



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTILÁN  
CAMPO 1

**DIAGNÓSTICO EN MATERIA AMBIENTAL DEL HORNO INCINERADOR  
DE LA FES-C**

**TESIS**  
PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
**INGENIERO QUÍMICO**

PRESENTA:  
**GARCÍA RODRÍGUEZ CÉSAR JOAQUÍN**

ASESORA:  
**DRA. ALMA LUISA REVILLA VÁZQUEZ**

**Cuautilán Estado de México, 2018**



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.

# INDICE

INDICE.....	2
INDICE DE TABLAS .....	4
INDICE DE FIGURAS .....	5
INTRODUCCIÓN.....	6
RESPONSABILIDAD DEL INCINERADOR .....	8
UBICACIÓN DEL HORNO INCINERADOR .....	8
OBJETIVOS.....	11
I.    MARCO GENERAL .....	11
1.1    LÍMITES EN LA EVALUACIÓN AMBIENTAL DEL PRESENTE TRABAJO .....	11
1.2    IMPORTANCIA DE LA EVALUACIÓN AMBIENTAL.....	12
1.3    DEFINICIÓN DE INCINERACIÓN .....	14
1.4    TIPOS DE SISTEMAS DE INCINERACIÓN.....	15
1.5    INCINERADORES DE CADÁVERES ANIMALES.....	16
II.   CONTAMINACIÓN ASOCIADA A LA INCINERACIÓN .....	18
2.1    EFECTO DE LA TEMPERATURA SOBRE LOS GASES DENTRO DE LAS CÁMARAS DE INCINERACIÓN .....	18
2.2    DESCRIPCIÓN GENERAL DE CONTAMINANTES EN EMISIONES A LA ATMOSFERA.....	19
2.3    CONTAMINANTES A LA ATMOSFERA ASOCIADOS CON LOS PROCESOS DE INCINERACIÓN.....	21
2.4    DEPURACIÓN DE GASES.....	24
2.5    ESTABILIDAD Y COMPORTAMIENTO DE LA PLUMA DE LA CHIMENEA.....	25
2.6    CENIZAS COMO CONTAMINANTES DEL SUELO .....	26
III.  VINVLACIÓN CON NORMAS APLICABLES AL PROCESO DE INCINERACIÓN.....	27
3.1    AUTORIZACIÓN PARA LA INCINERACIÓN DE RESIDUOS PELIGROSOS, TRÁMITE SEMARNAT-07-033-F.....	27
3.2    COMPETENCIA DE LAS NOM PARA LA CALIDAD DEL AGUA. ....	28
3.3    NOM-098-SEMARNAT-2002. PROTECCIÓN AMBIENTAL-INCINERACIÓN.....	30
3.4    NOM-085-SEMARNAT-2011. CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA-NIVELES MÁXIMOS PERMISIBLES DE EMISIÓN DE LOS EQUIPOS DE COMBUSTIÓN DE CALENTAMIENTO INDIRECTO Y SU MEDICIÓN . ....	35
3.5    NOM-043-SEMARNAT-1993. NIVELES MÁXIMOS PERMISIBLES DE EMISIÓN A LA ATMÓSFERA DE PARTÍCULAS SÓLIDAS PROVENIENTES DE FUENTES FIJAS. ....	36
3.6    NOM-052-SEMARNAT-2005. QUE ESTABLECE LAS CARACTERÍSTICAS, EL PROCEDIMIENTO DE IDENTIFICACIÓN, CLASIFICACIÓN Y LOS LISTADOS DE LOS RESIDUOS PELIGROSOS. ....	36
3.7    NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002. PROTECCIÓN AMBIENTAL-SALUD AMBIENTAL-RESIDUOS PELIGROSOS BIOLÓGICO INFECCIOSOS- CLASIFICACIÓN Y ESPECIFICACIONES DE MANEJO .....	38
3.8    DEFINICIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES.....	41
3.9    DEFINICIONES EN MATERIA DE IMPACTO AMBIENTAL DE ACUERDO A LA SEMARNAT. ....	42

3.10	TIPOS DE MEDIDAS ENFOCADAS EN SOLUCIONAR LOS IMPACTOS AMBIENTALES.....	43
IV.	PROCEDIMIENTO/ METODOLOGÍA .....	46
4.1	RESULTADOS ESPERADOS DEL ANÁLISIS AMBIENTAL.....	46
4.2	MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA DE OPERACIÓN .....	46
4.3	DIAGNÓSTICO DE USOS Y PROCEDIMIENTOS DEL HORNO INCINERADOR. ....	48
4.4	EVALUACIÓN CUALITATIVA DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES.....	48
4.5	CRITERIOS Y METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN.....	49
4.6	METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE LA SIGNIFICANCIA ( <i>MANIFESTACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL</i> DE 2009). 50	
V.	RESULTADOS.....	51
5.1	RECONOCIMIENTO DE LOS ALREDEDORES .....	51
5.2	DESCRIPCIÓN DEL ÁREA COMÚN DEL HORNO INCINERADOR.....	53
5.3	RESIDUOS QUE RECIBEN TRATAMIENTO EN EL HORNO INCINERADOR. ....	54
5.4	ESTRUCTURA DEL INCINERADOR.....	56
5.5	RESULTADOS DE LA MEDICIONES DE TEMPERATURA DEL HORNO INCINERADOR .....	60
5.6	CONDICIONES CLIMÁTICAS EN EL SISTEMA AMBIENTAL.....	61
5.7	DESCRIPCIÓN DE LOS IMPACTOS ENCONTRADOS EN LAS ACTIVIDADES PROPUESTAS PARA IDENTIFICACIÓN .....	66
5.8	RESULTADOS DEL CÁLCULOS DE LA SIGNIFICANCIA PARA LOS IMPACTOS ESTUDIADOS .....	71
5.9	JERARQUIZACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS IMPACTOS .....	75
VI.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	76
6.1	DIAGNÓSTICO AMBIENTAL .....	76
6.2	PROPUESTAS DE MEJORA.....	78
VII.	CONCLUSIONES.....	79
VIII.	BIBLIOGRAFÍA .....	80

## INDICE DE TABLAS

<b>TABLA 1.</b> COORDENADAS DEL INCINERADOR .....	9
<b>TABLA 2.</b> FACTORES DE EMISIÓN POR CLASIFICACIÓN*, (PNUMA, 2005).....	17
<b>TABLA 3.</b> ESTIMADOS DE FUENTES ANTRÓPICAS DE DIOXINAS EN ESTADOS UNIDOS EN G DE EQUIVALENTES TÓXICOS (TEQ-TOXIC EQUIVALENTS) POR AÑO, (ENVIRONMENT AUSTRALIA, 1999).24	
<b>TABLA 4.</b> TIPOS DE PLUMA; (ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, 2016). .....	26
<b>TABLA 5.</b> LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE EMISIONES PARA INSTALACIONES DE INCINERACIÓN (TABLA 1 DE LA NOM-098-SEMARNAT-2002).....	33
<b>TABLA 6.</b> CLASIFICACIÓN DE GENERADORES DE RPBI.....	39
<b>TABLA 8.</b> PRINCIPALES VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS DIFERENTES MÉTODOS DE TRATAMIENTO DE LOS RPBI.....	41
<b>TABLA 9-1.</b> CRITERIOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA MAGNITUD DEL IMPACTO.....	49
<b>TABLA 9-2.</b> CRITERIOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA DURACIÓN DEL IMPACTO.....	49
<b>TABLA 9-3.</b> CRITERIOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA FRECUENCIA DEL IMPACTO.....	49
<b>TABLA 9-4.</b> CRITERIOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA REVERSIBILIDAD DEL IMPACTO.....	50
<b>TABLA 10.</b> RESULTADOS DE LOS PROMEDIOS DE LAS MEDICIONES DE TEMPERATURA EN °C.....	60
<b>TABLA 11-1.</b> SIGNIFICANCIA A).....	71
<b>TABLA 11-2.</b> SIGNIFICANCIA B).....	71
<b>TABLA 11-3.</b> SIGNIFICANCIA C).....	71
<b>TABLA 11-4.</b> SIGNIFICANCIA D).....	72
<b>TABLA 11-5.</b> SIGNIFICANCIA E).....	72
<b>TABLA 11-6.</b> SIGNIFICANCIA F).....	72
<b>TABLA 11-7.</b> SIGNIFICANCIA G).....	73
<b>TABLA 11-8.</b> SIGNIFICANCIA H).....	73
<b>TABLA 11-9.</b> SIGNIFICANCIA I).....	73
<b>TABLA 11-10.</b> SIGNIFICANCIA J).....	74
<b>TABLA 11-11.</b> SIGNIFICANCIA K).....	74
<b>TABLA 11-12.</b> SIGNIFICANCIA L).....	74
<b>TABLA 11-13.</b> SIGNIFICANCIA M).....	75
<b>TABLA 11-14.</b> SIGNIFICANCIA N).....	75
<b>TABLA 12.</b> CLASIFICACIÓN DE IMPACTOS POR SIGNIFICANCIA.....	75

## INDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA 1.</b> EDIFICIO DONDE SE ENCENTRA INSTALADO EL HORNO INCINERADOR.....	9
<b>FIGURA 2.</b> MAPA UBICACIÓN HORNO INCINERADOR. SIGEIA 2016.....	10
<b>FIGURA 3.</b> IMAGEN SATÉLITE. UBICACIÓN HORNO INCINERADOR. SIGEIA 2016.....	10
<b>FIGURA 4.</b> PUNTOS SELECCIONADOS PARA MEDIDA DE TEMPERATURA. ....	47
<b>FIGURA 5.</b> VISTA HACIA LA ZONA NORTE DEL INCINERADOR.....	51
<b>FIGURA 6.</b> VISTA DE LA ZONA OESTE (CULTIVOS QUE LE PERTENECEN A LA CARRERA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA). ....	52
<b>FIGURA 7.</b> VISTA SURESTE SE PUEDE OBSERVAR LOS EDIFICIOS DE LA CARRERA DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA. ....	52
<b>FIGURA 8.</b> VISTA HACIA EL SUROESTE DEL HORNO INCINERADOR.....	53
<b>FIGURA 9.</b> RESALTADA EL ÁREA DE INFLUENCIA, Y EL ÁREA DEL INCINERADOR DENTRO DE CAMPO 4.....	53
<b>FIGURA 10.</b> RESIDUOS QUE LLEGAN AL ÁREA DEL HORNO INCINERADOR, PARA SU IDENTIFICACIÓN, EN BOLSA ROJA. ....	55
<b>FIGURA 11.</b> TANQUE DE DIESEL QUE SUMINISTRA AL HORNO INCINERADOR. ....	56
<b>FIGURA 12.</b> DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROCESO DE INCINERACIÓN.....	57
<b>FIGURA 13 (A).</b> CÁMARA DEL INCINERADOR ABIERTA. (B). BOMBA DE DIÉSEL.....	57
<b>FIGURA 14 (A).</b> CÁMARA DEL INCINERADOR ABIERTA. (B). BOMBA DE DIÉSEL.....	58
<b>FIGURA 15.</b> INGRESO DE MATERIAL AL HORNO INCINERADOR.....	58
<b>FIGURA 16.</b> COMPUERTA POR LA QUE SE RETIRAN LAS CENIZAS RESULTADO DE LA INCINERACIÓN. ....	59
<b>FIGURA 17.</b> TERMÓMETRO DE LA CÁMARA DE INCINERACIÓN.....	59
<b>FIGURA 18.</b> PARTE BAJA DE LA CHIMENEA.....	60
<b>FIGURA 19.</b> SUELO EN EL QUE GENERALMENTE SE DISTRIBUYEN LAS CENIZAS.....	62
<b>FIGURA 20.</b> VEGETACIÓN CERCANA A LAS INSTALACIONES DEL HORNO INCINERADOR.....	62
<b>FIGURA 21.</b> SALIDA HACIA EL POZO CONTENEDOR DE LÍQUIDOS. ....	63
<b>FIGURA 22.</b> TAPA DEL POZO RECEPTOR.....	64
<b>FIGURA 23.</b> INTERIOR DEL POZO RECEPTOR.....	64
<b>FIGURA 24.</b> PARTE MÁS ALTA DE LA CHIMENEA. ....	65
<b>FIGURA 25.</b> PLUMA FORMADA POR LA CHIMENEA.....	65
<b>FIGURA 26.</b> DIAGRAMA DE FLUJO DE LA PROPUESTA DE ACTIVIDADES DEL INCINERADOR. ....	78

## INTRODUCCIÓN

La Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (**FESC**) cuenta con un **Horno Incinerador** instalado en el campo 4, el cual brinda servicio a diferentes áreas de la Facultad. Las áreas de interés y que guardan una relación continua con el Horno Incinerador son las que generan residuos biológicos como resultado de las actividades académicas, de enseñanza e investigación, en las diversas disciplinas que se desenvuelven dentro de la FESC y que son parte relevante en la vida de la UNAM. Las carreras que principalmente hacen uso del incinerador son Medicina Veterinaria Zootecnista, Bioquímica Diagnóstica, Farmacia, además también se da servicio al hospital de pequeñas especies, al hospital de equinos, así como el Centro de Enseñanza Agropecuaria. El manejo adecuado de los residuos que se generan en nuestra institución es vital tanto en la formación de los estudiantes, como para la menor afectación al medio ambiente circundante.

El uso de hornos incineradores es una forma de tratamiento final de residuos que tiene como principal ventaja disminuir el volumen de una amplia variedad de residuos en un tiempo corto. Como ejemplo se encuentran incineradores de residuos sólidos urbanos, crematorios humanos y, como en el caso que ocupa el presente trabajo, incineradores de residuos sólidos biológicos cuya carga no es usada como combustible principal. Se menciona esto ya que en el diseño de incineradores cuyo combustible principal es un residuo o propiamente la parte combustible de una serie de residuos, implica distintas condiciones de operación definidas en el diseño del proceso, y también la regulación es distinta cuando por ejemplo se involucra la generación de energía eléctrica como resultado.

La incineración es un proceso cuyas condiciones varían dependiendo entre otros factores, del tipo y cantidad de material a incinerar, de la ubicación del equipo, del combustible utilizado, etc. En términos de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT] se define como “Cualquier proceso para reducir el volumen y descomponer o cambiar la composición física, química o biológica de un residuo sólido, líquido o gaseoso, mediante oxidación térmica, en la cual todos los factores de combustión como la temperatura, el tiempo de retención y la turbulencia, pueden ser controlados, a fin de alcanzar la eficiencia, eficacia y los parámetros ambientales previamente establecidos.” (NOM-098-SEMARNAT-2002). Este tipo de proceso tiene como ventajas el tratamiento de materia orgánica junto con materia inorgánica, desinfección por temperatura, disminución del volumen, menor tiempo de almacenamiento, evitar costos de traslado de residuos; y por otra parte conlleva algunas desventajas ambientales, de seguridad y salubridad que se abordarán en el trabajo.

Los avances en la tecnología de materiales y diseño de equipo han permitido avances en el desarrollo de cámaras de incineración, quemadores, puertas, materiales refractores y otros equipos y materiales para la incineración, sin embargo el horno incinerador opera con la misma tecnología desde hace más de 30 años, lo cual en sí mismo aumenta la probabilidad de tener un riesgo ambiental. Cabe mencionar que desde sus inicios ha continuado en actividades y solo se ha detenido su operación cuando ha sufrido averías mayores, es decir, no se ha implementado un método distinto que busque sustituir al incinerador para el tratamiento de los residuos con los que comúnmente trabaja.

Al tomar en cuenta en particular los impactos ambientales al componente aire, que son los que en principio tienen una mayor magnitud (hecho que se confirmará en la evaluación de impacto ambiental), dado que la cinética química de los gases permite su transporte hacia áreas más lejanas que los contaminantes en estado líquido o sólido, habrá prioridad en proponer medidas que reduzcan el impacto relativo a la emisiones a la atmosfera. Para realizar propuestas de medidas de control, Niessen (2010) explica que el proceso de selección de la tecnología óptima para el control de contaminación al aire es complejo. Esta última definición de “óptima” debe considerar varios criterios técnicos, económicos y demás criterios como: instrumentación, combustible, vida útil, operación, tratamiento de cenizas entre otros.

Para un incinerador de residuos sólidos municipales y aplicable en general al incinerador, Pitchel (2005), describe que un flujo de salida de gases contaminantes, contiene un amplio espectro de sustancias orgánicas e inorgánicas, considerando la Ley de conservación de la materia durante el proceso de incineración, la materia presente en los residuos originales es simplemente convertida en su forma gaseosa o en ceniza. En las condiciones ideales, la materia orgánica se convierte en productos inocuos como CO<sub>2</sub> y agua y se da la consecuente liberación de energía calorífica.

Los contaminantes del aire están divididos en dos grandes grupos: en partículas y gases, ya que los contaminantes en partículas consisten en material sólido y/o líquido, es que los contaminantes del aire pueden pertenecer a cualquiera de las tres formas básicas de materia. Los contaminantes gaseosos incluyen formas gaseosas de azufre y nitrógeno y las partículas contaminantes pueden ser divididas en partículas atmosféricas, partículas finas, y aerosoles, que son las que permanecen en el aire ambiente (Wang, 2014).

El interés principal de llevar a cabo el presente diagnóstico del Horno Incinerador es determinar si las alteraciones provocadas al entorno en el que se encuentra son de alto o bajo impacto, para ello se deben tomar en cuenta: las condiciones de proceso (temperatura, presión y carga) a las que se somete que actualmente no son monitoreadas, las condiciones ambientales en las distintas áreas cercanas a las instalaciones del Horno Incinerador, la eficiencia de la incineración, así como la carga de material a incinerar para una capacidad máxima estimada de 300 kg. Se puede apreciar en particular que la operación del equipo se lleva a cabo dentro una de las “Zonas Críticas (ZC)” mencionadas en la NOM-085-SEMARNAT-2011 de acuerdo al numeral **4.24.3**: “Zona del Valle de México” que incluye al Municipio de Cuautitlán Izcalli. De acuerdo a lo anterior la zona donde opera el incinerador tiene una regulación en materia de calidad del aire más estricta para las emisiones de humo, bióxido de azufre, óxidos de nitrógeno y monóxido de carbono que el resto del país, a lo que se añaden la importancia de las declaraciones de contingencia ambiental de los últimos años debido a alta concentración de contaminantes en el ambiente dentro de la Zona del Valle de México.

### **Responsabilidad del incinerador**

El Horno Incinerador es operado dentro de las instalaciones de la Facultad de estudios Superiores Cuautitlán, en el Campo 4, como parte de las instalaciones de la carrera de Medicina Veterinaria Zootecnista, no existe un departamento enfocado a la administración del incinerador, la responsabilidad de su uso es coordinada por el Departamento de Morfología y Ciencias Agropecuarias, y su mantenimiento y también el de las calderas de toda la FESC, son responsabilidad de la Superintendencia de obras, en donde se programan los mantenimientos y se resuelve si el incinerador requiere alguna pieza que necesite ser reemplazada o reparada.

### **Ubicación del Horno Incinerador**

La ubicación del **Horno Incinerador** es muy importante ya que a través de ella se podrá elaborar un diagnóstico más exacto sobre los impactos que si pudieran presentar dentro del sistema ambiental.



**Figura 1.** Edificio donde se encuentra instalado el horno incinerador

#### Coordenadas

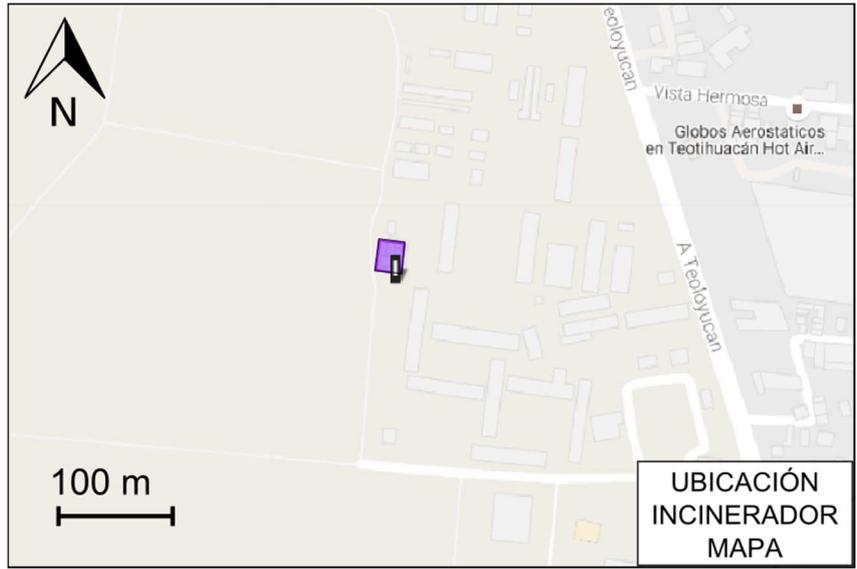
El incinerador utilizado en el Campo 4 de la FESC se encuentra en un área común en la que se compartiendo espacio con la sección de apoyo técnico, una sección de gradas que actualmente tiene uso y las instalaciones propias del incinerador, conformando un área aproximada de 584 m<sup>2</sup>. Las coordenadas aproximadas del área se encuentran en la siguiente tabla.

**Tabla 1.** Coordenadas del incinerador

<b>Coordenadas Zona 14 ITRF92</b>		
<b>Punto</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>
<b>1</b>	2793444.973	858042.014
<b>2</b>	2793467.259	858039.612
<b>3</b>	2793469.711	858065.700
<b>4</b>	2793447.621	858068.048

Proyección: Cónica Conforme de Lambert, DATUM ITRF92. SIGEIA 2016

*Sistema de información geográfica para la evaluación de impacto ambiental [SIGEIA], SEMARNAT (2016)*



**Figura 2.** Mapa Ubicación Horno Incinerador. SIGEIA 2016



**Figura 3.** Imagen Satélite. Ubicación Horno Incinerador. SIGEIA 2016

## **OBJETIVOS**

Realizar una evaluación ambiental sobre el Horno Incinerador de la FESC y proponer medidas de mejora en la operación que ayuden en su funcionamiento.

### **Objetivos Particulares**

- Realizar un estudio de campo en el que se determine de forma general la naturaleza de los residuos y materiales que se someten a incineración y de los residuos del propio proceso de incineración.
- Con base al resultado del diagnóstico, proponer estrategias que permitan la mejora en el uso y funcionamiento del Horno Incinerador y en el manejo de los residuos de la incineración en corto plazo.
- Establecer un vínculo entre las actividades realizadas en el Horno Incinerador con base en la normativa ambiental mexicana vigente y aplicable de la SEMARNAT.

## **I. MARCO GENERAL**

### **1.1 Límites en la Evaluación Ambiental del presente Trabajo**

Tomando en cuenta que a la fecha no se ha realizado un análisis ambiental sobre el Horno Incinerador de forma exhaustiva, y en el que se use como principal herramienta un análisis materia de impacto ambiental, se delimita este trabajo sobre estas características, ya que el análisis ambiental es el interés primario de este trabajo, sin embargo no se omitirán, en la medida en que represente un valor ambiental, las variables económicas, aspectos relacionados con la seguridad, entre otros.

## 1.2 Importancia de la Evaluación ambiental

La necesidad de realizar una evaluación ambiental puede tener varios orígenes, algunos ejemplos son: procurar un trabajo con mejores prácticas ambientales, prevenir alguna discrepancia con la normativa ambiental vigente y aplicable, o en su caso obtener una autorización específicamente en el rubro de Impacto Ambiental. En México la instancia responsable de emitir autorizaciones ambientales a proyectos que así lo requieran conforme a lo estipulado en la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (**LGEEPA**) es la Dirección General de Impacto y Riesgo Ambiental de la SEMARNAT.

En el caso de la presente tesis se compilará la información disponible del Horno Incinerador que permita describir los detalles en relación a su operación. En este sentido es importante mencionar que los impactos ambientales derivados de la construcción del mismo horno y en contraparte de un posible desmantelamiento de la instalación (situaciones que eventualmente provocarían impactos al ambiente) no son el objeto del presente estudio. Por tanto el enfoque que se brindará al diagnóstico es preventivo y con vista hacia una mejora en las prácticas de operación del incinerador, mismo que ha servido por varios años como apoyo para la disposición de los residuos de la FESC.

En este trabajo se identificarán los impactos ambientales considerando los siguientes componentes abióticos susceptibles a ser perturbados por la operación del incinerador: aire, suelo y agua; de los cuales el componente aire es de especial atención debido a la persistencia de contaminantes en la Ciudad de México y Área Metropolitana. Aunado a lo anterior se hará un cotejo con los puntos de las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) para reconocer los puntos a cumplir y que aportan información que ayude a garantizar el funcionamiento adecuado del Horno Incinerador. El traslado, confinamiento, tratamiento de residuos, y las condiciones de operación en sí mismas son cambiantes a través de los distintos semestres, meses, días o hasta incluso en distintas horas del día en que se trabaje, por lo que la dinámica de trabajo entre estas actividades resulta compleja de estudiar.

Actualmente existen organizaciones que se pronuncian en contra de la incineración de residuos a nivel internacional, entre ellos Global Alliance for Incinerator Alternatives (GAIA) (Alianza Global por Alternativas a la Incineración), Greenpeace International, The United Kingdom Without Incineration Network (UKWIN, 2017) (Red Reino Unido Sin Incineración), esta última red argumenta los siguientes puntos en contra de la incineración:

- La incineración es una barrera para el comportamiento circular de la economía.
- La incineración disminuye el reciclaje.
- En la incineración se desperdician recursos limitados (no renovables).
- La incineración intensifica el cambio climático.
- La incineración da pie a preocupaciones legítimas acerca de contaminación de aire.
- Existe una sobrecapacidad en la incineración lo cual presenta cada vez más riesgo.
- El proceso de incineración es molesto a la gente cercana.

A pesar de lo anterior, buscar una alternativa para el tratamiento de los residuos que son sometidos a tratamiento en el Horno Incinerador involucran una reestructuración del proceso actual, que incluye asegurar la condiciones de traslado dentro de la FESC, confinamiento seguro dentro de las instalaciones del Horno Incinerador, que el nuevo tratamiento de residuos sea efectivo, lo cual resulta complejo técnica y administrativamente, tomando en cuenta la demanda constante de servicio, y que tiende a aumentar.

Es por ello que se hará una valoración de los impactos ambientales para así saber, que contaminante requiere una medida urgente de remediación o mitigación, para priorizar las medidas y enfocarlas a donde se necesitan. La actividad del incinerador no pertenece al sector industrial sino más bien académico, el giro es conocido como Combustión de Cadáveres de Animales (CCA), o “carcasas animales” proveniente del inglés “carcass” que se refiere a los cadáveres de animales, sin considerar ningún tipo humano. Esto es relevante ya que los valores de emisiones de contaminantes en proceso de incineración encontrados en la literatura varían considerablemente.

La incineración se presta a ser aceptada por una comunidad académica, por uso y costumbre, pero habrá que estar conscientes de los riesgos y la afectación al alumnado por sus efectos al ambiente. Es aquí donde el conocimiento de distintos procesos aprendidos en Ingeniería Química, pueden ser muy útiles por la transferencia de calor y de masa involucradas, dispersión de contaminantes a la atmosfera, resistividad de los materiales, flujo de fluidos entre otros.

Uno de los puntos particularmente de atención es el hecho que algunas sustancias conocidas como Contaminantes Orgánicos Persistentes a la atmosfera no son monitoreadas de forma constante en México, o al menos no en procesos relativamente locales o no registrados, por lo que los efectos de ciertos contaminantes de este grupo son difícilmente estudiados y pasan desapercibidos, así que la

tecnología no nos asegurará qué efecto tendrán las sustancias directamente provenientes del Horno Incinerador (que puedan generarse también en otros ambientes) en el organismo de los académicos alumnos y trabajadores, esto debido a que las sustancias contaminantes pueden ser absorbidas por la piel, por ingestión de alimentos contaminados o por supuesto por inhalación. En este sentido el principal afectado sin duda es el operador del incinerador, que convive día a día con la responsabilidad de encender el incinerador e ingresar la carga diaria. Sin embargo, depende de todos los usuarios convertir una operación que presenta irregularidades en un proceso comprometido con la mejora continua donde lo primordial es la salud de las personas y el fortalecimiento de un espacio libre y respirable, que por supuesto, debe ser la meta de todas las propuestas de equipo y procedimiento de trabajo en un futuro.

### **1.3 Definición de incineración**

Se puede definir la incineración como un proceso de combustión de los residuos sólidos a temperaturas superiores a **850<sup>0</sup>C** con un exceso de oxígeno de 6% con respecto al estequiométrico, resultando un proceso exotérmico. La incineración reduce en promedio y según la composición de los materiales combustionados, un 90% de volumen y un 70% el peso, resultando el 30% resultante escorias, recogidas a la salida de los hornos de combustión, y cenizas volantes, recogidas en los electrolitos y filtros del sistema de lavado de gases (Colomer, F. y Gallardo A. 2010). Ésta es la definición internacionalmente aceptada, pero en la temperatura de operación no se encuentra vinculada con la emisión de gases a temperaturas elevadas, o no se menciona la estructura del incinerador, la forma en que se presentan los residuos o si es un proceso continuo o por lotes.

La incineración no es únicamente una combustión, es un proceso complejo donde evidentemente, la combustión juega un papel esencial. El material en estado sólido, juega su papel como combustible en la cámara del horno formando una variedad de gases que entran en equilibrio dependiendo principalmente de la temperatura de la cámara y de la naturaleza de los residuos. Estos gases tienen que ser elevados a una temperatura tal que se inicien una serie de reacciones químicas y físicas entre esos gases, reacciones en las cuales la cantidad de oxígeno presente juega un papel fundamental en el producto obtenido, mismo que será el que finalmente se emita a la atmósfera. Para comprender el fenómeno de la incineración es necesario tener en cuenta, la naturaleza en transferencia de materia y calor tanto en la fase sólida como en la gaseosa y la correspondiente fase líquida intermedia.

El calor desarrollado en la combustión, o bien el quemador inicial cuando se inicia la operación, es transferido al resto del residuo lo que provoca:

- Evaporación del agua residual.
- Calentamiento del sólido o líquido.
- Vaporización de compuestos.
- Gasificación de la materia orgánica.
- Pirólisis de otra fracción de la materia orgánica.
- Combustión total o parcial de otra fracción de la materia orgánica.

#### **1.4 Tipos de Sistemas de Incineración**

El avance en la tecnología empleada en incineradores, se ha visto reflejada a través de los años llegando a tener sistemas complejos, que sin embargo y a pesar de ser estructuralmente diseñados para tener eficiencias altas, la variabilidad en la composición de los residuos, principalmente los municipales, provoca alteraciones dramáticas en las condiciones de operación. El tipo de incinerador está conformado por la disposición de equipo principal, que son la cámara de incineración, las rejillas que sostienen el material a incinerar y la chimenea la cual debe de soportar las condiciones de los gases producto de la combustión.

Tomando como base estos componentes y como se describe en texto de Niessen (2010), en general los hornos incineradores chicos, utilizan una rejilla fija o una chimenea refractaria para conducir los gases de rechazo, pero han existido incineradores sin rejilla en los cuales en ausencia de aire de fondo, el fuego se administra por uno o varios lados o incluso por la parte superior del incinerador, estos funcionan por cargas, esto significa que los residuos se procesan, y para ingresar más material se deja incinerar el que entro en la primera carga. Asimismo existen incineradores rotatorios (cilindro sólido de metal) que tienen como objetivo ingresar los residuos hacía una zona de combustión de alta temperatura y mezclar los sólidos durante la combustión y permitir que sigan encendidos con el movimiento.

Los incineradores por cargas se siguen utilizando, para los cuales se desarrollaron los incineradores con rejillas mallas operadas mecánicamente en forma cilíndrica, o en forma de rejillas recíprocantes

o de empuje, que transportan los residuos a través de diversos escalones que fuerzan al material a descender a los niveles siguientes sucesivamente.

La evolución de los incineradores continuó en los procesos continuos, los cuales también utilizan mallas mecánicas. Estos están diseñados para tener un ingreso constante de material, y por consiguiente un flujo constante de material de rechazo, ambos sobre una malla que funciona como una cama móvil, en la cual el movimiento realiza el movimiento del material en combustión y permite que continúe encendidas las llamas. De forma similar existen incineradores con mallas reciprocantes pero que a diferencia de los anteriores mencionados tienen una forma de proceso continua.

#### *Incineradoras alimentadas por Combustibles Derivados de Residuos (CDR).*

Como mencionan Tchobanoglous, G. y Theissen H. (1994), los Combustibles Derivados de Residuos son en conjunto la fracción orgánica de Residuos Sólidos Urbanos con una consistencia bastante buena como para cumplir las especificaciones de contenido energético, humedad y contenido de cenizas. Se puede producir CDR en forma triturada o fibrosa, o en formas cilíndricas o cúbicas densificadas. Por el contenido energético más alto del CDR comparándolo con los Residuos Sólidos Urbanos las emisiones asociadas a su incineración son muy bajas comparados con todos los demás residuos ya que sufrieron un proceso anterior que cambia sus propiedades, en el que es fundamental la selección del tipo de residuo, por tanto los datos de emisiones asociadas a CDR no aplican para compararlas con las de CCA.

### **1.5 Incineradores de Cadáveres Animales**

Como es afirmado por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA] (2005): “Los cadáveres de animales se pueden quemar con el objeto de evitar los riesgos que de otra forma podrían implicar para la salud pública su putrefacción”. El propio proceso de combustión se halla con frecuencia escasamente controlado y la combustión suele ser incompleta, ya que el propósito principal es el de desinfectar y erradicar por completo toda actividad biológica y no el de obtener una combustión completa o generar energía. Los cadáveres de animales se queman con frecuencia en hornos sencillos de baja tecnología. Por consiguiente, es prácticamente imposible dar una descripción de un horno típico destinado a la quema de cadáveres de animales. Lo más frecuente es que estos

hornos no estén diseñados para garantizar una combustión bien controlada ni una gran eficiencia de retención de partículas para mantener bajas las emisiones de para-dibenzo-dioxinas policloradas (PCDD) y dibenzofuranos policlorados (PCDF).

Las vías de liberación de contaminantes son por medio de emisiones de gases y residuos sólidos/drenes, para el caso del uso del **Horno Incinerador** no existe algún estudio en el que se defina la relación Aire/Cenizas en la que se emiten PCDD/PCDF.

**Tabla 2.** Factores de emisión por clasificación\*, (PNUMA, 2005).

Clasificación	Factores de emisión µg de EQT/t de cadáveres de animales quemados	
	Aire	Residuos
1. Hornos antiguos, que funcionan en “batch”, sin equipo de CCA	500	ND
2. Instalaciones modernizadas de funcionamiento continuo y controlado, con algún equipo de CCA.	50	ND
3. Instalaciones modernas y avanzadas de funcionamiento continuo y controlado, con sistema de CCA completos	5	ND

\* CCA: Control de contaminantes a la atmosfera.

Temperatura: Se ha informado que la formación de PCDD/PCDF en la zona de postcombustión y en los equipos de control de contaminación atmosférica se encuentra en un rango entre 200 °C y 650 °C. Existe consenso general de que el rango de mayor formación está entre 200 °C y 400 °C, con un máximo cerca de 300 °C.

De acuerdo a la Tabla 2, los hornos incineradores antiguos sin equipo de Control de Contaminantes a la Atmósfera como en el caso del **Horno Incinerador**, tienen mayores Factores de emisión en µg de EQT/t. Los EQT/t se definen como el equivalente de toxicidad por tonelada que se emiten a todos los componentes con referencia a la especie más toxica, como se indica en los siguientes párrafos (PNUMA, 2005) donde se explica la complejidad de cuantificar el nivel de toxicidad de estas sustancias:

*“Diversos organismos reglamentarios han desarrollado los llamados Factores de Equivalencia de Toxicidad (FET) para evaluar el riesgo de mezclas complejas de PCDD/PCDF. Los FET se basan en valores de toxicidad aguda determinados en estudios in vivo e in vitro. Esta*

*aproximación se basa en la observación de que estos compuestos tienen un mecanismo de acción común, mediado por receptores. Pero la idea de los FET tiene sus limitaciones debido a numerosas simplificaciones. Aunque la base científica no puede considerarse sólida, la idea de los FET se ha desarrollado como instrumento administrativo y permite convertir datos analíticos cuantitativos de congéneres individuales de PCDD/PCDF en un solo Equivalente de toxicidad (EQT). Los FET son particularmente útiles para expresar la toxicidad acumulativa de mezclas complejas de PCDD/PCDF con un solo valor de EQT. Debe advertirse que los FET son valores provisionales e instrumentos administrativos para hacer estimaciones de orden de magnitud. Se basan en el estado actual de los conocimientos y deberán ser revisados a medida que vayan obteniéndose nuevos datos.*

*En la actualidad están en uso dos esquemas: el más antiguo es el de los FET establecidos por un Grupo de Trabajo OTAN/DCSM sobre dioxinas y compuestos relacionados como factores internacionales de equivalencia de toxicidad (FET-I) (OTAN/DCSM 1988, CUT et al. 1990) y el plan más reciente establecido por un grupo de trabajo OMS/PCS que ha reevaluado los FETI y ha establecido un nuevo plan. Los dos esquemas se muestran en Tabla 93. Aquí se muestran solamente los FET para la evaluación del riesgo de seres humanos y mamíferos, y el grupo OMS/IPCS también ha incluido entre los FET a los bifenilos policlorados non-orto y mono-orto sustituidos (PCB) y han establecido unos FET independientes para peces y aves (van Leeuwen y Younes 1998).”*

## **II. CONTAMINACIÓN ASOCIADA A LA INCINERACIÓN**

### **2.1 Efecto de la temperatura sobre los gases dentro de las cámaras de incineración**

Una parte esencial del comportamiento de los residuos es entender lo que le sucede al aumentar la temperatura media del proceso de incineración que afecta directamente a los residuos en un proceso de incineración. La primera etapa de temperatura que va desde los 300 °C corresponde a evaporación total del agua y al comienzo de la fase de volatilización, en la que los compuestos con punto de ebullición menor a 300 °C se desprenden en forma de gas: A partir de esta temperatura comienzan las reacciones de combustión (Niessen, 2010).

La segunda etapa abarca desde los 300 a los 1000 °C la cual corresponde a la oxidación de la materia orgánica con la consiguiente formación de SO<sub>x</sub> y CO<sub>2</sub>, si existen productos que lo propicien; hacia los 700 °C se producen sintetizaciones. A mayor temperatura y en función de la naturaleza reductora

del medio, las reacciones de gasificación, es decir, las reacciones en la que deja de intervenir el oxígeno. Esto provoca que el equilibrio se desplace y se formen CO y SO<sub>x</sub>. A partir de los 900 °C se inicia la formación de NO<sub>x</sub> de origen térmico a partir del nitrógeno del aire.

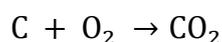
En la última etapa, a partir de los 1000 °C se inicia la volatilización de los metales pesados, y continúa el desprendimiento de NO<sub>x</sub>, esta etapa toma relevancia en cuando a la contaminación a la atmosfera por la volatilización de los metales.

## 2.2 Descripción general de contaminantes en emisiones a la atmosfera

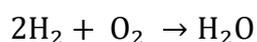
El aire atmosférico, es una mezcla en estado gaseoso, que está formada en su mayoría por nitrógeno y oxígeno. Otros elementos no metálicos existen en la naturaleza como hidrógeno (H<sub>2</sub>), flúor (F<sub>2</sub>), cloro (Cl<sub>2</sub>), además de gases nobles incluidos helio (He), neón (Ne), Argón (Ar).

Tomando en cuenta que los elementos principales de los residuos sólidos son carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y azufre, además de trazas de otros elementos, los productos derivados de la incineración de residuos sólidos con cantidades de aire incluirían dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), agua (H<sub>2</sub>O) nitrógeno (N<sub>2</sub>) y pequeñas cantidades de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>). En realidad son posibles muchas secuencias de reacción, según la naturaleza exacta de los residuos y las características operacionales del reactor de combustión. Las reacciones básicas para la oxidación (combustión) de carbono, hidrógeno y azufre (y sus masas atómicas contenidas en la fracción orgánica de los residuos sólidos) son las siguientes:

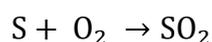
Para carbono



Para hidrógeno



Para azufre



Tchobanoglous, G. y Theissen H. (1994).

Algunos ejemplos de compuestos moleculares gaseosos encontrados en el aire atmosférico son: monóxido de carbono (CO), el bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), óxido nítrico (NO<sub>2</sub>), amoniaco (NH<sub>3</sub>), los óxidos de azufre SO<sub>2</sub> y SO<sub>3</sub>, y elementos no metálicos, con formas moleculares sencillas (bajos pesos moleculares).

## Clasificación general de contaminantes emitidos a la atmósfera

En la atmósfera se encuentran una serie de compuestos que contribuyen a la contaminación del aire, de los cuales se pueden diferenciar dos grupos principales (Contreras A. et al, 2013):

A. **Contaminantes primarios**. Son vertidos directamente a la atmósfera por alguna fuente de emisión como chimeneas, automóviles, entre otros. Los contaminantes atmosféricos que integran este grupo son:

- Óxidos de azufre (SO). Se forman por la combustión del azufre presente en el carbón y el petróleo. Los SO<sub>x</sub> forman con la humedad ambiente aerosoles, incrementando el poder corrosivo de la atmósfera, disminuyendo la visibilidad y provocando la lluvia ácida.
- Monóxido de carbono (CO). Es el contaminante más abundante en la capa inferior de la atmósfera. Se produce por la combustión incompleta de compuestos de carbono. Es un gas inestable que se oxida generando dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Alrededor del 70 por ciento del CO emitido de forma antrópica proviene de los vehículos.
- Óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>). Se producen en la combustión de productos fósiles, destacando los vehículos, carbón y quemados de madera. La producción de fertilizantes y explosivos, tabaco y calderas generan emisiones importantes de NO<sub>x</sub>. El monóxido de nitrógeno (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) requieren especial atención. El NO se oxida formando NO<sub>2</sub>, mientras que el NO<sub>2</sub> es precursor del esmog fotoquímico.
- Partículas. Es material respirable presente en la atmósfera en forma sólida o líquida (polvo, cenizas, hollín, partículas metálicas, cemento y polen, entre otras). De acuerdo con su tamaño se pueden dividir en dos grupos principales: las de diámetro aerodinámico igual o inferior a los 10 µm (PM1) y las de fracción respirable más pequeña (PM 2,5).
- Hidrocarburos (HC). Las emisiones de HC están asociadas a la mala combustión de derivados del petróleo. Las fuentes más importantes de emisión son el transporte por carretera, los disolventes, pinturas, vertederos y la producción de energía. Los de mayor interés son los

compuestos orgánicos volátiles (COV), dioxinas, furanos, bifenilos policlorados (PCB) y los hidrocarburos policíclicos aromáticos (PAH).

B. **Contaminantes secundarios.** Son los contaminantes originados en el aire como consecuencia de la transformación y reacciones químicas que sufren los contaminantes primarios en la atmósfera. Se pueden considerar:

- Ozono ( $O_3$ ). Como se mencionó anteriormente el  $O_3$  forma parte de la composición de la atmósfera, sin embargo a baja altura ( $O_3$  troposférico) resulta perjudicial por su carácter oxidante, reactivo, corrosivo y tóxico, por lo que reacciona con rapidez generando compuestos secundarios.
- Lluvia ácida. Es el término que se ha usado para describir el proceso por el cual ciertos ácidos se forman en la atmósfera a partir de contaminantes y luego se precipitan a la tierra. El  $SO_2$  (dióxido de azufre) y los  $NO_x$ , causan la lluvia ácida. Estas sustancias en presencia de agua,  $O_2$  y otros compuestos químicos forman ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) y ácido nítrico ( $HNO_3$ ) respectivamente, que se precipitan a la tierra en forma líquida cuando se presentan lluvias o en forma seca en presencia de nevadas o neblinas. El pH de la lluvia normal es de alrededor de 6, mientras que la lluvia ácida presenta un pH menor a 5.
- Contaminación fotoquímica. La constituyen la luz solar y sustancias susceptibles de ser oxidadas. El smog fotoquímico es una mezcla de contaminantes que se forman por reacciones producidas por la luz solar al incidir sobre los contaminantes primarios.

### **2.3 Contaminantes a la atmosfera asociados con los procesos de incineración**

Como explica Narváez (2006): “Una combustión absolutamente limpia produciría  $CO_2$  y  $H_2O$ , junto con el aire en exceso”. Sin embargo, esta condición dista mucho de la realidad. Así, debido a la heterogeneidad en la composición y tamaño de los residuos, se produce un desbalance estequiométrico de la reacción que afecta la eficacia de destrucción térmica, generando nuevos contaminantes.

En los humos provenientes de incineradores de desechos se han identificado más de 300 compuestos los cuales se pueden agrupar en:

- Gases ácidos: HCl, HF, HI, HBr, SO<sub>2</sub>, Cl<sub>2</sub>, Br<sub>2</sub>, I<sub>2</sub>, etc.
- Metales pesados: Pb, Cd, Hg, Cr, Sb, As, Ti, etc.
- Polvo y ceniza: metales, silicatos, óxidos, etc.
- Productos de combustión incompleta (PICs): CO, hollín, alquitranes, aromáticos.
- Hidrocarburos halogenados (HCX): clorofenoles, Dioxinas, Furanos, etc.

La incineración ha sido objeto de críticas desde el punto de vista medioambiental debido a la formación de sustancias muy tóxicas, dioxinas y furanos, que junto a diferentes metales pesados pueden ser emitidos por estas instalaciones (Colomer, F. y Gallardo A. 2010).

Para evitar la liberación de dioxinas por la combustión el proceso debe de seguir los siguientes puntos:

- Temperatura mínima de combustión, por encima de 800-900 °C, lo ideal es que se sitúe siempre por encima de 1000 °C.
- Tiempo de residencia mínimo de 2 segundos de los gases de combustión a esa temperatura.
- Turbulencia en exceso de oxígeno para asegurar la combustión completa.

En las chimeneas, debe haber sensores que controlen la emisión de gases tóxicos a la atmosfera, efectuando un registro que debe ser presentado periódicamente al organismo oficial competente en la materia.

- Dioxinas, furanos y hexaclorobenceno.

Las dibenzo-para-dioxinas y dibenzofuranos (PCDD y PCDF) son compuestos con propiedades químicas similares. Cada uno comprende dos anillos de benceno interconectados por átomos de oxígeno. En el caso de las PCDD los anillos de benceno están unidos por dos átomos de oxígeno y en el caso de los PCDF los anillos están interconectados por un átomo de carbono y uno de oxígeno.

El HCB o perclorobenceno pertenece al grupo de compuestos orgánicos del tipo aromático y no se encuentra de manera natural en el ambiente. Al ser un compuesto aromático comparte todas las

características de este tipo de sustancias, entre las que se encuentran: Efectúan reacciones de sustitución, Presentan resonancia y son estables, Su geometría es octagonal y plana.

Las dioxinas, furanos y HCB se forman en la mayoría de los sistemas de combustión. Entre estos se encuentra la incineración de residuos (residuos sólidos municipales, lodos de planta de tratamiento, residuos médicos y residuos peligrosos); la combustión de diversos combustibles, como carbón, madera y los productos derivados del petróleo; los hornos cementeros y la quema no controlada de basura doméstica en patios (García y Castro, 2017)

En la incineración de residuos sólidos aparecen los elementos necesarios para que sea posible la formación de dioxinas y furanos. Desde que se encontraron niveles elevados de estos organoclorados en emisiones gaseosas y en cenizas de incineradoras y posteriormente en la leche de las vacas de las granjas cercanas algunas incineradoras, se considera este proceso como la fuente más importante de generación.

#### Influecia de la incineración en la contaminación ambiental

La tabla 3 muestra las fuentes emisoras de dioxinas en Estados Unidos (Hileman 1998). La cantidad de dioxinas generadas por quemar basura doméstica, incendios en rellenos sanitarios clandestinos y sinterización de mineral de hierro, están basadas en la magnitud estimada del proceso. Evidentemente para determinar impactos particularmente asociados a los generadores de dioxinas se requeriría una investigación a detalle en cada caso.

Asímismo se muestra el estimado de emisiones en el cual la incineración de residuos sólidos urbanos aporta alrededor de 25% de las emisiones antropicas de dioxinas que se conocen, este valor tiende a disminuir en la medida en que nuevos incineradores sean puestos en marcha y los antiguos sean cerrados. Una conclusión similar fue propuesta por Rappe (Fiedler & Van den Berg 1996) quienes escribieron que todos los inventarios europeos afirman que con tecnología moderna de incineración de residuos sólidos municipales ya no es la mayor fuente de PCDD/PCDF a la atmósfera.

**Tabla 3.** Estimados de fuentes antrópicas de dioxinas en Estados Unidos en g de equivalentes tóxicos (TEQ-Toxic Equivalents) por año, (Environment Australia, 1999).

<b>Fuente</b>	<b>g de TEQ anual</b>
Residuos Sólidos Urbanos.	1100
Basura doméstica.	1000*
incendios en rellenos sanitarios clandestinos	1000*
Fundido secundario de cobre.	541
Incineración de Residuos Hospitalarios	447
Incendio de bosques, cepillado de ramas y hojas, paja	208
Hornos de cemento	171
Sinterización de mineral de hierro	100*

\*basadas en la magnitud estimada del proceso

## 2.4 Depuración de gases

Las emisiones procedentes de una incineradora deben cumplir los límites que fijan las normas legales. Varias técnicas de depuración aplican para distintos contaminantes.

### Partículas contaminantes

Forman parte de estas partículas las cenizas volantes y los finos arrastrados por el horno, los componentes condensados y los reactivos y productos de reacción formados como consecuencia de los compuestos empleados en los equipos de depuración. Por ello, el método de retención depende tanto del tipo del horno como del sistema de depuración general. La propia cámara de recuperación constituye un elemento de eliminación de partículas que complementado con ciclones, precipitadores electrostáticos, filtros de mangas o filtros cerámicos limita las emisiones a valores inferiores a 10 mg/m<sup>3</sup>, pudiéndose alcanzar valores entre 10 y 100 veces menores.

Muchos metales pesados solo aparecen en fase sólida, Pb, Cr, Cu, Mn, Ni, con lo cual sus emisiones dependerán de que se realice una adecuada separación de los materiales que los contengan y de la eficacia de la tecnología empleada para retener las partículas.

Los restantes metales pesados de interés medioambiental, Cd, Hg, As, aparecen tanto en las partículas sólidas como en la fase gaseosa, por este motivo su retención requiere el empleo de una técnica adicional.

Monóxido de carbono y sustancias orgánicas.

Los sistemas de depuración de gases no incorporan equipos específicos para destruir o retener estos contaminantes por lo que la mayor o menor concentración en los gases emitidos depende del comportamiento de la combustión. El comportamiento del horno y de la cámara de postcombustión son los que permiten que el monóxido de carbono no alcance los  $50 \text{ mg/m}^3$  y las sustancias orgánicas los  $10 \text{ mg/m}^3$ .

Gases Ácidos:  $\text{SO}_2$ , HCl, HF.

Los tres componentes ácidos  $\text{SO}_2$ , HCl (compuestos inorgánicos con cloro) y HF (compuestos inorgánicos con fluor) se forman en el proceso de combustión, su retención puede efectuarse incorporando carbono cálcico y con un tiempo de residencia lo suficientemente elevado, con lo que se lograrán retenciones del 90% para azufre y fluor y de 50% para el cloro. Los productos formados son sólidos que abandonan el sistema formando parte de las escorias y de las cenizas en forma de sales cálcicas.

## **2.5 Estabilidad y comportamiento de la pluma de la chimenea.**

El grado de estabilidad atmosférica y la altura de mezcla resultante tienen un importante efecto en las concentraciones de contaminantes en el aire ambiental. La combinación de los movimientos verticales y horizontales del aire influye en el comportamiento de las plumas de fuentes fijas. Los diversos tipos de plumas característicos de diferentes condiciones de estabilidad se presentan en la tabla 4.

**Tabla 4.** Tipos de Pluma; (Organización Panamericana de la Salud, 2016).

Pluma de espiral	Se produce en condiciones muy inestables debido a la turbulencia causada por el acelerado giro del aire.
Pluma de abanico	Se produce en condiciones estables. El gradiente de inversión inhibe el movimiento vertical sin impedir el horizontal y la pluma se puede extender por varios kilómetros a sotavento de la fuente.
Pluma de cono	Es característica de las condiciones neutrales o ligeramente estables. Este tipo de plumas tiene mayor probabilidad de producirse en días nublados o soleados.
Pluma de flotación	Cuando las condiciones son inestables sobre una inversión, la descarga de una pluma sobre esta da lugar a una dispersión efectiva sin concentraciones notorias en el nivel del suelo alrededor de la fuente.
Fumigación	Si la pluma se libera justo debajo de una capa de inversión, es probable que se desarrolle una grave situación de contaminación del aire. Cuando la inestabilidad alcanza el nivel de la pluma entrampada bajo la capa de inversión, los contaminantes se pueden transportar rápidamente hacia abajo hasta llegar al suelo.

## 2.6 Cenizas como contaminantes del suelo

Tomando como referencia de estudio de composición en cenizas producto del incinerador Trieco, situado en el área de Dock Sud de la Provincia de Buenos Aires (Brigden, 2000), se pueden citar los siguientes puntos generales como ejemplo de la problemática tóxica asociada a los procesos de incineración:

- Las cenizas producidas en el incinerador de Trieco contienen un amplio espectro de contaminantes tóxicos, especialmente niveles altos de metales pesados. La presencia de dioxinas (0,106 ppb I-TEQ) fue confirmada en la muestra de cenizas en que se realizó este análisis.
- El inadecuado almacenamiento de estas cenizas resulta en la liberación de contaminantes hacia el ambiente. Esto se demuestra claramente por los altos niveles de varios metales pesados en el sedimento cercano a esta instalación.
- Una muestra de sedimento tomada de un canal que sale de la planta de Trieco contenía varios metales tóxicos en niveles significativamente elevados, con ciertos metales en concentraciones más altas que las encontradas en las propias cenizas. Esto puede deberse tanto a la acumulación de metales lixiviados de las cenizas a los sedimentos, como al transporte de las fracciones finas de cenizas, el cual puede contener concentraciones más altas de estos metales que las cenizas en su totalidad.

### **III. VINVULACIÓN CON NORMAS APLICABLES AL PROCESO DE INCINERACIÓN**

#### **3.1 Autorización para la incineración de residuos peligrosos, Trámite SEMARNAT-07-033-F.**

En la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos en su artículo 50, fracción V, se incluye a la Incineración de residuos peligrosos dentro de las actividades que requieren autorización de la SEMARNAT. Este trámite aún no se realiza y es el que permite obtener autorización para la incineración de residuos peligrosos.

La información requerida para realizar dicho trámite la está enlistada en el artículo 49, fracción VI, del Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos de la siguiente forma:

- a) El proceso que se empleará para incinerar residuos peligrosos, mencionando las capacidades nominal y de operación, anuales, de los equipos a instalar, incluyendo el balance de materia y energía e indicando los parámetros de control del proceso;
- b) Las temperaturas de proceso, eficiencia del equipo, eficiencia de destrucción de los residuos que puede alcanzar el sistema, tiempo de residencia de los gases y las concentraciones de los contaminantes que genera el equipo;
- c) El sistema de alimentación de residuos peligrosos, así como las operaciones realizadas en esta actividad;
- d) Los combustibles utilizados para la incineración de residuos, incluyendo su almacenamiento y forma de alimentación durante la operación, y
- e) El sistema de control y monitoreo de emisiones, incluyendo su operación y puntos de muestreo.

Los criterios para obtener una resolución positiva para este trámite son los siguientes:

- Es necesario que las actividades de manejo integral de los residuos peligrosos no contravengan la normatividad aplicable.
- Es necesario que la actividad que pretende ser autorizada debe corresponder con la definida en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos y en su Reglamento.
- Es indispensable que todos los datos de información deben corresponder con los documentos que acompañen al trámite.

- Es indispensable suministrar a esta Dependencia la información de soporte técnico de los procesos o tecnologías a los que se someterán los residuos peligrosos.
- Es necesario que el balance de materia, el balance de energía, el diagrama de flujo y la descripción del proceso deben ser correspondientes y se debe señalar la base de cálculo correspondiente.
- Es obligatorio que mientras no se emita la Norma Oficial Mexicana sobre protocolos de pruebas, la evaluación se realizará con base en lo detallado en el artículo transitorio décimo segundo del Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos.
- Es indispensable que tratándose de incineración se especifiquen las medidas para dar cumplimiento a las normas oficiales mexicanas que se expidan de conformidad con los Convenios Internacionales de los que México sea parte.
- Es necesario que la Secretaría podrá imponer restricciones a la incineración que estipulen grados de eficiencia y eficacia que deben alcanzar los procesos y los parámetros ambientales que deben cumplirse a fin de prevenir y reducir la liberación al ambiente de sustancias contaminantes, particularmente las tóxicas.
- Es necesario que la alimentación de residuos peligrosos al proceso de incineración también podrá restringirse, cuando se defina que dichos residuos peligrosos son susceptibles de ser valorizados mediante otros procesos disponibles y éstos sean ambientalmente eficaces, tecnológicamente y económicamente factibles.

### **3.2 Competencia de las NOM para la calidad del agua.**

Las NOM en materia de aguas residuales que deben ser cumplidas en territorio mexicano son las NOM-001-SEMARNAT-1996, NOM-002-SEMARNAT-1996 y NOM-003-SEMARNAT-1997.

NOM-001-SEMARNAT-1996 establece los límites máximos que son permitidos en la descarga de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, de acuerdo a las siguientes definiciones:

**Aguas residuales:** Las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas.

Descarga: Acción de verter, infiltrar, depositar o inyectar aguas residuales a un cuerpo receptor.

Cuerpo receptor: Son las corrientes, depósitos naturales de agua, presas, cauces, zonas marinas o bienes nacionales donde se descargan aguas residuales, así como los terrenos en donde se infiltran o inyectan dichas aguas cuando puedan contaminar el suelo o los acuíferos

Aguas Nacionales: Aguas marinas interiores, lagunas y esteros en comunicación con el mar, lagos interiores y ríos desde el punto de cauce en que se inicien las primeras aguas de la corrientes constantes o intermitentes y sus afluentes directos o indirectos, cuando el cauce de aquellas que se encuentren en los límites del territorio Nacional, las de los manantiales que broten en las playas, zonas marítimas, cauces, vasos o riberas de los lagos, lagunas o esteros de propiedad nacional, y las que se extraigan de las minas; y los cauces, lechos o riberas de los lagos y corrientes interiores en la extensión que fija la ley (Constitución Política Mexicana, 1917).

Bienes Nacionales: Las playas y zonas federales, los terrenos ocupados por los vasos de lagos, lagunas, esteros o depósitos naturales cuyas aguas sean de propiedad nacional, los cauces de las corrientes de aguas nacionales, las riberas o zonas federales contiguas a los cauces de las corrientes y a los vasos o depósitos de propiedad nacional, los terrenos de los cauces y los de los vasos de lagos, lagunas o esteros de propiedad nacional descubiertos por causas naturales o por obras artificiales, las islas que existen o que se formen en los vasos de lagos, lagunas, esteros, presas y depósitos o en los cauces de corrientes de propiedad nacional, las obras de infraestructura hidráulica financiadas por el gobierno federal, como presas, diques, vasos, canales, drenes, bordos, zanjas, acueductos, distritos o unidades de riego y demás construidas para la explotación, uso, aprovechamiento, control de inundaciones y manejo de las aguas nacionales, con los terrenos que ocupen y con las zonas de protección correspondientes (Ley de Aguas Nacionales, 1992).

Al no haber una descarga en el cauce de aguas superficiales, no se incluye la descarga asociada al **Horno Incinerador** hacia aguas o bienes nacionales por definición, sin embargo dentro de las descargas reguladas, se considera la infiltración en terreno donde se puedan contaminar el agua o los acuíferos, es decir, en medida en que la filtración del pozo receptor de aguas residuales tenga capacidad de infiltrar agua, y esta corriente pueda contaminar el suelo (cuando es utilizado para actividades agrícolas) o los acuíferos, se encontrara regulado por la NOM-001-SEMARNAT-1996. Por tanto se deberían cumplir los límites máximos permisibles para contaminantes básicos metales pesados y cianuros, en inconveniente es que el valor de referencia más cercano en las tablas de

parámetros es el de Agua para uso de riego agrícola, campo en el que no inciden las aguas residuales del Horno Incinerador.

En cuanto a la NOM-002-SEMARNAT-1996 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal con el fin de prevenir y controlar la contaminación de las aguas y bienes nacionales, así como proteger la infraestructura de dichos sistemas.

Esta norma se encuentra enfocada a regular los parámetros de agua residual que son medidos en un punto de descarga específico seleccionado para la toma de muestras, en el que se garantiza que fluye la totalidad de las aguas residuales de la descarga hacia el alcantarillado municipal, por lo cual este punto es obligatorio de ser cumplido para la calidad del agua producto del uso del Horno Incinerador.

Por su parte la NOM-003-SEMARNAT-1997 regula las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público, con el objeto de proteger el medio ambiente y la salud de la población, dentro de sus tablas de límites máximos permisibles de contaminantes existen 2 categorías: Servicios al público con contacto directo y servicios al público con contacto directo y ocasional. Las aguas residuales provenientes del Horno Incinerador y del lavado de las operaciones no son tratadas para reúso con contacto humano indirecto o directo, ya que no sería el suficiente flujo de salida para considerar práctico el uso del agua ya que no se utiliza agua diariamente.

### **3.3 NOM-098-SEMARNAT-2002. Protección Ambiental-Incineración.**

Esta NOM establece las especificaciones de operación, así como los límites máximos permisibles de emisión de contaminantes a la atmósfera para las instalaciones de incineración de residuos, esta NOM a diferencia de las anteriores, puntualiza varios aspectos relacionados directamente con el proceso de incineración. Es aplicable para todas aquellas instalaciones destinadas a la incineración de residuos en territorio nacional.

Especificaciones en materia ambiental

- Especificaciones Administrativas:

De acuerdo a la NOM-098-SEMARNAT-2002 para obtener la Autorización para el manejo de residuos peligrosos que pretendan su reúso, reciclaje, tratamiento o incineración, los responsables de

la instalación del proceso de incineración son responsables de presentar un protocolo de pruebas (5.1), esta autorización no se tramitó ya que la instalación del horno incinerador es anterior al decreto de esta norma.

- Especificaciones Ambientales:

La instalación de incineración debe contar con un sistema de registro de datos a través de bitácoras o archivos electrónicos, aplicables a la recepción, almacenamiento, proceso de incineración incluyendo los sistemas de control de emisiones, monitoreo de contaminantes y disposición de residuos sólidos de acuerdo a lo que establezca la SEMARNAT (5.3). En relación a este punto existen bitácoras que aún se están implementando para tener datos de la recepción de material a incinerar, sin embargo se carece de la información certera de la masa en ingresa al incinerador diariamente, ya que tampoco se tiene un equipo de medición para este propósito (7.3).

Teóricamente por el hecho de tratar residuos peligrosos se debe efectuar una medición por radiación, utilizando un detector de centelleo, por lo cual si se encontrara una medición del doble de la cantidad de fondo se daría parte a las instancias correspondientes, sin embargo no se ingresa material radiológico a las instalaciones del Horno Incinerador que propicie un ambiente radiactivo de riesgo.

Sin duda unos de los puntos más importantes y discutibles desde el punto de vista técnico, es el punto 7.5 en el apartado “Operación de la instalación” de la NOM el cual se cita a continuación:

*“El diseño, equipamiento y funcionamiento de las instalaciones de incineración deben permitir que la temperatura de los gases derivados de la incineración de los residuos se eleve, tras la última inyección de aire de combustión, de manera controlada y homogénea, aun en las condiciones más desfavorables, hasta por lo menos 850°C, alcanzados en o cerca de la pared interna, de la cámara de combustión final, durante un tiempo mínimo de por lo menos dos segundos. En el caso de que se incineren residuos peligrosos que contengan más del 1% de sustancias organocloradas expresadas en cloro, la temperatura deberá elevarse hasta 1,100°C, y durante 2 segundos como mínimo.*

*Cuando se compruebe que por cuestiones tecnológicas, de eficiencia de los equipos y por la corriente de los residuos a incinerar, la temperatura de operación pueda ser menor a 1100°C, con una eficiencia de destrucción del 99.9999% para el compuesto organoclorado de mayor estabilidad térmica que se encuentre en dicha corriente de residuos, la Secretaría podrá autorizar la operación a una temperatura inferior a la señalada en este inciso, misma que no podrá ser menor a 850°C y el tiempo de residencia será de dos segundos como mínimo.*

*Por el contrario, para aquellos residuos cuya temperatura de destrucción sea mayor a 1100°C, la Secretaría podrá determinar la temperatura y tiempo de residencia a cumplir, para garantizar su destrucción.*

*En el caso de los equipos que incineren exclusivamente Residuos Peligrosos-Biológico Infecciosos (RPBI), el tiempo de residencia puede ser menor a dos segundos, siempre y cuando se cumpla con los límites de emisión que aparecen en la Tabla 1 de esta Norma Oficial Mexicana.*

El primer aspecto habla de la temperatura mínima de operación de la cámara de combustión y del tiempo que debe cumplir a esa temperatura mínima, es decir, el incinerador debe operar con una temperatura mayor de 850 °C, tomando en cuenta la inyección de aire que dará las mejores condiciones de oxidación, de acuerdo a las medidas tomadas en los distintos puntos del incinerador, considerando como temperatura máxima la de la parte baja de la chimenea, el Horno Incinerador difícilmente cumplirá las especificaciones de temperatura establecidas durante toda su operación, ya que no se han encontrado datos que indiquen que alcanza 850 °C incluso en un tiempo de 2 segundos. Este punto de referencia se toma en cuenta descartando los compuestos organoclorados (que son de importancia debido a su asociación con los compuestos dioxinas y furanos) que ingresen en el Horno Incinerador, al no haber sido identificados ni asociados con la naturaleza de los residuos.

En el último párrafo de este punto se establece que de ser solamente Residuos Peligrosos Infecciosos en la categoría Biológico-Infecciosos, y no incluyendo otro tipo de residuos peligrosos, como en principio es el caso del Horno Incinerador, menciona que el tiempo de residencia (se entiende de los gases de combustión) puede ser menor a dos segundos, refiriéndose a la temperatura de operación, no así al tiempo de residencia de los gases en el sistema de incineración (esto último, los que marcan las leyes europeas puntualmente), por lo que el Horno Incinerador debe llegar al menos puntualmente a la temperatura de 850 °C y además que se cumplan los límites de emisión de la siguiente tabla obtenida de la NOM-098-SEMARNAT-2002, la cual estipula los siguientes límites (tabla 5):

**Tabla 5.** Límites máximos permisibles de emisiones para instalaciones de incineración (NOM-098-SEMARNAT-2002).

CONTAMINANTE	LIMITE DE EMISION	FRECUENCIA DE MEDICION	NORMA QUE APLICA O METODO
CO (mg/m <sup>3</sup> )	63	CONTINUO	Infrarrojo No Dispersivo y Celda Electroquímica Anexo 1
HCl (mg/m <sup>3</sup> )	15	TRIMESTRAL	NMX-AA-070-1980
NOx (mg/m <sup>3</sup> )	300	SEMESTRAL	Quimiluminiscencia Anexo 2
SO <sub>2</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	80	SEMESTRAL	NMX-AA-55-1979
PARTICULAS (mg/m <sup>3</sup> )	50	SEMESTRAL	NMX-AA-10-SCFI-2001
ARSENICO SELENIO COBALTO NIQUEL MANGANESO ESTAÑO (mg/m <sup>3</sup> )	0.7*	SEMESTRAL	Espectrometría de absorción atómica. Anexos 3 y 4
CADMIO (mg/m <sup>3</sup> )	0.07	SEMESTRAL	Espectrometría de absorción atómica. Anexos 3 y 4
PLOMO CROMO total COBRE ZINC (mg/m <sup>3</sup> )	0.7*	SEMESTRAL	Espectrometría de absorción atómica. Anexos 3 y 4
MERCURIO (mg/m <sup>3</sup> )	0.07	SEMESTRAL	Espectrometría de absorción atómica con vapor frío Anexos 3 y 4
DIOXINAS Y FURANOS EQT (ng/m <sup>3</sup> ) Instalaciones de incineración nuevas	0.2	ANUAL	Cromatografía de gases acoplado a espectrometría de masas de alta resolución Anexo 5A
DIOXINAS Y FURANOS EQT (ng/m <sup>3</sup> ) Instalaciones de incineración existentes antes de la publicación de esta NOM.	0.5	ANUAL	Cromatografía de gases acoplado a espectrometría de masas de baja resolución Anexo 5B

Todos los valores están referidos a condiciones estándar: 1 atmósfera, base seca, 25°C y 7% de Oxígeno O<sub>2</sub>, de acuerdo a la NOM-085-SEMARNAT-1994.

\* Suma total metales pesados.

\*\*Todas las mediciones deben estar registradas en bitácora.

### Especificaciones de Proceso de la NOM.

La instalación de acuerdo a la especificación 5.2 debe contar con un operador calificado operando el equipo, las capacitaciones requeridas para el operador debieron haber sido impartidas por los instaladores del Horno Incinerador.

La instalación de incineración debe contar con un área de almacenamiento, de conformidad con los ordenamientos jurídicos aplicables; para los materiales y residuos, con una capacidad mínima de por lo menos dos veces la capacidad diaria de operación autorizada (7.1).

La instalación de incineración debe garantizar garanticen el paro seguro y la combustión completa de los residuos sistemas de control o con una planta generadora de energía eléctrica para emergencias (7.2). El caso particular de una planta de respaldo queda descartado para cumplir este punto asimismo algún sistema de control enfocado al paro seguro en caso haber problema con el suministro eléctrico. Existe un sistema de control cuyo objetivo es detener la bomba centrífuga como efecto de haberse apagado la llama del quemador, este sistema esta accionado por una fotocelda, hasta el momento el operador actual no ha reportado una falla mayor del sistema asociada con el corte al suministro de energía eléctrica.

En el punto 7.6 se recomienda que: “Para evitar las emisiones fugitivas, la presión de operación de las cámaras de combustión del incinerador debe ser negativa”. El cumplimiento de este punto no ha sido comprobado, sin embargo se estima que la presión de la cámara de combustión es mayor a la atmosférica por la cinética de los gases.

En relación al punto 7.7 que marca: La unidad de incineración debe estar equipada con quemadores que se pongan en marcha de manera automática cuando la temperatura descienda por debajo de la mínima establecida para su operación. Los quemadores no tienen un sistema de paro automático por temperatura, todo el paro de las bombas es manual a excepción del paro por apagado de la flama.

De los siguientes incisos del punto 7.8 ninguno se cumple, se citan a continuación: La unidad de incineración debe contar con un sistema de paro automático en la alimentación de residuos peligrosos el cual se acciona cuando:

- a) Durante la puesta en marcha, no se alcance la temperatura mínima requerida;
- b) No logre mantenerse la temperatura mínima de incineración requerida;
- c) Las emisiones de monóxido de carbono (CO) sobrepasen los valores máximos permisibles;

Para el 7.9 los incisos correspondientes no son cumplidos con las características que se solicitan: El operador debe mantener un registro diario en bitácora foliada o archivos electrónicos, a disposición de la PROFEPA, en la cual registrará la siguiente información:

- a) Tipo y cantidad de residuos incinerados, en el caso de las empresas de servicios a terceros, los resultados del análisis de cloro a que se refiere el párrafo 7.4 de la presente Norma;
- b) Temperatura del equipo en las diferentes cámaras y equipos de control;
- c) Tipo y cantidad de combustible consumido;
- d) Arranques, paros y horas de operación del equipo;

- e) Fallas y problemas presentados durante la operación del equipo, señalando las medidas correctivas adoptadas para el restablecimiento de las condiciones normales de operación;
- f) Mediciones de los contaminantes especificados en las tablas de esta Norma; en el caso de mediciones continuas referenciar la localización de los registros;
- g) Condiciones de operación del equipo de control de emisiones (presión, temperatura y tasa de alimentación);
- h) Cantidad, tipo y destino final de los residuos generados por el incinerador, y
- i) Nombre y firma del responsable de la instalación de incineración.

El punto 7.10 dicta varios puntos que no se cumplen en el Horno Incinerador de la siguiente forma: No se permite la alimentación manual del incinerador; la alimentación con una carga de residuos mayor o con residuos diferentes a los que han sido autorizados por la Secretaría.

En el mismo sentido no se cumple el punto 7.12 ya que las cenizas se depositan en terreno adyacente al área del Horno Incinerador cuando este punto marca que: Las cenizas y otros residuos sólidos que se generen durante los procesos de incineración, serán considerados como residuos peligrosos, por lo que su manejo deberá cumplir con lo establecido en los ordenamientos legales aplicables.

7.13 Si el contenido de materia volátil en la ceniza es mayor al 10%, éstas deben ser realimentadas al incinerador. Es complejo determinar este punto ya que se necesitaría determinar la relación entre la materia volátil y la masa de ceniza, aparte de ser muy variable, ningún tipo de cenizas son realimentadas al incinerador.

En concordancia con el punto 7.14: Las descargas de aguas residuales procedentes de las instalaciones de incineración, deben cumplir con lo dispuesto en la normatividad aplicable o las condiciones particulares de descarga que, en su caso, establezca la autoridad competente. Se cumple al no descargar a alcantarillado público ni en corrientes de agua ya sean superficiales o subterráneas.

### **3.4 NOM-085-SEMARNAT-2011. Contaminación Atmosférica-Niveles máximos permisibles de emisión de los equipos de combustión de calentamiento indirecto y su medición .**

La NOM tiene como objetivo establecer los niveles máximos permisibles de emisión de humo, partículas, monóxido de carbono (CO), bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) de los

equipos de combustión de calentamiento indirecto que utilizan combustibles convencionales o sus mezclas, con el fin de proteger la calidad del aire.

Un equipo de calentamiento se define como aquel en que el calor generado se transfiere a través de los gases de combustión, los cuales no entran en contacto directo con los materiales del proceso, como son: las calderas, generadores de vapor, calentadores de aceite térmico u otro tipo de fluidos y los hornos y secadores a base de sistemas de calentamiento indirecto.

En este campo no se incluyen los incineradores de residuos, ya que los equipos de calentamiento indirecto, que son los que se usan a mayor escala, tienen mayores eficiencias de combustión por el uso de combustibles convencionales y por tanto los parámetros de emisiones que deben cumplir son distintos. Es por ello que se prevé que el Horno Incinerador sobrepasaría los límites estipulados en la NOM-085-SEMARNAT-2011 por permitir una transferencia de calor con menos control que los equipos de calentamiento indirecto debido a las reacciones producidas en el seno de su cámara de combustión, la variabilidad de los gases resultantes de la combustión de residuos así como también su temperatura cambiante a través del proceso de incineración y a los largo un día común de labores.

### **3.5 NOM-043-SEMARNAT-1993. Niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas sólidas provenientes de fuentes fijas.**

El objetivo de esta NOM es establecer los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas sólidas provenientes de fuentes fijas, es de observancia obligatoria para los responsables de las fuentes fijas que emitan partículas sólidas a la atmósfera, con la excepción de las que se rigen por normas oficiales mexicanas específicas.

En este sentido la NOM-098-SEMARNAT-2002 es la Norma específica que corresponde y la que limita las emisiones a 50 mg/m<sup>3</sup>.

### **3.6 NOM-052-SEMARNAT-2005. Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos.**

El objetivo de esta NOM es establecer el procedimiento para identificar si un residuo es peligroso, el cual incluye los listados de los residuos peligrosos y las características que hacen que se consideren

como tales. En la legislación se define que un residuo es considerado peligroso si presenta al menos una de las siguientes características:

- Corrosividad.
- Reactividad.
- Explosividad.
- Toxicidad Ambiental.
- Inflamabilidad.
- Biológico-Infeciosa.

En el caso particular de los residuos con características biológico-infecciosas la NOM-052-SEMARNAT-2005 dicta que un residuo: “Es Biológico-Infecioso de conformidad con lo que se establece en la NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002”.

En este sentido el proceso de incineración genera residuos peligrosos en forma de cenizas y otros residuos sólidos que de acuerdo a lo antes citado del punto 7.12 de la NOM-098-SEMARNAT-2002 deben cumplir con lo establecido en la NOM-052-SEMARNAT-2005. Aunado a esto, dentro de los 5 listados que presenta esta NOM para determinar si el residuo manejado es peligroso en la categoría 2 Clasificación de Residuos Peligrosos por Fuente No Específica se menciona el rubro “**Residuos Resultantes de la Incineración o de Tratamiento Térmico de los Suelos Contaminados con los Residuos Peligrosos con claves NE12, NE13, NE14 y NE16**” que es aplicable para la operación del Horno Incinerador.

Por tanto las cenizas y residuos sólidos del incinerador tienen un Código de Peligrosidad de los Residuos (CPR) clase Tt clasificado como “Características de Toxicidad Crónica”. La Toxicidad Crónica definida por la NOM-052-SEMARNAT-2005 es la propiedad de una sustancia o mezcla de sustancias de causar efectos dañinos a largo plazo en los organismos, generalmente a partir de exposiciones continuas o repetidas y que son capaces de producir efectos cancerígenos, teratogénicos o mutagénicos.

### **3.7 NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002. Protección Ambiental-Salud Ambiental-Residuos Peligrosos Biológico Infecciosos- Clasificación y Especificaciones de Manejo**

Por las características de la actividad del Horno Incinerador, que implica la incineración de Residuos Peligrosos Biológico Infecciosos (RPBI) esta NOM está relacionada porque establece la clasificación de los RPBI, así como las especificaciones para su manejo.

Para efectos de esta NOM se consideran como RPBI los siguientes:

- La sangre y los componentes de ésta, sólo en su forma líquida, así como los derivados no comerciales y las fracciones de la sangre resultante (hemoderivados).
- Los cultivos generados en los procedimientos de diagnóstico e investigación, así como los generados en la producción y control de agentes biológico infecciosos.
- Utensilios desechables usados para contener, transferir, inocular y mezclar cultivos de agentes biológico-infecciosos.
- Los tejidos, órganos y partes que se extirpan o remueven durante las necropsias, la cirugía o algún otro tipo de intervención quirúrgica.
- Las muestras biológicas para análisis químico, microbiológico, citológico e histológico.
- Los cadáveres y partes de animales que fueron inoculados con agentes patógenos en centros de investigación.
- Los recipientes desechables que contengan materia orgánica.
- Los materiales de curación, empapados, saturados, o goteando sangre o fluidos corporales.
- Los materiales desechables que contengan esputo, secreciones pulmonares y cualquier material usado para contener éstos, de pacientes con sospecha o diagnóstico de tuberculosis o de otra enfermedad infecciosa según sea determinado por la SSA mediante memorándum interno o el Boletín Epidemiológico.
- Materiales absorbentes utilizados en las jaulas de animales que hayan sido expuestos a agentes patógenos.
- Los objetos punzocortantes que han estado en contacto con humanos o animales o sus muestras biológicas durante el diagnóstico y tratamiento.

Todos ellos susceptibles a estar presentes en el proceso de incineración de estudio, y que es la razón por la cual se eligió la incineración como proceso de tratamiento de los residuos.

La clasificación del uso del Horno Incinerador como tratamiento de RPBI se puede identificar en la NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002 (tabla 6) ya que al tener una generación mayor de 100 kg al mes, es un generador Nivel III.

**Tabla 6.** Clasificación de generadores de RPBI.

<b>NIVEL I</b>	<b>NIVEL II</b>	<b>NIVEL III</b>
<p>Unidades hospitalarias de 1 a 5 camas e instituciones de investigación con excepción de los señalados en el Nivel III.</p> <p>Laboratorios clínicos y bancos de sangre que realicen análisis de 1 a 50 muestras al día.</p> <p>Unidades hospitalarias psiquiátricas.</p> <p>Centros de toma de muestras para análisis clínicos.</p>	<p>Unidades hospitalarias de 6 hasta 60 camas;</p> <p>Laboratorios clínicos y bancos de sangre que realicen análisis de 51 a 200 muestras al día;</p> <p>Bioterios que se dediquen a la investigación con agentes biológico-infecciosos, o</p> <p>Establecimientos que generen de 25 a 100 kilogramos al mes de RPBI.</p>	<p>Unidades hospitalarias de más de 60 camas;</p> <p>Centros de producción e investigación experimental en enfermedades infecciosas;</p> <p>Laboratorios clínicos y bancos de sangre que realicen análisis a más de 200 muestras al día, o</p> <p>Establecimientos que generen más de 100 kilogramos al mes de RPBI.</p>

En cuanto al manejo de los RPBI la NOM es muy clara en hacer responsable a los generadores y a los prestadores de tratamiento de residuos de las disposiciones de los residuos, que incluye la identificación, envasado, almacenamiento, recolección, transporte, tratamiento y disposición final.

Identificación y envasado: Se hace énfasis en que durante el envasado, los RPBI no deben mezclarse con ningún otro tipo de residuo municipal o peligroso, el envasado correspondiente a cada tipo de residuo se presenta en la tabla 7.

**Tabla 7. Identificación y envasado de RPBI**

<b>TIPO DE RESIDUOS</b>	<b>ESTADO FÍSICO</b>	<b>ENVASADO</b>	<b>COLOR</b>
4.1 Sangre	Líquidos	Recipientes herméticos	Rojo
4.2 Cultivos y cepas de agentes infecciosos	Sólidos	Bolsas de polietileno	Rojo
4.3 Patológicos	Sólidos	Bolsas de polietileno	Amarillo
	Líquidos	Recipientes herméticos	Amarillo
4.4 Residuos no anatómicos	Sólidos	Bolsas de polietileno	Rojo
	Líquidos	Recipientes herméticos	Rojo
4.5 Objetos punzocortantes	Sólidos	Recipientes rígidos polipropileno	Rojo

Las especificaciones más relevantes para el manejo de RPBI punzocortantes y líquidos incluyen características de los contenedores, los cuales deben ser lo suficientemente resistentes para evitar rotura y posible contaminación de un área externa en la cual se generaron los residuos, que sean herméticos cuando sean líquidos, además los residuos biológicos envasados deben almacenarse en contenedores metálicos o de plástico con tapa y ser rotulados con el símbolo universal de riesgo biológico y con la leyenda “RESIDUOS PELIGROSOS BIOLOGICO INFECCIOSOS”.

Siguiendo los puntos relevantes de la NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002, particularmente el punto 6.4.2 referente al tratamiento de los residuos, se plantean las siguientes obligaciones para esta actividad:

- Los residuos peligrosos biológicos-infecciosos deben ser tratados por métodos físicos o químicos que garanticen la eliminación de microorganismos patógenos y deben hacerse irreconocibles para su disposición final en sitios autorizados.
- La operación de sistemas de tratamiento que aplique tanto a establecimientos generadores como prestadores del servicio dentro o fuera de la instalación del generador, requieren autorización previa de la SEMARNAT, sin perjuicio de los procedimientos que competan a la SSA de conformidad con las disposiciones aplicables a la materia.
- Los residuos patológicos deben ser incinerados o inhumados, excepto aquellos que estén destinados a fines terapéuticos, de investigación y las muestras biológicas para análisis químico, microbiológico, citológico e histológico.

En el punto 6.6 – Disposición Final de la NOM se menciona que los residuos biológico infecciosos tratados e irreconocibles, podrán disponerse como residuos no peligrosos en sitios autorizados por las autoridades competentes, para lo cual claramente existe una excepción de acuerdo a lo ya descrito de la NOM-098-SEMARNAT-2002 en el punto 7.12 en el que dice que las cenizas y los residuos sólidos provenientes de la incineración sí van a ser considerados como residuos peligrosos.

Como último punto la NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002 establece que los establecimientos que tengan relación con los RPBI deben contar con un Programa de Contingencias en caso de derrames, fugas o accidentes relacionados con el manejo de estos residuos.

Las ventajas de la incineración de RPBI se pueden observar en la siguiente tabla 8

**Tabla 8.** Principales ventajas y desventajas de los diferentes métodos de tratamiento de los RPBI.

Incineración	Ventajas	Desventajas
	<p>Constituye el método de eliminación definitiva más efectivo ya que puede reducir hasta el 90% de volumen y el 75% del peso y consigue una eliminación adecuada.</p> <p>Es la principal alternativa para el tratamiento de los residuos patológicos. Recuperación de energía</p>	<p>Altos costos de instalación, mantenimiento y de control de emisiones.</p> <p>Requiere de controles especiales para las cenizas y los gases producidos.</p> <p>Requiere una autorización por parte de la SEMARNAT, para su operación.</p> <p>Una incineración deficiente puede generar dioxinas y furanos en niveles superiores a los límites máximos permisibles.</p>
Castañeda (2006)		

### 3.8 Definición de Impactos Ambientales

Se define un Impacto Ambiental como la modificación del ambiente ocasionada por la acción del hombre o de la naturaleza, en el mismo orden de ideas un Impacto Ambiental significativo o relevante es aquel que resulta de la acción del hombre o de la naturaleza, que provoca alteraciones en los ecosistemas y sus recursos naturales o en la salud, obstaculizando la existencia y desarrollo del hombre y de los demás seres vivos, así como la continuidad de los procesos naturales.

La forma de realizar un diagnóstico ambiental con relación al incinerador es con la identificación de los impactos ambientales y su valoración. La incineración es uno de los procesos de tratamiento que

por su naturaleza genera una cantidad alta de contaminantes a la atmosfera, es por esta razón que es uno de los procesos más observados por las asociaciones no gubernamentales. Los impactos estudiados corresponden a la etapa de operación y la etapa de mantenimiento del incinerador.

En las evaluaciones ambientales se realizan matrices basadas en la metodología desarrollada por Luna Leopold y colegas para la evaluación de impactos ambientales (Leopold *et al.*, 1971 citado por Aery, 2010). De acuerdo a lo escrito por Aery (2010), esta metodología incorpora una lista de actividades involucradas con el proyecto de estudio, así mismo incluye una matriz que relaciona de forma horizontal las posibles acciones de un proyecto dado y de forma vertical diversas características ambientales y condiciones, de tal forma que un impacto ambiental resulta de una interacción entre una acción y un una condición o característica ambiental.

### **3.9 Definiciones en materia de impacto ambiental de acuerdo a la SEMARNAT.**

De acuerdo al Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Evaluación del Impacto Ambiental (SEMARNAT, 2000), artículo 3ro, se consideran las siguientes definiciones en materia de impacto ambiental:

Daño ambiental: Es el que ocurre sobre algún elemento ambiental a consecuencia de un impacto ambiental adverso;

Daño a los ecosistemas: Es el resultado de uno o más impactos ambientales sobre uno o varios elementos ambientales o procesos del ecosistema que desencadenan un desequilibrio ecológico;

Daño grave al ecosistema: Es aquel que propicia la pérdida de uno o varios elementos ambientales, que afecta la estructura o función, o que modifica las tendencias evolutivas o sucesionales del ecosistema;

Desequilibrio ecológico grave: Alteración significativa de las condiciones ambientales en las que se prevén impactos acumulativos, sinérgicos y residuales que ocasionarían la destrucción, el aislamiento o la fragmentación de los ecosistemas;

Impacto ambiental acumulativo: El efecto en el ambiente que resulta del incremento de los impactos de acciones particulares ocasionado por la interacción con otros que se efectuaron en el pasado o que están ocurriendo en el presente;

Impacto ambiental sinérgico: Aquel que se produce cuando el efecto conjunto de la presencia simultánea de varias acciones supone una incidencia ambiental mayor que la suma de las incidencias individuales contempladas aisladamente;

Impacto ambiental significativo o relevante: Aquel que resulta de la acción del hombre o de la naturaleza, que provoca alteraciones en los ecosistemas y sus recursos naturales o en la salud, obstaculizando la existencia y desarrollo del hombre y de los demás seres vivos, así como la continuidad de los procesos naturales;

Impacto ambiental residual: El impacto que persiste después de la aplicación de medidas de mitigación;

Medidas de prevención: Conjunto de acciones que deberá ejecutar el promovente para evitar efectos previsibles de deterioro del ambiente;

Medidas de mitigación: Conjunto de acciones que deberá ejecutar el promovente para atenuar los impactos y restablecer o compensar las condiciones ambientales existentes antes de la perturbación que se causare con la realización de un proyecto en cualquiera de sus etapas

### **3.10 Tipos de medidas enfocadas en solucionar los Impactos ambientales**

#### ***Acciones preventivas.***

Son medidas de carácter preventivo, por ejemplo, las evaluaciones de impacto ambiental, la utilización de tecnologías de baja emisión de residuos y una planificación más eficiente del uso de la energía.

Las evaluaciones del impacto ambiental tienen como objeto prever las alteraciones que sobre el medio ambiente va a provocar la realización de determinadas acciones, planes y proyectos, con el fin de adoptar medidas correctoras que mitiguen los impactos antes de que éstos se produzcan.

Cuando las medidas preventivas no se pueden llevar a cabo o su aplicación no es posible desde el punto de vista económico se recurre, para limitar la descarga de contaminantes a la atmósfera, a acciones correctivas que pueden ser de dos tipos:

- Expulsar los contaminantes por medio de chimeneas suficientemente altas para que la dilución evite concentraciones nivel del suelo. Este procedimiento, si bien atenúa los problemas de contaminación desde el punto de vista local, puede producir problemas en lugares alejados de las fuentes de emisión (lluvias ácidas).

- Concentrar y retener los contaminantes con equipos adecuados de depuración que producen residuos sólidos o líquidos que contaminarán los suelos y el agua si no se planifica un tratamiento adecuado de estos residuos y, además, con el inconveniente de que estos equipos depuradores consumen recursos naturales y energía.

Para conseguir grados de protección ambiental adecuados a costes razonables, el sistema de depuración será, por lo general, una combinación de tales medidas. En cualquier caso, es necesario, tener en cuenta a la hora de abordar el problema de control de contaminantes dos aspectos principales: los condicionamientos ambientales y las consideraciones económicas.

Los efluentes industriales de carácter atmosférico suelen contener, por lo general, una mezcla de sustancias sólidas, líquidas y gaseosas, hecho que hay que tener en cuenta a la hora de diseñar el sistema de depuración, que deberá estructurarse a partir de una secuencia lógica de separación de estos tres tipos de efluentes.

En cuanto a las técnicas de eliminación de gases contaminantes, los equipos de depuración para corrientes de gases contaminantes forman parte de un proceso físico-químico de: absorción, adsorción o combustión:

- Procesos de absorción.

Basan su funcionamiento en el hecho de que gases residuales están compuestos de mezclas de sustancias en fase gaseosa, algunas de las cuales son solubles en fase líquida. En el proceso de absorción de un gas, el efluente gaseoso que contiene el contaminante a eliminar se pone en contacto con un líquido en el que el contaminante se disuelve. La transferencia de materia se realiza por el contacto del gas con el líquido en lavadores húmedos o en sistemas de absorción en seco.

- Procesos de adsorción.

Una alternativa a los sistemas de absorción por líquido lo constituye la adsorción de los contaminantes sobre sólidos. En los procesos de adsorción los gases vapores y líquidos se retienen sobre una superficie sólida como consecuencia de reacciones químicas y/o fuerzas

superficiales. Se produce una difusión desde la masa gaseosa hasta la superficie externa del sólido y de las moléculas del gas dentro de los poros de sólido seguida de la adsorción propiamente dicha de las moléculas del gas en la superficie del sólido.

Los sólidos más adecuados para la adsorción son los que presentan grandes relaciones superficie / volumen, es decir, aquellos que tienen una elevada porosidad y área superficial para facilitar el contacto sólido-gas: tierra de Fuller, bauxita, carbón activado, alúmina activada, tamices moleculares, etc. Periódicamente, es necesaria la sustitución o regeneración del adsorbente para que su actividad no descienda de determinados niveles.

- Procesos de combustión.

La combustión constituye un proceso apropiado para la eliminación de compuestos orgánicos transformándolos en dióxido de carbono y vapor de agua y también es válido para determinadas sustancias inorgánicas. La combustión puede ser espontánea o por procesos catalíticos:

- Espontánea. Cuando se trata de eliminar gran parte de los gases que son tóxicos que tienen olores fétidos, la combustión ha de realizarse a alta temperatura y con tiempo de retención controlado, por lo que el costo del combustible puede ser elevado.
  - Procesos catalíticos. Con el fin de realizar la combustión a temperaturas más bajas, suele utilizarse la combustión en presencia de un catalizador, por lo general un metal de transición depositado en una matriz de alúmina. Este tipo de combustión suele emplearse en la eliminación de trazas de compuestos que contienen fenoles, formaldehído, azufre, etc. Un problema que presenta la combustión catalítica es la del envenenamiento del catalizador por algunas sustancias en forma de partículas.
- Técnicas de captación de partículas.

Según el principio en que se basa el proceso de separación de las partículas, pueden establecerse los siguientes tipos de equipos de depuración: colectores, precipitaciones electrostáticas, filtros de mangas, lavadoras y absorbedores húmedos.

- Colectores de inercia ciclones.

Los ciclones son los equipos de separación inercial que poseen una mayor eficacia en la captación de partículas. Están formados básicamente por un recipiente cilíndrico vertical donde se introduce tangencialmente el gas portador, cargado de partículas de polvo. La corriente se desvía en círculo y por efecto de la fuerza centrífuga, las partículas se lanzan al exterior al formar la mezcla gaseosa un remolino vertical descendente. Esta corriente en espiral del gas cambia de dirección al llegar al fondo del recipiente y sale por el conducto situado en el eje. Los ciclones son dispositivos útiles y baratos para la captación en seco de polvo ligero o grueso. Sin embargo, la eficiencia de captación de estos equipos es muy baja, sobre todo, en la eliminación de partículas pequeñas, por lo que su utilización se reduce, por lo general, a desempolvado previo al paso de los gases por un sistema más eficaz.

## **IV. PROCEDIMIENTO/ METODOLOGÍA**

### **4.1 Resultados esperados del análisis ambiental**

Se espera que a pesar de presentar un trabajo principalmente teórico se identifique la problemática en materia ambiental que actualmente envuelve al Horno Incinerador, considerando los impactos ambientales relevantes encontrados y el cálculo de la significancia de los mismos. Se espera dentro de estos apartados que las emisiones a la atmósfera y la presencia de residuos peligrosos asociados a la generación de cenizas, sean de mayor relevancia, dado que estas acciones están relacionadas con los componentes más afectados de acuerdo a los que se ha encontrado en la bibliografía ambiental y de incineración. Se espera dar la importancia al estudio ambiental del incinerador, formalizando el hecho de que los contaminantes a la atmósfera (en especial los congéneres de mayor toxicidad de dioxinas y furanos) ameritan medidas en corto y mediano plazo, por sus características tóxicas y su persistencia.

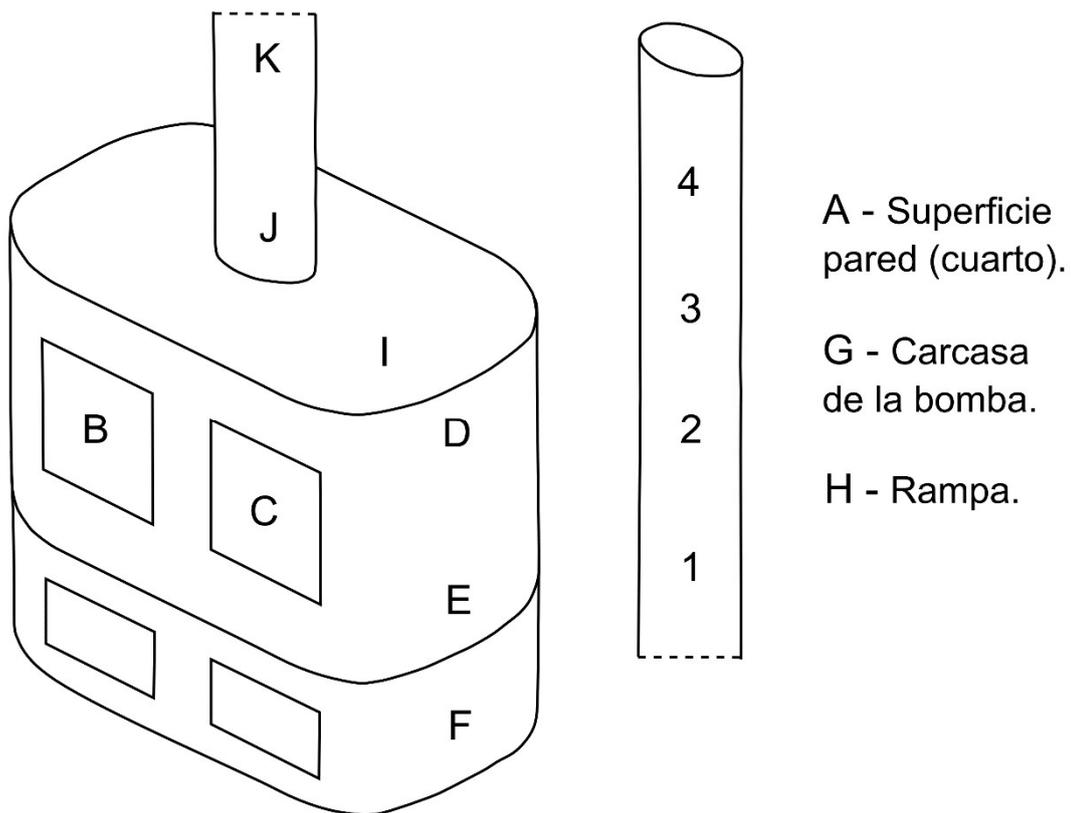
### **4.2 Medición de la Temperatura de operación**

Para este parámetro se utilizó el medidor de temperatura De Walt infrarrojo DCT414S1, que funciona sin contacto, mide las temperaturas de  $-28,9^{\circ}$  a  $500^{\circ}\text{C}$  ( $-20^{\circ}$  a  $932^{\circ}\text{F}$ ), con precisión en una amplia gama de materiales. Se realizaron 4 mediciones en días distintos:

- Día 1. 22 de noviembre de 2016.
- Día 2. 29 de noviembre de 2016
- Día 3. 01 de noviembre de 2016.
- Día 4. 06 de diciembre de 2016.

Se seleccionaron una serie de puntos en la superficie del incinerador para tener el perfil de temperaturas exterior, con el fin de obtener indirectamente las condiciones de temperatura en las cámaras de incineración así como en la chimenea.

Se tomaron 4 mediciones en cada punto de los cuales se obtuvo la temperatura promedio de ese punto. Los puntos seleccionados se muestran en la figura 1, las letras B, C, I, D, E, F son puntos de la cámara de incineración, los puntos J y K son de la parte de la chimenea que está bajo techo, los puntos 1 al 4 hacen referencia a la parte de la chimenea que se encuentra al aire libre.



**Figura 4.** Puntos seleccionados para medida de temperatura.

### **4.3 Diagnóstico de usos y procedimientos del Horno Incinerador.**

Para este diagnóstico se llevaron a cabo pláticas con el personal operativo y administrativo a cargo del horno incinerador.

Toma de evidencia visual de las condiciones actuales del incinerador.

- Equipo e instalaciones.

Se visitó al operador del Horno Incinerador para conocer el tiempo de la jornada de trabajo del equipo, y la demanda aproximada de incineración. Se constató la existencia de la bitácora de entrada de material a la cámara de incineración. Se tomó evidencia fotográfica de las instalaciones.

- Tipo de residuos.

Se destapó el pozo que contiene los residuos líquidos provenientes del Horno Incinerador. Se hizo un reconocimiento de áreas con suelo al aire libre (sin construcción), que están relacionadas con el proceso de incineración, particularmente en el área donde se depositan las cenizas. Se observó la forma de la pluma que generan las emisiones del horno incinerador, se tomó evidencia fotográfica y video

### **4.4 Evaluación Cualitativa de los Impactos Ambientales**

Para identificar los impactos de incinerador se realizó un listado de actividades directamente relacionadas con el incinerador.

Actividades propuestas en torno a los componentes que afecta el incinerador:

1. Generación de aguas de lavado con agentes limpiadores.
2. Eventual límite del contenedor de aguas residuales.
3. Manejo de Residuos Orgánicos e Inorgánicos peligrosos.
4. Generación de Ruido.
5. Generación de emisiones a la atmosfera.
6. Generación de mal olor por incineración.
7. Pluma opaca (estética-visual).

#### 4.5 Criterios y metodología de evaluación.

Para efecto de la evaluación del impacto ambiental, se define una escala de valores de acuerdo a los siguientes criterios de evaluación: Magnitud, Duración, Frecuencia y Reversibilidad, quedando de la siguiente manera:

Magnitud: grado de afectación de un impacto concreto sobre un componente, o en su caso la cantidad de contaminante generado.

**Tabla 9-1.** Criterios para la evaluación de la magnitud del impacto.

Valor	Descripción
1	Baja: el impacto se limita a un área circunvecina a donde se origina, como el ruido generado por las bombas de diésel.
2	Media: el impacto es percibido por el resto de las áreas en la Facultad, es decir se limita al interior de La FESC.
3	Alta: el impacto es percibido por la población circunvecina o desde el exterior de la FESC.

Duración: persistencia de los efectos del impacto con respecto al tiempo.

**Tabla 9-2.** Criterios para la evaluación de la duración del impacto.

Valor	Descripción
1	Baja: el impacto desaparece al interrumpir la actividad que la genera, ejemplo la pluma que genera el incinerador al arranque.
2	Media: El impacto persiste hasta por tres meses de interrumpida la actividad que lo genera, ejemplo la contaminación de agua por materia orgánica.
3	Alta: el impacto persiste más de 3 meses, ejemplo cambios en el microclima por la tala de un árbol, o construcción de planchas de concreto.

Frecuencia: probabilidad de ocurrencia del impacto

**Tabla 9-3.** Criterios para la evaluación de la frecuencia del impacto.

Valor	Descripción
1	Baja: el impacto podría ocurrir muy rara vez.
2	Media: el impacto ocurre con una frecuencia mensual a anual, ejemplo: generación de residuos por mantenimiento de equipo.
3	Alta: diaria: ejemplo. La contaminación del agua por descargas debido a la limpieza del área o el consumo de energía eléctrica y diésel.

Reversibilidad: capacidad de recuperación del ambiente afectado.

**Tabla 9-4.** Criterios para la evaluación de la reversibilidad del impacto.

Valor	Descripción
1	Inmediata: el impacto desaparece en cuanto se suspende la actividad que lo genera, ejemplo: el ruido de un compresor
2	Reversible: el ambiente requiere de tiempo para recuperarse por sí solo o con ayuda del ser humano.
3	Irreversible: el ambiente afectado requiere de mucho tiempo o definitivamente no puede ser recuperado, ejemplo. La tala de un árbol, la pérdida de capacidad de infiltración del suelo por la construcción de planchas de concreto o edificios.

#### 4.6 Metodología para el cálculo de la significancia (*Manifestación de Impacto Ambiental de 2009*).

Una vez definidos los criterios y valores de evaluación, todas y cada una de las interacciones actividad- aspecto ambiental son sujetos de evaluación en forma de matriz, para con ello obtener un valor numérico que permite diferenciar el nivel de impacto generado por la actividad estableciendo entonces el concepto de significancia. Esta significancia es obtenida mediante el siguiente algoritmo:

Significancia del Impacto

$$\text{Sig} = (\text{Dn} + \text{Fr}) * (\text{Rv} * \text{Mg})$$

Donde:

Sig = Significancia

Dn = Duración

Mg = Magnitud

Fr = Frecuencia

Rv = Reversibilidad

Al asignar los valores mínimos y máximos de los criterios al algoritmo, se obtiene un rango de significancia de 2 a 54, donde un valor de 2 significa el mínimo impacto generado por una actividad y el 54 el máximo impacto generado por una actividad.

$$(1 + 1) * (1 * 1) = 2$$

$$(3 + 3) * (3 * 3) = 54$$

Por lo que al poder diferenciar los niveles de impacto es posible establecer y priorizar qué actividades deberán ser consideradas para la implementación de medidas de control y/o de mitigación del impacto generado. Para ello, con el objeto de priorizar las actividades y medidas de mitigación se establece, por significancia, que todas aquellas actividades que tengan un valor igual o mayor a 20, deberán ser consideradas como Aspectos Ambientales Significativos, y por lo tanto objeto de medidas de control y de mitigación.

## V. RESULTADOS.

### 5.1 Reconocimiento de los alrededores

El área se encuentra rodeada por zonas como se especifica a continuación:

Hacia el Norte después de 300 m, se encuentra una zona industrial.



**Figura 5.** Vista hacia la zona norte del incinerador

Hacia el este, se encuentran actividades propias de la facultad, 200 m después se encuentra la Avenida Teoloyucan y después zonas industriales.

Hacia el oeste, se encuentran inmediatamente los campos de labor de la Carrera de Ing. Agrícola; a 500 m está un canal del emisor poniente y después zonas industriales.



**Figura 6.** Vista de la zona oeste (cultivos que le pertenecen a la carrera de ingeniería agrícola).

Hacia el Sur, se encuentran los Edificios de la FES-C, inmediatamente al Sureste se ubican las aulas utilizadas para la Carrera de Medicina Veterinaria y Zootecnia.



**Figura 7.** Vista sureste se puede observar los edificios de la carrera de Medicina Veterinaria y Zootecnia.

Hacia el Suroeste, se encuentra una zona habitacional no masiva.



**Figura 8.** Vista hacia el suroeste del Horno Incinerador

## 5.2 Descripción del área común del Horno Incinerador.

Para el Horno Incinerador se plantea la siguiente Área de Influencia en la siguiente imagen



**Figura 9.** Resaltada el área de influencia, y el Área del incinerador dentro de Campo 4

El área de influencia es la que se ve directamente afectada por la operación continua del incinerador, para ello se tomará en cuenta la zona afectada directamente por las emisiones de contaminantes a la

atmosfera, esta área comprende toda la zona de campo 4 de la FESC, ya que es en donde hay un mayor flujo de académicos, estudiantes y trabajadores que conviven con las emisiones del incinerador.

En el caso del sistema ambiental es el límite en el que el incinerador impacta al ambiente, dicha se tomó como el área conurbada de Xhala.

### **5.3 Residuos que reciben tratamiento en el Horno Incinerador.**

Las actividades que se llevan a cabo en la FESC producen Residuos Peligrosos con carácter de Biológico Infecciosos (**RPBI**) provenientes de distintos laboratorios en los que se realizan las actividades académicas de las carreras de la FES Cuautitlán:

1. Laboratorios de docencia en Ciencias Químico Biológicas.
2. Área de Patología y Necropsias.
3. Unidad de Enseñanza Quirúrgica.
4. Centro de Enseñanza Agropecuaria: bovinos y equinos.
5. Centro de Enseñanza Agropecuaria: ovinos, caprinos, conejos y aves.
6. Anatomía: Laboratorio de Apoyo.
7. Unidad de Investigación Multidisciplinaria.
8. Hospital de pequeñas especies
9. Hospital de Equinos.
10. Reproducción Animal.
11. Laboratorios de Investigación.
12. Diversos u otros.

La carga es variable en el transcurso de la semana laboral que es de Lunes a Viernes y en casos de ser necesario en Sábado. Los residuos que son recibidos para su incineración son los RPBI considerados como tales por la NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002, mismos que se retoman a continuación:

- La sangre y los componentes de ésta, sólo en su forma líquida, así como los derivados no comerciales y las fracciones de la sangre resultante (hemoderivados).
- Los cultivos generados en los procedimientos de diagnóstico e investigación, así como los generados en la producción y control de agentes biológico infecciosos.

- Utensilios desechables usados para contener, transferir, inocular y mezclar cultivos de agentes biológico-infecciosos.
- Los tejidos, órganos y partes que se extirpan o remueven durante las necropsias, la cirugía o algún otro tipo de intervención quirúrgica.
- Las muestras biológicas para análisis químico, microbiológico, citológico e histológico.
- Los cadáveres y partes de animales que fueron inoculados con agentes patógenos en centros de investigación.
- Los recipientes desechables que contengan materia orgánica.
- Los materiales de curación, empapados, saturados, o goteando sangre o fluidos corporales.
- Materiales absorbentes utilizados en las jaulas de animales que hayan sido expuestos a agentes patógenos.
- Los objetos punzocortantes que han estado en contacto con humanos o animales o sus muestras biológicas durante el diagnóstico y tratamiento. Bisturís y estiletes de catéter, excepto todo material de vidrio roto utilizado en el laboratorio, el cual deberá desinfectar o esterilizar antes de ser dispuesto como residuo municipal.



**Figura 10.** Residuos que llegan al área del horno incinerador, para su identificación, en bolsa roja.

Los residuos que se ingresan al incinerador son regularmente cuerpos de perros que han servido para las prácticas en los laboratorios correspondientes, por lo que regularmente llegan abiertos y con órganos internos expuestos. Este material es el más voluminoso por lo que es transportado en carreta directamente a las instalaciones del incinerador, las carretas se quedan sobre la rampa aledaña al cuarto del horno donde esperan al aire libre hasta poder ser incinerados.

## Combustible

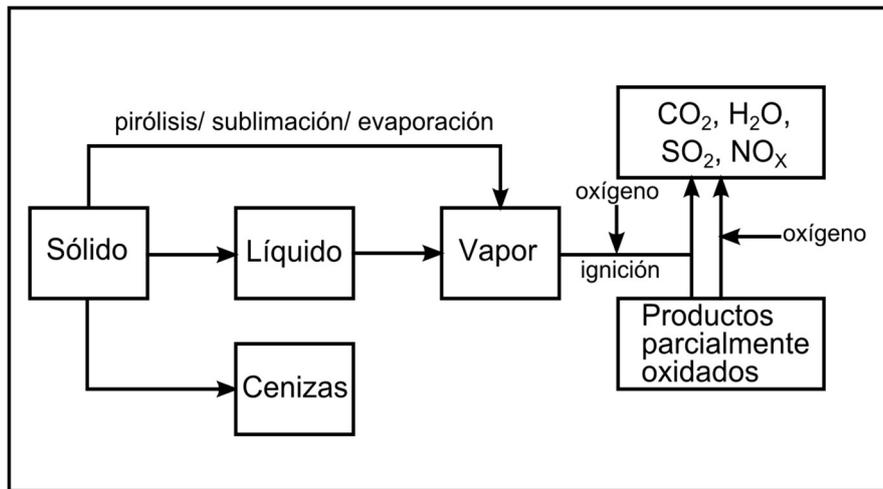
El incinerador funciona con diésel el cual es tomado de un tanque contenedor y que llega por efecto de la presión hidrostática a las bombas centrífugas de inyección, la cual impulsa el diésel hacia un aspersor o difusor que provoca las condiciones necesarias de la mezcla aire combustible para mantener la llama encendida necesaria para el tratamiento térmico.



**Figura 11.** Tanque de Diesel que suministra al Horno Incinerador.

### 5.4 Estructura del incinerador

El incinerador cuenta con dos cámaras, cada una alimentada por una bomba-quemador, y existe un tercer quemador en la parte alta del incinerador. El tercer quemador del incinerador no ha sido habilitado para trabajar con el incinerador por una avería técnica, mismo que es relevante ya que en esta parte se lleva a cabo la oxidación térmica de los gases, para lo que es necesario rebasar los 760 hasta 1063 °C. Es en esta parte donde los gases deben oxidarse logrando una emisión de partículas menor de 50 mg/m<sup>3</sup> y emisión de CO menor de 63 mg/m<sup>3</sup> conforme a lo establecido en el punto 9.4 de la NOM-098-SEMARNAT-2002. Se realiza un diagrama general de las partes fundamentales del proceso de incineración representado en la figura 9. Se muestran también imágenes de la cámara de incineración y bomba de diésel (figura 10).



**Figura 12.** Diagrama de bloques del proceso de incineración.



**Figura 13** (A). Cámara del incinerador abierta. (B). Bomba de diésel

Se muestra evidencia fotográfica del área de incineración en la figura 11, y en seguida la rampa en la que se traslada el material a incinerar a la cámara de combustión (figura 12).



**Figura 14** (A). Cámara del incinerador abierta. (B). Bomba de diésel



**Figura 15.** Ingreso de material al Horno Incinerador

Se muestra evidencia fotográfica de la compuerta inferior por donde se retiran las cenizas resultantes de la incineración en la figura 13, y en seguida el termómetro de la cámara de incineración fuera de funcionamiento (figura 14).



**Figura 16.** Compuerta por la que se retiran las cenizas resultado de la incineración.



**Figura 17.** Termómetro de la cámara de incineración.

En la figura 15 se muestra la parte baja de la chimenea, en el momento que se toma la imagen, el material se encuentra al rojo vivo debido a la temperatura, comprometiendo la resistencia del material.



**Figura 18.** Parte baja de la chimenea

### 5.5 Resultados de la mediciones de temperatura del Horno Incinerador

En la siguiente tabla 10 se presentan los resultados promedio obtenidos en relación a la medición de la temperatura, en los puntos establecidos anteriormente en la figura 2.

**Tabla 10.** Resultados de los promedios de las mediciones de temperatura en  $^{\circ}\text{C}$ .

<b>Punto</b>	<b>Día 1</b>	<b>Día 2</b>	<b>Día 3</b>	<b>Día 4</b>
<b>A</b>	14.75	36.00	18.00	21.75
<b>B</b>	15.00	168.75	58.75	96.75
<b>C</b>	66.75	180.00	144.75	110.75
<b>D</b>	21.00	69.00	47.00	37.25
<b>E</b>	22.75	70.25	46.25	36.75
<b>F</b>	19.75	37.75	30.50	27.00
<b>G</b>	18.00	27.50	21.25	20.25
<b>H</b>	17.00	39.50	28.50	112.25
<b>I</b>	28.00	162.25	63.00	72.25
<b>J</b>	150.25	447.25	422.00	300.25
<b>K</b>	97.00	246.75	200.00	150.75
<b>1</b>	145.00	437.25	359.25	224.75
<b>2</b>	88.75	331.75	241.00	191.75
<b>3</b>	75.00	280.00	214.75	175.25
<b>4</b>	77.25	246.00	207.00	136.75

## Estimación de la temperatura de operación

Las temperaturas más altas se encontraron en el punto J, que es justo en la salida de los gases e inicio de la chimenea, es por eso que se puede considerar que la temperatura de operación del Horno Incinerador oscila en el intervalo de 150.25 a 447 °C, aunque hubo momentos puntuales de operación en los que se llegó a valores arriba de los 500 °C en la chimenea (sobre el rango del medidor) .

### **5.6 Condiciones climáticas en el Sistema Ambiental.**

De acuerdo a la información acerca de los climas existentes en el país del Instituto Nacional de Estadística y Geografía dentro de las modificaciones a la clasificación climática de Köppen hechas por García, el incinerador y sus áreas colindante se encuentran en una Zona con tipo de C(w0) que se describe a continuación (INEGI, 2017)

El clima C(w0) es una modificación del original propuesto por Köppen Cw, que corresponde a un clima Templado, subhúmedo, temperatura media anual entre 12 °C y 18 °C, temperatura del mes más frío entre -3 °C y 18 °C y temperatura del mes más caliente bajo 22 °C, y que presenta 10 veces más lluvia en el mes más húmedo, esto en la mitad de la zona caliente del año comparado con el mes más seco. La precipitación en el mes más seco es menor de 40 mm.

#### Componente Suelo

Según los mapas de uso de suelo y vegetación Uso del Suelo y veg. (Ser. IV INEGI 2010), la zona del incinerador se encuentra en un uso de suelo de Agricultura de Riego Semipermanente. La Agricultura de Riego utiliza agua suplementaria para el desarrollo de los cultivos durante el ciclo agrícola, por lo que su definición se basa principalmente en la manera de cómo se realiza la aplicación del agua, por ejemplo la aspersión, goteo, o cualquier otra técnica. Por la duración de su cultivo se denomina semipermeable ya que su ciclo vegetativo dura entre uno y diez años, como el caso de la papaya, la piña y la caña de azúcar.

Las afectaciones en el suelo se llevan a cabo principalmente por el depósito de material resultado de la incineración (ceniza) al suelo aledaño a las instalaciones, así como algunos residuos que pudieran ser tóxicos para el suelo, y no llevaran una incineración completa.

La composición de las cenizas se divide en dos: el material inerte que se obtiene de las cámaras de combustión y las cenizas volantes que se atrapan en los equipos de control de emisiones. Las cenizas presentan concentración de materia orgánica y en el caso de las cenizas volantes, tienen mayor concentración de metales en forma de compuestos relativamente solubles, los cuales están regulados como constituyentes peligrosos en la NOM-052-SEMARNAT-2005.

Por otra parte la parte indicada como Toxicidad al ambiente, no regula actividades específicas de incineración, aunado a ello la baja concentración en que los contaminantes existan y se absorben en las cenizas, no ha afectado a la vegetación que sobrevive de forma evidente en los alrededores, en las figuras 16 y 17 se muestra el área final de las cenizas.



**Figura 19.** Suelo en el que generalmente se distribuyen las cenizas



**Figura 20.** Vegetación cercana a las instalaciones del Horno Incinerador

## Componente Agua

El proceso específico de incineración de Residuos Biológicos no requiere de consumo de agua, por lo que la única agua a consumir será la requerida por las actividades de limpieza de las instalaciones, los escurrimientos generados llevan principalmente sangre animal, grasa, pelo y demás material proveniente de los cadáveres que se encuentren a la espera de ser incinerados.

Este efluente para por la rampa de residuos y en caso de que existan cenizas del incinerador, también son arrastradas por la corriente de agua, esta corriente pasa por un conducto que lleva hacia un pozo colector que guarda los efluentes resultantes del proceso. En la Figura 18 se observa la entrada a la tubería de concreto que sirve como conductor para el agua residual del lavado de los residuos del horno, la cual va dirigida al pozo contenedor de agua.



**Figura 21.** Salida hacia el pozo contenedor de líquidos.

El pozo por su construcción es cerrado, hecho de tabique rojo, con una profundidad aproximada de 3 metros.

Dentro del pozo existe un equilibrio entre dos fases principales, una líquida y una de grasa en cuya interface sigue habiendo descomposición, funcionando así como una laguna de aireación, aunque tenga menor superficie de contacto con el aire, el tiempo de residencia del efluente permite la función de degradación del material. En la figura 19 se observa la tapa del pozo receptor de agua en el momento de abrirla y en la figura 20 se aprecia la vista por el interior del pozo receptor de las aguas

residuales donde se muestran una mezcla entre el líquido, grasas, así como sólidos suspendidos en forma de lodos, también se puede apreciar que los residuos llegan a media altura del pozo.



**Figura 22.** Tapa del pozo receptor



**Figura 23.** Interior del pozo receptor.

## Componente aire

En la siguiente imagen (figura 20) se aprecia la parte más alta de la chimenea, donde se emiten los gases del proceso.



**Figura 24.** Parte más alta de la chimenea.

Se encontraron distintos comportamientos de las emisiones a la atmosfera de forma visual, a mayor temperatura, cercano a los 450 °C la pluma se tornó en su punto más opaco como se puede apreciar en la figura 21.



**Figura 25.** Pluma formada por la chimenea

Debido a que flujo continuo de aire en la zona del Horno Incinerador, las condiciones que aplican a la pluma de la chimenea son de turbulencia, debido al acelerado giro del aire, como se muestra en el caso puntual de la figura 25, por lo que la pluma tiene un comportamiento de espiral la mayor parte del tiempo de operación.

### **5.7 Descripción de los impactos encontrados en las actividades propuestas para identificación**

Descripción de los Impactos.

Se clasificaran los impactos de acuerdo a las acciones que los provocan

1. Generación de aguas de lavado con agentes limpiadores y aguas residuales domésticas.

Impactos:

- Contaminación de la tierra por infiltración de agua con materia orgánica. En relación al material contenido en el pozo, este impacto se describe como una fractura en el pozo, lo suficientemente grande para que se filtren residuos orgánicos ya sean suspendidos en la fase acuosa o líquidos aceitosos hacia el suelo. Aunque el impacto no se ha manifestado en la revisión a simple vista del pozo, no se descarta una fuga menor que aumente por efecto de erosión.

El efecto de la infiltración es un cambio en la composición del suelo en contacto con el pozo, sin embargo la filtración sería por debajo de la superficie, por lo que disminuye la posibilidad del contacto humano o animal con los residuos orgánicos. Aunado a ello al no ser un efluente particularmente alto en su flujo no ocasionará cambios en los escurrimientos que se consideren irreversibles. En cuanto a las actividades agrícolas la posible afectación a los cultivos es baja ya que las cenizas no entran en contacto directo con los cultivos, además de que la vegetación alrededor del pozo parece no ser afectada por la presencia de los residuos.

- Desecho de aguas con agentes limpiadores. Posible acumulación de agua con agentes disueltos en el pozo contenedor. se relaciona con el desecho y consecuente contaminación del suelo por filtración de agua acumulada con agentes limpiadores disueltos, aunque por no ser utilizados

de forma continua disminuye la posibilidad de que en caso de un accidente haya una cantidad considerable de agentes limpiadores o al menos mayor a las actividades domésticas.

## 2. Eventual límite del contenedor de aguas residuales.

### Impactos:

- Derrame del pozo contenedor con la consecuente inundación del área de trabajo del incinerador. Esta situación ha sucedido al aumentar en nivel del pozo, antes de que el exceso de agua fluya por tapadera o alcantarilla, el material regresa hacia la zona del incinerador, lo que representa un foco de infección para el operador, además de un riesgo para las instalaciones eléctricas que se pudieran ver involucradas. La afectación al suelo después de que se llenara el área de trabajo del incinerador en menor, pero posible por el advenimiento de algún evento climático extraordinario.

## 3. Manejo de Residuos Orgánicos e Inorgánicos peligrosos.

### Impactos

- Afectación la salud y seguridad del personal por disposición e identificación incorrecta, errónea u omisa de los residuos no incinerables por su incompatibilidad química incluidos los residuos con sustancias corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas e inflamables.
- Cambio de las propiedades del suelo próximo al incinerador por el contacto con las cenizas. La disposición de cenizas y productos sólidos provenientes de la cámara del incinerador no es regular ya que se depositan en suelo cercano a las instalaciones del incinerador. A diferencia con el punto anterior estos residuos sí son productos del proceso de incineración, por los que se obtienen de forma continua y en relación a la carga inicial introducida en el incinerador. De acuerdo a las observaciones de la vegetación no existe una disminución o cambio aparente de la vegetación en contacto con la cenizas, pero no se ha realizado un determinación de la composición de la ceniza ni de los efectos inmediatos a la calidad del suelo.

- Generación de Lixiviados que son la mezcla no intencional entre líquidos acuosos como la lluvia y material soluble que se encuentre en contacto con este flujo. Se considera que se generan lixiviados en cantidades bajas, y estos al carecer de un material en el cual retenerse se infiltran a la tierra, algunos compuestos contaminantes de principal interés son los metales disueltos algunos con características tóxicas.

#### 4. Generación de Ruido.

##### Impactos

- Problemas con las actividades académicas de los Edificios contiguos a las instalaciones del incinerador. No se ha presentado una molestia inaceptable o se ha tenido que suspender actividades académicas por este hecho.

#### 5. Generación de emisiones a la atmósfera.

##### Impactos

- Cambio a la calidad del aire por emisión de partículas suspendidas. Las características del proceso de incineración permiten la generación de compuestos volátiles aunado a los materiales que se adsorben a las partículas sólidas suspendidas. En varios estudios, llevados a cabo en Estados Unidos y en Europa, se ha encontrado que la exposición prolongada a partículas finas provenientes de la combustión es un factor importante de riesgo ambiental en casos de mortalidad por cáncer pulmonar y enfermedades cardio-pulmonares (Pope et al., 2002).
- Cambio a la calidad del aire por emisión de CO. Elevadas concentraciones de monóxido de carbono pueden tener serias consecuencias para la salud. Este gas tiene una afinidad con la hemoglobina de la sangre hasta 300 veces mayor que el oxígeno, formando carboxihemoglobina e interfiriendo en el mecanismo de transporte de oxígeno que garantiza

en el organismo una renovación continua del abastecimiento del oxígeno necesario para mantener el metabolismo celular. Los trastornos producidos en un individuo están en relación directa con la cantidad de carboxihemoglobina en sangre; esta cantidad depende a su vez de la concentración de monóxido de carbono en el aire y del tiempo de exposición del sujeto a esas condiciones atmosféricas. La intoxicación aguda produce, entre otros síntomas, dolor de cabeza, disminución de la visión y de la coordinación muscular, trastornos del sueño y disminución de la capacidad intelectual; en situaciones extremas, pérdida de conocimiento, convulsiones y muerte. La Organización Mundial de la Salud ha fijado en 9 ppm. el límite de tolerancia de concentración de monóxido de carbono; en una situación, por ejemplo, de tránsito muy congestionado, la concentración de monóxido de carbono puede alcanzar valores muy superiores.

- Cambio a la calidad del aire por emisión de  $\text{NO}_x$ . En la atmósfera se llevan a cabo reacciones químicas entre los gases que la conforman, una de ellas es cuando el monóxido de nitrógeno  $\text{NO}$  (gas incoloro) y el oxígeno  $\text{O}_2$  se combinan, en presencia de luz solar, para formar el dióxido de nitrógeno  $\text{NO}_2$  (gas café rojizo), lo que provoca el desagradable color del smog. Los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}$  y  $\text{NO}_2$ ) son contaminantes que por sí mismos no representan un problema para la salud pública; pero una vez que reaccionan con la luz solar, producen compuestos tóxicos, especialmente si están presentes los hidrocarburos. Dentro de estos compuestos tóxicos encontramos las cetonas, los aldehídos, los radicales alquilo y los nitratos de peroxiacetilo, que provocan lagrimeo e irritación de la garganta. Los óxidos de nitrógeno provocan que se forme el ozono. Al estar en la atmósfera se oxidan; forman ácidos y nitratos, los cuales hacen que disminuya la visibilidad del aire provocando el desagradable smog fotoquímico.
- Cambio a la calidad del aire por emisión de  $\text{SO}_x$ . El dióxido de azufre es un gas irritante y tóxico. Afecta sobre todo las mucosidades y los pulmones provocando ataques de tos, si bien éste es absorbido por el sistema nasal. La exposición de altas concentraciones durante cortos períodos de tiempo puede irritar el tracto respiratorio, causar bronquitis, reacciones asmáticas, espasmos reflejos, parada respiratoria y congestionar los conductos bronquiales de los asmáticos.

Los efectos de los SO<sub>x</sub> empeoran cuando el dióxido de azufre se combina con partículas ó con la humedad del aire ya que se forma ácido sulfúrico, y produce lo que se conoce como lluvia ácida, provocando la destrucción de bosques, vida salvaje y la acidificación de las aguas superficiales.

- Cambio a la calidad del aire por emisión de Dioxinas y furanos y HCB. La toxicidad de las dioxinas, furanos y HCB se manifiesta en muchos órganos y tipos celulares en animales expuestos a dosis subletales o en el intervalo transcurrido entre una dosis letal y la muerte. Los efectos tóxicos a la exposición de estas sustancias incluyen: pérdida de peso y anorexia, alteraciones de parámetros hemáticos, incremento en concentración de colesterol y triglicéridos, alteraciones hepáticas, edema general y dérmico, cloracne, alteraciones al sistema urinario, alteraciones pulmonares y gastrointestinales, inmunotoxicidad, atrofia del timo y otros tejidos linfáticos, inmunodeficiencia, teratogenicidad, carcinogenicidad, debilidad muscular y déficit sensorial (García y Castro, 2017).

#### 6. Generación de mal olor por Incineración.

##### Impactos

- Ambiente desagradable para el operador y el personal próximo a las instalaciones del incinerador. El proceso de incineración es conocido en gran medida por este factor el cual en condiciones propicias en cuanto a la dirección y la velocidad del viento puede percibirse desde los límites de toda la facultad.

#### 7. Pluma opaca (estética-visual).

##### Impactos

- Cambio en el plano visual del entorno, ubicación de un proceso de incineración varios kilómetros a la redonda. Es un ejemplo claro de la emisión de partículas suspendidas y gases no transparentes que evidencian una baja eficiencia en el proceso de incineración y a pesar de que no se ha realizado un perfil de los contaminantes regulados en la NOM-098-SEMARNAT-2002 cuya competencia incluye al Horno Incinerador por tratar residuos por oxidación térmica en un ambiente aireado.

## 5.8 Resultados del cálculos de la significancia para los impactos estudiados

Se muestran los valores de significancia para cada actividad propuesta y de acuerdo a los valores propuestos para cada criterio.

- a) Contaminación de la tierra por infiltración de agua con materia orgánica.

**Tabla 11-1.** Significancia a)

<b>Criterio</b>	<b>Valor</b>	<b>Justificación</b>
<b>Magnitud</b>	1	En los alrededores del incinerador
<b>Duración</b>	2	La materia orgánica se mantiene en el medio
<b>Frecuencia</b>	3	Continuamente de haber fractura
<b>Reversibilidad</b>	2	Reversible, existe el desazolve

$$\text{Sig} = (2 + 3) * (2 * 1) = 10$$

- b) Impacto acumulativo al aumentar el agua de desecho (actividad antrópica).

**Tabla 11-2.** Significancia b).

<b>Criterio</b>	<b>Valor</b>	<b>Justificación</b>
<b>Magnitud</b>	1	Comparable con las actividades domésticas.
<b>Duración</b>	1	Existen efluentes comunes de drenaje
<b>Frecuencia</b>	3	Diario
<b>Reversibilidad</b>	1	Inmediato

$$\text{Sig} = (1 + 3) * (1 * 1) = 4$$

- c) Contaminación del suelo por filtración de agua acumulada con agentes limpiadores disueltos.

**Tabla 11-3.** Significancia c).

<b>Criterio</b>	<b>Valor</b>	<b>Justificación</b>
<b>Magnitud</b>	1	En los alrededores del incinerador
<b>Duración</b>	2	La agentes se mantienen en el medio
<b>Frecuencia</b>	3	Continuamente de haber fractura
<b>Reversibilidad</b>	2	Reversible, existe el desazolve

$$\text{Sig} = (2 + 3) * (2 * 1) = 10$$

- d) Derrame del pozo contenedor con la consecuente inundación del área de trabajo del incinerador.

**Tabla 11-4.** Significancia d).

<b>Criterio</b>	<b>Valor</b>	<b>Justificación</b>
<b>Magnitud</b>	2	Afectación a la FESC por paro de labores
<b>Duración</b>	1	Solo en el incidente o evento catastrófico
<b>Frecuencia</b>	1	Continuamente de haber fractura
<b>Reversibilidad</b>	2	Reversible, reparaciones de las instalaciones y del incinerador

$$\text{Sig} = (1 + 1) * (2 * 2) = 4$$

- e) Afectación la salud y seguridad del personal por disposición e identificación incorrecta, errónea u omisa de los residuos no incinerables por su incompatibilidad química incluidos los residuos con sustancias corrosivas, reactivas, explosivas, toxicas e inflamables.

**Tabla 11-5.** Significancia e).

<b>Criterio</b>	<b>Valor</b>	<b>Justificación</b>
<b>Magnitud</b>	2	Afectación a la comunidad dentro de la FESC
<b>Duración</b>	2	Considerando daños a la salud y daños a infraestructura
<b>Frecuencia</b>	2	Manejo repentino de las sustancias peligrosas
<b>Reversibilidad</b>	3	Daños Irreversibles a la salud y las instalaciones

$$\text{Sig} = (2 + 2) * (3 * 2) = 24$$

- f) Cambio de las propiedades del suelo próximo al incinerador por el contacto con las cenizas.

**Tabla 11-6.** Significancia f).

<b>Criterio</b>	<b>Valor</b>	<b>Justificación</b>
<b>Magnitud</b>	1	En los alrededores del incinerador
<b>Duración</b>	3	Las propiedades del suelo no se recuperan a corto plazo
<b>Frecuencia</b>	2	Cada que se depositan la cenizas en el suelo
<b>Reversibilidad</b>	3	Irreversible, el contenido de las cenizas es variable puede contener metales pesados o sustancias producto de la síntesis térmica del incinerador.

$$\text{Sig} = (3 + 2) * (3 * 1) = 15$$

g) Generación de Lixiviados y su consecuente infiltración al manto.

**Tabla 11-7.** Significancia g).

<b>Criterio</b>	<b>Valor</b>	<b>Justificación</b>
<b>Magnitud</b>	2	En los alrededores y corrientes permeables subterráneas.
<b>Duración</b>	3	Las propiedades del agua cambian, los contaminantes son persistentes y dañinos
<b>Frecuencia</b>	2	Cada que se depositan la cenizas en el suelo
<b>Reversibilidad</b>	3	Irreversible, el contenido de las cenizas es variable puede contener metales pesados o sustancias producto de la síntesis térmica del incinerador.

$$\text{Sig} = (3 + 2) * (2 * 3) = 30$$

h) Problemas con las actividades académicas de los Edificios contiguos a las instalaciones del incinerador por el ruido.

**Tabla 11-8.** Significancia h).

<b>Criterio</b>	<b>Valor</b>	<b>Justificación</b>
<b>Magnitud</b>	1	En los alrededores por el sonido de las bombas de diésel.
<b>Duración</b>	1	Interrumpible
<b>Frecuencia</b>	3	Diaria
<b>Reversibilidad</b>	1	En caso de causar molestia es posible tomar medidas inmediatas

$$\text{Sig} = (1 + 3) * (1 * 1) = 4$$

i) Cambio a la calidad del aire por emisión de partículas suspendidas

**Tabla 11-9.** Significancia i).

<b>Criterio</b>	<b>Valor</b>	<b>Justificación</b>
<b>Magnitud</b>	3	En la FESC y rebasando sus límites
<b>Duración</b>	1	Dispersión continua de las partículas suspendidas
<b>Frecuencia</b>	3	Considerando emisión diaria
<b>Reversibilidad</b>	2	Efectos a la salud Reversibles en exposición repentina

$$\text{Sig} = (1 + 3) * (2 * 3) = 24$$

j) Cambio a la calidad del aire por emisión de CO.

**Tabla 11-10.** Significancia j).

<b>Criterio</b>	<b>Valor</b>	<b>Justificación</b>
<b>Magnitud</b>	3	En la FESC y rebasando sus límites
<b>Duración</b>	2	Persistente en el ambiente (reactividad)
<b>Frecuencia</b>	3	Considerando emisión diaria
<b>Reversibilidad</b>	3	Efectos a la salud Irreversibles

$$\text{Sig} = (2 + 3) * (3 * 3) = 45$$

k) Emisiones de CO<sub>2</sub>

**Tabla 11-11.** Significancia k).

<b>Criterio</b>	<b>Valor</b>	<b>Justificación</b>
<b>Magnitud</b>	3	En la FESC y rebasando sus límites
<b>Duración</b>	2	Persistente en el ambiente (reactividad)
<b>Frecuencia</b>	3	Considerando emisión diaria
<b>Reversibilidad</b>	2	Efectos a la salud Reversibles en exposición repentina

$$\text{Sig} = (2 + 3) * (2 * 3) = 30$$

l) Cambio a la calidad del aire por emisión de NO<sub>x</sub>

**Tabla 11-12.** Significancia l).

<b>Criterio</b>	<b>Valor</b>	<b>Justificación</b>
<b>Magnitud</b>	3	En la FESC y rebasando sus límites
<b>Duración</b>	2	Persistente en el ambiente (reactividad)
<b>Frecuencia</b>	3	Considerando emisión diaria
<b>Reversibilidad</b>	3	Efectos irreversibles a la atmosfera

$$\text{Sig} = (2 + 3) * (3 * 3) = 45$$

m) Cambio a la calidad del aire por emisión de SO<sub>x</sub>

**Tabla 11-13.** Significancia m).

<b>Criterio</b>	<b>Valor</b>	<b>Justificación</b>
<b>Magnitud</b>	3	En la FESC y rebasando sus límites
<b>Duración</b>	2	Persistente en el ambiente (reactividad)
<b>Frecuencia</b>	3	Considerando emisión diaria
<b>Reversibilidad</b>	2	Efectos a la salud Reversibles en exposición repentina

$$\text{Sig} = (2 + 3) * (2 * 3) = 30$$

n) Cambio a la calidad del aire por emisión de dioxinas, furanos y HCB

**Tabla 11-14.** Significancia n).

<b>Criterio</b>	<b>Valor</b>	<b>Justificación</b>
<b>Magnitud</b>	3	En la FESC y rebasando sus límites
<b>Duración</b>	2	Persistente en el ambiente (reactividad)
<b>Frecuencia</b>	3	Considerando emisión diaria
<b>Reversibilidad</b>	3	Efectos a la salud Irreversibles

$$\text{Sig} = (2 + 3) * (3 * 3) = 45$$

## 5.9 Jerarquización y análisis de los impactos

En orden de Significancia los Impactos quedan de la siguiente forma:

**Tabla 12.** Clasificación de impactos por significancia.

<b>Posición</b>	<b>Impacto</b>	<b>Sig.</b>
<b>1</b>	Cambio a la calidad del aire por emisión de dioxinas, furanos y HCB	45
<b>2</b>	Cambio a la calidad del aire por emisión de NO <sub>x</sub>	45
<b>3</b>	Cambio a la calidad del aire por emisión de CO	45
<b>4</b>	Cambio a la calidad del aire por emisión de SO <sub>x</sub>	30
<b>5</b>	Emisiones de CO <sub>2</sub>	30
<b>6</b>	Generación de Lixiviados y su consecuente infiltración al manto.	30
<b>7</b>	Cambio a la calidad del aire por emisión de partículas suspendidas	24

<b>8</b>	Afectación la salud y seguridad del personal por disposición e identificación incorrecta, errónea u omisa de los residuos no incinerables por su incompatibilidad química incluidos los residuos con sustancias corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas e inflamables	24
<b>9</b>	Cambio de las propiedades del suelo próximo al incinerador por el contacto con las cenizas.	15
<b>10</b>	Contaminación de la tierra por infiltración de agua con materia orgánica.	10
<b>11</b>	Contaminación del suelo por filtración de agua acumulada con agentes limpiadores disueltos.	10
<b>12</b>	Derrame del pozo contenedor con la consecuente inundación del área de trabajo del incinerador.	4
<b>13</b>	Impacto acumulativo al aumentar el agua de desecho (actividad antrópica).	4
<b>14</b>	Problemas con las actividades académicas de los Edificios contiguos a las instalaciones del incinerador por el ruido.	4

## **VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

### **6.1 Diagnóstico Ambiental**

A pesar de que las metodologías de jerarquización de impacto ambiental intervienen bastantes factores de interpretación, se aprecia claramente que en la presentación de resultados de significancia las emisiones de gases y partículas a la atmósfera producto de la operación del horno incinerador son las que presentan mayor significancia, por tanto en materia de impacto ambiental la emisión de contaminantes se convierte en el principal punto de interés, sin embargo deben de procurarse medidas de mitigación y prevención para cada uno de los puntos que se tratan en la tabla 12 “Clasificación de impactos por significancia”. De tal forma que se plantean los siguientes diagnósticos por componente ambiental.

#### **Aire**

El horno incinerador presenta por definición un espectro de contaminantes bastante amplio debido a que las temperatura operan fuera de cualquier parámetro de control, esta característica hace que la operación actual de incinerador presente efectos reversibles e irreversibles en el ambiente y en la comunidad, aunado a la continuidad de la emisión contaminantes.

En relación a este punto y con el objetivo de disminuir, prevenir y/o amortiguar el efecto que el Horno Incinerador presenta por la emisión de contaminantes a la atmósfera se deben tomar medidas de prevención y mitigación en el corto plazo para disminuir los riesgos que puedan presentarse a la salud de la comunidad próxima a ser afectada.

## Suelo

El punto de mayor importancia en el suelo son las afectaciones que las cenizas llegarán a provocar en ambiente por contener materiales tóxicos como resultado de los procesos de combustión y pirólisis dentro del Horno Incinerador, la afectación se podría ver en los cultivos que son el área más cercana a ser afectada. En este sentido se debe de replantear la forma en la que se contengan las cenizas y su tratamiento y disposición.

Por otro lado se consideró que para tener un evento grave se debe presentar un evento accidental, en concreto una avería estructural del pozo, por lo que la significancia disminuye por efecto de la frecuencia. Esto apunta a que se debe tener en cuenta que se deben realizar inspecciones al pozo del Horno incinerador y determinaciones periódicas de la viabilidad estructural del material con el que se encuentra construido.

## Agua

El agua es el componente que menos significancia presentó en el estudio por que la naturaleza del proceso no permite tener un efluente del proceso, es decir, la forma en la que esta ordenado el proceso del Horno Incinerador no precisa una conexión al alcantarillado. Esto es relevante ya que la normatividad en materia de aguas residuales pone énfasis en los procesos que descargan continuamente agua residuales a bienes nacionales.

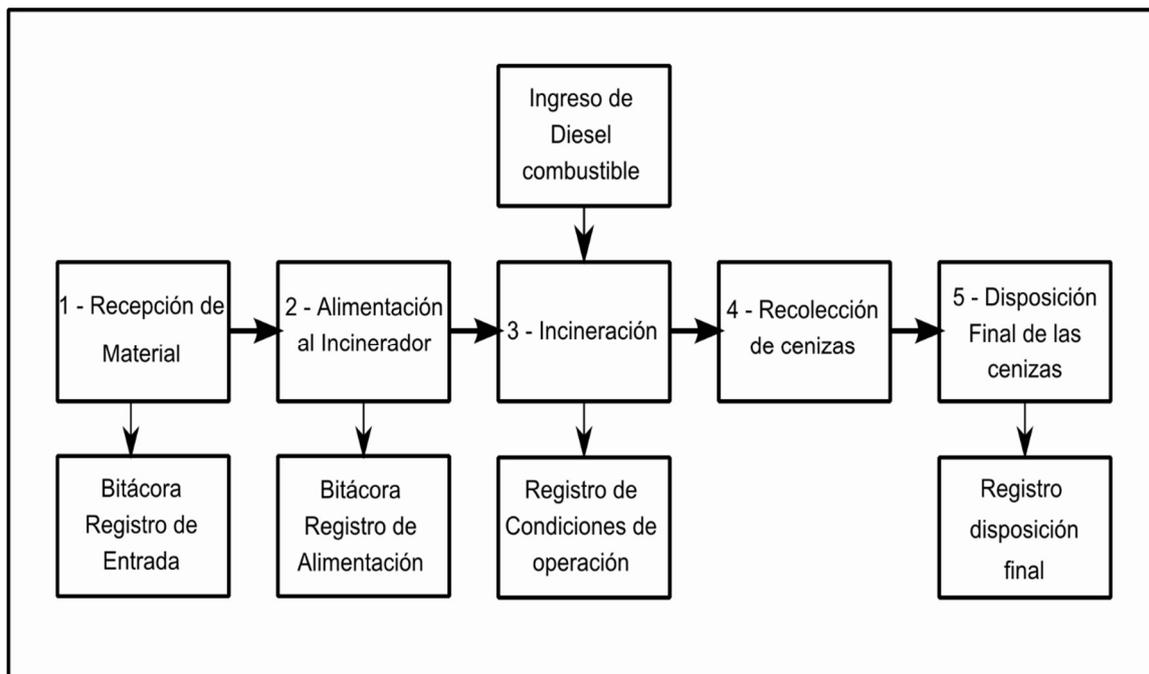
En relación a esto no se han determinado las características de infiltración de contaminantes por a los mantos acuíferos, pero el proceso es comparable con depósitos de agua con material orgánico y aceites, para los cuales no hay restricción de instalación o uso en la normatividad federal o local.

## 6.2 Propuestas de mejora.

La mejora que se propone es generar un procedimiento formal en el que se lleve a cabo de forma ordenada, el consumo de combustible, peso de residuos a incinerar, condiciones de operación (en especial la temperatura), cantidad de cenizas y materiales no incinerables producto del mismo proceso de incineración y el registro de la correcta disposición de las cenizas (figura 22).

La etapa de almacenamiento de Residuos recibidos está relacionada directamente con la capacidad de refrigeración que se tenga en las instalaciones, en este caso no existe aún algún sistema de refrigeración para el almacenamiento, por lo que no se consideró en el procedimiento, aunque este sistema de refrigeración ayudaría a controlar la descomposición del material, con la amplia desventaja de tener que descongelarse para después ser introducidos al horno.

En relación al mantenimiento sanitario, se propone que al menos una vez cada seis meses, se lleve a cabo un lavado y sanitizado con hipoclorito, las paredes y pisos del área de manejo de RPBI.



**Figura 26.** Diagrama de flujo de la Propuesta de actividades del incinerador.

Se considera viable seguir utilizando sistemas de incineración en la FESC, ya que consigue una eliminación muy efectiva en relación al volumen y al peso de los residuos además de ser la principal

alternativa para el tratamiento de residuos patológicos, siempre y cuando se de atención al mantenimiento del equipo y exista un manejo correcto de las cenizas y gases producidos.

A pesar de que las emisiones de contaminantes a la atmosfera tienen un amplio alcance, el horno incinerador presenta problemática ambiental local, es decir, los impactos que produce se verán reflejados en las inmediaciones de su instalación, esto debido a que la capacidad con la que se maneja no se considera de tipo industrial, lo que se ve reflejado en que no recibe residuos de empresas privadas, para lo que requería la respectiva autorización para prestar el servicio.

Por lo que el principal punto de atención encontrado para el Horno Incinerador es la debilitación de su estructura por efecto de la temperatura que alcanza la lámina en el punto de mayor temperatura, en la parte baja de la chimenea. Esto se debe a que no existe material refractario que amortigüe la elevación de la temperatura (ya sea porque no se consideró en el diseño o que el refractario se ha desgastado por ser sometido a temperatura alta sin algún tipo de control).

## **VII. CONCLUSIONES**

Se realizó una evaluación sobre los impactos que el Horno Incinerador presenta en el entorno y los que se pueden presentar eventualmente, en esta evaluación se consideraron las distintas actividades relacionadas con su operación. Se define que la emisión de contaminantes a la atmósfera es el punto de principal interés en materia ambiental y que requiere atención inmediata y con alta eficacia, además de ello se deberán reemplazar piezas completas de placa metálica y bloque refractario para mantener la integridad estructural de todo el equipo e instalaciones que involucran al Horno incinerador.

Si bien no todos los puntos requeridos en la normatividad aplican y para algunos se debe determinar su correcto cumplimiento, se considera que la normatividad estudiada tiene como principal objetivo regular las actividades de magnitud industrial que puedan afectar el equilibrio ecológico, el cual no es el caso del Horno Incinerador por no estar sujeto a demanda industrial o proveer servicio a terceros.

Un plan preventivo que involucre los resultados del presente trabajo puede ayudar en corto plazo y con relativamente pocos recursos a que se prevengan afectaciones a la salud, así como accidentes y discrepancias con la normatividad de calidad aplicable.

## VIII. BIBLIOGRAFÍA

Aery, N.C. (2010). *Manual of Environmental Analysis*. Boca Raton: CRC Press/Taylor & Francis.

Castañeda L, Jiménez J, Urzúa A, Manzano R, Valentín J, Sagrario E, Cruz S, Gálvez (2006) *Guía de cumplimiento de la Norma Oficial Mexicana "NOM-O87-SEMARNAT-SSA1-2002"*. Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales y la Secretaria de Salud.

Colomer, F. y Gallardo A. (2010). *Tratamiento y Gestión de Residuos Sólidos*. C.D. de México: Limusa.

Environment Australia (1999), *Incineration and Dioxins: Review of Formation Processes, consultancy report prepared by Environmental and Safety Services for Environment Australia*, Commonwealth Department of the Environment and Heritage, Canberra.

Mendoza, Y. (2010) *Incineración de Residuos Biológico Infecciosos, su efecto sobre la salud y el ambiente*. Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México.

Metcalf & Eddy, Inc. (2003). *Wastewater engineering: treatment and resource recovery*. Nueva York: McGraw-Hill.

México. *Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos de 1917*.

México. *Ley de Aguas Nacionales*. Publicada en D.O.F. 01-XII-1992.

México. *Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos* publicado en el D.O.F 30-XI-2006

Niessen, W. R. (2010). *Combustion and Incineration Processes: Applications in Environmental Engineering* (4ta ed.). Boca Raton: CRC Press/Taylor & Francis.

NOM-043-SEMARNAT-1993. Que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas sólidas provenientes de fuentes fijas. D.O.F. 18-X-1993.

NOM-001-SEMARNAT-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002. Protección Ambiental-Salud Ambiental-Residuos Peligrosos Biológico Infecciosos- Clasificación y Especificaciones de Manejo. Publicada en D.O.F 17-II-2003

NOM-098-SEMARNAT-2002. Protección Ambiental-Incineración de Residuos, Especificaciones de Operación y límites de emisión de contaminantes. Publicada en D.O.F. 01-X-2004.

NOM-052-SEMARNAT-2005. Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos.

NOM-085-SEMARNAT-2011. Contaminación Atmosférica-Niveles máximos permisibles de emisión de los equipos de combustión de calentamiento indirecto y su medición. Publicada en D.O.F. 02-II-2012.

Pitchel J. (2005). *Waste Management Practices: municipal, hazardous, and industrial*. Boca Raton: CRC Press/Taylor & Francis.

Seoánez, M. (1995). *Ecología Industrial: Ingeniería Medioambiental Aplicada a la Industria y a la Empresa*. Madrid: Mundi Prensa.

Tchobanoglous, G. y Theissen H. (1994). *Gestión Integral de Residuos Sólidos*, Vol I. Madrid: McGraw Hill.

Wang K. *et al* (2014). *Air Pollution Control Engineering*. Totowa: Humana.

#### Cibergrafía

Brigden K, Labunska I, Stringer R, Johnston P. Santillo, D. & Ashton, J. (2000). Multimedia en internet. *Identificación de contaminantes orgánicos y metales pesados en muestras recolectadas del incinerador de desechos peligrosos y hospitalarios Trieco, Provincia de Buenos Aires, Argentina*. Consultado el 30 de julio de 2017, de

<http://www.greenpeace.org/argentina/Global/argentina/report/2006/4/identificaci-n-de-contaminante.pdf>

Contreras A. et al, (2013). Multimedia en internet. *Calidad del aire: una práctica de vida. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Recuperado el 30 de julio de 2017, de*  
<http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2013/CD001593.pdf>

García, A y Castro J. Multimedia en internet. *Capítulo 3. Dioxinas, furanos y hexaclorobenceno. Recuperado el 30 de junio de 2017, de*  
<http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/447/cap3.html>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. Multimedia en internet. *Climatología. Metodología. Recuperado el 30 de julio de 2017, de*  
<http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/recnat/clima/metodologia.aspx>

Narváez I, Meneses C, Ruiz G, Calle L, Sánchez T. (2006) Multimedia en internet. Proyecto de asesoría técnica en incineradores de desechos hospitalarios. REPAMAR – MSP. Recuperado el 30 de julio de 2017, de  
[http://www.bvsde.paho.org/cursoa\\_reas/e/fulltext/incinera.html](http://www.bvsde.paho.org/cursoa_reas/e/fulltext/incinera.html)

Organización Panamericana de la Salud. Multimedia en internet *Curso residuos hospitalarios. La incineración y la destrucción térmica. Recuperado el 17 de junio de 2016, de*  
[http://www.bvsde.paho.org/cursoa\\_reas/e/fulltext/Ponencias-ID54.pdf](http://www.bvsde.paho.org/cursoa_reas/e/fulltext/Ponencias-ID54.pdf)

Organización Panamericana de la Salud. Multimedia en internet. *Curso de auto-instrucción. Conceptos básicos sobre la metrología de la contaminación del aire. Recuperado el 17 de junio de 2016, de*  
[http://www.bvsde.paho.org/cursoa\\_meteoro/lecc4/lecc4\\_3.html](http://www.bvsde.paho.org/cursoa_meteoro/lecc4/lecc4_3.html)

Organización Mundial de la Salud. Multimedia en internet. *Las dioxinas y sus efectos en la salud humana. Recuperado el 12 de septiembre de 2016, de*  
<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs225/es/>.

SEMARNAT (2009). Multimedia en internet. *Manifestación de Impacto Ambiental. Procesadora de Residuos Infecciosos PRODESI S.A. de C.V. 06CL2009ID012 Recuperado el 23 de mayo de 2016, de*

<http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/col/estudios/2009/06CL2009ID012.pdf>

SEMARNAT (2016). Multimedia en internet. *Sistema de Información Geográfica para la Evaluación de Impacto Ambiental [SIGEIA]*. Consultado el 30 de julio de 2017, en <http://mapas.semarnat.gob.mx/SIGEIA5e5PUBLICO/BOS/Bos.php#>.

The United Kingdom Without Incineration Network [UKWIN] (Red Reino Unido Sin Incineración). Recuperado el 12 de febrero de 2017, de <http://ukwin.org.uk/oppose-incineration/>

USA Department of Defense USA (2004), Solid Waste Incineration. Recuperado el 12 de junio de 2016, de [https://www.wbdg.org/ccb/dod/ufc/ufc\\_3\\_240\\_05a.pdf](https://www.wbdg.org/ccb/dod/ufc/ufc_3_240_05a.pdf).