest.* 1994; 17: 12-17.
32. Vega RR. Informe que rinde la comisión de riesgos profesionales del anestesiólogo. *Rev Mex Anest.* 1992; 15: 40-44.
33. Vickers MD, Morgan M, Spencer PSJ y otros. Fármacos en anestesia y cuidados intensivos. 8ª Ed: Prado, México 2002: 160-164, 177-179, 182-190, 195-197.
34. Wiesner G, Hoerauf K, Schroegendorfer K et al. High-level, but not low-level, occupational exposure to inhaled anesthetics is associated with genotoxicity in the micronucleus assay. *Anesth Anal.* 2001; 92(1): 118-122