
3. MARCO TEÓRICO.

3.1. Conceptos básicos

Por la importancia que tiene la terminología en materia legislativa y de normatividad en el área ambiental, a continuación se darán las definiciones que establecen las leyes en materia de residuos en nuestro país.

3.1.1. Residuo Peligroso.

En primer término un residuo es todo material cuyo propietario o poseedor desecha.

Los residuos peligrosos son aquellos que poseen alguna de las características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad, o que contengan agentes infecciosos que les confieran peligrosidad, así como envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan sido contaminados cuando se transfieran a otro sitio (LGPGIR,2004).

Las propiedades que determinan las características de un RP están definidas en la NOM-052-SEMARNAT.

Los RP provienen de materiales o insumos peligrosos que luego se convierten en residuos, no obstante, muchos de estos RP pueden servir como materia prima para otros procesos o pueden ser regenerados mediante algún tratamiento para convertirlos en insumos nuevamente.

La peligrosidad de un residuo esta conferida por sus propiedades intrínsecas; sin embargo, el riesgo, que es la posibilidad de que ocurra un efecto dañino, está delimitado por la forma en que se manejen estos residuos, la exposición a ellos y la vulnerabilidad del receptor (Cortinas, 2004).

Cada material peligroso posee características únicas que le confieren peligrosidad; estas características deben ser consideradas al momento de manejarlos. Un RP no debe representar un riesgo si se toman todas las medidas de prevención necesarias.

3.1.2. Generador.

Es toda persona física o moral que genera un residuo, en este caso un RP (LGPGIR, 2004)

Existen tres tipos de generadores de acuerdo a su volumen de generación:

- Microgenerador, cuyo volumen de generación es menor a 400 kg.
- Pequeño generador, con un volumen de generación mayor o igual a 400 kg pero menor a 10 toneladas.
- Gran generador, cuando su volumen de generación excede las 10 toneladas.

Según la normatividad mexicana el manejo y la disposición final de los RP es responsabilidad de quien los genera; esta responsabilidad puede ser compartida

con una empresa externa para que realice el transporte y disposición final de los RP siempre y cuando esta empresa tenga una licencia por parte de la SEMARNAT.

3.1.3. Manejo integral de residuos.

Se refiere a las actividades de reducción en la fuente, separación, reutilización, reciclaje, co-procesamiento, tratamiento biológico, químico, físico o térmico, acopio, almacenamiento, transporte y disposición final de residuos, individualmente realizadas o combinadas de manera apropiada, para adaptarse a las condiciones y necesidades de cada lugar, cumpliendo objetivos de valorización, eficiencia sanitaria, ambiental, tecnológica, económica y social (LGPGIR,2004). Un esquema de dichas actividades y su inter-relación se muestra en la Fig. 2.

El manejo integral de RP implica la responsabilidad de estos durante todo su ciclo de vida, incluso antes de su generación porque este concepto abarca medidas para minimizar la generación de residuos.

Un plan de manejo de RP siempre debe estar sustentado en los principios de un manejo integral, de tal modo que los residuos que se destinen a disposición final sea una cantidad mínima y todo lo demás pueda ser aprovechado.

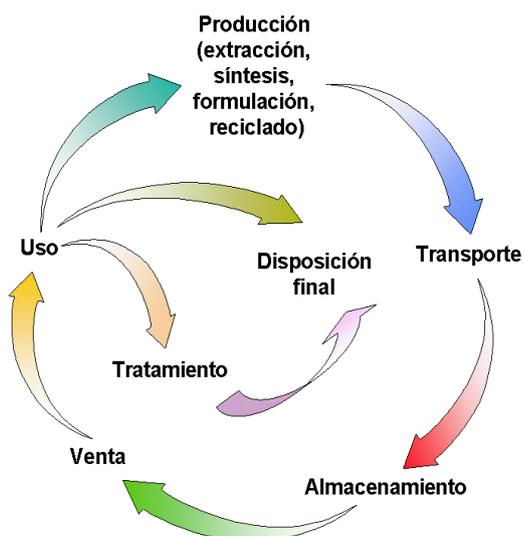


Figura 2. Esquema de manejo de residuos peligrosos

3.1.4. Plan de manejo.

Es un instrumento creado por el generador, que es el que mejor conoce sus residuos, cuyo objetivo es minimizar la generación de residuos y maximizar su valor. Un plan de manejo debe sustentarse en los principios de responsabilidad compartida y manejo integral, es decir, define todas las actividades y procedimientos a seguir e involucra al generador, empresas de transporte y manejo así como al gobierno (en este caso federal por tratarse de RP) (LGPGIR, 2004).

Los planes de manejo se establecerán para los siguientes fines y objetivos:

- Promover la prevención de la generación y la valorización de los residuos así como su manejo integral, a través de medidas que reduzcan los costos de su administración, faciliten y hagan más efectivos, desde la perspectiva ambiental, tecnológica, económica y social, los procedimientos para su manejo;
- Establecer modalidades de manejo que respondan a las particularidades de los residuos y de los materiales que los constituyan;
- Atender a las necesidades específicas de ciertos generadores que presentan características peculiares;
- Establecer esquemas de manejo en los que aplique el principio de responsabilidad compartida de los distintos sectores involucrados, y
- Alentar la innovación de procesos, métodos y tecnologías, para lograr un manejo integral de los residuos, que sea económicamente factible.

3.1.5. Almacenamiento temporal.

Cuando un RP se encuentra en el lugar de generación en espera de tratamiento o disposición final se dice que está en almacenamiento temporal.

La LGPGIR estipula que ningún RP podrá permanecer un periodo mayor a seis meses a partir de su generación en almacenamiento.

Un almacén temporal de RP debe cumplir con ciertas especificaciones de seguridad de acuerdo a los residuos que se almacenan ahí. Esto con la finalidad de prevenir accidentes, fugas o derrames. Posteriormente se tratara más a detalle estas especificaciones.

3.2. Tratamiento de residuos peligrosos en el sitio de generación

Existe la posibilidad de realizar tratamientos a los RP dentro del mismo sitio de generación ya sea para disminuir su peligrosidad, o para transformarlos a otras formas más fáciles de manejar y contener (sólidos), y así evitar la posibilidad de algún derrame o fuga.

Debido a que existe una gran diversidad de RP (ver Tabla 1) también hay una cantidad amplia de tratamientos, por lo que en este escrito nos limitaremos a describir los que tienen un uso más generalizado.

Tabla 1. Métodos de tratamiento de los residuos peligrosos.

Principio del tratamiento	Métodos de tratamiento	
Físico	<ul style="list-style-type: none"> • Sedimentación • Centrifugación • Floculación • Flotación • Evaporación • Destilación • Extracción 	<ul style="list-style-type: none"> • Filtración • Adsorción • Intercambio iónico • Ósmosis inversa • Electro-diálisis • Estabilización y solidificación

Principio del tratamiento	Métodos de tratamiento	
Químico	<ul style="list-style-type: none"> • Neutralización / precipitación • Ozonización • Oxidación electrolítica 	
Biológico	<ul style="list-style-type: none"> • Lodos activados • Bio-regeneración • Tratamiento anaeróbico • Tratamiento aeróbico 	
Térmico	<ul style="list-style-type: none"> • Horno de inyección líquida • Horno rotatorio • Horno de lecho fluidizado • Horno de cemento • Incineradores pirolíticos • Tratamiento térmico infrarrojo • Oxidación catalítica • Degasificación o pirólisis 	<ul style="list-style-type: none"> • Gasificación • Hidrogenación • Combustión interna • Horno de plasma centrífugo • Proceso de vidrio-fundido (Molten-Glass Process) • Oxidación húmeda • Proceso de reducción química en fase gaseosa.

3.2.1. Tratamientos físicos.

Tabla 2. Resumen de tratamientos físicos de residuos peligrosos.

Tipo de Tratamiento	Características
Sedimentación	<p>La sedimentación gravitacional es uno de los mecanismos naturales más importantes para remover partículas especialmente mayores a 50 m, con un porcentaje de eficiencia menor a 50%, teniendo como ventajas que se utiliza menos presión, y es simple en su diseño y mantenimiento.</p> <p>Por lo general, el término sedimentación supone la eliminación de la mayor parte del líquido o el agua con limo después del asentamiento de éste. Así mismo, dependiendo del proceso que se esté llevando a cabo y del producto deseado se generarán sólidos residuales (los sedimentos) y líquidos residuales.</p>
Centrifugación.	<p>La centrifugación es la operación que utiliza la fuerza centrífuga para separar los líquidos de los sólidos. Se trata de una filtración por gravedad en donde la fuerza que actúa sobre el líquido se incrementa enormemente utilizando la fuerza centrífuga. También puede aplicarse para efectuar la separación de líquidos inmiscibles, mediante equipos llamados centrifugas, las cuales por ser muy semejantes a los filtros, generan los mismos residuos que, dependiendo del constituyente deseado, pueden ser sólidos o líquidos residuales.</p>
Flotación.	<p>Operación unitaria a través de la cual se separa un sólido de una fase líquida, básicamente el sólido sobrenada en la superficie del líquido. Existen dos tipos de sistemas de flotación:</p> <p>El sistema de flotación con aire disuelto es el más común y eficiente;</p> <p>El sistema de flotación con aire disperso, cuya eficiencia es mucho menor y es menos utilizado.</p>
Evaporación.	<p>En esta operación es necesario dar calor a la disolución para que llegue a su temperatura de ebullición, y proporcionar el calor suficiente para que se evapore el solvente. Los posibles residuos generados en esta operación unitaria, provienen de las purgas de limpieza al momento de limpiarlos.</p>
Destilación.	<p>La destilación es un proceso de separación que consiste en eliminar uno o más de los componentes de una mezcla. Para llevar a cabo la operación se aprovecha la diferencia de la volatilidad de los constituyentes de la mezcla, separando o fraccionando éstos en función de su temperatura de ebullición. Se usa para concentrar mezclas de alcoholes, separar aceites esenciales, así como componentes de mezclas líquidas que se deseen purificar. En la industria actual</p>

Tipo de Tratamiento	Características
	<p>hay cuatro tipos de destilación: destilación por arrastre de vapor, destilación diferencial, destilación instantánea o flash y la destilación fraccionada.</p> <p>Los residuos en esta operación son sedimentos o lodos y, en algunos casos, son breas depositadas en el fondo de los tanques de destilación, y como cabezas líquidas o gaseosas en lo alto de las torres y como colas líquidas en la parte baja de ésta.</p>
Extracción.	<p>Hay dos tipos de extracción muy usadas en casi todas las industrias:</p> <p>La extracción sólido-líquido consiste en tratar un sólido constituido por dos o más sustancias con disolventes que disuelven preferentemente uno de los dos sólidos, que recibe el nombre de soluto. La operación recibe también el nombre de lixiviación, nombre más empleado al disolver y extraer sustancias inorgánicas en la industria minera. Los residuos en esta operación son los lodos acumulados en el fondo del extractor que contienen sólidos y disolventes.</p> <p>La extracción líquido-líquido es una operación unitaria que consiste en poner una mezcla líquida en contacto con un segundo líquido miscible, que selectivamente extrae uno o más de los componentes de la mezcla. Se emplea en la refinación de aceites lubricantes y solventes, en la extracción de productos que contienen azufre y en la obtención de ceras parafínicas. Los lodos y líquidos residuales acumulados en el fondo del decantador o de la torre son los residuos del proceso.</p>
Filtración.	<p>El objetivo de la filtración es la remoción de partículas sólidas del aire y agua. Este es el método más antiguo para separar materiales suspendidos en gases y agua. La operación completa de la filtración está compuesta por dos fases: filtración y limpieza. El método se basa en el principio de hacer pasar el líquido, aire o gases, conteniendo los sólidos, a través de un medio filtrante poroso o granular con ó sin la adición de algunos compuestos químicos.</p>
Adsorción y absorción.	<p>La adsorción es un proceso mediante el cual un gas o vapor orgánico o inorgánico (adsorbato) se adhiere sobre la superficie de materiales sólidos como el carbón activado, la alúmina activada o la sílica gel (adsorbente). El carbón activado es el absorbente más ampliamente usado para separar compuestos orgánicos. En estas aplicaciones se utiliza carbón de origen vegetal en un tamaño de 6 a 16 mallas, el cual adsorbe grandes cantidades de gases y/o vapores debido a su gran cantidad de área superficial disponible y también a las propiedades de superficie. La adsorción es un proceso físico y tiene lugar cuando las moléculas del gas son atraídas hacia la superficie del carbón activado, debido a fuerzas de naturaleza electrostática entre las moléculas y la superficie del carbón.</p> <p>La absorción química, a diferencia de la adsorción, va acompañada de una reacción química. Las especies removidas por absorción pueden ser recuperadas mediante la regeneración del carbón activado empleando comúnmente vapor.</p> <p>Sus mayores aplicaciones son cuando se tienen sistemas con un solo compuesto o mezclas de solventes con retentividades altas e insolubles o muy poco solubles en el agua, para facilitar la separación agua/solvente en el tanque de condensadores. Los dispositivos de adsorción con carbón activado pueden ser diseñados y operados a eficiencias de remoción entre el 95 y el 100%.</p>
Intercambio iónico.	<p>El intercambio iónico es un tratamiento que se aplica a metales en aguas subterráneas contaminadas donde los metales están presentes como especies solubles iónicas y aniones no metálicos tales como sulfatos, nitratos y cianuros; y compuestos inorgánicos iónicos incluyendo ácidos carboxílicos, sulfónicos y algunos fenoles a un pH suficientemente alcalino para producir especies iónicas, aminoras, cuando la solución tiene suficiente acidez para formar la correspondiente sal ácida.</p> <p>El intercambio iónico cuando se usa en el tratamiento de residuos peligrosos, es un proceso reversible en el cual los cationes peligrosos y/o los aniones son removidos de una solución acuosa y son sustituidos por cationes no peligrosos y/o aniones tales como el sodio, hidrógeno, cloro o iones hidroxil.</p> <p>Las limitaciones son selectividad/competitividad, pH y sólidos suspendidos. Residuos con altas concentraciones pueden ser separados por otros métodos que pueden resultar más económicos.</p>

Tipo de Tratamiento	Características
Ósmosis inversa.	<p>En la osmosis inversa el afluente contaminado se pone en contacto con una membrana semipermeable a una presión superior a la presión osmótica de la solución. Bajo estas circunstancias, el agua con una cantidad muy pequeña de contaminantes, pasa a través de la membrana. Los contaminantes disueltos se concentran en el compartimiento del agua subterránea contaminada. Este concentrado, se descarga, obteniéndose así agua purificada en el otro compartimiento.</p> <p>El proceso se limita al tratamiento de residuos solubles, ya que los sólidos en suspensión tapan las membranas, en consecuencia se necesita el tratamiento previo cuando haya sólidos en suspensión, aumentando así los costos. Las presiones de funcionamiento que se emplean, varían desde 50 hasta 100 kg/cm³.</p>
Electro-diálisis.	<p>La electro-diálisis es una tecnología de membrana diseñada para separar los contaminantes de un residuo líquido utilizando membranas de intercambio iónico con un campo de corriente eléctrica directa para separar las especies iónicas de la solución. Una celda de electro-diálisis consiste de un ánodo y un cátodo separados por dos membranas catiónicas-selectivas, tres cámaras de flujo líquido y dos membranas aniónicas selectivas. El líquido es introducido a la cámara de flujo y cuando se aplica una carga, los aniones son atraídos al ánodo y los cationes son atraídos al cátodo, cada uno pasa a través de la membrana correspondiente. Los cationes son precipitados como hidróxidos metálicos.</p>
Estabilización y solidificación.	<p>La estabilización química es un proceso a través del cual se detoxifica, inmoviliza, insolubiliza o se reduce la peligrosidad de un residuo. Se logra este efecto generalmente a través de una reacción química entre uno o más componentes del residuo y una matriz sólida. Este proceso se utiliza para tratar residuos peligrosos que se encuentran en forma líquida o en lodos para producir un sólido apto para su disposición en el suelo. Los sistemas más comunes de estabilización involucran el uso de cemento solo, cemento con cenizas volátiles, cal con cenizas volátiles, y cemento con silicato de sodio. El mecanismo químico de estabilización no es conocido del todo, sin embargo existen indicaciones que en el pH relativamente alcalino del cemento, los metales pesados se precipitan como hidróxidos insolubles, los que son inmovilizados dentro de la matriz sólida.</p> <p>El problema principal identificado con los sistemas de estabilización es que son generalmente específicos para un residuo bajo determinadas condiciones. Es por esto que su aplicación debe estar precedida de pruebas piloto para determinar exactamente los parámetros de diseño. Asimismo, es importante tomar en cuenta que estos procesos requieren la adición de grandes cantidades de materiales solidificantes por lo cual el volumen final del residuo se incrementa.</p>

3.2.2. Tratamientos químicos.

Tabla 3. Resumen de tratamientos químicos de residuos peligrosos.

Tipo de Tratamiento	Características
Neutralización/ precipitación.	<p>La neutralización es un tratamiento destinado a llevar a una corriente (agua o aire) o a una sustancia a un pH próximo a la neutralidad. El pH puede corregirse por procedimientos físicos de intercambio de gas-líquido (como con aireadores, mezcladores mecánicos o a presión, desgasificadores atmosféricos, térmicos, al vacío o combinados) ó adición de reactivos básicos ó ácidos. Algunos de los reactivos que se utilizan más comúnmente son: sosa, cal o algún ácido como: clorhídrico o sulfúrico; también se pueden utilizar productos alcalinotérreos.</p> <p>Si el agua no se encuentra en equilibrio carbónico y contiene gas carbónico agresivo, debe preverse su neutralización. Estos tratamientos, con excepción de la aireación, dan lugar a un incremento de la mineralización del agua. Si esta mineralización es suficiente para evitar que el agua sea corrosiva, aunque se</p>

Tipo de Tratamiento	Características
	<p>encuentre en equilibrio carbónico, debe efectuarse una mineralización completa. En ciertos casos especiales se puede hacer una neutralización recíproca, es decir se puede prescindir de reactivo químico, haciendo reaccionar entre sí dos o más tipos de agua de carácter opuesto, como son: aguas agresivas y aguas incrustantes, y/o aguas ácidas y aguas alcalinas.</p> <p>La precipitación se emplea para remover solutos, es decir, de las sustancias en solución. Los metales pesados son eliminados del agua por precipitación con la ayuda de sulfuros, el tipo de metales que se pueden eliminar son cadmio, cobre, níquel, zinc, hierro. Puesto que los hidróxidos de metales pesados son ordinariamente insolubles, es común usar cal para precipitarlos. Sin embargo, algunas veces los carbonatos o los sulfuros son menos solubles que los hidróxidos. La temperatura afecta a la solubilidad y, por lo tanto a la precipitación de metales pesados.</p>
Ozonización.	<p>El ozono es una forma alotrópica del oxígeno, se comporta como un poderoso agente oxidante y germicida en el tratamiento de agua potable, la ventaja de su uso es la mejora de las características organolépticas del agua. El ozono es extremadamente corrosivo y los materiales que se encuentran en contacto con él deben ser cuidadosamente elegidos; la porcelana y el vidrio, no reaccionan con él. El ozono debe ser producido "in situ".</p>
Oxidación electrolítica.	<p>La oxidación electrolítica es un tratamiento con demostradas aplicaciones para el tratamiento de residuos conteniendo altas concentraciones de soluciones de cianuro. Debido a los prolongados requerimientos del tiempo, el proceso es aplicado frecuentemente como un tratamiento preliminar en residuos de alta concentración, antes de la oxidación química con cianuro por el proceso convencional.</p> <p>El proceso es conducido en altas temperaturas por periodos que varían desde unas cuantas horas hasta semanas, dependiendo de la cantidad inicial y de la concentración de cianuro que se tengan, además de la concentración a la que se quiera llegar.</p> <p>Debido a que la reacción puede tardar días o semanas, se añade agua al tanque periódicamente para compensar las pérdidas debido a la evaporación por el calor en el tanque. Esto es necesario para que se mantenga la corriente eléctrica en la solución durante el tratamiento. El tratamiento posterior del residuo tratado se puede realizar por un método convencional de oxidación química para destruir el cianuro remanente.</p> <p>La efectividad de la oxidación electrolítica depende de la conductividad del residuo, que esta en función de varias características del residuo incluyendo la concentración de cianuro y otros iones en solución. Mientras que el proceso continuo, el residuo se vuelve menos capaz de conducir electricidad, si la concentración disminuye causando que la reacción electrolítica sea menos eficiente para mayores tiempos de retención.</p>

3.2.3. Tratamientos biológicos.

El tratamiento biológico degrada los residuos que contienen compuestos orgánicos mediante la acción de los microorganismos. La degradación cambia la estructura molecular de los compuestos orgánicos, y el grado de degradación puede ser: una biotransformación o una mineralización.

La biotransformación es la degradación de un compuesto orgánico a un compuesto secundario (metabolito), mientras que la mineralización es la ruptura completa de las moléculas orgánicas hasta formar dióxido de carbono, agua y

compuestos inorgánicos inertes. Resumiendo, la biotransformación es una degradación parcial y la mineralización es una degradación completa.

A la mayoría de los residuos peligrosos que contienen compuestos orgánicos se les puede dar un tratamiento biológico, porque casi todos los compuestos orgánicos pueden degradarse si las comunidades microbianas son establecidas, mantenidas y controladas adecuadamente.

El tratamiento biológico de los residuos es el resultado del metabolismo heterotrófico de los microorganismos; en el tratamiento el residuo orgánico es el sustrato. Es decir, el residuo sirve como fuente de carbono y energía para los organismos vivos. De los diferentes tipos de organismos involucrados en el tratamiento biológico de los residuos peligrosos; los más comunes son las bacterias heterotróficas. Sin embargo, los hongos y otras formas de vida superiores pueden ser efectivos en aplicaciones específicas.

Tratamientos biológicos más comunes.

- Lodos activados
- Biorregeneración
- Tratamiento anaeróbico
- Tratamiento aeróbico

3.2.4. Tratamientos térmicos.

Los sistemas de tratamiento térmico son diseñados para destruir solamente a los componentes orgánicos del residuo, sin embargo, la mayoría de los residuos peligrosos contienen tanto compuestos orgánicos combustibles como inorgánicos no combustibles. Para destruir la fracción orgánica y convertirla a CO₂ y H₂O se han desarrollado varias técnicas de tratamiento térmico.

El tratamiento térmico se emplea para residuos con diferentes contenidos de materia orgánica y bajas concentraciones de agua, metales y otros compuestos inorgánicos. Durante el proceso de tratamiento térmico ocurren reacciones de oxidación extremadamente complejas.

El tratamiento térmico de los residuos peligrosos no está exento de riesgos. Los riesgos se asocian con el equipo (riesgos mecánicos), otros están relacionados con la operación (riesgos operacionales), y también se presentan los riesgos del transporte y del almacenamiento de los residuos peligrosos.

Tabla 4. Ventajas y desventajas de los tratamientos térmicos.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Aplicable a una gran variedad de residuos (líquidos, sólidos y lodos), separados o combinados. • Convierte en sólidos (cenizas), generalmente estabilizadas o inertes, a los residuos inorgánicos y vaporiza el agua. • Puede alcanzar alta eficiencia de remoción de compuestos orgánicos volátiles, hasta de 99.99% ó más. • Permite una reducción del 80 al 90% del volumen original de los residuos, sobre todo cuando los residuos contienen altas concentraciones de compuestos orgánicos. • Los equipos de incineración requieren poco espacio. • Propicia el reciclaje energético, ya que se utilizan los residuos como combustible alternativo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se requiere que el equipo trabaje con gran eficiencia, por que algunos subproductos de la combustión pueden resultar más tóxicos que los residuos mismos. • Se requiere de personal especializado. • Un alto contenido de humedad puede afectar los requerimientos de energía. • Se requiere equipo para control de emisiones contaminantes a la atmósfera. • Se requiere de la disposición final de las cenizas y escorias. • Por lo general, tiene rechazo social.

Para el tratamiento térmico de los residuos peligrosos se han desarrollado varios métodos aprovechando diferentes principios. Las tecnologías más modernas presentan como característica principal, el ser sistemas cerrados, con sistemas de control y monitoreo computarizados del proceso de combustión y que controlan las emisiones contaminantes generadas. Las ventajas y desventajas de utilizar dichos tratamientos se muestran en la Tabla 4.

Actualmente, el método más empleado para la incineración de la mayor parte de los residuos peligrosos sólidos, líquidos o lodos, es el horno giratorio. La ventaja de este horno frente a otros tipos de hornos es su gran flexibilidad, respecto al tipo y a la cantidad de los residuos que admite. En el horno giratorio pueden incinerarse simultáneamente residuos sólidos, líquidos y lodos, junto con gases. Por otra parte este tipo de horno permite alcanzar altas temperaturas de incineración y tiempos de permanencia lo suficientemente largos para que se garantice una incineración completa; además, por lo general, cuentan con una cámara de post-combustión para tratar los gases generados en la combustión.

En el cilindro giratorio se incineran preferentemente los residuos sólidos y lodos, a temperaturas de entre 900 y 1150°C según el tipo de horno. Y en la cámara de post-combustión vertical, hacia donde se llevan los gases de combustión también se pueden alimentar residuos líquidos para su destrucción. El tiempo de permanencia y la temperatura pueden adecuarse a las características específicas de los residuos que se tratan.

Se han desarrollado y optimizado varios métodos de incineración ya que ha sido uno de los métodos de tratamiento más utilizados en la Unión Europea,

destacando países como Alemania, Francia e Inglaterra, por un lado; y en los Estados Unidos de Norteamérica, por el otro.

Los métodos de destrucción térmica más comunes son:	<ul style="list-style-type: none">• Horno de inyección líquida• Horno rotatorio• Horno de lecho fluidizado• Horno de cemento• Incineradores pirolíticos
--	---

Otros métodos son:

<ul style="list-style-type: none">• Tratamiento térmico infrarrojo• Oxidación catalítica• Desgasificación o pirólisis• Gasificación• Hidrogenación	<ul style="list-style-type: none">• Horno de plasma centrífugo• Proceso de vidrio-fundido (Molten-Glass Process)• Oxidación húmeda• Proceso de reducción química en fase gaseosa
--	---

3.2.5. Desgasificación o pirólisis

El principio de la desgasificación o pirólisis es una transformación de la materia mediante energía térmica sin oxígeno. Los principales residuos de este tratamiento son:

- Gas residual
- Residuos sólidos que contienen carbón
- Condensados similares al aceite
- Condensados acuosos

Dependiendo de la temperatura y el tiempo de residencia elegida en el reactor, los productos de la incineración pueden contener más gas residual o más aceites, en los cuales una gran parte de la energía permanece almacenada.

Mediante esta técnica siempre se necesita de un segundo tratamiento. Aquí, los productos de la pirólisis son utilizados térmicamente o como materiales, dependiendo del tipo de procesos.

Esta técnica es adecuada para tratar residuos sólidos orgánicos, sin embargo, no a sido aceptada ampliamente para el tratamiento de los residuos peligrosos. Tampoco a sido ensayada a gran escala técnica en este campo de aplicación.

3.2.6. Gasificación.

Mediante ésta técnica el carbón es transformado a gas que consiste principalmente de CO y CO₂, con la ayuda de agentes gasificantes, como el oxígeno y el vapor de agua.

La combustión de una parte del carbón o hidrógeno con el oxígeno genera elevadas temperaturas. El producto de la reacción es llamado síntesis de gas y consiste de CO₂, H₂ y CO. Los cuales pueden ser usados por conversión hacia energía o como materiales primas para la industria química.

Este proceso no ha sido muy ensayado a gran escala industrial para tratar residuos peligrosos. Dentro de este tipo de tecnología tenemos a reactores de inyección, ciclones y lechos sólidos. La gasificación es adecuada para tratar:

- Residuos sólidos con un bajo punto de fusión
- Residuos líquidos orgánicos halogenados
- Residuos sólidos orgánicos con elevados contenidos de cenizas
- Residuos altamente pastosos atomizables

No es adecuado para tratar:

- Residuos voluminosos
- Residuos pastosos o viscosos no atomizables
- Lodos orgánicos
- Gases

3.2.7. Hidrogenación.

La hidrogenación es una degradación térmica o térmica/catalítica sin oxígeno y seguida de una conversión reductora de la materia con hidrógeno. El proceso es especialmente adecuado para compuestos organoclorados, ya que el hidrógeno se une a los átomos de cloro resultantes, formando HCl. La hidrogenación actualmente forma parte de los procesos de tratamiento físico-químico.

Este tratamiento es adecuado para:

- Residuos sólidos con bajo punto de fusión
- Residuos pastosos altamente viscosos

No es adecuado para tratar:

- Residuos sólidos voluminosos

-
- Residuos sólidos con elevado contenido de ceniza
 - Contenedores, tambos, etc.
 - Lodos acuosos orgánicos con bajo contenido de material orgánico
 - Gases

La diversidad de tratamientos existentes pueden representar una buena opción para dar una solución final dentro del plan de manejo de uno o varios residuos peligrosos.

3.3. Manejo de residuos peligrosos en universidades.

Si bien es cierto en México se viene abordando el tema del manejo de residuos peligrosos desde hace algunos años. Anteriormente solo se le daba un enfoque hacia los residuos peligrosos generados por la industria, y no fue sino hasta el 2004 con la promulgación de la LGPGIR que se incluye a todos los generadores de residuos peligrosos incluso a los de tipo domestico.

En países más desarrollados como los Estados Unidos de América (USA) o España (Es), algunas universidades como la de Rhode Island (USA) cuentan con su propio plan de manejo de residuos peligrosos y no solo eso sino que diseñaron una serie de documentos de carácter genérico para que otras instituciones educativas puedan descargarlos y adaptarlos a sus necesidades particulares. La universidad de Texas en Tyler también tiene un manual para el manejo de residuos de los laboratorios y se encuentra disponible en la red. Incluso en los condados como en de King han desarrollado un plan de manejo de residuos provenientes de laboratorios con un enfoque a los laboratorios escolares.

En España universidades como la de Salamanca o la universidad de Concepción en Chile han desarrollado sus planes de manejo para residuos peligrosos y los han hecho del conocimiento público a través de la red. La disponibilidad de documentos de este tipo permite que sirvan de guía para otras instituciones, aun y cuando los parámetros de manejo de RP son similares independientemente del país en cuestión, las leyes varían de acuerdo a este y las obligaciones y responsabilidades de carácter legal también; de ahí la importancia de tener ejemplos o guías en nuestro propio país que estén basados en nuestra normatividad.

En México, los esfuerzos por adaptarse a la nueva ley (LGPGIRP) no han cesado. Universidades como la Iberoamericana de la Ciudad de México, la Universidad Autónoma del Estado de México, LA universidad Autónoma de Nuevo León, la Universidad Autónoma de Sinaloa y la facultad de ciencias químicas de la UNAM han hecho del dominio publico sus programas y manuales a través de la red en materia de manejo de residuos peligrosos o provenientes de laboratorios.

No obstante todos estos documentos son buenas herramientas a la hora de diseñar un plan de manejo, los documentos a los que se tiene acceso solo se centran en las buenas practicas de manejo de RP en los laboratorios y la mayoría de estos no incluyen aspectos como la minimización de residuos, la caracterización de los residuos, características y especificaciones del almacén temporal de RP o los tratamientos que se pueden realizar de RP in situ. Es por ello que se decidió la realización de este trabajo que integre todos estos parámetros.