

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
“ANTONIO NARRO”**

**UNIDAD LAGUNA**

**DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**



**ANÁLISIS DE DIOXINAS EN LA INCINERACIÓN DE  
COMBUSTIBLES EN EQUIPOS INDUSTRIALES**

**POR**

**SUSANA SOSA GONZÁLEZ**

**TESIS**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA**

**OBTENER EL TÍTULO DE:**

**INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES**

**TORREÓN, COAHUILA**

**AGOSTO DE 2006**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"  
UNIDAD LAGUNA

00264

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS  
ANÁLISIS DE DIOXINAS EN LA INCINERACIÓN DE  
COMBUSTIBLES EN EQUIPOS INDUSTRIALES

POR

SUSANA SOSA GONZÁLEZ

TESIS QUE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL COMITÉ  
PARTICULAR ASESORIA Y APROBADO, COMO REQUISITO  
PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO EN PREOCESOS AMBIENTALES

ASESOR PRINCIPAL:

  
Dr. ALEJANDRO MORENO RESÉNDEZ

ASESOR:

  
Ing. JOEL LIMONES AVITIA

ASESOR:

  
Ph D. VICENTE DE PAÚL ALVÁREZ REYNA

ASESOR

  
Dr. JOSÉ LUIS REYES CARRILLO



M C. JOSÉ JAIME LOZANO GARCÍA  
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

Coordinación de la División  
Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAHUILA.

AGOSTO DE 2006

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"  
UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

TESIS QUE LA C. SUSANA SOSA GONZÁLEZ SOMETE A LA  
CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR, COMO  
REQUISITO PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

APROBADA POR:

PRESIDENTE

  
Dr. ALEJANDRO MORENO RESÉNDEZ

VOCAL

  
Ing. JOEL LIMONES AVITIA

VOCAL

  
Ph D. VICENTE DE PAÚL ALVÁREZ REYNA

VOCAL

  
Dr. JOSE LUIS REYES CARRILLO

  
M C. JOSÉ JAIME LOZANO GARCÍA  
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

Coordinación de la División  
de Carreras Agronómicas



## **DEDICATORIAS**

### **A DIOS.**

Por estar a mi lado encaminándome por el buen camino, saber que cuando te necesito estas a mi lado y que todos los días estas en mis pensamientos y en mis oraciones.

### **A MIS PADRES.**

Magdalena González y Jesús N. Sosa por el apoyo incondicional durante toda mi vida. Por el cariño y amor que recibo de los dos gracias padres por educarme y darme la mejor herencia mis estudios.

### **A MIS HERMANOS.**

Isabel, Verónica y José R. por todo el apoyo recibido de los tres por momentos que hemos pasado, los consejos que recibí de cada uno de ellos y el amor que les tengo y recibo de ustedes, los quiero pero sobre todo son los mejores hermanos. A mis sobrinas Fernanda y Natalia por ser las niñas más lindas, las quiero hijas.

### **A MIS ABUELITAS.**

Marta por tus oraciones y tus buenos deseos.

Eulalia (f), siempre estas en mis pensamientos y en mi corazón gracias por cuidarme en donde estes.

### **A MIS AMIGOS.**

Katy, Emilia, Isabel, Esther, Rosario, Elizabeth, Julián, Lizzy, Nelly, Andrea, Marco y Moisés por la amistad que recibí de todos ustedes y por los buenos momentos que pasamos.

## **AGRADECIMIENTOS**

**A MI "ALMA TERRA MATER"** por darme la oportunidad de formar parte de esta gran familia y por brindarme las herramientas suficientes para afrontar mi vida profesional.

Al **Ing. Joel Limones Avitia** por su apoyo en la realización de esta tesis, sus conocimientos y su amistad. **GRACIAS**

**AL Dr. Alejandro Moreno Resendez** que en el trayecto de mi carrera profesional recibí su apoyo y amistad. **GRACIAS**

**AL Ph D. Vicente De Paúl Álvarez Reyna** por su contribución en mi formación profesional. **GRACIAS.**

**AL Dr. José Luís Reyes Carrillo** por su apoyo en la realización de mi tesis. **GRACIAS.**

**AL COECYT** por otórgarme y financiarme la Beca -Tesis. **GRACIAS**

## ÍNDICE

|  |    |
|--|----|
| I. Introducción.....   | 1  |
| 1.1 Objetivo.....  | 3  |
| 1.2 Hipótesis.....   | 3  |
| II. Revisión de literatura.....  | 4  |
| 2.1 Definición de las dioxinas.....  | 4  |
| 2.2 Estructura molecular de la dioxina.....  | 5  |
| 2.3 Mecanismos de formación de dioxinas.....   | 5  |
| 2.4 Procesos que dan origen a las dioxinas .....                                     | 6  |
| 2.5 Exposición humana y ambiental a emisiones procedentes<br>de la incineración..... | 7  |
| 2.6 Biomagnificación en los organismos vivos.....                                    | 8  |
| 2.7 Impacto en la salud humana.....  | 10 |
| 2.8 Equipos empleados para la incineración de compuestos sólidos.....                | 13 |
| 2.9 Tipos de incineradores de desechos sólidos .....                                 | 15 |
| 2.10 Control de emisiones en plantas incineradoras.....                              | 16 |
| 2.11 Emisiones de los incineradores.....   | 18 |
| 2.11.1 Emisiones al aire.....  | 19 |
| 2.11.2 Emisiones al agua.....  | 20 |
| 2.11.3 Emisiones en las cenizas.....   | 20 |
| 2.12 Alternativas contra la incineración.....  | 21 |
| III. Materiales y Métodos.....   | 22 |
| 3.1 Características de los equipos evaluados.....                                    | 23 |
| 3.2 Metodología de las Mediciones.....   | 26 |
| 3.3 Uso y empleo de los factores de emisión.....                                     | 29 |
| 3.3.1 Aplicación de los factores de emisión (EF).....                                | 30 |
| IV. Resultados.....  | 31 |
| V. Discusión.....  | 36 |
| VI. Conclusiones y recomendaciones.....  | 37 |
| VII. Resumen.....  | 38 |
| VIII. Literatura Revisada.....   | 39 |

## ÍNDICE DE CUADROS

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Cuadro 1.- Resumen de estudios sobre la salud de las poblaciones que viven cerca de incineradores (Bélgica, Escocia, Taiwán, España, Alemania, Italia, Estados Unidos, Reino Unido).<br/>Periodo 1998 - 2000.....</b> | <b>11</b> |
| <b>Cuadro 2.- Valores límites de emisiones al aire de la Unión Europea.....</b>  | <b>20</b> |
| <b>Cuadro 3.- Calderas, tipos, características y sus funciones.....</b>  | <b>23</b> |
| <b>Cuadro 4.- Características nominales de los equipos evaluados en la planta dedicada a la fabricación de alimento balanceado.....</b>  | <b>24</b> |
| <b>Cuadro 5.- Características nominales de los equipos evaluados en la planta dedicada a la fabricación de prendas de vestir.....</b>  | <b>25</b> |
| <b>Tabla 6.- Resumen de los resultados obtenidos de cada uno de los parámetros evaluados por equipo.....</b>   | <b>35</b> |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1. Dioxina (2, 3, 7, 8 - Tetraclorodibenzo-P-Dioxina).....                                  | 5  |
| Figura 2. Cambios en el nivel de contaminación a medida que asciende<br>la cadena alimentaria..... | 9  |
| Figura 3. Incinerador con recuperación de energía.....   | 13 |



## I. INTRODUCCIÓN

Debido a las medidas internacionales adoptadas para reducir o eliminar la producción de dioxinas, los niveles de estos compuestos en el ambiente han disminuido desde principios de los años setenta. Principalmente las dioxinas son un problema presente en los incineradores de residuos industriales. Las dioxinas están ampliamente difundidas en el ambiente en concentraciones bajas, y su desintegración por procesos naturales no es fácil. Se considera que las dioxinas se originan como subproducto de diversos procesos químicos, incluidos algunos métodos de refinación de metales, blanqueo de pulpa y papel a base de cloro y la combustión de ciertos materiales, en especial plásticos. Una de las grandes preocupaciones por la producción de dioxinas es que las emisiones industriales de estos compuestos al ambiente, pueden ser transportadas a grandes distancias por las corrientes atmosféricas y marinas o a través de los ríos. Por la cual, hoy en día las dioxinas se encuentran en cualquier lugar del planeta (Meneses *et al.*, 1999).

Las dioxinas, dentro del grupo de Contaminantes Orgánicos Persistentes (COPs), son compuestos altamente tóxicos que persisten en el ambiente durante periodos prolongados sin degradarse y se acumulan en los tejidos de los organismos vivos. Debido a esta situación el primer paso para eliminar las dioxinas es identificar sus fuentes. A la fecha ningún país ha identificado totalmente las fuentes de dioxinas al ambiente. Sin embargo, los inventarios de fuentes de dioxinas al aire, existentes en varios países, señalan a los procesos de incineración de residuos como los principales responsables de esas emisiones (Elías, 2002).

Las Dibenzo - p - Dioxinas Policloradas (DDPCs), una variante de las dioxinas se forman durante la cloración del agua en plantas de tratamiento de aguas residuales y agua potable. También pueden producirse como contaminantes en la manufactura de ciertos productos químicos orgánicos. Además, las DDPCs se liberan al aire en las emisiones que se generan en los incineradores de residuos sólidos municipales o industriales (Elías, 2002).

- En forma pura, las DDPCs son sólidos cristalinos incoloros. Estos compuestos entran al ambiente en forma de mezclas que contienen una variedad de componentes individuales e impurezas. En el ambiente tienden a asociarse con cenizas, el suelo, o con cualquier superficie con alto contenido orgánico, por ejemplo las hojas de las plantas. En el aire y el agua, una porción de las DDPCs se puede encontrar en forma de vapor o disueltas, dependiendo de las siguientes variables (Alaluusua 1999):
- Cantidad de materia particulado presente en la corriente gaseosa.
- La temperatura de dicha corriente.
- Factores ambientales.

Las DDPCs ocurren naturalmente en el ambiente ya que las actividades de combustión generan este tipo de contaminantes. En forma natural los DDPCs, se forman durante la combustión incompleta de la materia orgánica existente en los incendios forestales, estos contaminantes también son generados por las actividades volcánicas. Actualmente la dioxina más estudiada y más tóxica es la 2, 3, 7, 8 -tetracloro-dibenzo-p-dioxina, conocida comúnmente como TCDD. (Elías, 2003).

### **Efectos de las dioxinas en la salud humana**

La historia de los efectos, sobre la salud humana, de las dioxinas inicia en el año 1949 con la explosión ocurrida en la planta química localizada en Montsanto en Nitro, Virginia, EUA. La utilización de agentes defoliantes durante la guerra de Vietnam establecía una causalidad directa entre dioxinas y determinadas patologías en humanos. En 1994 las autoridades norteamericanas aceptaron la relación entre nueve patologías del cáncer, y la exposición a defoliantes. Diez años antes, en 1984, las empresas fabricantes de los productos químicos utilizados en Vietnam, llegaron a un acuerdo con los veteranos: 180 millones de dólares a cambio de que estos renunciasen a todo tipo de acción judicial posterior (Chen *et al.*, 1988).

Durante 1968 en Yusho, Japón, 2000 personas sufrieron envenenamiento por consumo de aceite de arroz contaminado por dioxinas. En 1976 en Seveso, Italia, se produjo la liberación masiva de una nube tóxica que

contenía dioxinas. Otro indicador de los efectos de las dioxinas en los humanos fue el accidente que tuvo lugar en la planta industrial de ICMESA de la empresa Hoffman-La Roche. Provocando numerosas víctimas y mató a 73,000 animales domésticos obligando a la evacuación de 700 personas. En febrero de 1999 en Bélgica, aparece un nuevo episodio relacionado otra vez, con la contaminación de alimentos destinados al consumo humano, "las dioxinas de los huevos". En esta ocasión el origen de la presencia de las dioxinas se debía a la contaminación de piensos destinados al cebado de pollos. En todos los casos citados, el patrón de presencia de las diferentes dioxinas, es muy similar: 2,3,7,8 TCDF; 1,2,3,7,8 PCDF; 2,3,4,7,8 PCDF; 1,2,3,4,7,8 HCDF y 2,3,7,8 TCDD. Todos los compuestos tienen cloradas las posiciones 2, 3, 7 y 8 (Bernard *et al.*, 1999).

## **1.1 OBJETIVOS**

Determinar la presencia de dioxinas, emitidas a la atmósfera por de actividades industriales, principalmente de aquéllas donde se lleva a acabo la combustión de combustibles fósiles: sólidos, líquidos o gaseosos.

Verificar si las emisiones de este tipo de contaminantes están dentro de los parámetros que para tal efecto expiden las Normas Oficiales Mexicanas correspondientes a la prevención y control de la contaminación a la atmósfera.

## **1.2 HIPÓTESIS**

El incremento de la actividad industrial, base del progreso en las naciones del mundo, ha incrementado el nivel de contaminantes a la atmósfera por las actividades industriales.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Definición de las dioxinas

Las dioxinas son compuestos químicos tóxicos que se forman durante la combustión (quema) de materiales y la fabricación de ciertos productos químicos clorinados. Adicionalmente las dioxinas son emitidas por una gran variedad de fuentes que incluyen: autos y camiones, incineración de desechos y otras fuentes industriales que usan combustibles. Estos compuestos pueden contaminar la vegetación, ser ingeridos por los animales y el hombre o inhalados directamente provocando su acumulación dentro de los diferentes organismos. El Consejo de Recursos Atmosféricos (CRA) ha identificado las dioxinas como un contaminante tóxico del aire (CTA) y estos compuestos se listan como contaminantes dañinos del aire por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA). Las dioxinas (policlorodibenzodioxinas, policlorodibenzofuranos y otras sustancias relacionadas, como PCBs), son uno de los grupos de sustancias químicas más estudiados debido a su gran toxicidad (Allsopp, 2001).

Las dioxinas no se producen comercialmente porque no se les conoce ninguna utilidad o aplicación, sin embargo se forman de manera espontánea en un gran número de procesos industriales, principalmente como subproductos en los que interviene el cloro. Por ejemplo, en la elaboración del plástico PVC, en los procesos de síntesis de plaguicidas y disolventes organoclorados y durante diversos procesos de combustión de compuestos organoclorados, (que tienen carbono y cloro en su molécula), como ocurre en los incineradores de residuos peligrosos o durante incendios accidentales de materiales o productos clorados (Costner y Thornton, 1990).

La principal fuente de emisión atmosférica de dioxinas es la incineración de residuos peligrosos, domésticos, hospitalarios o debido al uso de residuos peligrosos como combustible alternativo en los hornos de cemento. Estos contaminantes también se encuentran en el agua, como resultado de las

descargas de la industria papelera que usa gas cloro para blanquear la pulpa de papel y producir papel, debido a lo anterior es que las dioxinas se forman al reaccionar el cloro con la lignina de la madera (Matsuko,1999).

## 2.2 Estructura molecular de la dioxina

La figura 1 se muestra la composición molecular de ciertos compuestos clorados, aromáticos, lipofílicos no polares, es decir compuestos químicos solubles en grasas y poco solubles en agua. Estos compuestos tienen anillos bencénicos interconectados por uno o dos átomos de oxígeno y además contienen en sus anillos átomos de cloro. Estos compuestos normalmente se dividen en dos grupos, el grupo 1, comprende a todos aquellos compuestos que cuentan con un átomo de cloro y se denominan, dioxinas monocloradas. El grupo 2, son aquellas sustancias que en su estructura se tienen 2 o más átomos de cloro y se les denomina como dioxinas bicloradas, tricloradas, dependiendo del número de cloros en sus anillos (Viel *et al.*, 2000).

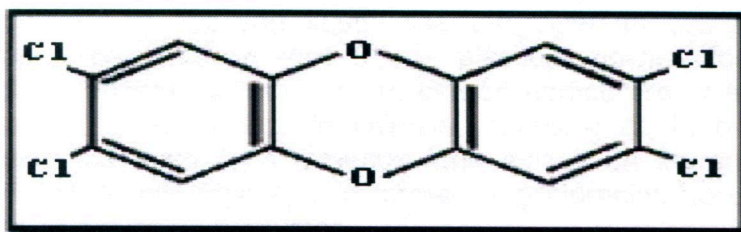


Figura 1. Dioxina (2, 3, 7, 8 - Tetraclorodibenzo-P-Dioxina) (Tomado de Viel *et al.*, 2000).

## 2.3 Mecanismos de formación de dioxinas

Una de las principales fuentes de contaminación por DDPCs la constituyen los procesos de incineración y combustión, que a través de sus emisiones gaseosas emiten estos contaminantes al ambiente. En estos procesos las dioxinas se pueden liberar a través de cuatro mecanismos (Vikelsee y Johansen, 2000).

- Las dioxinas pueden estar previamente presentes en el material de alimentación y no se destruyen completamente durante la incineración o combustión, con las altas temperaturas a las que se realizan estos procesos.
- Las dioxinas pueden formarse por descomposición térmica y reordenamiento molecular de alguno de los siguientes compuestos hidrocarburos aromáticos clorados que tienen compuestos con un parecido estructural con las moléculas de DDPCs. Entre los precursores que se han identificado se encuentran los bifenilos policlorados (PCB's), fenoles clorados (CP's), bencenos clorados (CB's).
- Se cree que la formación de DDPCs ocurre después que el precursor se ha condensado y adsorbido en sitios de ligazón de la superficie de partículas de ceniza. Los sitios activos de la superficie de las partículas de ceniza, promueven las reacciones químicas de formación de DDPCs. Se ha identificado como una condición necesaria para que estas reacciones ocurran que la temperatura oscile de 250-450°C, ya que temperaturas inferiores o superiores, se inhiben el proceso de formación de las dioxinas. Por lo tanto, la teoría de los precursores se enfoca a la zona de la cámara de combustión que está lejos de la zona de altas temperaturas del horno o cámara de combustión.
- Las dioxinas pueden formarse por síntesis *de novo* en la llamada zona fría del proceso de combustión, durante los procesos de condensación o enfriamiento de las emisiones gaseosas resultantes. En este caso, las DDPCs se forman a partir de partes que tienen un pequeño parecido con la estructura molecular de las DDPCs. En un sentido amplio, no son precursores e incluyen sustancias tan diversas como productos de petróleo, plásticos clorados (PVC), plásticos no-clorados (poliestireno), celulosa, lignina, coque, carbón, carbón particulado, y ácido clorhídrico gaseoso. La formación de DDPCs requiere de la presencia de un donante de cloro (una molécula que aporte un átomo de cloro a la molécula de pre-dioxina) y la formación y cloración de un intermediario químico que es un precursor.

La diferencia básica entre los dos últimos mecanismos es que el primero requiere la presencia de compuestos precursores en el material de alimentación, mientras que el otro comienza con la combustión de diversas sustancias que no están definidas como precursores, las que eventualmente reaccionan para formar precursores y posteriormente moléculas de dioxinas. (Smit *et al.*, 1999).

## 2.4 Procesos que dan origen a las dioxinas

Unas de las muchas variedades de dioxinas que se conocen son las sustancias dibenzoparadioxinas, las cuales pueden producirse y liberarse en forma intencional a partir de los siguientes procesos (Montague, 1990):

- Quema a cielo abierto de desechos sólidos, incluida la quema en vertederos.
- Procesos térmicos de la industria metalúrgica.
- Fuentes de combustión doméstica.
- Combustión de combustibles fósiles en centrales termoeléctricas o calderas industriales.
- Instalaciones de combustión de madera u otros combustibles de biomasa.
- Procesos de producción de productos químicos determinados que liberan de forma intencional contaminantes orgánicos persistentes formados especialmente durante la producción de clorofenoles y cloranil.
- Vehículos de motor, en particular los que utilizan gasolina con plomo como combustible.
- Destrucción de carcasas de animales.
- Teñido (con cloranil) y terminación (con extracción alcalina) de textiles y cueros.
- Plantas de desague para el tratamiento de vehículos una vez acabada su vida útil.

## **2.5 Exposición humana y ambiental a emisiones procedentes de la incineración.**

En estudios realizados dos han demostrado que las plantas incineradoras, pueden contribuir a la contaminación local, de los suelos y la vegetación, con dioxinas y metales pesados. En varios países europeos como Inglaterra, España, Finlandia, Irlanda y Francia se ha encontrado que la leche de vaca procedente de granjas situadas en las inmediaciones de los incineradores contiene niveles elevados de dioxinas (Alvarado, 2005).

Las poblaciones que residen cerca de los incineradores se encuentran expuestas a diversos productos químicos, bien por inhalación del aire contaminado, consumo de productos agrícolas locales (verduras, huevos y leche), o por el contacto directo con el suelo contaminado. Se reconoce lo anterior debido a que se han detectado incrementos significativos de los niveles de dioxinas en los tejidos corporales de las personas que viven cerca de los incineradores. Así por ejemplo, en Finlandia se encontró que la proporción de mercurio en el cabello de las personas que vivían cerca de un incinerador fue superior al resto de la población, posiblemente debido a las emisiones del incinerador. Igualmente en España, se han detectado niveles elevados de tioéteres en la orina de niños que vivían cerca de una planta incineradora.

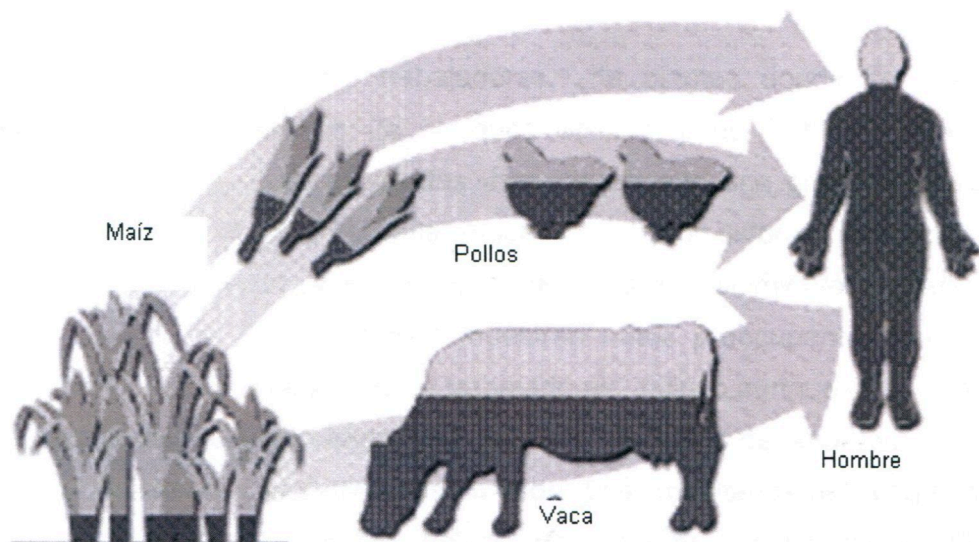
También se encontraron niveles elevados de ciertos PCBs en la sangre de niños, que vivían cerca de un incinerador de residuos tóxicos y peligrosos en Alemania (Donaldson *et al.*, 2000).

Las dioxinas han llegado a ser virtualmente imposibles de evitar. Se presume que toda la gente sobre la faz de la Tierra contiene dioxinas en su cuerpo. Lo anterior se debe a que el traslado de las dioxinas, a largas distancias, es posible ya que se les puede encontrar en sistemas naturales en casi todo el mundo, incluyendo áreas alejadas a las fuentes de emisiones industriales. Aproximadamente del 90 al 95 % de la exposición humana a las dioxinas proviene de los alimentos, especialmente de carnes y lácteos. Las dioxinas se acumulan en grasas y aceites, predominantemente en organismos vivos, y son persistentes porque se descomponen muy poco en el tejido animal, humano y en el ambiente. Se estima que la vida media de las dioxinas en el cuerpo humano es de 7 años (Hansen, 2000).

## **2.6 Biomagnificación en los organismos vivos**

Las dioxinas se bioacumulan en los tejidos grasos de los organismos y se biomagnifican: incrementan su concentración progresivamente a lo largo de las cadenas alimenticias. En la figura 2 se muestra un ciclo alimenticio del hombre, donde se muestran las propiedades vías de transmisión de las dioxinas al hombre, algunas vías de transmisión pueden ocurrir por medio de los alimentos que se consumen, así en el ciclo alimenticio mostrado en la figura 2, se puede observar que las dioxinas pueden transmitirse al ser humano por consumo de productos de aves, de ganado o por digesta de ciertos productos vegetales (McGregor *et al.*, 1998).





**Figura 2. Cambios en el nivel de contaminación a medida que asciende al hombre en la cadena alimentaria (McGregor *et al.*, 1998).**

Como los organismos no pueden descomponer las dioxinas fácilmente, estos compuestos atraviesan la cadena alimenticia o trófica, pasando de la presa al depredador. Cada nivel de la cadena tiene una concentración más alta de dioxinas en su cuerpo, un proceso conocido como biomagnificación. Los humanos, a la cabeza de la cadena alimenticia o trófica, reciben dosis más altas de dioxinas que cualquier especie. Ingeren los individuos dioxinas adicionales por cada comida pero tienen poca capacidad para descomponerlas, la cantidad presente en el cuerpo tiende a aumentar a lo largo de la vida de un individuo. Sin embargo, la exposición crónica supone un gran riesgo para los lactantes, por su alta proporción de ingesta de comida en relación a su peso corporal y porque su dieta consiste en leche materna, la cual tiene mucha grasa y, por lo tanto, dioxinas (Williams, 1990).

## 2.7 Impacto en la salud humana

Estudios realizados en trabajadores de plantas donde se realizan operaciones de incineración de residuos sólidos y de habitantes de las poblaciones cercanas a estas plantas, han identificado una gran variedad de efectos asociados a la salud humana. Algunos de dichos estudios han mostrado que las dioxinas pueden causar cáncer, defectos en nacimientos y daños al hígado. (Cuadro 1). Estos estudios muestran datos preocupantes sobre los posibles impactos en la salud de los trabajadores; incluso aunque el número de estudios (en particular aquellos que se han realizado de acuerdo con los rigurosos estándares científicos) sea limitado. Los resultados del resumen de los estudios sobre la salud de las poblaciones que viven cerca de incineradores en el cuadro 1 se pueden interpretar como indicativos del daño potencial que los incineradores pueden representar para el hombre (Allsopp *et al.*, 2001).

**Cuadro 1.- Resumen de los estudios sobre la salud de las poblaciones que viven cerca de incineradores (Bélgica, Escocia, Taiwán, España, Alemania, Italia, Estados Unidos, Reino Unido). Período 1998 - 2000 (Allsopp et al., 2001).**

| Biomarcadores de exposición   | Comentarios  |
|---|--|
| Elevados niveles de tioéteres en orina de niños.                                  | Los niveles de tioéteres en orina son más altos en niños que viven cerca de un incinerador.  |
| Daño cromosómico "no anormal".  | Daños cromosómicos no excesivos entre niños que viven cerca de los Incineradores.  |
| <b>Cáncer</b>   |  |
| Incremento de un 44% en sarcoma de tejido blando, y un 27% en linfoma no-Hodgkin. | Incremento significativo de estos tipos de cáncer en residentes que viven cerca de un incinerador. Posiblemente debido a la exposición a Dioxinas.   |
| Se eleva 6,7 veces la probabilidad de mortalidad por cáncer de pulmón.            | Aumento significativo de la incidencia de este cáncer en residentes que viven cerca de un incinerador de Residuos Sólidos Urbanos (RSU).   |
| Incidencia significativa de cáncer de laringe.                                    | Se encontró una mortalidad elevada por este cáncer, en residentes que viven cerca de un incinerador, un relleno, y una refinería.  |
| Aumento del 37% en la mortalidad por cáncer de hígado.                            | Los resultados de un estudio realizado a 14 millones de personas que viven en un radio de 7,5 km de los 72 incineradores de RSU en el Reino Unido, señalan que el incremento en la probabilidad de cáncer de hígado oscilaba entre un 20 y un 30%. |
| Incremento de dos veces en la probabilidad de mortalidad por cáncer infantil.     | Estudio llevado a cabo en 70 incineradores de RSU en el Reino Unido y en 307 incineradores de residuos hospitalarios.  |

Cuadro 1. Continuación...

| Biomarcadores de exposición   | Comentarios   |
|---|---|
| <p><b><u>Proporción de sexos</u></b><br/>Aumento del nacimiento de niñas.</p>   | <p>Los estudios han demostrado un incremento en los nacimientos de niñas entre padres que, de forma accidental, se han expuesto a altos niveles de dioxinas.</p>  |
| <p><b><u>Mal formaciones congénitas</u></b><br/>Incremento en la incidencia de nacimientos de niños con "labio leporino". Otras malformaciones congénitas incluyen espina bífida e hipospadias.</p> | <p>Se observó un incremento significativo en los nacimientos de niños con "labio leporino" en zonas situadas cerca de un incinerador que se utilizaba para la quema de sustancias químicas. Es probable que exista una relación entre esta incidencia y vivir cerca de un incinerador, aunque no está confirmada.</p> |
| <p>Aumenta 126 veces la probabilidad de malformaciones congénitas en los nuevos nacimientos.</p>  | <p>Un estudio realizado en una población que vive cerca de dos incineradores de RSU.</p>  |
| <p>Incremento en las malformaciones oculares congénitas (Informe anecdótico).</p>   | <p>Aparecieron publicadas noticias sobre el incremento de estas malformaciones en un área cercana a dos incineradores de residuos químicos en Escocia, Reino Unido.</p>   |
| <p><b><u>Embarazos múltiples</u></b><br/>Posible incremento en la proporción de embarazos gemelares y múltiples.</p>  | <p>Aumento significativo del nacimiento de gemelos, en la población de una zona cercana a un incinerador. Estos embarazos no se daban en todos los países solo los que exponían a la incineración de RSU.</p>   |

## 2.8 Equipos empleados para la incineración de compuestos sólidos

La instalación de un incinerador se compone de:

- Una cámara de postcombustión de ejecución horizontal.
- Sistema enfriador de gases de combustión.
- Reactor de neutralización de gases ácidos por vía semiseca. En esta parte también existe la inyección de carbón activo para el abatimiento de metales y restos de compuestos orgánicos organoclorados.

En la figura 3, se muestra los principales componentes de un incinerador de compuestos sólidos, este tipo de procesos de incineradores de sólidos cuentan con la característica de que pueden ser auxiliares en la generación de energía (Romero, 2000).

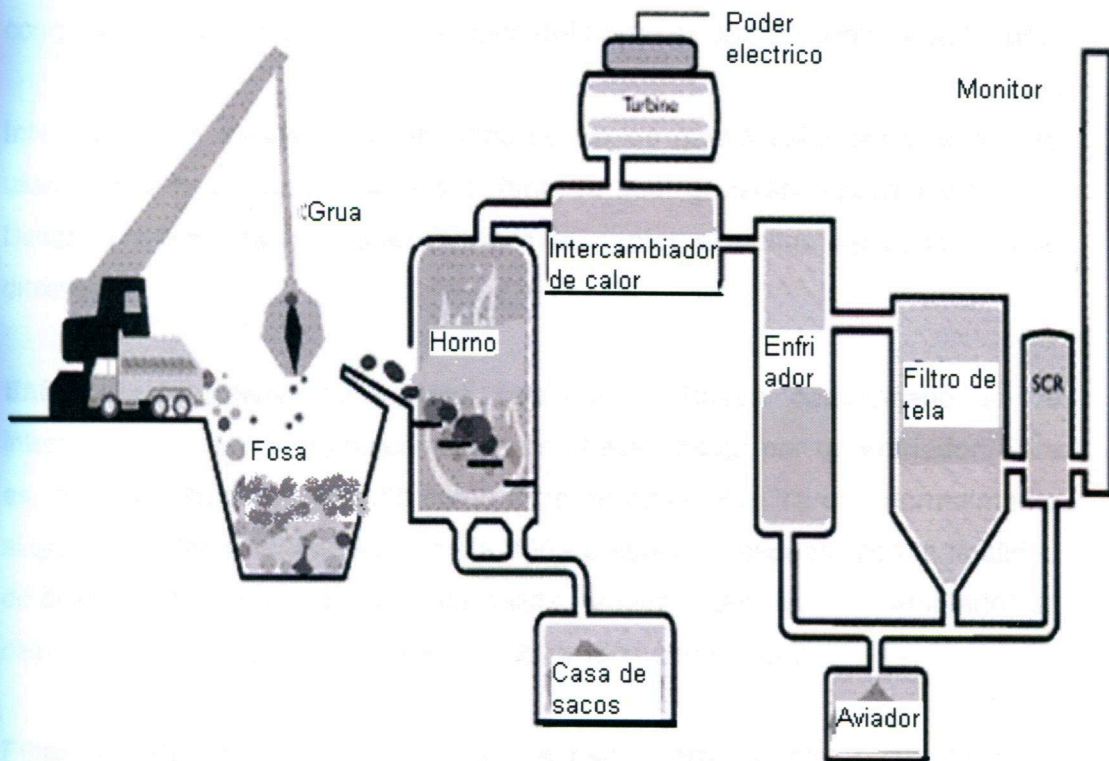


Figura 3. Incinerador con recuperación de energía (Bernard *et al.*, 1999).

Las instalaciones de los incineradores de compuestos sólidos están integrados por los siguientes equipos (Webster, 1990):

**Fosa:** Instalación requerida en el proceso con la finalidad de que los camiones recolectores viertan los residuos sólidos recolectados. Esta fosa debe ser lo suficientemente grande para almacenar los residuos de varios días.

**Grúa:** Equipo requerido para colocar los residuos almacenados en la fosa, en un tolva, partir de la cual se alimenta el horno de incineración.

**Horno:** Existe varios diseños de hornos, para facilitar supuestamente la oxigenación y quemado completo de los residuos. Las cenizas y los componentes no combustibles que caen del horno se llaman cenizas de fondo.

**Intercambiador de calor:** en algunos casos los gases calientes pueden ser usados para hacer funcionar una turbina, la cual generará energía eléctrica. Desafortunadamente este paso tiene a aumentar el riesgo de generar mas dioxinas.

**Enfriador de gases:** Los gases que no se hayan condensado en el intercambiador de calor, posteriormente se hacen pasar por un enfriador. Este es un equipo también conocido como torre de absorción. Ya que normalmente al gas que entra al equipo se le rocía agua o spary de secado, con la finalidad de llevar rápidamente los gases de salida, provenientes del intercambiador de calor, a una temperatura menor a los 200 grados centígrados.

**Filtro de tela:** Este funciona como una aspiradora gigante, forzando a los gases de salida a pasar a través de los filtros de tela para capturar las partículas, incluyendo al carbón y la cal. Con la finalidad de que los gases salgan por la chimenea lo más limpios posible hacia la atmósfera.

**Ventilador (SCR):** Succiona los gases calientes generados en el horno de calcinación y los empuja a través de la chimenea hacia la atmósfera.

**Chimenea:** Punto por donde se envían los gases generados en el horno de calcinación, hacia la atmósfera. Entre más altura tenga, mayor será la probabilidad de dispersión de contaminantes.

**Casa de sacos:** Este equipo tiene la función de absorber los metales, los olores y retener las partículas sólidas que se generan al incinerar los residuos sólidos.

## 2.9 Tipos de incineradores de desechos sólidos

La incineración de desechos sólidos incluye aspectos de la recolección, tratamiento y eliminación de desechos sólidos peligrosos o no peligrosos, generados por casas, comercio, industrias y oficinas. La recolección de los desechos sólidos puede tener lugar en vertederos formales o informales, fosas de incineración, rellenos sanitarios e incineradores. Los desechos sólidos sin recolectar se pueden quemar o dejarlos a cielo abierto para que se descompongan, pueden ser acumulados a lo largo de las calles, en solares baldíos, o pueden ir a dar a lechos de agua (río, lago y mar). Los desechos sólidos pueden contaminar el agua superficial por medio del contacto, y las aguas subterráneas mediante la lixiviación. Los desechos sólidos también pueden contaminar el aire a través de la producción de gases durante su proceso de descomposición y por la quema a cielo abierto a continuación se mencionan los tipos de incineradores de desechos sólidos (Van Larebeke, 2000):

- Quemadas abiertas. Es la técnica más antigua, y consiste en colocar o apilar materiales de desechos y quemarlos sin la ayuda de equipos de combustión especializados.
- Incineradores de fosa abierta. Desarrollados para la incineración controlada de desechos explosivos.
- Incineradores de una sola cámara. El desecho sólido se coloca en una parrilla donde se quema. Algunos equipos tienen un sistema especial de encendido.
- Incineradores de cámaras múltiples. Se desarrollaron con el fin de proveer una combustión completa y disminuir las partículas en los gases de salida. Una primera cámara se usa para la combustión controlada de los desechos sólidos. La cámara secundaria provee el tiempo de residencia, y el combustible suplementario, para la combustión de los productos gaseosos no quemados y los sólidos combustibles (hollín) en

el gas descargado desde la primera cámara. Existen varios tipos de incineradores de doble cámara.

- Incinerador de retorta. Es un incinerador cúbico compacto con múltiples deflectores internos. Los deflectores están dispuestos para guiar los gases de combustión a través de giros de 90° en direcciones tanto vertical como horizontal.
- Incinerador en línea. El flujo de gases de combustión pasa axialmente a través del incinerador teniendo solamente cambios abruptos en la dirección vertical.
- Incineradores con deficiencia de aire (incinerador pirolítico). El desecho se descarga en una cámara primaria donde se alimenta un flujo de aire controlado cuidadosamente. Solamente se provee el aire necesario para permitir que ocurra la combustión suficiente para el calentamiento. Típicamente del 70-80% del aire estequiométrico requerido se introduce en la cámara primaria. Los gases generados en la combustión con defecto de aire contendrán compuestos orgánicos combustibles que se queman en la cámara secundaria. Está dimensionada para proporcionar un tiempo de residencia suficiente para la destrucción total de los compuestos orgánicos.
- Incineradores rotatorios. Son los incineradores más universales de los sistemas técnicos para la disposición de desechos. Estos incineradores se usan para una amplia variedad de desechos tanto sólidos y sedimentos como líquidos y gaseosos. La cámara de combustión primaria es el horno rotatorio, el cual gira sobre su eje horizontal ligeramente inclinado y por lo general trabaja en conjunto con una cámara fija de post-combustión. La velocidad rotacional del horno es variable, en el intervalo de  $\frac{3}{4}$  a  $2\frac{1}{2}$  rev  $\text{min}^{-1}$ , con el fin de dar un tiempo de residencia a los desechos sólidos de 0.5 a 1.5 horas.

## 2.10 Control de emisiones en plantas incineradoras

Con la finalidad de dar cumplimiento la Norma Mexicana NOM-085-ECOL-1994 generada por de emisión de contaminantes al ambiente, los responsables de los procesos de incineración de desechos sólidos deben ejercer un control estricto sobre la concentración y el tipo de contaminantes presentes en sus emisiones. Para lograr esto, en muchos casos se recurre a la manipulación de los parámetros de operación del incinerador, los sistemas de limpieza de gases y otros sistemas alternativos de control de emisiones (Elías, 2002 b).

La formación de dioxinas en la incineración de desechos y en la combustión de combustibles fósiles manipula las condiciones de operación de



los equipos de incineración de residuos sólidos o de combustibles fósiles (Quadri de la torre *et al.*, 2003):

- La velocidad de enfriamiento de los gases de salida, especialmente alrededor de los 300°C.
- La cantidad de cenizas en suspensión.
- Los metales traza, especialmente cobre.
- El contenido de carbono y cloro adsorbidos en las cenizas en suspensión.
- La presencia de oxígeno.

De acuerdo a lo anterior, las condiciones de operación en los procesos de incineración que influyen en la formación de las dioxinas son: la temperatura, el porcentaje de oxígeno en exceso en las cámaras de combustión, las condiciones de enfriamiento y la limpieza de los gases de combustión. A menos que ocurran grandes fluctuaciones de temperatura en el horno, los bajos niveles de temperatura favorecen la formación de dioxinas que se presentan en las regiones posteriores a las cámaras de combustión; concretamente en la zona de enfriamiento y limpieza de los gases de salida. Por esta razón es importante enfriar y limpiar los gases de combustión tan rápido como sea posible (Quadri de la torre *et al.*, 2003).

Un primer paso para prevenir la generación de dioxinas consiste en ejercer un estricto control de la calidad de las materias primas ingresadas al proceso de incineración. Luego, respecto de las condiciones mismas del proceso, se aplican las denominadas "medidas primarias" en la misma fuente de emisión, las cuales en el caso de los procesos térmicos que involucren combustión consisten de acuerdo con (Gullett *et al.*, 1999):

- Temperaturas de combustión superiores a los 850°C.
- Tiempo de residencia de mínimo de 2 segundos a esa temperatura.
- Enfriamiento rápido de gases.

Como las medidas señaladas anteriormente pueden no ser suficientes para alcanzar los niveles de emisión requeridos para la Norma Mexicana NOM-085-ECOL-1994, se deben tomar "medidas secundarias" basadas en el tratamiento y purificación de los gases emitidos por la fuente. Las medidas secundarias consisten en procesos que normalmente aplican la eliminación de:

- Polvo y partículas en suspensión.
- Gases ácidos (HCl; HF; SO<sub>x</sub>; NO<sub>x</sub>)
- Metales pesados (Pb; Cd; Hg)
- Compuestos orgánicos.

Se ha planteado que varios compuestos alcalinos pueden suprimir la formación de las DDPCs. Por ejemplo, la adición de cal u óxidos de calcio previene la descomposición del HCl; el amoníaco se comporta similarmente.

Por otro lado, la inyección de diferentes solventes y materiales de absorción a los gases de salida, son métodos potenciales para reducir las emisiones de DDPCs y compuestos relacionados. Por ejemplo, la inyección de agua esparcida actúa como un material de absorción y también enfría los gases de salida a la temperatura a la cual no se favorece la formación de las DDPCs (Fabregas, 1999).

La adsorción de los gases de emisión en carbón activado es un método que hace posible reducir la cantidad de dioxinas en los gases de salida de los equipos de incineración o combustión, lo que conlleva el problema de que se producen cenizas contaminadas con dioxinas. Sin embargo, los desechos de carbón activado, sobre los cuales las dioxinas han sido adsorbidas, generan la necesidad de otro tratamiento para su disposición final. Adicionalmente los sistemas de limpieza de gases, como el precipitador electrostático, pueden ser muy útiles en la disminución de emisiones de dioxinas; Sin embargo, el precipitador proporciona largos tiempo de residencia a las cenizas lo cual, por el contrario, puede aumentar las emisiones de las DDPCs (Fabregas, 1999).

## **2.11 Emisiones de los incineradores**

La incineración tiene como resultado la producción de más residuos, ya que la materia no puede destruirse tan sólo se transforma. Los residuos de los incineradores se componen de gases, que se liberan a la atmósfera por las chimeneas del incinerador, de cenizas de fondo (escorias) y cenizas volantes (atrapadas en los filtros de chimenea), que en último lugar se depositan en vertederos. Adicionalmente, cuando se utiliza agua para procesos de limpieza

en las plantas industriales, se produce también liberación de residuos sólidos al agua (Pluss y Ferrell 1991).

En los residuos sólidos generados en el proceso de incineración se liberan numerosos productos químicos, muchos de ellos tóxicos y peligrosos. Los incineradores de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) se alimentan de una mezcla de residuos y su combustión hace que las sustancias tóxicas y peligrosas que se encontraban en los residuos originales se trasladen a las emisiones del incinerador. Sin embargo, mientras que algunas sustancias químicas permanecen en su forma original, otras se transforman en nuevos productos durante las operaciones de incineración o combustión. Por ejemplo, los metales pesados no se destruyen por incineración, tan sólo se concentran en los nuevos residuos. Estos metales pueden permanecer en su forma original durante la incineración o pueden reaccionar para formar nuevos compuestos como óxidos de metal, cloruros o fluoruros (Rowat, 1999).

### **2.11.1 Emisiones al aire**

La mayoría de las investigaciones sobre emisiones al aire se han centrado en las dioxinas y el comportamiento de unos pocos metales pesados tóxicos, ya que los datos de estudios sobre otros productos químicos están dispersos en el ambiente, y una gran cantidad de sustancias que se emiten permanecen aún sin identificar. Las emisiones en los incineradores al aire se presentan en el cuadro 2 bajo las categorías de: compuestos orgánicos, metales pesados, gases y partículas (Rowat, 1999).

**Cuadro 2.- Valores Límites de Emisiones al Aire de la Unión Europea**

| Sustancia                         | Limite propuesto por la UE mg nm <sup>3</sup><br>Valores medidos en un periodo de pruebas de un mínimo de 6 horas un máximo de 8 horas. |
|-----------------------------------|---|
| Dioxinas                          | 0.1 ng TEQ, Nm <sup>3</sup>   |
| Mercurio                          | 0.5 <sup>a</sup>  |
| Cadmio + Talio                    | Total 0.5 <sup>a</sup>  |
| Sb, As, Pl, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V | Total 0.5   |
| Monóxido de Carbono               | 50 <sup>b</sup>   |
| SO <sub>2</sub>                   | 50 <sup>b</sup>   |
| NOx                               | 200 <sup>b</sup>  |
| HCl                               | 10 <sup>b</sup>   |
| FH                                | 10 <sup>b</sup>   |
| Partículas                        | 10 <sup>b</sup>   |

a = Todos los valores medios en el periodo de pruebas de un mínimo de 30.

b = Valor medio diario.

### 2.11.2 Emisiones al agua

Los incineradores emiten residuos al agua desde los dispositivos de limpieza. Sin embargo los datos científicos publicados sobre estas emisiones son limitados. Aunque se ha establecido que los residuos de filtros húmedos de gas contienen metales pesados, los más significativos en cantidad y toxicidad son el plomo, cadmio, cobre, mercurio, cinc y antimonio. También se han establecido que en los residuos de los equipamientos de eliminación de escoria húmedos contienen altos niveles de sales neutras, además de material orgánico sin quemar procedente de los residuos (Elías, 2002a).

### 2.11.3 Emisiones en las cenizas

Las cenizas procedentes de la incineración de los residuos, generalmente contienen los mismos contaminantes que las emisiones al aire, aunque pueden diferir en concentración y composición. Las cenizas volantes y las cenizas de los incineradores generalmente contienen dioxinas y metales pesados, pero al igual que en las emisiones al aire, se conoce poco sobre los otros componentes presentes en las cenizas volantes. Hay dos clases de cenizas de incineración básica: cenizas de fondo y cenizas volantes. Las

cenizas de fondo, también conocidas como clinker, son el residuo propio del horno; mientras que las cenizas volantes se refieren a las partículas finas atrapadas por el equipo de control de contaminación (Elias, 2002a).

Las cenizas de fondo constituyen alrededor del 90 % del total de cenizas producidas y se ha demostrado que contienen importantes concentraciones de metales pesados, órgano-halogenados y otros contaminantes químicos. Las cenizas volantes, aunque tienen un volumen mucho más pequeño, son generalmente mucho más tóxicas. Si no hay equipo de control de contaminación del aire, o si no funciona éste, muchos de los subproductos tóxicos serán liberados al aire en lugar de ser atrapados en las cenizas volantes. Esto deja al descubierto el dilema central de la incineración: mientras más limpias son las emisiones de aire, más tóxicas son las cenizas (Elias, 2002a).

## **2.12 Alternativas contra la incineración**

Existe una tendencia a nivel mundial de usar tecnologías diferentes a la incineración. Esto necesita de la adopción de políticas y planes que aborden integralmente el tratamiento de disposición final de residuos sólidos y otros como los patógenos (Valdéz, 2004).

- Hay que establecer mediante Leyes y reglamentos complementarios estándares de elaboración (materias primas, combinación de materias primas) y de calidad final (composición) para los insumos médicos, de laboratorios y centros de salud, y estándares de calidad para los importados.
- Establecer exigencias y mecanismos de información al usuario y a los manipuladores de residuos. Los hospitales, laboratorios y centros de salud en general deben adquirir insumos que tengan mínimo o nulo contenido de materiales considerados tóxicos (metales pesados) o que puedan generar, por combustión derivados peligrosos como las dioxinas (plásticos clorados como los PVC).

### III. MATERIALES Y METODOS

Como se menciona anteriormente, el objetivo principal de la tesis, es conocer los niveles de emisión del contaminante denominado dioxinas, contaminante que puede ser emitido a la atmósfera por los equipos industriales de combustión, además de otras actividades como ya se ha mencionado, los equipos industriales pueden clasificarse en varios tipos, dentro de los cuales se pueden mencionar los siguientes:

a.- Hornos de calcinación, que emplean residuos sólidos como combustible alterno o que realizan actividades de destrucción térmica de residuos sólidos.

b.- Equipos denominados generadores de vapor o calderas, los cuales consumen combustibles fósiles, líquidos y gaseosos.

En virtud de que en el área que comprende la Comarca Lagunera, no se tiene conocimiento de la existencia de empresas que cuenten con operaciones de hornos de calcinación, que consuman residuos sólidos como combustibles o bien que se dediquen a las operaciones de destrucción térmica de los residuos sólidos, las evaluaciones realizadas para la presente tesis se enfocaron a los equipos que caen dentro del segundo párrafo de la clasificación anterior, es decir aquellos equipos señalados en el inciso b, los cuales comprenden los generadores de vapor a calderas.

Los generadores de vapor o calderas son equipos que se clasifican dependiendo de dos características principales, una de ellas es el tamaño de las calderas, y la otra característica es la capacidad de ésta. Para indicar el tamaño de la caldera, se emplean las iniciales HP, lo cual significa Caballos de Fuerza, así las calderas pueden ser de 60, 80, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 500, 600 y 700 HP. Por otro lado, la capacidad de la caldera está en función de su capacidad de generación de vapor, esta capacidad se da en kilogramos por hora de generación de vapor. En el cuadro 3 se presenta una

relación entre el tamaño de la caldera, HP, y la capacidad de generación de vapor:

**Cuadro 3.- Calderas, tipos, características y sus funciones**

| Tamaño de la caldera HP | Capacidad de Generación de vapor kg h <sup>-1</sup> |
|-------------------------|---|
| 60                      | 941   |
| 80                      | 1254  |
| 100                     | 1568  |
| 125                     | 1960  |
| 150                     | 2352  |
| 200                     | 3133  |
| 250                     | 3916  |
| 300                     | 4599  |
| 350                     | 5482  |
| 400                     | 6265  |
| 500                     | 7832  |
| 600                     | 9396  |
| 700                     | 10964   |

### 3.1 Características de los equipos evaluados

Para llevar a cabo la evaluación del contaminante denominado dioxina, se realizó un análisis de las emisiones a la atmósfera provenientes de los siguientes equipos; cuatro calderas de diferentes capacidades y tres hornos de curado.

Cabe hacer la aclaración de que, para llevar a cabo las evaluaciones en los equipos arriba señalados se aplicó la Norma Oficial Mexicana NOM-085-SEMARNAT/1994 emitida por la secretaria de medio ambiente y recursos naturales, para determinar si los equipos evaluados están cumpliendo con los criterios establecidos.

Los equipos se localizan en dos empresas ubicadas en diferentes puntos de la ciudad de Torreón, Coahuila de acuerdo a lo que se describe a continuación;

Primeramente se realizó la evaluación en los siguientes equipos; dos calderas con capacidad de 300 y 100 H P, estos equipos se localizan en una empresa dedicada a la fabricación de alimento balanceado, la cual se ubica en el Parque Industrial Ferropuertos, en la Ciudad de Torreón, Coahuila. Es decir hacia el sur-este del municipio. Estos equipos consumen combustóleo se alimenta a las calderas a una presión promedio de 1.5 Kg cm<sup>-2</sup> y una temperatura de 110 grados centígrados, la capacidad del equipo de combustión se señalan en el cuadro 4 denominada "Característica nominales de los equipos".

**Cuadro 4.- Características nominales de los equipos evaluados en la m planta dedicada a la fabricación de alimento balanceado:**

| <b>Equipo</b>               | <b>Caldera<br/>1</b>     | <b>Caldera<br/>2</b>     |
|-----------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Marca                       | Claver broks             | Lukaut                   |
| Modelo                      | CB-400-300               | S/D                      |
| Número Serie                | MX – 6803                | 5109                     |
| Presión de diseño           | 10.5 kg cm <sup>-2</sup> | 10.5 kg cm <sup>-2</sup> |
| Presión de operación        | 8.8 kg cm <sup>-2</sup>  | 8.8 kg cm <sup>-2</sup>  |
| Combustible empleado        | Combustóleo              | Combustóleo              |
| Generación nominal de vapor | 3 133 kg h <sup>-1</sup> | 2 347 kg/h <sup>-1</sup> |
| Potencia                    | 300 HP                   | 100 HP                   |



Además de los equipos anteriores, se evaluaron los siguientes: dos calderas, una de 150 y otra de 200 HP, así como tres hornos de curado, todos ellos localizadas en una maquiladora, dedicada a la fabricación de prendas de vestir, localizada en el Ejido San Antonio de los Bravos, Municipio de Torreón, Coahuila. Esta empresa se localiza hacia el oriente de la ciudad. Estos equipos consumen gas natural. El gas natural se alimenta a los equipos de combustión se señalan en la tabla denominada "característica nominales de los equipos".

**Cuadro 5.- Características nominales de los equipos evaluados en la planta dedicada a la fabricación de prendas de vestir:**

| Equipo                             | Horno 1                 | Horno 2                 | Horno 3                 | Caldera 150 HP           | Caldera 200 HP           |
|------------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <b>Marca</b>                       | AMP ROTTING35           | AMP ROTING 45           | AMP ROTING 70           | Claver Brooks            | Claver Brooks            |
| <b>Modelo</b>                      | PCO 96035               | PCO 96036               | PCO 970411D             | CB-200-150               | CB-700-200               |
| <b># Serie</b>                     | 96388                   | 96388                   | 97470                   | MX-6113                  | MX-6223                  |
| <b>Presión de diseño</b>           | No aplica               | No aplica               | No aplica               | 10.5 kg cm <sup>-2</sup> | 10.5 kg cm <sup>-2</sup> |
| <b>Presión de operación</b>        | No aplica               | No aplica               | No aplica               | 14 In H <sub>2</sub> O   | 6.5 In H <sub>2</sub> O  |
| <b>Combustible empleado</b>        | Gas natural             | Gas Natural             | Gas natural             | Gas Natural              | Gas natural              |
| <b>Volts</b>                       | 460                     | 460                     | 460                     | NA                       | NA                       |
| <b>Generación nominal de vapor</b> | NA                      | NA                      | NA                      | 2347 Kg/hr               | 3133 Kg/hr               |
| <b>Capacidad</b>                   | 1914 Mj h <sup>-1</sup> | 1914 Mj h <sup>-1</sup> | 1914 Mj h <sup>-1</sup> | 150 HP                   | 200 HP                   |
| <b>Fecha</b>                       | S/D                     | S/D                     | S/D                     | 31/08/96                 | 06/09/97                 |

Las mediciones realizadas para esta tesis, se hicieron durante un periodo de operación normal de los equipos y bajo condiciones típicas de trabajo.

### 3.2 Metodología de las Mediciones

Los procedimientos utilizados para la evaluación o mediciones de los contaminantes que emiten los equipos que utilizan o consumen combustibles fósiles sólidos, líquidos o gaseosos o cualquier de sus combinaciones, en México está regulada por la Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) por medio de la Norma Oficial Mexicana NOM-085-SEMARNAT-1994; La cual se refiere a la contaminación atmosférica, fuentes fijas que utilizan combustibles fósiles sólidos, líquidos o gaseosos o cualquiera de sus combinaciones y sus métodos de medición.

*De acuerdo a lo dispuesto la NOM-085-SEMARNAT-1994, las evaluaciones de las emisiones a la atmósfera, puede llevarse a cabo por medio de cualquier de los siguientes métodos:*

1.- Métodos de medición directa. Por medio de equipos que dan lecturas directas de los contaminantes existentes en los gases de combustión de los equipos evaluados.

2.- Métodos matemáticos. Los cuales establecen el uso de ecuaciones matemáticas para calcular la cantidad de contaminante existentes en los gases de combustión del equipo evaluado.

3.- Balance de materiales. Método que permite realizar balances de materiales entre los que entran y salen del equipo de combustión, para determinar la cantidad de contaminantes existentes en los gases de combustión del equipo evaluado.

4.- Uso de factores de emisión. Método aceptado para la cuantificación de las emisiones.

Por su parte la Norma NOM-085-SEMARNAT-1994 también establece los contaminantes a evaluar, los cuales pueden ser los siguientes.

- Oxígeno
- Dióxido de carbono
- Monóxido de carbono
- Dióxido de azufre
- Óxidos nitrosos
- Exceso de aire en la combustión
- Temperatura de salidas de los gases
- Velocidad de salida de los gases
- Partículas sólidas existentes en los gases

De igual manera la Norma 085- SEMARNAT, establece los límites máximos permisibles de emisiones a la atmósfera de los contaminantes anteriormente señalados. A su vez esta Norma establece que los contaminantes deben ser evaluados por equipo, para esto se deberán de tomar en cuenta dos características, con las que debe contar el equipo; la primer característica; es el tipo de combustible que se consume y segunda; la capacidad del equipo de combustión.

Para llevar acabo las mediciones en los equipos señalados en la presente tesis, se siguió la metodología de medición directa, por lo que se realizaron las siguientes actividades:

- Se verifica si el equipo a evaluar cuenta con plataformas y puertos de muestreo en los ductos de conducción de los gases de salida provenientes de los equipos de combustión.
- Una vez que se ha verificado la existencia del puerto y plataforma de muestreo, se procede a quitar la tapa del puerto de muestreo, ya que a través del puerto se llevan a cabo todas las mediciones que se deben realizar.
- Una vez que el puerto de muestreo se ha abierto, se procede a realizar la evaluación de los contaminantes, por lo que se puede empezar tomando los valores de los gases de combustión como son la presencia de; Oxígeno, dióxido de carbono, monóxido de carbono, temperatura de los gases y exceso de aire, dióxido de azufre y óxidos nitrosos. Estas

lecturas se toman colocando una sonda en el interior del ducto de conducción de los gases de salida, dicha sonda se conecta por medio de mangueras al analizador digital de gases de combustión tipo Orzat, este equipo cuenta en su interior con celdas electroquímicas, las cuales registran los valores contaminantes en los gases del equipo evaluado.

- Posteriormente, se toma la lectura de las caídas de presión, para esto se emplean el tubo de Pitot, que se introduce al ducto o chimenea, el tubo de Pitot se conecta por medio de mangueras al manómetro diferencial, el cual registrara las caídas de presión existentes en el ducto, por su parte el tubo de Pitot se debe colocar horizontalmente a través del diámetro de la chimenea o ducto, e irse desplazando lentamente a través de la chimenea para tomar lecturas de caídas de presión. Posteriormente las lecturas de las caídas de presión se traducirán en velocidades del gas de salida.
- Luego se continúa con la toma del número de mancha o densidad aparente visual de humo. Para lo cual se emplea el equipo denominado "Dwayer" para determinar la densidad aparente visual de humo. Para esto se coloca un pedazo de papel filtro en el equipo Dwayer, este equipo cuenta en su parte superior con una sonda la cual se introduce en la chimenea, y se bombea aire de esta a través del papel filtro, una vez realizada esta actividad, se retira la sonda del equipo Dwayer de la chimenea y se compara la mancha obtenida en el papel filtro, para determinar el número de mancha o la densidad aparente visual de humo.

A continuación se presenta una relación de los principales equipos e instrumentos empleados en la medición de los contaminantes evaluados:

- Equipo Dwayer para determinar numero de mancha y la densidad aparente visual de humo.
- Psicómetro Taylor, para determinación de temperatura de bulbo húmedo y bulbo seco. A fin de determinar el contenido de humedad en los gases que fluyen por un ducto.

- Tubo de Pitot de 12" tipo L, para determinación de las caídas de presión dentro de los ductos de salida de los gases de combustión. Para posteriormente determinar la velocidad de salida de los gases de combustión.
- Manómetro diferencial, mca. Maghnelic con rango de 0 a 1" C.A. Para las lecturas de las caídas de presión.
- Analizador digital de gases de combustión tipo Orzat, marca Bacharach, para determinar los siguientes contaminantes; oxígeno, dióxido de carbono, monóxido de carbono, temperatura de salida de los gases de combustión, exceso de aire en la combustión, eficiencia del equipo de combustión.

En los resultados, se presenta un resumen de las mediciones y cálculos realizados en los diferentes equipos donde se llevaron a cabo las evaluaciones de contaminantes, así como los resultados obtenidos para cada uno de los contaminantes evaluados.

### 3.3 Uso y empleo de los factores de emisión

Un factor de emisión es un valor representativo que relaciona la cantidad emitida de un contaminante con una actividad o parámetro asociado al proceso. Usualmente se expresa como el peso de un contaminante dividido entre una cantidad de volumen, peso, distancia o duración de la actividad que emite el contaminante, por ejemplo, kilogramos de partículas por tonelada de hierro gris producido. O kilogramos de compuestos orgánicos volátiles por días de operación de la planta industrial.

La fórmula general para el cálculo de las emisiones empleando un factor de emisiones es:

$$E = FE * NA (1 - ER/100) \quad \text{Ecuación 1}$$

**Donde:** E = es la emisión del contaminante,

FE = es el factor de emisión;

NA = es el nivel de actividad (expresado como consumo de

combustible, cantidad de producción, material prima consumida, kilowatts de energía producida, entre otros)

ER = es la diferencia de reducción de emisiones de un equipo de control, expresada en porcentaje (si no existe de control, ER = 0).

Los factores de emisión (FE) fueron desarrollado considerando la existencia y operación de equipos de control de emisiones a la atmósfera, instalados en los equipos de combustión, por lo que en la fórmula anterior (ecuación 1) se ha incorporando el término  $1 - ER/100$ , que representa la efectividad del sistema de control ambiental, por lo tanto la ecuación 1, si no se cuenta con equipo de control, la ecuación puede tomar la siguiente forma:

$$E = FE * NA$$

**Ecuación 2**

### 3.3.1 Aplicación de los factores de emisión (EF)

Los factores de emisión se emplean para estimar la emisión del aire de fuentes fijas, su empleo está muy extendido en programas de administración ambiental. Las diferentes compilaciones de factores de emisión disponibles, se enfocan fundamentalmente a contaminantes como partículas suspendidas totales (PST's), compuestos orgánicos volátiles (COV) o compuestos como el bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y plomo (Pb).

En virtud de que la realización de las evaluaciones del contaminante denominado dioxinas, no se cuenta con un equipo digital que de las lecturas de la concentración de este contaminante directamente de los equipos evaluados, se procedió a determinar la concentración del contaminante empleando los factores de emisión, lo anterior de acuerdo al Manual para la aplicación y correcta selección de los factores de emisión, editado por la SEMARNAT 1994 para la cual se aplico la ecuación 2, descrita anteriormente.

#### IV. RESULTADOS

Primeramente se calcularon las emisiones a la atmósfera en las calderas y los hornos de curado que consumen gas natural ya que este combustible, tienen entre sus componentes el diclorobenceno. El diclorobenceno es considerado como un compuesto detonante para la formación de dioxinas.

Por lo anterior y tomado en consideración el consumo anual de gas natural en la empresa dedicada a la fabricación de prendas de vestir, que para cada uno de los equipos es el siguiente:

Caldera de 150 HP. = 9 474.8 m<sup>3</sup> por año

Caldera de 200 HP= 9 935.3 m<sup>3</sup> por año

Hornos de curado (3)= 8, 769.0 m<sup>3</sup> por año, por equipo.

Para cada uno de los equipos evaluados y en virtud de que todos consumen gas natural, el factor de emisión es igual para cada equipo, por lo tanto el factor de emisión es:  $FE = 1.92 \times 10^{-8} \text{ kg m}^{-3}$  de gas natural. (Manual para la correcta aplicación de los factores de emisión, SEMARNAT 1994)

Tomando en cuenta los datos anteriores y sustituyendo estos en la ecuación 2, se tienen las siguientes cantidades de emisión a la atmósfera de diclorobenceno.

##### **Equipo: Caldera de 150 H.P**

$$E = EF * NA$$

Sustituyendo valores:

$$E = [1.92 \times 10^{-8} \text{ kg m}^{-3}] [9 474.8 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}]$$

Resultado de la emisión a la atmósfera de diclorobenceno, este equipo es igual a:

$$E = 0.0018191 \text{ kg A\~no}^{-1} = 1.8191 \text{ gr A\~no}^{-1} = 1\ 819100 \text{ ug a\~no}^{-1}$$

Equipo: Caldera de 200 H.P

$$E = EF * NA$$

Sustituyendo valores:

$$E = [1.92X 10^{-8} \text{ kg m}^{-3}] [9\ 935.3 \text{ m}^3 \text{ a\~no}^{-1}]$$

Resultado de la emisi3n a la atm3sfera de diclorobenceno, este equipo es igual a:

$$E = 0.0019075 \text{ kg/A\~no} = 1.9075 \text{ gr/ A\~no} = 1\ 907500 \text{ ug/a\~no}$$

Equipo: Hornos de curado (1)

$$E = EF * NA$$

Sustituyendo valores:

$$E = [1.92X 10^{-8} \text{ kg m}^{-3}] [8,\ 769.0 \text{ m}^3 \text{ a\~no}^{-1}]$$

Resultado de la emisi3n a la atm3sfera de diclorobenceno, este equipo es igual a:

$$E = 0.0016836 \text{ kg/A\~no} = 1.6836 \text{ gr/A\~no} = 168\ 300 \text{ ug/a\~no}$$

Equipo: Hornos de curado (2)

$$E = EF * NA$$

Sustituyendo valores:

$$E = [1.92X 10^{-8} \text{ kg m}^{-3}] [8,\ 769.0 \text{ m}^3 \text{ a\~no}^{-1}]$$

Resultado de la emisi3n a la atm3sfera de diclorobenceno, este equipo es igual a:

$$E = 0.0016836 \text{ kg/A\~no} = 1.6836 \text{ gr/A\~no} = 168\ 300 \text{ ug/a\~no}$$



### Equipo: Hornos de curado (3)

$$E = EF * NA$$

Sustituyendo valores:

$$E = [1.92 \times 10^{-8} \text{ kg m}^{-3}] [8,769.0 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}]$$

Resultado de la emisión a la atmósfera de diclorobenceno, este equipo es igual a:

$$E = 0.0016836 \text{ kg/Año} = 1.6836 \text{ gr/Año} = 168\,300 \text{ ug/año}$$

Posteriormente se realizaron los cálculos en las emisiones a la atmósfera en las calderas de la empresa dedicada a la fabricación de alimento balanceado y que consumen combustóleo, al igual que el gas natural tienen entre sus componentes algo del diclorobenceno, por ser ambos derivados del petróleo. Como ya se ha mencionado el diclorobenceno es considerado como un compuesto detonante para la formación de dioxinas.

Por lo anterior y tomado en consideración que el consumo anual de combustóleo por cada uno de los equipos es el siguiente:

Caldera de 100 HP = 225 m<sup>3</sup> por año.

Caldera de 300 HP = 675 m<sup>3</sup> por año.

El factor de emisión FE es igual a  $1.92 \times 10^{-8} \text{ kg m}^{-3}$  de combustóleo consumido (Manual para la correcta aplicación de los factores de emisión, SEMARNAT) y en virtud de que ambos equipos consumen combustóleo, el factor de emisión es aplicable para ambos.

Tomando se tienen los datos anteriores y sustituyendo estos en la ecuación 2, las siguientes cantidades de emisión a la atmósfera de diclorobenceno, para equipos que consumen combustóleo:

**Equipo: caldera de 100 H.P**

$$E = EF * NA$$

Sustituyendo valores:

$$E = [9.6 \times 10^{-6} \text{ kg m}^{-3}] [225 \text{ m}^3/\text{año}]$$

Resultado de la emisión a la atmósfera de diclorobenceno, en este equipo es igual a:

$$E = 0.0216 \text{ kG/ Año} = 21.6 \text{ gr /año}$$

**Equipo: caldera de 300 H.P**

$$E = EF * NA$$

Sustituyendo valores:

$$E = [9.6 \times 10^{-6} \text{ kg m}^{-3}] [675 \text{ m}^3/\text{año}]$$

Resultado de la emisión a la atmósfera de diclorobenceno, en este equipo es igual a:

$$E = 0.0648 \text{ kg/año} = 64.8 \text{ gr/año}$$

Cuadro 6.- Resumen de los resultados obtenidos de cada uno de los parámetros evaluados para cada equipo.

| Equipo   | Caldera         |             |               | Caldera       |                  | Caldera         |                  | Horno N 2       |                  | Horno N 1       |                  | Horno N 3       |  |
|--|-----------------|-------------|---------------|---------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|--|
|  | 300 HP          | 100HP       | 150 HP        | 200 HP        | Chimenea entrada | Chimenea salida | Chimenea entrada | Chimenea salida | Chimenea entrada | Chimenea salida | Chimenea entrada | Chimenea salida |  |
| Velocidad promedio de los gases (mts / min)                    | 480.69          | 222.35      | 771.8538      | 739.9419      | 783.2602         | 816.2378        | 621.209          | 486.2602        | 725.4366         |                 |                  |                 |  |
| Temperatura de los gases de salida ( C )                       | 199             | 205         | 207.33        | 184.25        | 49.0             | 72.0            | 84.66            | 87.5            | 116.25           |                 |                  |                 |  |
| Temperatura ambiente Bulbo seco ( C )                          | 35.0            | 35.0        | 28.0          | 30.33         | 25.0             | 34.0            | 31.5             | 35.0            | 31.3             |                 |                  |                 |  |
| Temperatura ambiente bulbo húmedo (C)                          | 19.5            | 24.0        | 24.0          | 23.0          | 20.0             | 21.0            | 21.0             | 25.0            | 25.0             |                 |                  |                 |  |
| Composición base seca de los gases de combustión               | CO <sub>2</sub> | 14.1        | 12.2          | 0.0           | 0.0              | 0.0             | 0.0              | 0.0             | 0.0              |                 |                  |                 |  |
|  | CO              | 0.016       | 0.009         | 6043          | 6.0              | 2.33            | 6.33             | 9.3             | 0.0              |                 |                  |                 |  |
|  | O <sub>2</sub>  | 2.6         | 6.0           | 0.96          | 6.5              | 20.06           | 20.23            | 19.93           | 20.0             |                 |                  |                 |  |
|  | SO <sub>2</sub> | 0.016       | 0.016         | 0.0           | 0.0              | 0.0             | 0.0              | 0.0             | 0.0              |                 |                  |                 |  |
|  | NX <sub>2</sub> | 0.0         | 0.0           | 0.0           | 8.98             | 0.0             | 0.0              | 0.0             | 0.0              |                 |                  |                 |  |
| Contenido de humedad en los gases (Kg de agua/ Kg gases secos) | 64.8 gr/año     | 21.6 gr/año | 1.8191 gr/año | 1.9075 gr/año | 1.6836 gr/año    | 1.6836 gr/año   | 1.6836 gr/año    | 1.6836 gr/año   | 1.6836 gr/año    |                 |                  |                 |  |
| Exceso de aire en la combustión.                               | 0.00362         | 0.00635     | 0.00785       | 0.00680       | 0.005934         | 0.004848        | 0.00456          | 0.007304        | 0.007943         |                 |                  |                 |  |
|  | 13.0            | 71.0        | 3.5%          | 40.66%        | 1 921.4 %        | 2 439.3 %       | 2 439.4 5        | 1 648.8 %       | 1 785.7 %        |                 |                  |                 |  |

## V. DISCUSIÓN

La legislación mexicana en materia de prevención y control de la contaminación a la atmósfera, presente ciertas lagunas técnicas , sobre los niveles máximos permisibles de emisión de contaminantes a la atmósfera, de algún contaminante que en otros países son clasificados como tóxicos, y que en nuestro país aun no están regulados, como son las dioxinas, por lo que para comparar los resultados obtenidos en las mediciones realizadas, en equipos de combustión, para el desarrollo de la presente tesis, se recurrió a parámetros internacionales, como los establecidos por la EPA (siglas en ingles de la Agencia de Protección al Ambiente) de los Estados Unidos de América, para saber si dichos valores obtenidos están dentro o fuera de parámetros.

La EPA, establece que los niveles máximos de emisiones a la atmósfera de Dioxinas, por fuentes fijas no deben de rebasarlos por año de combustible consumido, el cual pudiera ser, por medio de operaciones de calcinación o por el consumo de combustibles.

Por lo anterior y comparando los resultados obtenidos en las mediciones de los equipos evaluados, se puede determinar que los equipos se encuentra dentro de los parámetros establecidos por la norma de la EPA, por lo que se puede concluir que las emisiones a la atmósfera de dioxinas no representen peligro alguno para las áreas aledañas a las plantas donde se ubican los equipos evaluados.

## **VI.- CONCLUSIONES**

Los equipos evaluados, como fueron las calderas de diferentes capacidades y que consumen diferentes combustibles, así como los hornos de curado, pudiera decirse que son equipos chicos, si estos se comparan con equipos como los serian los hornos de calcinación o equipos incineradores de residuos sólidos o residuos peligrosos, ya que estos ultimo pudieran ser equipos que por su capacidad y el empleo del tipo de combustible que consumen, son mas propensos a emitir a la atmósfera mayores cantidades de compuestos que pudieran generar dioxinas.

Por lo que es necesario llevar acabo mediciones en algunos equipos de estos últimos tipos, ya que las muestras tomadas en las calderas y hornos de curado, pudieran decirse son un indicativo o parámetro, de la cantidad de contaminantes que en un momento determinado pudiese emitir los hornos de calcinación.

## **RECOMENDACIONES**

Que se realicen evaluaciones en empresas como Cementos Mexicanos, ya que además de contar dentro de sus instalaciones con hornos de calcinación, a su vez emplean residuos peligrosos como combustible alterno. Lo anterior pudiera ser de gran utilidad para conocer en realidad, la cantidad de emisiones de dioxinas a la atmósfera.

Además se recomienda que para efectuar dichas mediciones en este tipo de equipos, estas se realicen empleando equipos de medición directa digitales de celda electroquímicas, que entre sus parámetros pueda medir la concentración de dioxinas, ya que estos equipos presentan una mayor certeza en los resultados de las mediciones de estos contaminantes.

## VII. RESUMEN

En los últimos años se han realizado estudios ambientales para determinar el grado de toxicidad en el ambiente, lo anterior debido a que se ha incrementando el nivel de dioxinas como resultado de la actividad industrial. En la era moderna se ha incrementado el establecimiento de incineradores de residuos sólidos en lugar de promover el uso de los rellenos sanitarios. Los incineradores de residuos sólidos generan grandes cantidades del compuesto 2, 3, 7, 8 -tetracloro-dibenzo-p-dioxina, el cual se fácilmente dispersado por el viento a grandes distancias de su origen. Las dioxinas son tóxicas para el hombre ya que la cadena alimenticia puede ser afectada por medio de esta contaminación.

El incremento de la actividad industrial y el requerimiento de la incineración controlada de residuos sólidos, como combustible alternativo, o en su caso de la incineración a cielo abierto de este tipo de residuos, así como el empleo de combustibles líquidos, han ayudado a incrementar las emisiones a la atmósfera de los contaminantes persistentes en la atmósfera por lo tanto que en empresas que realicen actividades de incineración o bien del consumo de algún tipo de combustible, se requiere de la evaluación de las emisiones a la atmósfera con la finalidad de conocer si las emisiones de este tipo de contaminante está dentro de las Normas Oficiales Mexicanas que regulan las emisiones de contaminantes a la atmósfera.

Los equipos se encuentran dentro de los parámetros establecidos por la EPA por lo que se puede concluir que las emisiones a la atmósfera de dioxinas no representan peligro alguno para las áreas aledañas a las plantas donde se ubican los equipos evaluados.

## VIII. LITERATURA REVISADA

Alvarado V. 2005. Aplicación de dos métodos de cuantificación de emisiones de dioxinas y furanos en México. (En línea). ([http://www.ine.gob.mx/dgicurg/sqre/download/fc\\_victor\\_alvarado.pdf](http://www.ine.gob.mx/dgicurg/sqre/download/fc_victor_alvarado.pdf)). (Consulta 12 de julio 2005)

Allsopp, M. 2001. "Incineración y Salud Humana". Laboratorios de Investigación de Greenpeace, Exeter, Inglaterra. (En línea). (<http://www.greenpeace.org.ar/media/informes/2298.pdf>) (Consulta 29 de junio de 2005)

Allsopp, M. P Costner y P Johnston. 2001. Estado del conocimiento de los impactos de los incineradores de residuos en la salud humana. (En línea). ( <http://www.greenpeace.org.ar/media/informes/2378.pdf>) (Consulta 18 de julio 2005)

Bernard, A. C. Hermans. F. Broeckaert. G. De Poote. A De Cock, y G . Houins. 1999. Contaminación de comida por PCBs y dioxinas. (En línea). (<http://gtz.org.mx/segem/bas%20limbo-final.pdf>.) (Consulta 3 de julio 2005)

Costner, Pat y J. Thornton. 1990. "Jugando con Fuego" - Greenpeace EEUU - Washington, EE.UU. (En línea) (<http://www.greenpeace.org.ar/media/informes/2298.pdf>) (Consulta 29 de junio de 2005)

Chen, G, H, Suzuki, y A, Weston. 1988. Los descargos de Acetylcholine endotelium- derivaros de los hyperpolarizing que factorizan los vasos de sangre de la población. (En línea). (<http://www.cnpml.org/html/archivos/Ponencias/Ponencias-ID80.pdf>) (Consulta 2 de julio 2005)

Donaldson K., Stone V., MacNee W. 2000. La toxicología de partículas del ultrafino. Partículas y Efectos en la Salud, REINO UNIDO. (En línea). (<http://www.greenpeace.org.ar/media/informes/2378.pdf>) (Consulta 3 de septiembre 2005)

Elías, X. 2002 a. La incineración de residuos sólidos inertes y peligrosos (primera parte). (En línea). (<http://www.cnpml.org/htm/archivos/ponencias/ponencias-ID7.pdf>) (Consulta 29 de julio 2005)

Elías, X. 2002 b. La incineración de residuos sólidos inertes y peligrosos (segunda parte). (En línea). (<http://www.cnpml.org/htm/archivos/ponencias/ponencias-ID9.pdf>) (Consulta 18 de julio 2005)

Elías, X. 2003. La incineración de residuos y su adecuamiento a la resolución. (En línea). (<http://www.cnpml.org/html/archivos/Ponencias/Ponencias-ID80.pdf>) (Consulta 30 de junio 2005)

Elías X. 2002 c. La incineración de residuos inertes y peligrosos. (En línea). (<http://www.cnpml.org/htm/archivos/ponencias/ponencias-ID10.pdf>) (Consulta 20 de julio 2005)

Gullett, B K., P.M. Lemieux., C. C, Lutes., C. K. Winterrowd, y D. L. Winters. 1999. PCDD/F Emisiones de Pérdida al Quemar Doméstico Desenfrenado. (En línea). (<http://www.chem.unep.ch/pops/pdf/toolkit/Toolkitsp.pdf>) (Consulta 7 de Julio 2005)

Hansen, E. 2000. Análisis de flujo de sustancia para las dioxinas en Dinamarca. (La Agencia de protección del ambiente dinamarquesa). (En línea). (<http://www.chem.unep.ch/pops/pdf/toolkit/Toolkitsp.pdf>) (Consulta 10 de septiembre 2005)



Llauró Fábregas X. 1999. Estudio de la aplicación de sistemas basadas en el conocimiento a la operación de una planta de tratamiento de residuos sólidos urbanos por valorización energética. (En línea). ([http://www.tdx.cesca.es/TESIS\\_UdG/AVAILABLE/TDX-012410125035//txlf.pdf](http://www.tdx.cesca.es/TESIS_UdG/AVAILABLE/TDX-012410125035//txlf.pdf))

(Consulta 8 de septiembre 2005)

Matsuko, T. 1999. "Problemas en el tratamiento del sistema causado de la incineración". (En línea) (<http://www.greenpeace.org.ar/media/informes/2298.pdf>) (Consulta 29 de junio del 2005)

McGregor, D. B, C, Partensky, J, Wilbourn, y J. M. Rice. 1998. Evaluación de polychlorinated dibenzo-p-dioxina y polychlorinated dibenzofuranos como factores de riesgo de cáncer en el humano. (En línea) (<http://www.greenpeace.org.ar/media/informes/2298.pdf>) (Consulta 29 de junio del 2005)

Meneses M., Schuhmacher, M., Granero, S., Llobet, J. M. y Domingo, J. L. 1999. Uso y simulación de técnicas para la valoración de riesgo: estudio de un incinerador desechado municipal. (En línea). (<http://www.chem.unep.ch/pops/pdf/toolkit/Toolkitsp.pdf>) (Consulta 5 de septiembre 2005)

Montague P. 1990. La incineración Empeora, el basural se Arriesga", las Noticias Desechadas Arriesgadas, Fundación de la Investigación medioambiental. (En línea) (<http://www.greenpeace.org.ar/media/informes/2393.pdf>) (Consulta 5 de Julio 2005)

Pluss A. y Ferrell R. E. Jr. 1991. La caracterización de primacía y otros metales pesados en ceniza de la mosca de los incineradores desechados municipales. Pérdida arriesgada y los Materiales Desechados.

(En línea). (<http://www.greenpeace.org.ar/media/informes/2378.pdf>)  
(Consulta 1 de septiembre 2005)

Quadri de la Torre G., G Wehenpohl, J Sánchez Gómez., A López Villalobos., y A Nyssen Ocaranza. 2003. Desempeño de gobiernos locales y participación privada en el manejo de residuos urbanos. (En línea). (<http://gtz.org.mx/segem/bas%20limbo-final.pdf>) (Consulta 12 de julio 2005)

Romero S. A. 2001. Incineración de residuos sólidos urbanos. (En línea) (<http://www.icp.csic.es/cyted/Monografias/Monografias2001/C2-327.pdf>) (Consulta 3 de julio 2005)

Rowat, S. C. 1999. Incinerador las emisiones tóxicas: un resumen breve de salud humana efectúa con una nota en mando regulador. Hipótesis 52 médicas. (En línea). (<http://www.greenpeace.org.ar/media/informes/2378.pdf>) (Consulta 3 de septiembre 2005)

Smit, A., T.H.P, Leuweink. A.L.J, van der Panne. W., Gebert. H, Lanzerstorfer. H., Riepl. y K., Hofstadler. 1999.. La reducción de Emisiones de Dioxinas de la Planta con Sistema del la AIRFINE. (En línea) (<http://www.chem.unep.ch/pops/pdf/toolkit/Toolkitsp.pdf>) (Consulta 7 de Julio 2005)

Van Larebeke N. 2000. La salud efectúa de un incinerador de pérdida de casa cerca de Wilrijk, Bélgica. Procedimientos del seminario "la Salud Impacta de Políticas de Dirección Desechadas" (En línea). (<http://www.greenpeace.org.ar/media/informes/2378.pdf>) (Consulta 18 de Julio 2005)

Valdèz de A. 2004. La incineración de basura. (En línea). (<http://www.accionecologica.org/webae/images/docs/urbano/incineracion..pdf>) (Consulta 12 de octubre 2005)

Viel, J.,F. ,P, Arbués. J , Baverel. J.,Y, Cahn. 2000. "Sarcoma del suave-tejido y No - los Racimos de Lymphoma de Hodgkin alrededor de un Incinerador Desechado Municipal con Dioxinas de Emisión a niveles altos" (En línea). (<http://www.greenpeace.org.ar/media/informes/2298.pdf>) (Consulta 3 de julio 2005)

Vikelsoe J y E. Johansen. 2000. La estimación de Emisiones de Dioxina de los Fuegos en Químicos. (En línea). (<http://www.chem.unep.ch/pops/pdf/toolkit/Toolkitsp.pdf>) (Consulta 6 de Julio de 2005)

Webster T., 1990. "Por qué las Dioxinas y Otros Hidrocarburos son Noticias Malas"(En línea). (<http://www.greenpeace.org.ar/media/informes/2393.pdf>) (Consulta 5 de Julio 2005)

Williams, P. T. 1990. Una revisión de polución de la incineración desechada. (En línea). (<http://www.greenpeace.org.ar/media/informes/2378.pdf>) (Consulta 1 de septiembre 2005)

## APENDICE

1.- Allsopp, Michelle. Pat, Costner y Paul , Johnston. 2001.Laboratorios de Investigación de Greenpeace, Universidad de Exeter, Reino Unido. (En línea) (<http://www.greenpeace.org.ar/media/informes/2378.pdf>) (Consulta 20 de julio)

## PREFIJOS

**ARB.** Consejo en Recurso Atmosféricos

**CB's.** Bencenos clorados

**COPs.** Contaminantes Orgánicos Persistentes

**CP's.** Fenoles clorados

**DDPCs.** Dibenzo-p-dioxinas policlorados

**PCBs.** Bifenilos policlorados

**PCDF's.** Dibenzo Furanos Policlorados

**PVC.** Policloruro de vinilo

**RSU.** Residuos Sólidos Urbanos

**TAC.** Contaminante Toxico del Aire

**TCDD.** 2,3,7,8 – tetracloro-dibenzo-p-dioxina

**U.S. EPA.** Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos