



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

*Alternativas de Aprovechamiento de los Residuos Sólidos
Impregnados con Hidrocarburos en el Sistema Nacional
de Refinación*

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

PRESENTA

Aislinn Márquez Ortiz



MÉXICO, D.F.

2014



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.

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: **Profesor: Dr. Alfonso Durán Moreno**
VOCAL: **Profesor: Dra. Marisela Bernal González**
SECRETARIO: **Profesor: Dr. José Agustín García Reynoso**
1° SUPLENTE: **Profesor: Dra. Luz María Lazcano Arriola**
2° SUPLENTE: **Profesor: Dra. Gema Luz Andraca Ayala**

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

TORRE DE INGENIERÍA 3ER PISO

ASESOR DEL TEMA:

DR. ALFONSO DURÁN MORENO _____

SUSTENTANTE:

AISLINN MÁRQUEZ ORTIZ_____

Índice

1. Introducción	5
1.1 Problemática	7
1.2 Objetivo general	8
1.3 Objetivos particulares:	8
2. Marco conceptual.....	9
2.1 La industria de refinación de petróleo en México	9
2.2 Problemática ambiental relacionada a la generación de residuos en la industria petrolera.	9
2.3 Gestión de residuos peligrosos en México	10
2.4 Alternativas de manejo de residuos.....	12
2.5 Uso de combustibles alternativos en la industria	15
3. Caso de estudio.....	19
4. Metodología	20
4.1. Diagnóstico básico de la generación de RSIH	21
4.1.1 Situación actual en el manejo de residuos en el SNR.....	24
4.2 Análisis de laboratorio de los RSIH	30
4.3 Resultados de análisis de laboratorio.....	32
4.4 Identificación de alternativas de aprovechamiento de los rsih.....	35
4.5 Identificación de residuos con potencial para ser aprovechados por medio del co-procesamiento para su valorización energética	37
4.5.1 Mercado para la formulación y uso de combustible alterno.....	38
4.5.2 Características de los residuos para su uso como combustible alterno en hornos de cemento	43
4.5.2 Incineración vs co-procesamiento.....	46
5 Propuestas.....	50
5.1 Análisis de propuestas.....	51
6 Conclusiones.....	55
7 Referencias	56
8 Anexos metodologías para las técnicas de caracterización.....	58

Alternativas de Aprovechamiento de los Residuos Sólidos Impregnados con Hidrocarburos en el Sistema Nacional de Refinación

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Consideraciones para el co-procesamiento de los residuos	17
Tabla 2. Generación de rsih en el snr.....	27
Tabla 3. Manejo actual de los rsih	28
Tabla 4. Procesos generadores de los residuos sólidos impregnados con hidrocarburos (rsih)	29
Tabla 5. Técnicas analíticas para la caracterización de los residuos.....	32
Tabla 6. Residuos peligrosos (rsih)	33
Tabla 7. Residuos de manejo especial.....	33
Tabla 8. Resultados de la determinación de contenido de metales de las muestras colectadas en la refinería	34
Tabla 9. Poder calorífico de los rsih en el sistema nacional de refinación	34
Tabla 10. Identificación de alternativas de los rsih	35
Tabla 11. Emisiones y uso de combustibles alternos en cemex (cemex, 2012).....	40
Tabla 12. Alternativas propuestas para el aprovechamiento y valorización delos rsih	50
Tabla 13. Diferencia de funcionamiento entre un horno cementero y una planta incineradora. (fundación cema)	51
Tabla 14. Áreas de oportunidad en el snr	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estrategia jerarquizada para el manejo de los residuos.....	12
Figura 2. Distribución de corrientes de residuos en el snr (coa,2011).....	26
Figura 3. Producción de cemento 2000-2012 (cemex, 2012).....	38
Figura 4. Porcentaje de sustitución de combustibles alternos en las plantas de cemex (cemex, 2012).....	41
Figura 5. Proceso de cemento y co-procesamiento de los residuos.....	49
Figura 6. Procedimiento para identificar la peligrosidad de un residuo (nom-052-semarnat 2005).....	62
Figura 7. Espectrometría de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente (epa 6010b-19965).....	63
Figura 8. Procedimiento para la prueba de extracción (pect) (nom-053-semarnat- 1993).....	64
Figura 9. Método de la bomba calorimétrica adiabática (nmx-aa-033-1985).....	65

1. Introducción

PEMEX como la principal empresa petrolífera enfrenta muchos retos ambientales, uno de esos retos es el manejo de Residuos Peligrosos; debido a esto PEMEX ha desarrollado Planes de Manejo con el objetivo de darle un mejor manejo a los residuos que genera, lo que ayuda a reducir el volumen de los mismos.

Actualmente México entró en el 2005 una legislación ambiental donde se dice que los residuos se consideraran peligrosos siempre y cuando estén dentro de la clasificación con base a la NOM-052-SEMARNAT-2005.

A nivel nacional, para el periodo 2004-2011, la SEMARNAT estimó que se generaron 1.92 millones de toneladas de RP (**SEMARNAT, Ed. 2012**) apareciendo la industria del Petróleo y Petroquímica entre los diez principales generadores de este tipo de residuos (**SEMARNAT, Ed. 2012**).

Atendiendo a la definición de RP que se establece en la Ley General para la Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) y la NOM-052-SEMARNAT-2005, los residuos ajenos al proceso no se clasifican como peligrosos. En este contexto, durante 2011, PEMEX reportó la generación de 88 mil toneladas de Residuos Peligrosos de los cuales, el 57% corresponden a los generados por PEMEX Refinación. De éstos, el 40% son lodos aceitosos y sedimentos impregnados con hidrocarburo; 35% sosas gastadas y; 6% residuos sólidos impregnados. En conjunto, estos tres tipos de residuos constituyen el 80% de los RP generados por PEMEX Refinación (**PEMEX, 2012**).

El incremento de residuos generados por el hombre se está convirtiendo en un grave problema para la sociedad como para el ambiente. Gran parte de esta cantidad de residuos son reciclados o

Alternativas de Aprovechamiento de los Residuos Sólidos Impregnados con Hidrocarburos en el Sistema Nacional de Refinación

destinados a su depósito en un vertedero controlado. Sin tomar en cuenta otras opciones para el manejo de estos residuos

En el presente trabajo hace una referencia a los Residuos Sólidos Impregnados con Hidrocarburos (RSIH) generados en el Sistema Nacional de Refinación (SNR), con el fin de plantear estrategias que ayuden a tener una mejor separación y un almacenamiento temporal que a su vez ayude a que los residuos se puedan minimizar, aprovechar y valorizar.

La minimización es la opción prioritaria de manejo en un sistema de gestión de residuos ya que reduce el riesgo de que los contaminantes generados por las refinerías y los productos peligrosos que maneja puedan afectar al ambiente o a terceras personas, tiene como objetivo el establecimiento de medidas destinadas a evitar la generación de residuos, conseguir su reducción o el de la cantidad de sustancias peligrosas presentes en ellos

La alternativa de valorizar los residuos en la industria como combustible alternativo, puede ser una opción muy viable tanto para el generador como para el que compra el residuo ya que es más barato que si se compra combustible fósil.

Como alternativa de co-procesar los RSIH es valorización en hornos de clínker en la producción de cemento. En el sector cementero, el proceso de fabricación del clínker a altas temperatura requiere una gran cantidad de combustibles, pero sería posible valorizar ciertos residuos orgánicos utilizándolos como sustitutos de los combustibles fósiles tradicionales (coque de petróleo, carbón o fuel oil), de tal manera que la energía consumida para estos procesos industriales puede obtenerse a partir de combustibles

1.1 Problemática

En esta época la actividad industrial juega un papel importante para la economía del país. En México en los últimos 50 años la actividad industrial ha crecido considerablemente y con ello ha crecido la generación de residuos peligrosos.

México enfrenta un problema con respecto al manejo de los residuos peligrosos que se generan dentro de los diferentes procesos. Estos residuos se consideran que son contaminantes debido a que alteran la composición del medio ambiente en que se depositan. Por lo anterior la normatividad tiende a ser un camino para controlar la disposición final de los residuos que se generan.

La infraestructura implementada para el manejo y la disposición final de los residuos peligrosos aún es insuficiente. La capacidad instalada en el país debe de ser optimizada para contar con sistemas efectivos que permitan recolectar, aprovechar y reciclar los residuos.

La problemática que enfrentan los grandes generadores como es el caso de PEMEX-REFINACIÓN se debe a la falta de espacios para su almacenamiento temporal, así como la separación adecuada de los Residuos.

1.2 Objetivo general

Evaluar las ventajas del aprovechamiento y valorización de los Residuos Sólidos Impregnados con Hidrocarburos del Sistema Nacional de Refinación integrando la reutilización y co-procesamiento.

1.3 Objetivos particulares

-Describir el marco legal de la gestión de manejo de Residuos Peligrosos en México.

-Realizar un diagnóstico conceptual de la generación de los Residuos Sólidos Impregnados con hidrocarburos.

-Elaborar propuestas conceptuales para la minimización, aprovechamiento y valorización de los Residuos Sólidos Impregnados Con Hidrocarburos.

2. Marco conceptual

2.1 la industria de refinación de petróleo en México

Las Refinerías de Petróleo como parte de sus actividades productivas enfrentan retos importantes en materia ambiental ya que generan emisiones a la atmósfera, residuos sólidos y residuos peligrosos, descargas al agua y afectaciones al suelo.

El petróleo es un producto indispensable para la dinámica económica de la industria en todo el mundo; al procesarlo se obtienen un sin número de bienes de consumo.

PEMEX participa en las actividades de producción, transporte, almacenamiento, distribución y comercialización de petrolíferos para lo cual cuenta con seis refinerías, quince terminales marítimas, 77 terminales de almacenamiento, 5,197 km de oleoductos y 8,835 km de poliductos (SENER, 2012).

2.2 Problemática ambiental relacionada a la generación de residuos en la industria petrolera

Uno de los problemas que enfrenta México es la disposición y el tratamiento de los residuos que se generan en los procesos industriales. La industria genera diversos residuos dependiendo de cada actividad que se realiza.

El daño que se genera al ambiente con los residuos peligrosos de la industria petrolera depende de su toxicidad y su persistencia ambiental; la persistencia ambiental se relaciona con la tendencia de una sustancia química a permanecer en el ambiente debido a su resistencia a la degradación.

PEMEX se considera como gran generador de residuos peligrosos ya que genera más de 10 toneladas al año de residuos (LGPGIR, 2012), para ello es necesario contar un manejo adecuado y disposición final de los mismos.

2.3 Gestión de residuos peligrosos en México

La gestión de residuos peligrosos es de suma importancia para evitar daños ambientales y a la salud. La gestión de residuos en cada país es diferente pero basados en principios internacionales.

En primera instancia los residuos deben de evitar generarse o minimizarse, si no se logra, tratarlos y disponerlos de la mejor manera posible; de hecho, la Legislación Nacional orienta a la gestión para la minimización de residuos seguido por el aprovechamiento, tratamiento, valorización y disposición final.

Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012

En el Plan Nacional de Desarrollo del periodo 2006-2012 se explica la falta de infraestructura para el manejo de los residuos peligrosos generados en la industria, y para ello se propone llevar un inventario de los mismos para que los generadores se corresponsabilicen y así recolecten y reciclen los mismos (PND, 2007-2012).

En el Plan se establece que se tiene como prioridad aplicar una estrategia de gestión ambiental efectiva, transparente, eficiente, y expedita que garantice el cumplimiento de la legislación pertinente sin obstaculizar las actividades productivas, lo cual facilitará la reducción de la contaminación ambiental así como el adecuado manejo de residuos peligrosos y mejor aprovechamiento de los recursos naturales.

Por otra parte el Plan tiene como otra estrategia intensificar las regulaciones en materia de los RP, identificar fuentes generadoras y verificar que éstas sigan la normatividad ambiental para así controlar los efectos adversos que producen estos residuos.

Ley General para la Prevención y Gestión de Residuos Peligrosos (LGPGIR).

La regulación en México de residuos peligrosos se inicia en México en 1988 con La Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) en donde en su capítulo VI trata de materiales y residuos peligrosos y siete normas técnicas, de ellas la que se resalta la NOM-052-SEMARNAT-1993 que establece las características que tienen los residuos peligrosos, en ella se enlistan los residuos y los límites que lo hacen peligros, esta norma se modificó en el 2005.

La LGPGIR publicada en el 2012 menciona que se debe de seguir una base para el manejo, disposición, valorización y reciclaje de los residuos peligrosos (RP). El reglamento de esta Ley se publicó en el 2006. En abril 2009 se emitió el "Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos"; el objetivo de éste es contribuir al desarrollo sustentable en México, mediante la generación de una política ambiental que fomente la prevención y gestión de los residuos.

En general la gestión de residuos se basa en la jerarquía de manejo y principio precautorio. La gestión de residuos ha enfrentado una serie de dificultades, comenzando por el hecho de que no se cuenta con un registro claro de los residuos que se generan en el país.

Dentro de las prioridades nacionales en materia ambiental se tiene como objetivo elaborar un inventario nacional de los RP para que se pueda llevar a cabo el manejo adecuado; otra prioridad es una adecuada organización institucional para evitar que se evadan responsabilidades y prestar mayor atención en este rubro y se vea

Alternativas de Aprovechamiento de los Residuos Sólidos Impregnados con Hidrocarburos en el Sistema Nacional de Refinación

desde una perspectiva social, económico-financiera y cultural que sostenga la política ambiental, con una coordinación por parte de las instituciones generadoras.

2.4 Alternativas de manejo de residuos

El manejo integral y sustentable de los residuos sólidos combina flujos de residuos, métodos de recolección y procesamiento, que llevan consigo beneficios ambientales, optimización económica y aceptación social en un sistema de manejo práctico para cualquier región. Esto se puede lograr combinando opciones de manejo que incluyen esfuerzos de reúso y reciclaje.

El manejo integral de los residuos sólidos le da una nueva dimensión al enfoque comúnmente conocido como la jerarquía del manejo de residuos sólidos, referido en la figura 1.

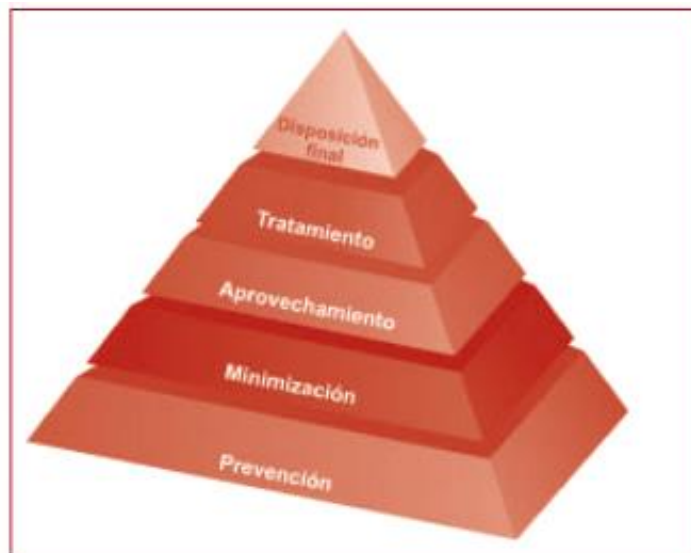


Figura 1. Estrategia jerarquizada para el manejo de los residuos (Abierta, 2010)

Las alternativas de manejo de residuos son:

➤ **Aprovechamiento**

La Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) define al Aprovechamiento como el conjunto de acciones cuyo objetivo es recuperar el valor económico de los residuos mediante la reutilización, re-manufactura, rediseño, y recuperación de materiales secundarios o de energía.

➤ **Valorización**

La definición que la LGPGIR da es el principio y conjunto de acciones asociadas cuyo objetivo es recuperar el valor remanente o el poder calorífico de los materiales que componen los residuos, mediante su incorporación en procesos productivos, bajo criterios de responsabilidad compartida, manejo integral y eficiencia ambiental, tecnológica y económica.

➤ **Tratamiento**

El tratamiento se define en la LGPGIR como los procedimientos físicos, químicos, biológicos o térmicos, mediante los cuales se cambian las características de los residuos y se reduce su volumen o peligrosidad.

Dentro de los tratamientos térmicos se encuentra la incineración, la cual tiene como objetivo reducir el volumen del residuo para disminuir el volumen que llega a los confinamientos controlados. Este tratamiento es especialmente indicado para residuos que presenten las siguientes características:

- Alta resistencia frente a procesos de tratamientos biológicos y alta persistencia en el ambiente.

Alternativas de Aprovechamiento de los Residuos Sólidos Impregnados con Hidrocarburos en el Sistema Nacional de Refinación

- Alta volatilidad y, por consiguiente, fácil dispersión (por ejemplo, disolventes).
- Contenido de compuestos clorados, con metales tales como plomo, mercurio, cadmio, zinc y nitrogenados, fosforados o sulfurados.

El proceso de incineración ha existido en México desde finales de la década de los 70, antes del establecimiento de la legislación que rige actualmente a los residuos peligrosos. La incineración se ofreció como un servicio comercial desde 1990, sin embargo, a partir de 1996, tras la publicación de la NOM-087-ECOL.1995 (SEMARNAT, 1995), donde se establecen los requisitos de manejo de los residuos biológico-infecciosos, la infraestructura instalada creció rápidamente, en especial para la incineración de éstos residuos. (INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA, 2013).

➤ **Disposición final**

La disposición final se define como el depósito o confinamiento permanente en sitios e instalaciones cuyas características permitan prevenir su liberación al ambiente y las posibles afectaciones a la salud de la población y de los ecosistemas. En la jerarquía de manejo de residuos, esta es la opción menos deseable. No obstante, es una alternativa segura para aquellos residuos que no se tienen otras alternativas.

La estabilización es un proceso para inmovilizar los contaminantes total o parcialmente, por la adición de un medio de soporte, ligante u otro agente. Generalmente, la estabilización se realiza mediante la solidificación del RSIH que comprende las técnicas de encapsulamiento del residuo en una forma monolítica de alta rigidez estructural.

2.5 Uso de combustibles alternativos en la industria

Los combustibles alternativos son considerados una opción en la industria para sustituir los combustibles fósiles ya que aparte de que el costo es menor, tienen menores impactos al ambiente. Internacionalmente se está usando esta opción, pero en México todavía no se generaliza el procesamiento de los residuos. Los residuos pueden ser usados como combustibles alternativos siempre y cuando tengan un poder calorífico alto.

La valorización energética se ha puesto en práctica desde hace más de 20 de años en los países más avanzados en materia de protección ambiental de Europa, de ahí esta práctica se extendió a Estados Unidos y Japón.

Las experiencias que se pueden mencionar en el uso de combustibles alternativos en los diferentes países son:

a) España

La valorización energética en España es una de las líneas de trabajo para la sustentabilidad en el sector del cemento. Los costos de energía eléctrica y costos de combustibles suponen un costo de más de 30% de los costos de fabricación, por ello la posibilidad de utilizar combustibles alternativos para reducir costos es una buena opción ya que impactan sobre la competitividad de las empresas.

En España se generan alrededor de 6,700,000 toneladas de residuos peligrosos al año y para ellos existen diferentes formas de tratamiento, entre ellas están:

- Uso principal como combustible alternativo o como otro medio para generar energía
- Regeneración o recuperación de disolventes

Alternativas de Aprovechamiento de los Residuos Sólidos Impregnados con Hidrocarburos en el Sistema Nacional de Refinación

- Recuperación de sustancias orgánicas
- Reciclado o recuperación de metales
- Reciclado o recuperación de compuestos inorgánicos

La valoración de los residuos para uso como combustible alternativo es la tercera operación con mayor capacidad anual de 201,000 toneladas después de la recuperación de sustancias orgánicas y la recuperación de metales; la opción de valorización se privilegia sobre opciones de confinamiento.

b) Estado Unidos

La industria del cemento incluye un proceso que requiere una gran cantidad de energía en los hornos, el uso de combustibles alternativos es una alternativa muy utilizada para reemplazar los combustibles convencionales. En Estados Unidos es común que las plantas de cemento cubran con combustibles alternativos del 20% al 70% de su necesidad de energía. A partir del 2006, en Estados Unidos 16 plantas de cemento queman residuos de aceite, 40 queman las llantas, y otras queman disolventes, plásticos no reciclables y otros materiales. Las cementeras por lo general son pagadas por aceptar los combustibles alternativos o los consiguen por un menor costo. La energía representa entre un 30-40% de los costos de operación por ende es una buena oportunidad de ahorrar este costo y volverla una ventaja competitiva con otras cementeras.

La alternativa de co-procesamiento de residuos para usarlos como combustibles alternativos en los hornos de cemento puede ser evaluada como alternativa económica y ambiental, sin embargo se necesitan tomar ciertas consideraciones para usar los residuos como combustibles alternativos ya que si se emplean en condiciones inadecuadas se pueden generar grandes emisiones a la atmósfera.

Alternativas de Aprovechamiento de los Residuos Sólidos Impregnados con Hidrocarburos en el Sistema Nacional de Refinación

En la Tabla 1 se enumeran las consideraciones para el co-procesamiento de los residuos:

Tabla 1. Consideraciones para el co-procesamiento de los Residuos (Kaˆaˆntee, 2003)

Principio	Descripción
Co-procesamiento de acuerdo a la jerarquía de residuos	-Los residuos deben de usarse en el horno de cemento siempre y cuando no existan mejores alternativas económicas y ecológicas de recuperación. -Co-procesamiento debe de estar en basado en las Convenciones de Basilea y Estocolmo
Emisiones e impactos negativos en la salud humana que se deben evitar	-Las emisiones al aire que emiten los hornos del cemento con combustibles alternativos no pueden ser superiores que las emisiones emitidas por los combustibles alternativos
La calidad del cemento debe de permanecer.	La calidad del producto no debe de tener efectos nocivos para el medio ambiente, ej. Lixiviación. La calidad del producto debe permitir la recuperación al final de su ciclo de vida
Las compañías que quieran realizar el co-procesamiento deben estar calificadas	Asegurar que la empresa cumpla con las regulaciones en materia ambiental. Las compañías deben contar con personal capacitado para llevar a cabo el proceso.
Implementación de la técnica de co-procesamiento deben ser consideradas en circunstancias internacionales	-Las regulaciones de cada país deben estar basadas en sus requerimientos. -El co-procesamiento debe estar acompañado de otro proceso de manejo para los residuos.

2.6.1 Consideraciones de energía y emisiones

El uso de combustibles en la industria del cemento es reconocido por sus grandes beneficios ambientales. La industria del cemento es responsable del 5% de las emisiones globales de CO₂ y casi el 50% es por la quema de combustibles fósiles.

Alternativas de Aprovechamiento de los Residuos Sólidos Impregnados con Hidrocarburos en el Sistema Nacional de Refinación

El uso de combustibles alternativos tiene beneficios tanto económicos como ambientales, ya que estos combustibles son prácticamente residuos de procesos industriales que debido al volumen y toxicidad de estos generan un grave problema en la parte de gestión de residuos en la mayor parte de los países.

Para que los residuos puedan valorizarse como combustible alternativo tienen que cumplir con un mínimo de poder calorífico; en la literatura se presentan algunos criterios para su aprovechamiento en la industria.

- El Ministerium für Umwelt, Nordrhein-Westfalen, propone un valor de poder calorífico mayor a 2,627.3 kcal/kg como guía para el uso energético de los residuos en la industria del cemento.
- La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos especifica un valor de, al menos, 2,770.6 kcal/kg, para la combustión de residuos peligrosos en calderas y hornos industriales.

Las fábricas de cemento han aprobado la alternativa de los residuos peligrosos como combustibles desde 1970 y hasta ahora el uso de estos representa el 12% de sustitución de combustibles mundial en hornos de cemento.

Impacto en las emisiones

El cambio en las emisiones de carbono asociadas a la sustitución de combustibles por productos químicos y por residuos peligrosos es función del poder calorífico de los residuos asociado a la cantidad de carbón y agua que estos tengan; pero en general no hay suficiente información sobre la cantidad de carbono que contienen estos residuos debido a que su composición es muy variable, por lo que no es fácil estimar cuál es el impacto real en emisiones de carbono.

3. Caso de estudio

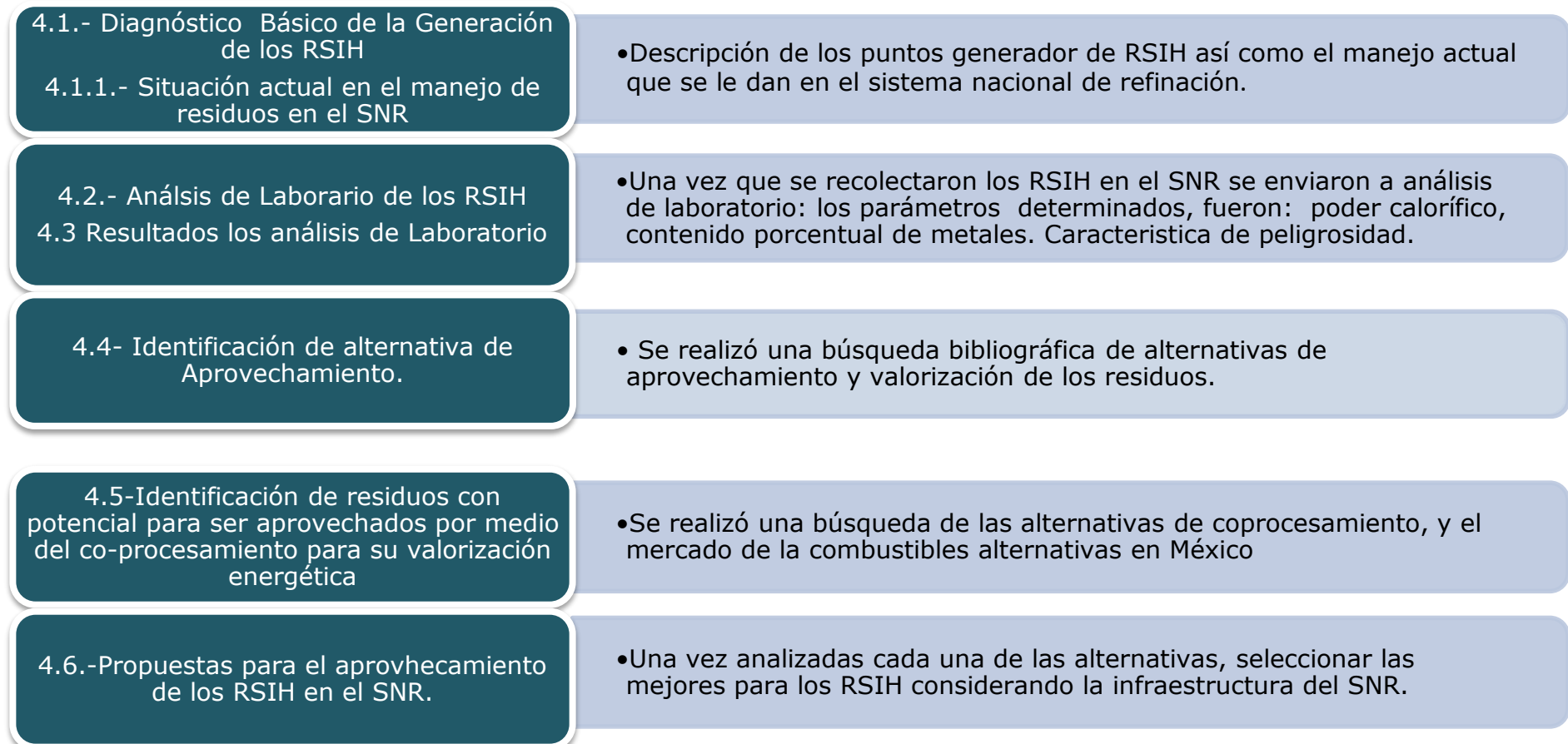
Dentro del Sistema Nacional de Refinación (SNR) como parte de sus actividades productivas se generan residuos. Para el presente estudio se analizaron los residuos generados de las actividades secundarias que se realizan en las 6 Refinerías en su mayoría residuos de mantenimiento por lo que se consideran que están impregnados con hidrocarburos y que son residuos considerados como peligrosos por esta condición.

Las refinerías actualmente tienen que seguir un procedimiento para separar y clasificar los residuos para así darles un manejo adecuado a estos residuos. Los residuos actualmente se disponen provisionalmente en un Almacén Temporal de Residuos (ATR) o algún lugar que la Refinería establezca.

Los obstáculos que se presentan en el manejo actual de los RP se debe a que no se tiene implementado un sistema de separación y clasificación correcta de los residuos, lo que lleva a que estos no puedan ser aprovechados, valorizados, ni dispuestos adecuadamente como lo establece la normatividad.

4. METODOLOGÍA

En el esquema siguiente se presenta la metodología de trabajo.



4.1. Diagnóstico básico de la generación de RSIH

A nivel Nacional se estima que se generaron 1.92 millones de toneladas de residuos. La industria petrolera y petroquímica se encuentra entre los diez grandes generadores (SEMARNAT, 2012).

Pemex Refinación en el 2011 tuvo un inventario de 122,400 toneladas de residuos, de las cuales se llevaron a disposición final 97400 toneladas, resultando en un inventario de 25000 toneladas.

Dentro de las actividades que se desarrollan en los diferentes procesos de la industria petrolera existen 22 tipos de residuos entre lo que predominan los recortes de perforación, de los cuales el 16% son los residuos sólidos impregnados con hidrocarburo y lodos aceitosos y con el 15% químicos o sedimentos de hidrocarburos.

Durante el 2011, en la industria petrolera se generaron 88 mil toneladas de residuos peligrosos, de los cuales, PEMEX Refinación generó el 57%. Resaltan los lodos aceitosos y sedimentos de hidrocarburos con un 40%, las sosas gastadas con un 35% y los residuos sólidos impregnados con hidrocarburos con un 6%. Estos tres tipos de residuos constituyen el 80 por ciento de la generación de residuos peligrosos de PEMEX -Refinación.

PEMEX está obligado a tomar acciones que puedan minimizar el daño ambiental de sus residuos, las cuales tengan beneficios sociales y económicos, para poder establecer el destino final de cada residuo generado es importante conocer saber la composición de los mismos.

Los Residuos Sólidos Impregnados con Hidrocarburos (RSIH) que se generan en el Sistema Nacional de Refinación:

- **Trapo, ropa y equipo de seguridad contaminado:** Textil utilizado en limpieza de plantas. El equipo de Protección Personal es aquel utilizado por el trabajador para poder llevar a cabo su trabajo el cual queda expuesto a que sufra contaminación por hidrocarburo.

- **Arena contaminada con hidrocarburo:** Se usa para la contención de derrames en las refinerías.

- **Madera contaminada con hidrocarburo:** En el SNR se utiliza para el embalaje, construcción y mobiliario de las refinerías en general.

- **Envases y tambores:** El envase sirve para contener materiales o Residuos Peligrosos, estos últimos de acuerdo con la legislación con la LGPGIR se consideran como peligrosos.

- **Lana mineral contaminada:** Material aislante en tuberías o equipos de proceso donde se trabaja con temperaturas mayores a 500°C se fabrica de fibra pura de la piedra caliza.

- **Carbón activado:** En la industria se utiliza para remoción de olores, colores, y sabores indeseables en los líquidos; en la remoción de contaminantes en aguas potables, residuales y tratadas, en la remoción de contaminantes de emisiones gaseosas.

- **Alúmina (agotada):** Se usa como soporte de catalizador, el problema es que con el tiempo las propiedades de esta se van

perdiendo y es un residuo que constantemente se tiene que reemplazar.

- **Material refractario:** Este material se usa generalmente como producto intermedio para la actividad industrial, este material se usa para actividades en condiciones extremas donde por lo general se requieren temperaturas elevadas extremas.
- **Fibra de vidrio:** Los productos de fibra de vidrio son utilizados para la construcción de tubería reforzada para la recolección y transporte de hidrocarburos. Al dar mantenimiento a estos equipos se desechan grandes cantidades de fibras de vidrio.
- **Malla molecular:** Material hecho de zeolita. Esta malla posee pequeños poros para que el material pueda ser absorbente.
- **Cordón oleofílico:** Material absorbente para la contención de derrames.

4.1.1 Situación actual en el manejo de residuos en el SNR

El manejo de residuos no sólo debe involucrar la participación de las autoridades en las Refinerías, si no el interés de las autoridades del gobierno para facilitar le gestión de los mismos.

México tiene un retraso en esta cuestión por lo que puede aprender de los países más avanzados para el manejo óptimo de los residuos y no eludir las responsabilidades en materia residuos, para ello debe adoptar:

- Procesos eficientes
- Corta duración de almacenaje de bienes de consumo
- Patrones sustentables de consumo

El registro de los residuos que se generan en la refinería se reporta en la Cédula de Operación Anual (COA)

El Manejo Actual en el Sistema Nacional de Refinación es manejado separadamente desde el punto de generación. El manejo actual referente a los residuos se describe continuación:

- **Manejo desde el punto de generación**

El área que genera los residuos tiene la responsabilidad de separar, etiquetar y envasarlos.

- **Recolección Interna**

Los residuos son trasladados del punto de generación hasta el área asignada de almacenamiento de los residuos. El área que genera los residuos son los responsables de trasladar los residuos. El traslado se ejecuta bajo el siguiente procedimiento interno:

Alternativas de Aprovechamiento de los Residuos Sólidos Impregnados con Hidrocarburos en el Sistema Nacional de Refinación

- Residuos generados en las actividades de mantenimiento y protección ambiental como no tienen un punto fijo de generación no cuentan con rutas de recolección definidas
- Residuos provenientes de otros puntos de otras actividades son recolectadas por el personas del área específica y son llevadas al centro de transferencia.

• **Almacenamiento de Residuos**

- Los residuos son almacenados en áreas temporales por un periodo que no debe exceder a seis meses, la designación de estos es responsabilidad del Área de Protección Ambiental de cada Refinería.

• **Transporte de Disposición Final de los Residuos**

- Los residuos son retirados por una empresa subcontratada para llevarlos a su disposición final.

La infraestructura que se tiene en las refinerías para llevar a cabo el retiro de los RSIH generado en cada área es la siguiente:

- Almacenes temporales
- Área de Transportación

Los recursos humanos también son importantes para llevar a cabo una buena gestión de los residuos. Los responsables del área tienen como funciones:

- Control de área de los almacenes temporales de residuos
- Elaboración de reportes

Alternativas de Aprovechamiento de los Residuos Sólidos Impregnados con Hidrocarburos en el Sistema Nacional de Refinación

- Supervisión de áreas para verificar el manejo de los residuos

En la Figura 2 se muestra la distribución de los RISH en el Sistema Nacional de Refinación

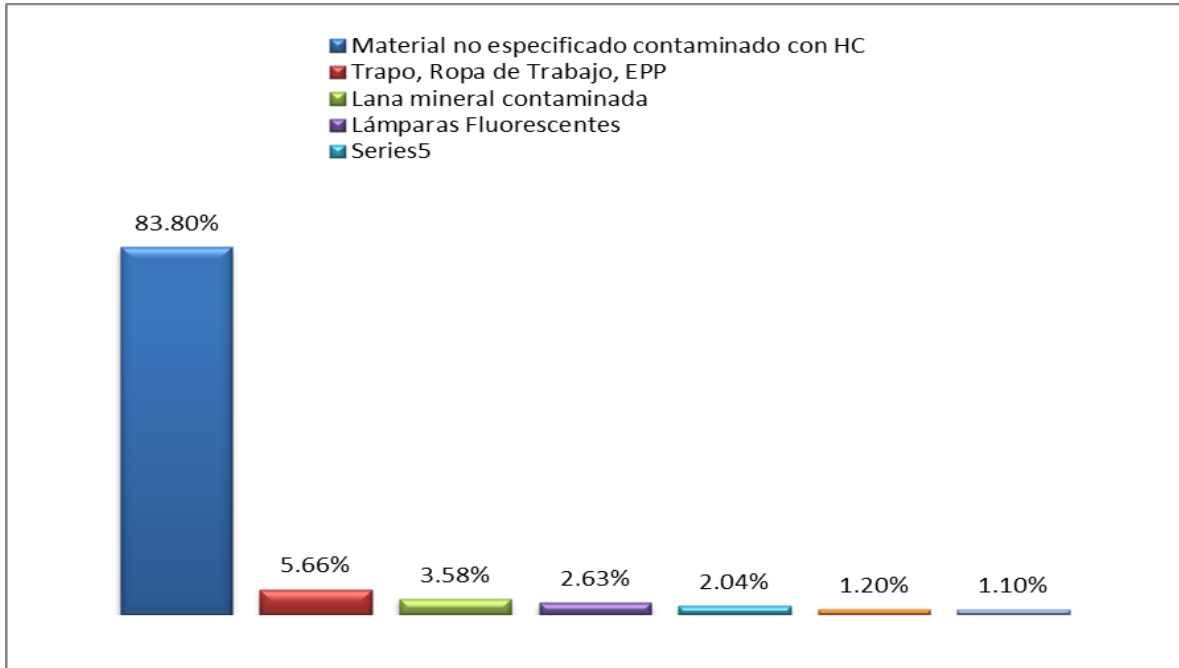


Figura 2. Distribución de Corrientes de residuos en el SNR (COA,2011)

El periodo de Generación de los RSIH comprende los siete días de la semana durante el ciclo anual completo. El Sistema Nacional de Refinación los RSIH constituyen el 14% de la generación total de Residuos. En el 2011 se generaron 17,128.76 toneladas de RSIH (COA, 2011). En la tabla 2 se enunciará la generación de cada residuo.

Alternativas de Aprovechamiento de los Residuos Sólidos Impregnados con Hidrocarburos en el Sistema Nacional de Refinación

Tabla 2. Generación de RSIH en el SNR

NOMBRE DEL RESIDUO	FUENTE DE GENERACIÓN	TONELADAS (T/a)
Trapo Impregnado	SI Y PA	252.94
Madera Contaminada	Mantenimiento	716.25
Arena Impregnada	Mantenimiento	ND
Equipo de Seguridad contaminado	SI Y PA	ND
Barredura de limpieza de plantas	Mantenimiento	ND
Escombros contaminados	Mantenimiento	ND
Cordón oleófilo	SI Y PA	ND
Arena de Sand blast contaminada	Mantenimiento	ND
Polvo fino, material absorbente	Mantenimiento	ND
Empaques contaminados	Mantenimiento	ND
No especificado material contaminado.		14,352.46
Envases tambores que contuvieron material contaminado.	Otros	188.31
Lana mineral	Mantenimiento	612.52
Escoria de calderas	Mantenimiento	349-34
Pinturas Caducas	Otros	ND
Madera tratada	Mantenimiento	ND
GENERACIÓN 2011 DE RSIH		17,128.76

- No disponible

Alternativas de Aprovechamiento de los Residuos Sólidos Impregnados con Hidrocarburos en el Sistema Nacional de Refinación

En Tabla 3 enlista el manejo actual que se le da actualmente a los residuos en el SNR

Tabla 3. Manejo Actual de los RSIH (PEMEX-REF, 2012)

Nombre del residuo	Manejo Actual
Trapo Impregnado	Co-Procesamiento/Incineración/Destrucción Térmica
Madera Contaminada	
Arena contaminada	
Equipo de Seguridad	
Barredura de limpieza de plantas contaminada	
Cordón Oleofílico	
Arena de Sand blast	Confinamiento controlado
Material absorbente	Confinamiento controlado
No específico material impregnado	Co-Procesamiento/ incineración/ Destrucción Térmica
Envases, Tambores que contuvieron materiales peligrosos	Confinamiento controlado
Lana Mineral contaminada	Destrucción Térmica

La procedencia de los RSIH está relacionada con actividades secundarias o de apoyo al proceso productivo. En la Tabla 4 se describen los procesos generadores de RSIH.

Alternativas de Aprovechamiento de los Residuos Sólidos Impregnados con Hidrocarburos en el Sistema Nacional de Refinación

Tabla 4. Procesos Generadores de los Residuos Sólidos Impregnados con Hidrocarburos (RSIH)

Proceso Generador	Descripción	Residuos Generados
Mantenimiento	El mantenimiento abarca todas las plantas productivas e instalaciones.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Trapo Impregnado ➤ Madera Contaminada ➤ Resina contaminada ➤ Lana Mineral ➤ Escoria de calderas
Seguridad Industrial y protección Ambiental	Para llevar a cabo cualquier tipo de trabajo dentro de las refinerías, es necesario usar equipo de protección personal el cual queda expuesto a la contaminación de hidrocarburos	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Arena Impregnada ➤ Equipo de seguridad Impregnado ➤ Cordón Oleofílico ➤ Material absorbente contaminado
Otros	<p>Diversas Actividades que se llevan a cabo en la refinería</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Laboratorios Químicos: utilizan reactivos diferentes para llevar a cabo distintas pruebas en la parte de proceso ➤ Pinturas: Estas son utilizadas para actividades dentro de la refinería pero no alcanzan a ser utilizadas en su totalidad ➤ Envases y tambores: Estos son utilizados para guardar residuos peligrosos por lo tanto se contaminan 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Envases y tambores ➤ Pinturas Químicas Caducas ➤ Reactivos químicos caducos

• **4.2 Análisis de laboratorio de los RSIH**

Los residuos impregnados con hidrocarburos fueron enviados a un laboratorio especializado en el cual se dio a conocer la naturaleza de los residuos. Dicha información fue de utilidad para conocer las características de residuos para posteriormente encontrar una alternativa de manejo.

A las diferentes muestras se le realizó con base al análisis CRIT (NOM-052-SEMARNAT-2005, NOM-053-SEMARNAT-1993) los cuales pueden apoyar para conocer si un residuo es peligroso o es de manejo especial de acuerdo a sus características de peligrosidad tales como: Corrosividad, Reactividad, Inflamabilidad y Toxicidad.

Se realizaron pruebas de poder calorífico con base en la Norma (NMX-AA-033-1985) con la finalidad de determinar si el residuo puede ser aprovechado como combustible alternativo.

Se determinó el contenido de metales con base en la EPA (EPA, 6010b-1996) ya el conocer la cantidad de metales contenido en cada residuo se podrá decidir el manejo final, la cual podría ser la recuperación de los mismos o alguna otra forma de manejo.

Metales

Un catalizador gastado, por mencionar un ejemplo, contiene típicamente 5-6% de azufre, 1-8% de molibdeno, 1-13% de vanadio, 1-3% de níquel, 10-20% de carbón y 20-30% de aluminio en la forma de alúmina (Wernick y Themelis, 1998).

El contenido de metales en los RSIH analizados para esta Refinería se encuentra por debajo de estos valores considerados, por lo que puede

decirse que en una primera estimación, que la recuperación de metales no es una opción atractiva para estos residuos.

La recuperación de metales a partir de residuos sólidos (p. ej. catalizadores gastados), ha llamado la atención desde hace más de cincuenta años, debido a que los metales pueden reciclarse casi indefinidamente. Sin embargo, la factibilidad económica de su recuperación está en función del uso inicial y de su reactividad química. Este interés también está relacionado directamente con la fluctuación de los precios en el mercado de los metales.

La USEPA indica que de acuerdo con estudios previos, se necesita que los metales estén presentes en concentraciones de por lo menos el 1% en los residuos peligrosos para que la recuperación de los primeros sea económicamente viable (USEPA, 1994).

Poder calorífico

El poder calorífico de los residuos estuvo entre los 4,300 - 9250 kcal/kg por lo que una alternativa para aprovecharse es por medio de la obtención de energía en hornos industriales.

La NOM-AA-033-1985 define al calorífico como el calor de combustión de una sustancia y es comúnmente expresado en caloría por gramo.

El Poder Calorífico superior o Poder Calorífico Total se define como: el calor producido en la combustión de una cantidad unitaria de combustible sólido bajo una unidad de volumen dentro de una bomba calorimétrica en condiciones específicas toda el agua se mantenga en estado líquido. Cuando el poder calorífico de algún residuo es superior al de otros combustibles existe interés en utilizarlo como combustible alternativo.

Alternativas de Aprovechamiento de los Residuos Sólidos Impregnados con Hidrocarburos en el Sistema Nacional de Refinación

En la Tabla 5 se enlistan los parámetros a determinar así como la técnica empleada.

Tabla 5. Técnicas Analíticas para la caracterización de los residuos

Parámetros	Unidad	Técnica	Referencia	Procedimiento (Anexo)
CRIT	Marcada por Norma de Referencia	Definido por las normas de referencia	NOM-052-SEMARNAT-2005 NOM-053-SEMARNAT-1993	Figura 6 Figura 8
Poder Calorífico	kcal/g	Método de la bomba calorímetro adiabática	NMX-AA-033-1985	Figura 9
Níquel	mg/L	Espectrofotometría de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente	EPA-6010B-1996	Figura 7
Cobalto	mg/L			
Molibdeno	mg/L			
Vanadio	mg/L			

4.3 Resultados de análisis de laboratorio

En la Tabla 6 se enlistan los residuos considerados como peligrosos, manejo especial de acuerdo al análisis CRIT Realizado.

Alternativas de Aprovechamiento de los Residuos Sólidos Impregnados con Hidrocarburos en el Sistema Nacional de Refinación

Tabla 6. Residuos Peligrosos (RSIH)

Residuo	Clasificación	Característica de Peligrosidad
Trapo, ropa, equipo de seguridad contaminado con HC	RP	Tóxico, combustible
Arena impregnada con hidrocarburo.	RP	Tóxico, combustible
Madera contaminada con HC	RP	Tóxico, combustible
Envases y tambores que contuvieron RP	RP	Tóxico, combustible
Lana mineral impregnada con hidrocarburo	RP	Tóxico
Desecho derivado de limpieza de plantas	RP	Tóxico
Escoria de calderas	RP	Tóxico
Pinturas caducas	RP	Tóxico, combustible

En la tabla 7 se Mencionan los Residuos de manejo Especial los cuales no presentan las características CRIT.

Tabla 7. Residuos de manejo Especial

Residuo	Clasificación
Resina de intercambio iónico agotada	RME
Carbón activado	RME
Alúmina	RME
Material refractario	RME
Fibra de vidrio	RME
Malla rolear	RME

Alternativas de Aprovechamiento de los Residuos Sólidos Impregnados con Hidrocarburos en el Sistema Nacional de Refinación

En la tabla 8 se enlistan los resultados del contenido de metales en cada residuos.

Tabla 8. Resultados de la determinación de contenido de metales de las muestras colectadas en la refinería

CORRIENTE DE RESIDUO	VANADIO TOTAL (%)	MOLIBDENO TOTAL (%)	COBALTO TOTAL (%)	NIQUEL TOTAL (%)
Alúmina	<0.00025	<0.00025	<0.0001	<0.00025
Escorias de calderas	0.01111	0.001130	0.000795	0.5806
Resinas de intercambio iónico agotadas	0.001337	0.0004534	<0.0001	0.0008317
Arena contaminada con HC	0.003112	< 0.00025	0.000623	0.001264
Desecho contaminado derivado de limpieza de plantas	0.001391	< 0.00025	0.000217	0.000598
Material refractario contaminado	0.006036	< 0.00025	0.001010	0.007819

En la tabla 9 se enlistan los RSIH que se enviaron para analizar su Poder Calorífico.

Tabla 9. Poder calorífico de los RSIH en el Sistema Nacional de Refinación

Residuo	Poder Calorífico kcal /kg
Cordón oleofílico	6,588-9,222
Tapos, estopas y EPP	3,066-6,993
Madera contaminada	5,049-5,745
Desecho de limpieza de Plantas	3,436
Lana Mineral	210- 2,879

Alternativas de Aprovechamiento de los Residuos Sólidos Impregnados con Hidrocarburos en el Sistema Nacional de Refinación

4.4 Identificación de alternativas de aprovechamiento de los RSIH

De acuerdo con los Análisis que se obtuvieron del laboratorio como se mencionó anteriormente el aprovechamiento tiene como objetivo, reutilizar, reciclar, rediseño, re-manufactura recuperación de metales o de energía.

Tomando como base los resultados obtenidos en se puede establecer aquellos residuos que pueden ser aprovechables para alguna actividad secundaria mostrado en la tabla 10

Tabla 10. Identificación de alternativas de los RSIH

RESIDUO	USO	ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO	BENEFICIO
Envases Tambores	Y Sirven para contener sustancias y distintos materiales.	-Si no tiene fisuras puede ser reutilizado. Para materiales peligrosos. -En caso de que ya no se puedan reciclar se da como alternativa el co-procesamiento-tratamiento térmico.	-Ahorro en el costo de compra de tambores nuevos. -Reducción del volumen de residuos generados. -Generación de energía alternativa.
Desecho Derivado de limpieza de plantas	de de Se generan por el mantenimiento a las plantas de proceso.	-Utilizarse como material absorbente ya que está compuesto en su mayoría por tierra o escombros.	-Reducción en costo de compra de material absorbente
Pinturas Caducas	Utilizadas en mantenimiento de Refinerías	-Pintar bardas y áreas comunes donde no se necesiten las propiedades originales de las pinturas.	-Ahorro en compra de cubetas de pintura. -Reducción de generación de volumen de las pinturas.
Material Refractario	Constituyen un conjunto de productos intermedios indispensables para la actividad industrial.	-Reutilizado en la construcción después de que el contenido de metales sea separado del material por esmerilado o fresado. Lo metales separados pueden ser reutilizados en la industria de la fundición. - Acondicionador de escoria de alto horno	-Reducción de residuos sólidos - Reducción el costo de transformación de residuos - Se evita disponer los residuos en relleno de residuos de manejo especial.

Alternativas de Aprovechamiento de los Residuos Sólidos Impregnados con Hidrocarburos en el Sistema Nacional de Refinación

En el caso de Envases y tambores para reciclarse se tienen que acondicionar y los pasos son los siguientes.

- 1.- Recepción, almacenaje y selección. Se descargan los tambores y se clasifican de acuerdo a su tamaño, peso y su estado exterior e interior.
- 2.- Ecurrido de residuos y lavado. Se extrae el residual que puedan traer los tambores en su interior, se elimina pintura, corrosión y etiquetas, empleando detergente y, en algunos casos, solvente. El residuo líquido que resulta del lavado se concentra en una cámara cerrada.
3. Tratamiento térmico. Los tambores se colocan dentro del horno de quemado para eliminar los restos de materiales adheridos (que no escurrieron en la etapa anterior) y la pintura exterior.
4. Rebordeado de la chapa.
5. Reajuste de engrafado. El tambor se restaura a su forma original y se inspecciona por picaduras, fatiga de metal, roscas.

En el caso del material refractario y su uso en el pavimento se tiene que seguir un proceso para acondicionarlo

Recepción del escombro: El material se debe recibir libre de impurezas que puedan alterar la calidad del reciclado.

- Almacenamiento del Residuo: Dependiendo de la condición del residuo se almacenará en los sitios adecuados.
- Trituración y clasificación: Dependiendo del tamaño al que se desea triturar se hace el procedimiento y se clasifica por tamaño en cuatro diferentes tamaños del granulo.

• 4.5 Identificación de residuos con potencial para ser aprovechados por medio del co-procesamiento para su valorización energética

En la Tabla 9 se enlistan los residuos con potencial para ser valorizados por medio del co-procesamiento. En 2011, con base en información se identificó el 88.9% de los RSIH tuvieron como destino final el tratamiento térmico sin recuperación de energía (co-procesamiento), sin especificar si existió recuperación de energía, el 8.6% y; confinamiento, 2.6%.

Los residuos con un poder calórico Superior se pueden valorizar en hornos industriales para obtener energía lo que implica un ahorro ya disminuye la cantidad de combustible fósil utilizado.

Debido al Poder Calórico de los RSIH es viable aprovecharlo como combustibles alternos no sólo por el poder calorífica si no por la generación al año que superan las 10000 toneladas.

4.5.1 Mercado para la formulación y uso de combustible alternativo

A nivel mundial, la industria se ha encargado de obtener energía para sus procesos a través de los Residuos con alto poder calorífico. La principal industria que se encarga de esto es la industria cementera.

En México la industria cementera se compone de 6 empresas las cuales son: Cementos Mexicanos (CEMEX), Holcim Apasco, Cementos y concretos Nacionales, Cementos Moctezuma, Grupo Cementos de Chihuahua y Lafarage Cementos, donde CEMEX es la empresa que tiene el 50% del mercado mexicano (CEMEX, 2012)

En la Figura 3 se muestra la producción de cemento en México.

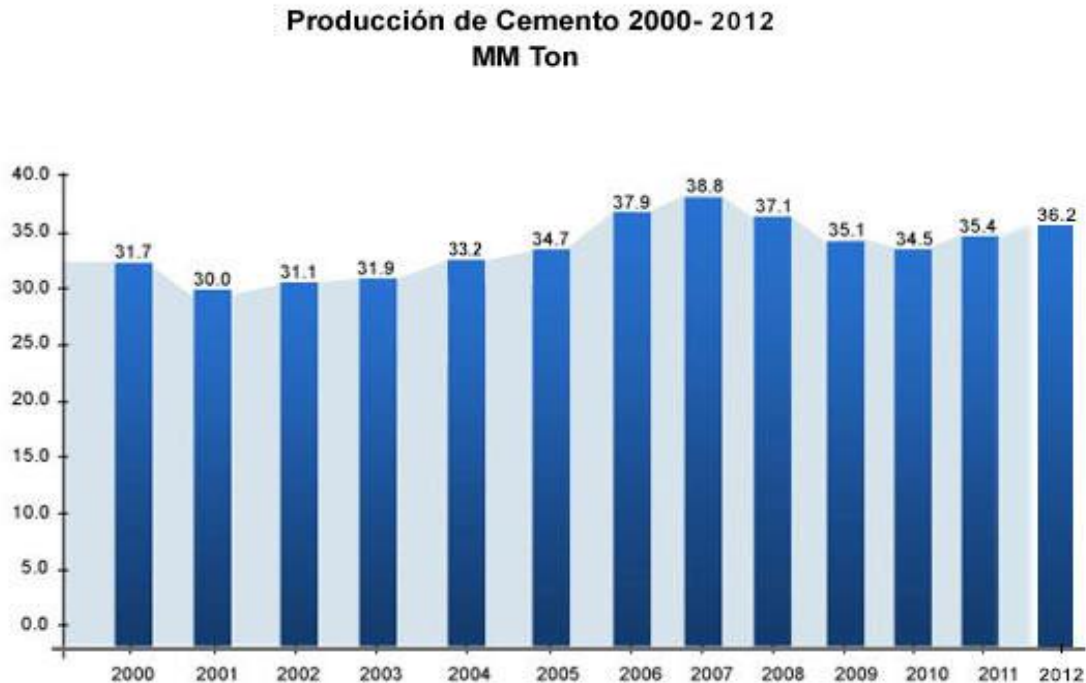


Figura 3. Producción de Cemento 2000-2012 (CEMEX, 2012)

Alternativas de Aprovechamiento de los Residuos Sólidos Impregnados con Hidrocarburos en el Sistema Nacional de Refinación

Debido a las grandes cantidades de producción de cemento el consumo de energía es muy alto y con ella el combustible fósil utilizado es mayor lo que genera una gran cantidad de emisiones a la atmósfera.

CEMEX como la principal empresa de producción desarrolló en el 2010 una herramienta de cálculo de huella de carbono que sirve para medir los gases de efecto invernadero de los productos derivados de la fabricación de cemento. Dicha herramienta utiliza un enfoque completo, que considera desde el origen de las materias primas hasta la obtención del producto final; proporciona también información útil a los clientes en el sector de la construcción, a fin de que ellos calculen la huella de carbono de sus proyectos. Es importante que su control de emisiones en la industria disminuya por ende su gran interés en el uso de combustibles alternos.

Durante el 2012 los combustibles alternos en CEMEX el 27% del total de las mezcla de combustibles la cual pretende ascender a 35 % en los siguientes años esto con el propósito de que se disminuyan las emisiones de CO₂ para el año 2015 (CEMEX, 2012)

En el caso de CEMEX que es la cementera más importante del país es importante que su control de emisiones en la industria disminuyan por ende su gran interés en el uso de combustibles alternativos.

En la tabla 10 se mostrarán el avance que presenta CEMEX a lo largo de tres años en las emisiones debido al uso de combustibles alterno en sus hornos de Clinker.

Alternativas de Aprovechamiento de los Residuos Sólidos Impregnados con Hidrocarburos en el Sistema Nacional de Refinación

Tabla 11. Emisiones y uso de combustibles alternos en CEMEX (CEMEX, 2012)

	2010	2011	2012
Emisiones Específicas Netas de CO ₂ (kg CO ₂ / tonelada de producto cementante)	629	612	612
Reducción en las emisiones de CO ₂ por tonelada de producto cementante partiendo de los niveles base de 1990 (%)	20.5	22.7	22.7
Uso de combustibles alternos (%)	20.3	24.7	27.1
Clinker producido con monitoreo continuo de emisiones mayores: Polvo, NOx y SOx (%)	74	80	80
Emisiones Específicas de Polvo (g/ton clinker)	89	101	78
Emisiones Específicas de NOx (g/ton clinker)	1134	1094	1025
Emisiones Específicas de SOx (g/ton clinker)	334	335	257

México es uno de los 15 principales productores de cemento en el mundo por ende el medio ambiente es de suma importancia para la industria, por ello en 1996 se hizo un acuerdo con la Secretaría del Medio Ambiente y de Recursos Naturales (SEMARNAT) de realizar un disminución y reciclaje energético de los residuos por lo cual también se han reducido emisiones debido a las nuevas tecnologías implementadas. La industria del cemento está catalogada como "industria limpia" por la Procuraduría Federal de Protección al ambiente (PROFEPA).

En la Figura 3 se Representa el aumento del Uso de Combustible alternativo en las plantas de CEMEX en los últimos 3 años.

Alternativas de Aprovechamiento de los Residuos Sólidos Impregnados con Hidrocarburos en el Sistema Nacional de Refinación

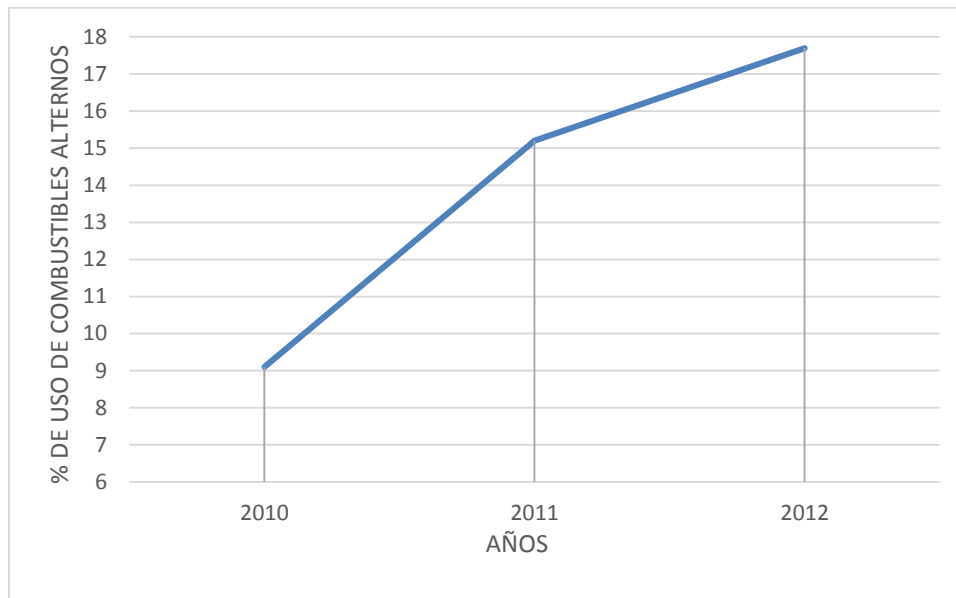


Figura 4. Porcentaje de sustitución de Combustibles alternos en las plantas de CEMEX (CEMEX, 2012)

El consumo energético en las fábricas de cemento depende de las materias primas empleadas para la elaboración de cemento. El consumo de combustibles en el horno de Clinker se sitúa entre 700 -1300 kcal/kg, lo que equivale a 185 kg de carbón o de coque por tonelada de combustible.

En la operación de la molienda, tanto de las materias primas de su cocción como en el proceso del Clinker y adiciones para obtener el cemento. Ambas operaciones suman aproximadamente 75 % del consumo de energía eléctrica.

Así las materias primas no deben estar contaminadas con sustancias indeseables como materia orgánica y los combustibles deben de tener un contenido limitado de determinados elementos como cloro, metales

Alternativas de Aprovechamiento de los Residuos Sólidos Impregnados con Hidrocarburos en el Sistema Nacional de Refinación

pesados para garantizar la estabilidad del proceso y limitar los posibles efectos ambientales.

Los costos energéticos representan el 40% de los costos de fabricación aproximadamente. La disminución de los costos de operación en las empresas cementeras es de suma importancia para las empresas para aumentar su competitividad.

Los hornos de cemento son ideales y seguros para la disposición de residuos, debido a las altas temperaturas a las que operan. La industria cementera ayuda a la disminución en el uso de rellenos sanitarios ya que con el objetivo de reducir la dependencia de combustibles fósiles convencionales, utiliza los desechos generados por la sociedad como llantas y biomasas así como desechos de la industria con el fin de aprovechar la energía contenida en estos materiales.

Las ventajas de usar los residuos en un horno de cemento son las siguientes:

- El tratamiento de los residuos no requiere ninguna fuente extra de calor
- Las descargas a la atmósfera no aumentan
- Reducen el costo de operación de la planta de cemento

4.5.2 Características de los residuos para su uso como combustible alternativo en hornos de cemento

La NOM-040-SEMARNAT-2002 –Fabricación de cemento hidráulico- Niveles Máximos de emisión a la Atmósfera- define que los combustibles de recuperación son aquellos materiales que tengan un poder calorífico superior a los (15 MJ/kg). Los residuos que en la norma se enuncian combustibles alternos pero no limita a usar otros que sean factibles son los siguientes:

- Aceites y grasas
- Lubricantes gastados
- Textiles impregnados con hidrocarburos
- Llantas usadas
- Residuos marcados con la normatividad vigente que no estén registrados como RP

Los residuos en este caso de estudio gracias a su poder calorífico son candidatos para ser utilizados como combustibles alternos en la industria del cemento.

La utilización de combustibles formulados y/o de recuperación en los procesos de fabricación de cemento hidráulico debe contar con autorización de la Secretaría, cuando se maneje algún residuo peligroso, solicitada en los términos de la legislación ambiental aplicable.

A continuación se describirá el proceso de la fabricación de cemento. (León, 2009)

1. Obtención y preparación de materia prima

Comienza con la obtención de materia prima y para ello se extraen las materias primas que se encuentran en yacimientos. Como materiales de partida sirven sustancias minerales, que contienen los componentes principales del Clinker: cal (CaO), sílice (SiO_2), alúmina (Al_2O_3) y óxidos de hierro (Fe_2O_3).

Estos componentes raramente se encuentran realmente en proporciones deseadas, en una sola sustancia. Por tanto, la mayoría de las veces se ha de elegir la mezcla de un componente rico en cal (componente calcáreo) con otro pobre en cal pero que contiene más alúmina y óxidos de hierro (componente arcilloso). Estos dos componentes son, por regla general, la caliza y la arcilla o la caliza y la marga.

2. Molienda de crudo

El secado y molienda de los materiales se realiza de forma conjunta en un molino de bolas, al que llegan gases calientes procedentes del horno. El material seco y molido, denominado crudo, se almacena en silos para su alimentación al proceso de cocción.

3. Fabricación de Clinker

El crudo es alimentado al intercambiador de calor, donde entra en contacto con los gases calientes del horno, que ceden su energía térmica al crudo. Los procesos que sufre el crudo son los siguientes:

- Secado, hasta una temperatura de 150°C
- Eliminación del agua de constitución de la arcilla hasta unos 500°C en, la parte media de la torre

Alternativas de Aprovechamiento de los Residuos Sólidos Impregnados con Hidrocarburos en el Sistema Nacional de Refinación

- Descarbonatación del carbonato cálcico hasta unos 1100°C, en la salida del intercambiador y en la primera zona del horno rotatorio
- Clinkerización (Sintetización) de los minerales, hasta unos 1450°C, en la zona próxima a la llama del quemador principal

El combustible se alimenta molido en dos puntos: en el mechero principal para obtener temperaturas de llama de cerca de 2000°C, y en la zona de calcinación, en la parte inferior de la torre de ciclones, con temperaturas de gases de unos 1200°C

A la salida del horno, el Clinker se enfría en contacto con aire a contracorriente. El aire caliente sirve de comburente en la combustión descrita anteriormente.

4. Molienda de cemento

El cemento se obtiene en la molienda conjunta del Clinker, yeso y otros componentes autorizados para conseguir distintos tipos de cemento. La relación de los distintos materiales molidos y la finura del material final obtenido, dan lugar a los diferentes tipos de cemento y a las distintas categorías resistentes.

Los Residuos Peligrosos (RSIH) se disponen en el horno de Clinker. El proceso de combustión del Clinker ofrece grandes posibilidades de utilización de combustibles alternativos secundarios.

El diseño del propio horno de Clinker es una medida correctora de la emisión de gases. La combustión de residuos en hornos de clinker presenta las siguientes ventajas:

1. La elevada temperatura de los gases (hasta 2000°C) y el tiempo de residencia (hasta 6 seg.), aseguran una destrucción efectiva de las

sustancias tóxicas. Recuérdese que las condiciones aceptadas para una correcta destrucción de residuos son de 850°C y 2 seg. de tiempo de residencia en atmósfera oxidante.

2. Las especiales características químicas del horno de Clinker permiten que se realice una captación de sustancias contaminantes: formación de sulfatos alcalinos, captando el SO₂, e incorporación de metales pesados al Clinker. El comportamiento de la instalación, en lo que a emisiones se refiere, no varía sustancialmente respecto de una planta que no utiliza residuos como combustible secundario.

4.5.2 Incineración vs co-procesamiento

La incineración es un método obsoleto e insustentable para lidiar con los residuos. Mientras continúa aumentando la oposición global a la incineración, se están desarrollando y adoptando innovadoras filosofías y prácticas para el manejo sustentable de los materiales descartados alrededor del mundo.

Emisiones

El problema más reconocido y mejor estudiado de la incineración es la contaminación. A pesar de haberse efectuado un examen riguroso a través de muchos años. Los incineradores de basura producen cientos de distintos subproductos tóxicos y sólo unos pocos han sido estudiados meticulosamente. Es probable que cientos más permanezcan sin identificar.

Las emisiones al aire son las que más comúnmente se discuten, pero los incineradores también producen residuos líquidos y sólidos. La mayoría de los contaminantes del aire proviene de la chimenea, pero también se escapan "emisiones fugitivas" de otras partes del incinerador y son

Alternativas de Aprovechamiento de los Residuos Sólidos Impregnados con Hidrocarburos en el Sistema Nacional de Refinación

notablemente difíciles de rastrear y eliminar. Las emisiones líquidas incluyen fluidos del lavado de gases (del equipo de control de la contaminación del aire) y las sólidas incluyen cenizas volantes de fondo y filtros.

Otros de los problemas recurrentes en la incineración de residuos son:

- Falta de monitoreo. Pocas naciones del sur tienen la capacidad de monitorear regularmente las emisiones al aire o la toxicidad de las cenizas del incinerador, sin embargo un régimen regular de examen es esencial para el funcionamiento y cuidado de cualquier instalación semejante.
- Falta de capacidad técnica para medir las emisiones. La falta de monitoreo no se debe sólo a la falta de legislación, reglamentaciones, un aparato de gobierno suficiente y cosas semejantes; muchos países tampoco tienen la capacidad técnica como para llevar a cabo mediciones de dioxinas y otros contaminantes importantes, y deben enviar sus muestras al extranjero para ser evaluadas.

Actualmente existen en México 35 empresas autorizadas para la incineración de residuos peligrosos. Algunas de ellas cuentan con más de un equipo, por lo que hay un total de 43 incineradores operando, de los cuales el 85% se utiliza para residuos biológico-infecciosos y el 15% restante incinera residuos industriales (DGCEMI, 2001). A la fecha, la incineración no se aplica como método de tratamiento para residuos sólidos municipales a escala industrial.

Asimismo, desde 1995 la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), coordina el grupo de trabajo que elaboró el PROY-NOM-098-ECOL-2000 sobre incineración de residuos, condiciones de operación y límites de emisión de contaminantes, publicado el 8 de septiembre de 2000 en el Diario Oficial de la Federación (DOF). Esta norma se elaboró considerando tanto la tendencia de la legislación sobre incineración a nivel mundial, como la situación actual de la incineración en México, incorporando condiciones de operación y límites de emisión tan estrictos como en cualquier país tecnológicamente avanzado. Diferencias entre un horno cementero y una planta incineradora

La gran temperatura que alcanza el horno de una cementera es fundamental, ya que a 1,500°C se destruyen completamente todos los compuestos orgánicos y las trazas de metales pesados se integran en la estructura del Clinker (producto intermedio necesario para la fabricación del cemento) con enlaces químicos muy estables.

Otra diferencia significativa es el tiempo que los gases de combustión permanecen dentro de la cámara de incineración. En una planta de incineración el tiempo medio es de 2 a 4 segundos a unos 950°C, mientras que en el quemador principal del horno de clínger, el tiempo de residencia medio es de 12-15 segundos con una temperatura de más de 1.200°C y de 5 a 6 segundos a más de 1.800°C.

Por otra parte, mientras que en una incineradora el 100% del material de entrada son residuos, en una fábrica de cemento el 92% del material que entra son materias primas (caliza y arcilla principalmente), un 6.4% es combustible fósil y sólo un 1.6% son residuos.

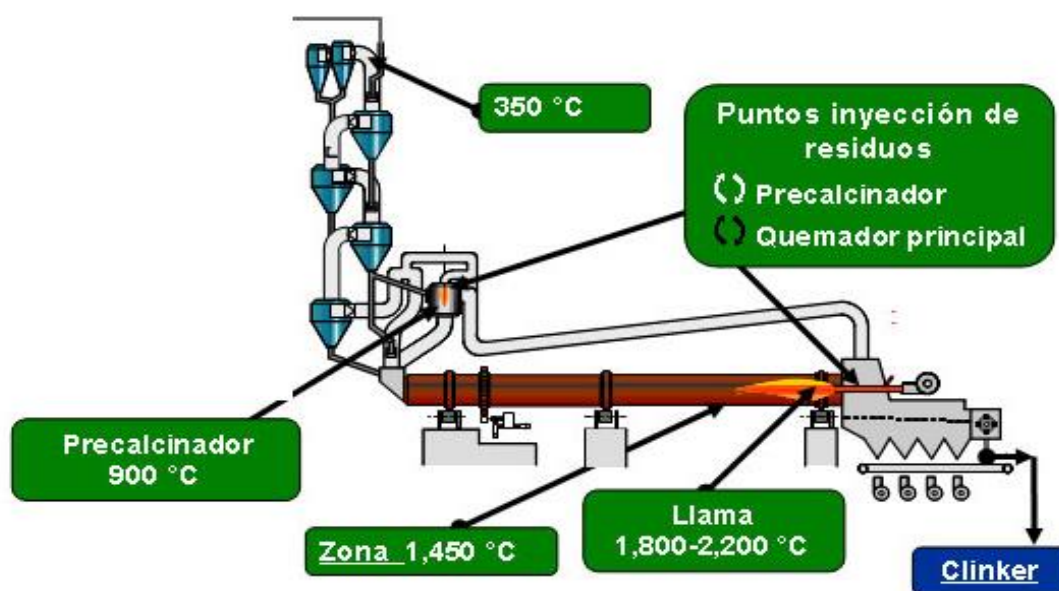
Alternativas de Aprovechamiento de los Residuos Sólidos Impregnados con Hidrocarburos en el Sistema Nacional de Refinación

Por último, es importante señalar que las plantas incineradoras generan escorias y cenizas volantes durante su combustión y una planta cementera no produce ningún tipo de residuo, sólo se obtiene Clinker.

Ambientalmente la incineración de residuos llegan a generar cenizas y escorias volantes para su combustión y la planta cementera no genera residuos y se aprovechan minimizando el volumen de los mismos.

En la Figura 5 se muestra el proceso del cemento y co-procesamiento de los Residuos.

Figura 5. Proceso de cemento y co-procesamiento de los Residuos (León, 2009)



En la zona del horno es en donde se inyectan los residuos peligrosos ya que ahí las temperaturas superan los 1800 °C lo que hace que los residuos tengan una mayor destrucción sin generar residuos.

5 Propuestas

A continuación en la siguiente tabla se esquematizará las alternativas de valorización y aprovechamiento para las RSIH en el Sistema Nacional de Refinación.

Tabla 12. Alternativas propuestas para el aprovechamiento y valorización de los RSIH

Residuos	Aprovechamiento y Valorización		
	Reutilización	Reciclaje	Co-procesamiento
Trapo, Ropa EPP de Hidrocarburos			Valorización Térmica
Madera Contaminada con Hidrocarburos			Valorización Térmica
Envases y Tambores	Lavado y limpieza para reuso	Reciclaje como chatarra ferrosa	
Desecho derivado de Limpieza de plantas	Contención de derrames de hidrocarburos		
Cordón Oleofílico			Valorización térmica
Pinturas Caducas	Reuso en áreas comunes en Refinerías		

5.1 Análisis de propuestas

En el caso de los envases, tambores, y pinturas caducas el reciclaje es la mejor opción, ya que así se evita gastar en nuevos insumos generando un exceso de residuos.

En el caso de la valorización térmica para el trapo, ropa. Cordón oleofílico y madera ya que garantiza un tratamiento adecuado de los residuos, ya que la combustión se realiza a altas temperatura lo que favorece a una destrucción de compuestos orgánicos volátiles en el residuo.

La incineración no la tomamos como opción para el tratamiento de los residuos ya que en comparación con la planta de cementos genera cenizas y en la planta cementera no generando como único producto el clinker.

En la tabla 13 se pueden observar las diferencias entre la planta incineradora y la planta de cemento por el cual es mejor opción tratar los residuos como combustibles alternativos en hornos de cemento para generar el Clinker.

Tabla 13. Diferencia de funcionamiento entre un horno cementero y una planta incineradora.
(Fundación, CEMA)

INSTALACIÓN	ENTRADAS	SALIDAS
PLANTA DE CEMENTO	92% Materias primas 6.4% combustible fósil 1.6% Residuos	100% CLINKER
INCINERADOR	100% Residuos	30% escorias y cenizas

Para poder llevar a cabo un buen manejo de los residuos se deben de separar y clasificar adecuadamente.

El Sistema Nacional de Refinación tiene áreas de oportunidad para poder llevar a cabo una buena gestión de residuos.

Alternativas de Aprovechamiento de los Residuos Sólidos Impregnados con Hidrocarburos en el Sistema Nacional de Refinación

Siendo la industria petrolera una de las más contaminantes necesita tomar acciones y preocuparse por el impacto que se está teniendo al ambiente como parte de sus actividades productivas.

Cabe mencionar que lo más importantes antes de tratar o manejar un residuo generado es minimizar la generación de los mismos, lo cual implica entre otras acciones, llevar un mejor control en bitácoras.

La generación de grandes volúmenes de residuos está correlacionada con la disminución de la mayoría de las fuentes no renovables. El elevado costo total de la recolección, separación, almacenamiento intermedio, transporte, tratamiento y almacenamiento final, es otro punto a favor de la minimización de los residuos.

Para ello se necesita un plan de acción para los grandes generadores, en este caso PEMEX tiene áreas de oportunidad para lograr un buen manejo de sus residuos

A continuación en la Tabla 12 se presentan las áreas de oportunidad de los residuos para poder hacer una clasificación adecuada de los mismos.

Tabla 14. Áreas de oportunidad en el SNR

Alternativas de Aprovechamiento de los Residuos Sólidos Impregnados con Hidrocarburos en el Sistema Nacional de Refinación

RUBRO	ÁREA DE OPORTUNIDAD
Prácticas Operativas	-Asegurarse de etiquetar en su totalidad los RSIH en el punto de generación
	-Asegurarse de controlar la segregación de los residuos sea adecuada
Controles de Sistema de Control de la Gestión	-Asegurar la Frecuencia de recolección de los residuos para evitar un almacenamiento superior a los 6 meses, además de garantizar orden y limpieza en los almacenes temporales de residuos
	-Mejorar clasificación de los residuos de Manejo Especial y los Peligrosos
	-Llevar un buen control de las bitácoras de generación de residuos en el SNR
	-Todo residuos está bajo concepto "material impregnado con Hidrocarburo" sin especificar de qué material se trata, por lo que se debe de clasificar cada residuo.

Las alternativas de aprovechamiento y valorización presentan muchas ventajas tanto económicas, sociales y ambientales. A continuación se enlistarán las ventajas.

- Ventajas aprovechamiento

-Minimizar los Residuos

-Disminuir costos al reutilizar, reciclar y reusar los residuos

- Ventajas de valorización

-Para la industria reduce costos de operación al usar los Residuos como combustible alternativo

Alternativas de Aprovechamiento de los Residuos Sólidos Impregnados con Hidrocarburos en el Sistema Nacional de Refinación

- Para el generador de residuos genera ganancia debido a que la industria compra el residuo para usarlo como combustible alternativo
- El uso de Residuos como combustible alternativo tiene un menor impacto en las emisiones a la atmosfera que los combustibles fósiles
- Minimiza el volumen de los residuos que se llevan a disposición final

6 Conclusiones

La ventaja de tener un buen Manejo de los residuos permite al generador obtener ganancia sobre ello, no sólo por la responsabilidad social y ambiental que tiene, si no que puede obtener beneficios económicos.

El aprovechar los residuos ayuda a que se reduzca el volumen en los almacenes de las industrias en este caso en PEMEX se reducen en toneladas generando una mejor organización internamente y siendo ambientalmente eficientes.

El aprovechamiento por medio de la valorización de los residuos es una gran alternativa ya que en este momento la industria energética consume una gran cantidad de combustibles fósiles los cuales tienen una mayor emisión a la atmósfera e implican un mayor costo de operación a las industrias.

La legislación ambiental para el manejo de residuos debe de ser más estricta con los grandes generadores, para que sus residuos no tengan una consecuencia sobre el ambiente.

La minimización de residuos se tiene que promover para ello se debe de tener un mejor control sobre el uso de los insumos, ya que gracias a que no se tiene un monitoreo se desperdician toneladas de estos.

7 Referencias

- *Plan Nacional de Desarrollo (2007-2012)*
- *Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR). Última reforma publicada el 30 de mayo de 2012*
- *Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005, Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los Residuos Peligrosos.*
- *Norma Oficial Mexicana NOM-053-SEMARNAT-1993 Que establece el procedimiento para llevar a cabo la prueba de extracción para determinar los constituyentes que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente.*
- *Norma mexicana NMX-AA-33-1985. Protección al ambiente-contaminación del suelo-residuos sólidos municipales-determinación de poder calorífico superior*
- *Norma Oficial Mexicana NOM-040-SEMARNAT-Fabricación de cemento hidráulico-Niveles Máximo de emisiones a la Atmósfera.*

Norma Oficial Mexicana-087-1995 Que establece los requisitos para la eparación, envasado, almacenamiento, recolección, transporte, tratamiento y disposición final de los residuos peligrosos biológico-infecciosos que se generan en establecimientos que presten atención médica.

Proyecto-NOM-098-ECOL-2000- Norma oficial mexicana nom-098-semarnat-2002, protección ambiental-incineración de residuos, especificaciones de operación y límites de emisión de contaminantes.

Alternativas de Aprovechamiento de los Residuos Sólidos Impregnados con Hidrocarburos en el Sistema Nacional de Refinación

EPA Method 6010B INDUCTIVELY COUPLED PLASMA-ATOMIC EMISSION SPECTROMETRY

- Zeevalkink, K. j. (2002). *The calorific Value as a criterion for waste recovery in the Cement Industry. Reporte preparado para Holcim Group Support por TNT Enviroment Energy And Process Innovation.*
- SENER. (2012). *Prospectiva de Energías Renovables.*
- USEPA, U.S (1994), *Publications.1990-1994*

Fundación CEMA, Funación Laboral y medio Ambiente

8 Anexos metodologías para las técnicas de caracterización

Análisis CRIT (NOM-052-SEMARNAT-2005, NOM-053-SEMARNAT-1993)

La determinación de características CRIT de los RSIH se realizó conforme al procedimiento establecido en las normas de referencia (*Referencia NOM-052-SEMARNAT-2005, NOM-053-SEMARNAT-1993*), considerando los parámetros establecidos en las mismas. A continuación se presentan las *Características que definen a un residuo como peligroso*, junto con el número del criterio que le corresponde en la norma y el procedimiento para la Prueba de Extracción PECT.

Los residuos tienden a tener propiedades corrosivas, reactivas, inflamables y tóxicas de ahí el acrónimo CRIT lo que puede provocar serios daños al ambiente.

Para que un residuo sea determinado como **corrosivo** presenta las siguientes propiedades:

7.2.1. Es un líquido acuoso y presenta un pH menor o igual a 2.0, o mayor o igual a 12.5 de conformidad con el procedimiento que se establece en la Norma Mexicana correspondiente

7.2.2. Es un sólido que, cuando se mezcla con agua destilada, presenta un pH menor o igual a 2.0, o mayor o igual a 12.5, según el procedimiento que se establece en la Norma Mexicana correspondiente

7.2.3. Es un líquido no acuoso capaz de corroer el acero al carbón, tipo SAE 1020, a una velocidad de 6.35 milímetros o más por año, a una temperatura de 328 K (55°C), según el procedimiento que se establece en la Norma Mexicana correspondiente.

➤ El residuo es **Reactivo** cuando una muestra representativa presenta cualquiera de las siguientes propiedades:

7.3.1. Es un líquido o sólido que después de ponerse en contacto con el aire se inflama en un tiempo menor a cinco minutos sin que exista una fuente externa de ignición, según el procedimiento que se establece en la Norma Mexicana correspondiente

7.3.2. Cuando se pone en contacto con agua reacciona espontáneamente y genera gases inflamables en una cantidad mayor de 1 litro por kilogramo del residuo por hora, según el procedimiento que se establece en la Norma Mexicana correspondiente

7.3.3. Es un residuo que en contacto con el aire y sin una fuente de energía suplementaria genera calor, según el procedimiento que se establece en la Norma Mexicana correspondiente

7.3.4. Posee en su constitución cianuros o sulfuros liberables, que cuando se expone a condiciones ácidas genera gases en cantidades mayores a 250 mg de ácido cianhídrico por kg de residuo o 500 mg de ácido sulfhídrico por kg de residuo, según el procedimiento que se establece en la Norma Mexicana correspondiente

➤ El residuo es **Tóxico Ambiental** cuando:

7.5.1. El extracto PECT, obtenido mediante el procedimiento establecido en la NOM-053-SEMARNAT-1993, contiene cualquiera de los constituyentes tóxicos listados en el **iError! No se encuentra el origen e la referencia.** de este informe, en una concentración mayor a los límites ahí señalados, la cual deberá obtenerse según los procedimientos que se establecen en las Normas Mexicanas correspondientes.

➤ Es **Inflamable** cuando una muestra representativa presenta cualquiera de las siguientes propiedades:

7.6.1. Es un líquido o una mezcla de líquidos que contienen sólidos en solución o suspensión que tiene un punto de inflamación inferior a 60.5°C, medido en copa cerrada, de conformidad con el procedimiento que se establece en la Norma Mexicana correspondiente, quedando excluidas las soluciones acuosas que contengan un porcentaje de alcohol, en volumen, menor a 24%.

7.6.2. No es líquido y es capaz de provocar fuego por fricción, absorción de humedad o cambios químicos espontáneos a 25°C, según el procedimiento que se establece en la Norma Mexicana correspondiente.

7.6.3. Es un gas que, a 20°C y una presión de 101.3 kPa, arde cuando se encuentra en una mezcla del 13% o menos por volumen de aire, o tiene un rango de inflamabilidad con aire de cuando menos 12% sin importar el límite inferior de inflamabilidad.

7.6.4. Es un gas oxidante que puede causar o contribuir más que el aire, a la combustión de otro material.

Cabe señalar que adicionalmente a las características CRIT, la NOM-052-SEMARNAT-2005 establece cinco listados que permiten identificar la peligrosidad de los residuos. Si el residuo aparece en por lo menos uno de estos listados, se clasifica de forma automática como residuo peligroso.

PRUEBA DE EXTRACCIÓN PECT (NOM-053-SEMARNAT-1993)

La Prueba de extracción (PECT) es el procedimiento de laboratorio que permite determinar la movilidad de los constituyentes de un residuo, que lo hacen peligroso por su toxicidad al ambiente.

Si al efectuarse un análisis físico-químico completo del residuo en cuestión no se encuentran en el mismo los constituyentes regulados en la NOM-052-ECOL-1993, o están presentes a bajas concentraciones de modo que no rebasen en los límites máximos permisibles, no es necesario llevar a cabo la prueba de extracción.

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE METALES (EPA 6010B-1996)

Los metales, cuyo contenido en los RSIH se determinó en los análisis químicos, fueron: níquel (Ni), cobalto (Co), vanadio (V) y molibdeno (Mo)

El método de referencia EPA 6010B-1996, con el cual se llevó a cabo el análisis incluye, entre las especies químicas posibles de determinar con él, la medición de las concentraciones de los metales antes mencionados. La medición se basa en el método de "Espectrometría de masas de plasma acoplado" (ICP-AES).

DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO (NMX-AA-033-1985)

La prueba de poder calorífico se realizó para los RSIH con el fin del saber que Residuos pueden ser valorados por medio del co-procesamiento.

Alternativas de Aprovechamiento de los Residuos Sólidos Impregnados con Hidrocarburos en el Sistema Nacional de Refinación

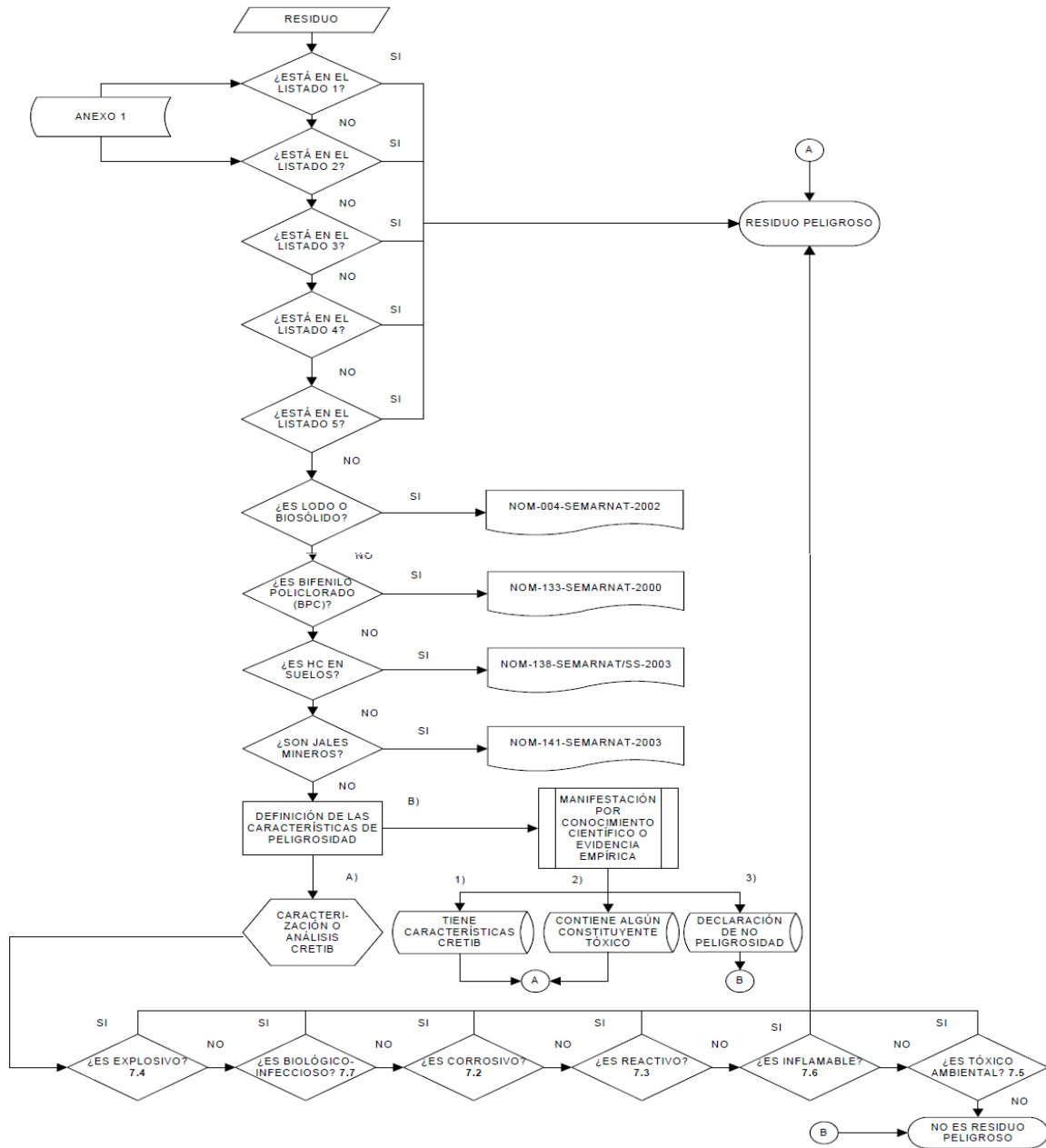


Figura 6. Procedimiento para identificar la peligrosidad de un residuo (NOM-052-SEMARNAT 2005)

Alternativas de Aprovechamiento de los Residuos Sólidos Impregnados con Hidrocarburos en el Sistema Nacional de Refinación

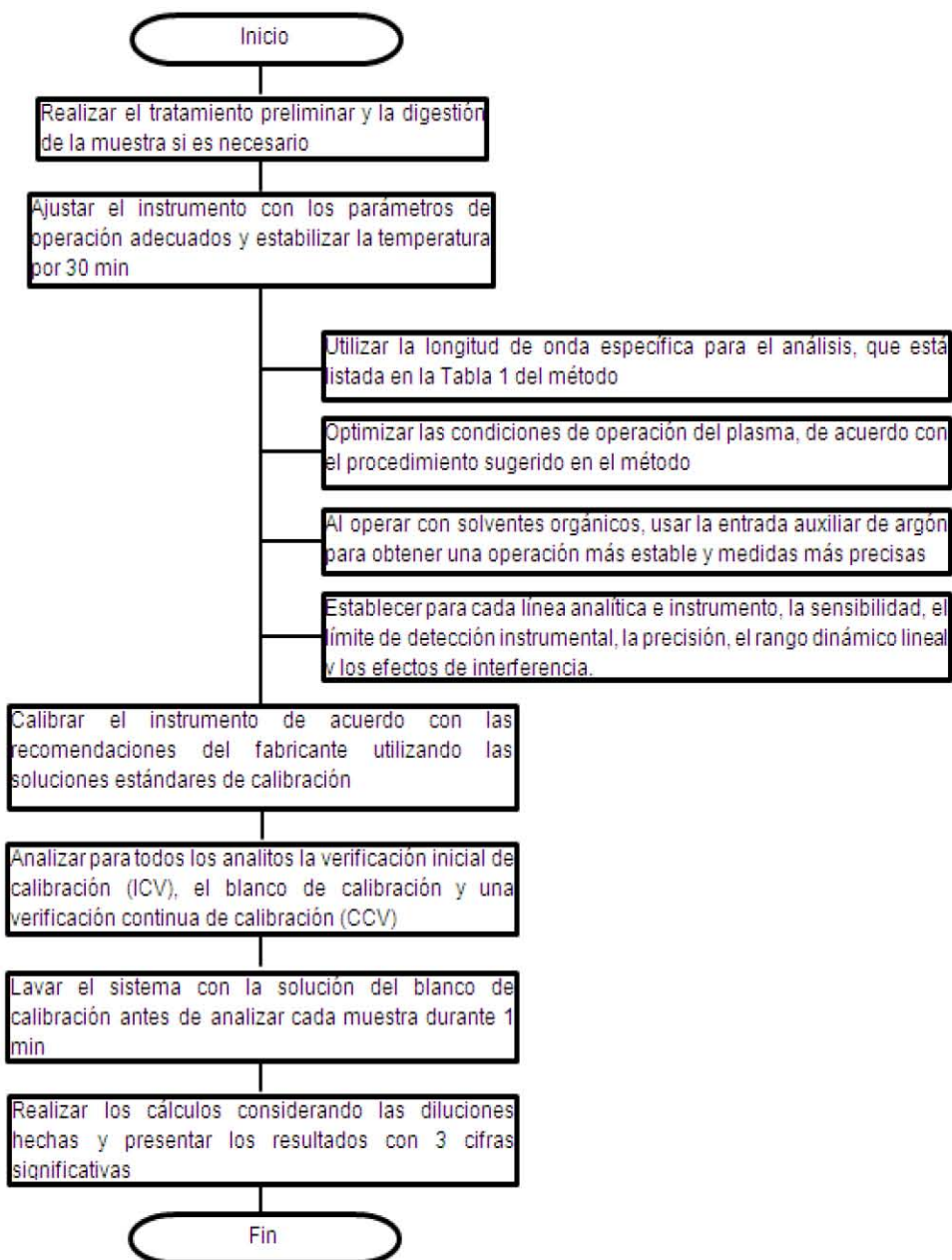


Figura 7. Espectrometría de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente (EPA 6010B-1996)

Alternativas de Aprovechamiento de los Residuos Sólidos Impregnados con Hidrocarburos en el Sistema Nacional de Refinación

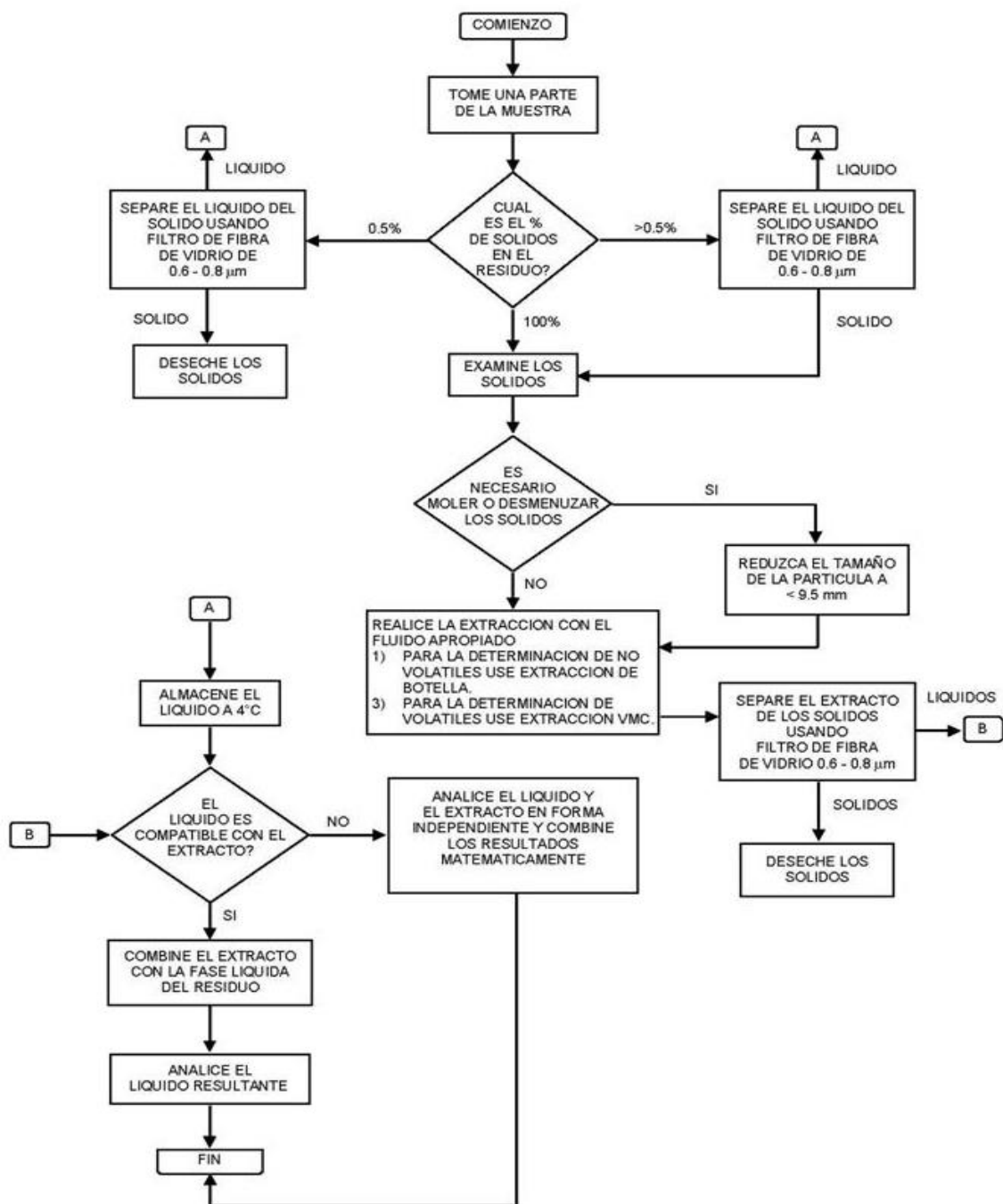


Figura 8. Procedimiento para la prueba de extracción (PECT) (NOM-053-SEMARNAT-1993)

Alternativas de Aprovechamiento de los Residuos Sólidos Impregnados con Hidrocarburos en el Sistema Nacional de Refinación

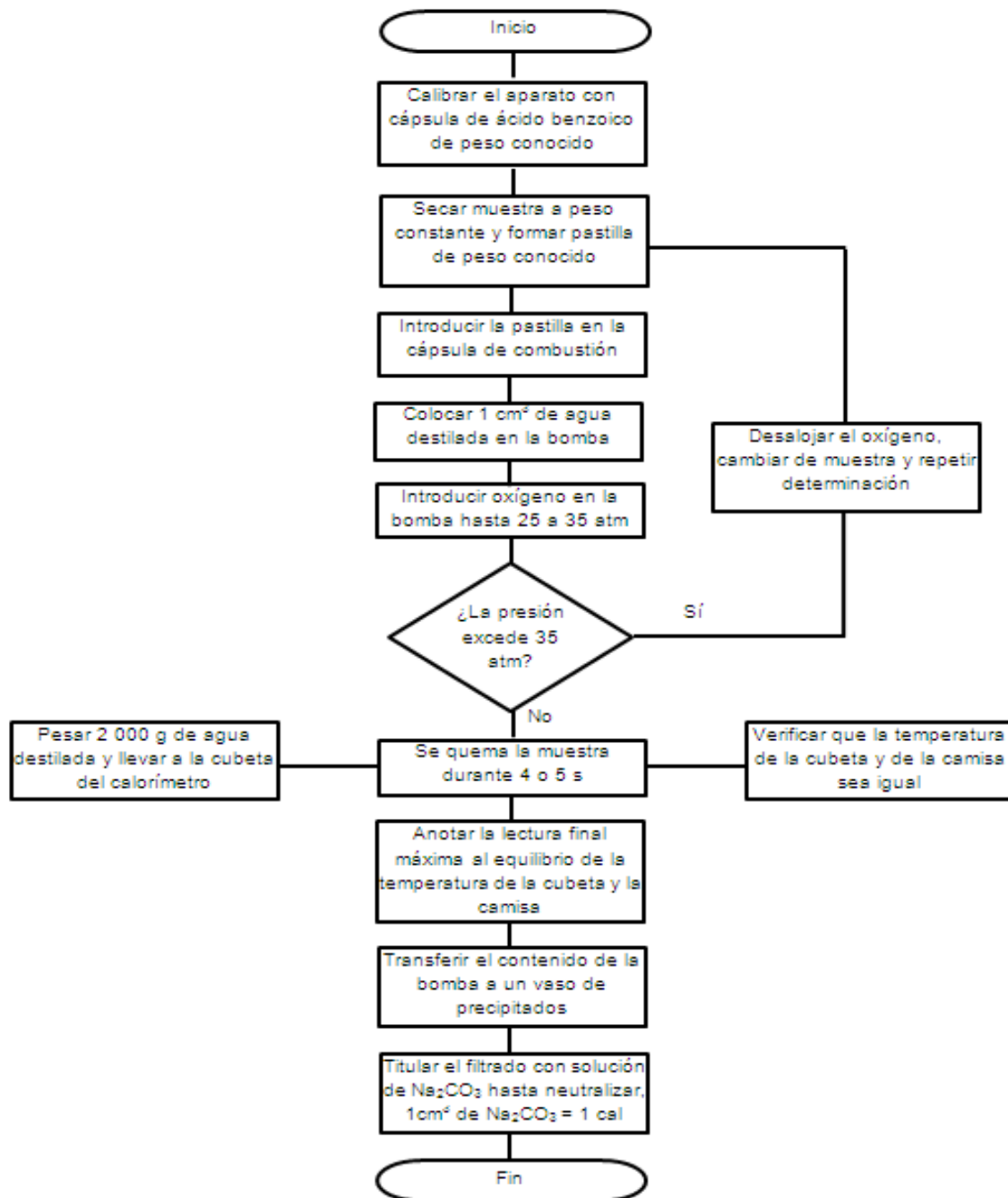


Figura 9. Método de la bomba calorimétrica adiabática (NMX-AA-033-1985)