



# ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

## FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

### TEMA:

**“Aplicación de la Economía Circular en el diseño de un incinerador de desechos patológicos.”**

### COMPONENTE:

**APLICACIÓN DE LA ECONOMIA CIRCULAR PARA EL DISEÑO DE ELEMENTOS MECANICOS  
PARA LOS COMPONENTES DEL INCINERADOR, CAMARA Y CHIMENEA DE UN  
INCINERADOR DE DESECHOS PATOLOGICOS.**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO**

**AMAGUA CARRILLO STALIN DAVID**

stalin.amagua@epn.edu.ec

### DIRECTOR:

**Ing. OSCAR IVÁN ZAMBRANO OREJUELA, MSc.**

ivan.zambrano@epn.edu.ec

### FECHA:

**Quito, 21 de agosto de 2022**

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por **Amagua Carrillo Stalin David**, bajo mi supervisión.

---

Ing. Oscar Iván Zambrano Orejuela, MSc.

**DIRECTOR DEL PROYECTO**

## DECLARACIÓN

Yo, **Stalin David Amagua Carrillo**, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

---

Autor

## **DEDICATORIA**

Este trabajo de titulación está dedicado a mis padres Imelda y Fabian por haberme guiado en mis pasos durante mi tiempo de estudio. Agradecerles por la perseverancia y constancia en mi vida. Agradezco a mis hermanos por acompañarme y brindarme fuerza para culminar mis estudios.

## **AGRADECIMIENTO**

A mis padres y hermanos que han sido el apoyo incondicional para cumplir esta meta y muchas más, su apoyo fue vital en el proceso.

A mi pareja Alisson que a pesar del tiempo ha estado acompañándome y motivándome a seguir cumpliendo mis metas.

A la facultad de Ingeniería Mecánica y profesores que han sido quienes han dedicado la enseñanza de conocimientos y dedicación.

# ÍNDICE GENERAL

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>OBJETIVO GENERAL .....</b>	<b>2</b>
Objetivos Específicos .....	2
<b>1 MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>3</b>
1.1 Economía lineal en la Industria .....	3
1.1.1 Consecuencia de su implementación.....	4
1.2 Economía Circular en la Industria .....	6
1.2.1 Niveles de implementación de la Economía Circular.....	8
1.2.2 Las tres erres ecológicas .....	8
1.2.3 Reducir .....	9
1.2.4 Reutilizar .....	10
1.2.5 Reciclar .....	10
1.3 Residuos .....	11
1.4 Ciclo de vida .....	12
1.5 Ecodiseño .....	13
1.6 Mantenimiento Industrial .....	14
1.7 Normativa para un incinerador patológico.....	15
1.8 Incineradores .....	17
<b>2 METODOLOGÍA.....</b>	<b>17</b>
2.1 Análisis de la Metodología .....	17
2.2 Eco Diseño.....	18
2.2.1 Diseño.....	18
2.2.2 Materiales .....	24
2.2.3 Procesos de fabricación .....	32
Aplicación de las tres “R” .....	36
2.3 Reducción.....	36
2.3.1 Sistema de control de emisiones .....	36
2.3.2 Hornos de los incineradores .....	37
2.3.3 Mantenimiento industrial .....	38
2.4 Reutilización o reparación.....	39

2.4.1	Reparación de ladrillos refractarios .....	39
2.4.2	Reparación del acero.....	40
2.4.3	Reparación del concreto refractario .....	41
2.4.4	Reparación del aislante térmico.....	42
2.5	Reciclaje del Incinerador .....	42
<b>3</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>43</b>
3.1	Análisis de las tareas Ecológicas implementadas .....	43
3.2	Resultados sugeridos del diseño .....	45
<b>4</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>49</b>
<b>5</b>	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>50</b>
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>51</b>

## ÍNDICE FIGURAS

Figura 1.	Ciclo Economía Lineal.....	3
Figura 2.	Mapa mundial de la huella ecológica del consumo.....	5
Figura 3.	Ciclo Economía Circular.....	7
Figura 4.	Las 3 “R” ecológicas .....	8
Figura 5.	Ciclo de Vida.....	12
Figura 6.	Representación de la Economía Circular .....	17
Figura 7.	Eco diseño y su cierre de ciclo .....	18
Figura 8.	Cámara principal del incinerador.....	19
Figura 9.	Esquema del modelo de transferencia de calor .....	19
Figura 10.	Modelo cámara secundaria.....	21
Figura 11.	Esquema conexión en paralelo. ....	21
Figura 12.	Diagrama de resistencias para 15 kW .....	22
Figura 13.	Chimenea del Incinerador .....	23
Figura 14.	Esquema recomendado para chimeneas de incineración. ....	24

Figura 15.	Ladrillo refractario.....	25
Figura 16.	Ladrillo refractario del laboratorio de fundición.....	26
Figura 17.	Concreto refractario.....	27
Figura 18.	Lana de roca. ....	29
Figura 19.	Lana de roca .....	30
Figura 20.	Resistencia eléctrica de cuarzo .....	31
Figura 21.	Resistencias eléctricas Khantal A1 .....	31
Figura 22.	Plancha de acero del incinerador.....	32
Figura 23.	Perno M6X1.....	33
Figura 24.	Compuerta inferior de horno .....	33
Figura 25.	Esquema de recogedor tipo pala para la ceniza. ....	34
Figura 26.	Análisis de fuga de calor en la cámara principal. ....	35
Figura 27.	Secuencia para construcción del arco del incinerador.....	36
Figura 28.	Catalizador Cilíndrico.....	37
Figura 29.	Carbón activado, en polvo y granulado. ....	37
Figura 30.	Esquema reparación de ladrillo refractario. ....	40
Figura 31.	Esquema reparación de concreto refractario. ....	41
Figura 32.	Esquema reparación de aislante térmico.....	42

## ÍNDICE TABLAS

Tabla 1.	Límite de emisiones permitidas en un incinerador.....	16
Tabla 2.	Límite permitido de incineradores eléctricos .....	16
Tabla 3.	Variación de flujo de calor a diferentes distancias.....	20
Tabla 4.	Comparación de mediciones anteriores y sugeridas de la cámara principal.....	20
Tabla 5.	Dimensiones ladrillo refractario. ....	26
Tabla 6.	Especificaciones técnicas ladrillo refractario.....	26
Tabla 7.	Especificaciones técnicas concreto refractario.....	27
Tabla 8.	Especificaciones técnicas Acero AISI 304.....	27

Tabla 9.	Especificaciones técnicas Acero AISI 430.....	28
Tabla 10.	Especificaciones del fabricante Acero 304 .....	28
Tabla 11.	Especificaciones técnica lana de roca .....	30
Tabla 12.	Especificaciones técnicas de resistencia eléctricas Niquelina de Cuarzo .....	32
Tabla 13.	Características Perno M6X1 .....	33
Tabla 14.	Cambios sugeridos mediante la implementación de Economía Circular.....	46
Tabla 15.	Costo de materiales. ....	47
Tabla 16.	Comparación precio anterior y precio nuevo. ....	48

# **“IMPLEMENTACIÓN DE LOS CONCEPTOS BÁSICOS DE LA ECONOMÍA CIRCULAR DURANTE EL PROCESO DE DISEÑO DE UN INCINERADOR PATOLÓGICO”**

## **INTRODUCCIÓN**

En la actualidad, las industrias tienen diferente tipo de economía según las necesidades y requerimientos que ellas presenten, como es el caso de la economía lineal y circular. La economía circular se ha convertido en un modelo económico con el fin de aumentar, maximizar el uso de los recursos y minimizar los residuos.

La economía lineal es un modelo donde sigue una secuencia de actividades, las mismas que son extraer las materias primas, realización o producción de productos y el fin de la vida útil del producto, una vez el producto llegue al fin de su vida útil este es desechado. Este tipo de modelo es considerado altamente insostenible debido a la generación masiva de residuos y la explotación de recursos naturales, al ser lineal esta economía se vuelve vulnerable a los costos elevados por depender principalmente de los recursos naturales, teniendo así un gran impacto negativo en el cambio climático y en la calidad de vida del ser humano como: calidad de aire, agua y suelo.

Por otro lado, la economía circular es un modelo económico donde el objetivo principal es la reducción del impacto ambiental debido a la generación de residuos por parte de la fabricación de productos, la economía circular también fomenta aumentar la eficiencia de los recursos basándose en que los residuos de una actividad se transformen en materia prima o energía inicial para una nueva actividad. La economía circular es considerada una alternativa al modelo de economía lineal, haciendo la diferencia en que la economía circular genera valor a lo que se considera desecho en la economía lineal.

La industria en sus diferentes áreas está empezando apostar por la economía circular debido a que sirve en una implementación de maquinaria más sostenible, permitiendo así, la reducción de consumo energético y disminuyendo los residuos generados, esto hace que las empresas puedan reducir costos de fabricación, mejorar su eficiencia y sean más amigables con el medio ambiente.

## **OBJETIVO GENERAL**

Implementar los conceptos básicos de Economía Circular en el proceso de diseño de un Incinerador patológico.

### **Objetivos Específicos**

- Determinar los criterios necesarios para la implementación de Economía Circular en trabajos de diseños mecánico.
- Obtener un procedimiento adecuado para la implementación de Economía Circular en trabajos de diseños mecánicos.
- Sugerir el uso de materiales de bajo impacto ambiental durante los procesos de diseño y en la fabricación de un incinerador patológico.
- Obtener un análisis de costos después de la implementación de los criterios de Economía Circular durante el proceso de diseño y fabricación de un incinerador patológico.

# 1 MARCO TEÓRICO

La economía se centra en la satisfacción de las necesidades de los individuos y la sociedad, lo que lleva a realizar actividades productivas para obtener los bienes y servicios necesarios.

“La economía estudia como las sociedades administran los recursos escasos para producir bienes y servicios, y distribuirlo entre los distintos individuos” (Mochón Morcillo y Beker,2008).

## 1.1 Economía lineal en la Industria

Desde el siglo XVIII, luego de la revolución industrial, las empresas y consumidores han adoptado un enfoque de economía lineal para agregar valor. El proceso inicia con la extracción de recursos naturales, que se procesan mediante la utilización de energía y mano de obra, lo que finalmente da como resultado la producción y venta de bienes o productos.

El modelo de economía lineal se basa en la expectativa de que los consumidores finalmente se desharán de los productos y los reemplazarán por otros totalmente nuevos. La duración de utilidad de los productos constituye la base del modelo lineal, mientras menor sea el tiempo de duración más ganancia tienen las empresas por generar más ventas [2].

La mentalidad de “tomar, hacer, tirar” del modelo lineal se basa en la facilidad de adquirir grandes cantidades de recursos naturales (tanto materia prima como energía para el procesamiento) a un costo razonable, aunque este requisito se ha visto cuestionado en los últimos tiempos debido a la alteración del medio ambiente [3].

La economía lineal se fundamenta en dos principios:

- 1) Crecimiento económico permanente con daño ambiental.
- 2) Consumo de productos creciente.



Figura 1. Ciclo Economía Lineal  
(Fuente: Vamos hacer algo por la Tierra, 2019)

### **1.1.1 Consecuencia de su implementación**

En el modelo de economía lineal no se contempla la reutilización o reciclaje de los productos o sus componentes. Los productos con este modelo eventualmente terminan como desechos, lo que da como resultado a una mezcla heterogénea de materiales biológicos, tecnológicos y de cualquier otro tipo que son difíciles de separar y reutilizar. Estos desechos con frecuencia terminan en vertederos, incineradores o incluso abandonados sin ninguna regulación o legislación [4].

En consecuencia, se pierden gran cantidad de recursos valiosos que podrían reutilizarse, reciclarse y reintegrarse al proceso de producción. Esta característica inherente del modelo económico lineal lo vuelve altamente ineficiente e insostenible.

“Las investigaciones indican que, si la economía lineal persiste, para el año 2050 necesitaremos tres veces más materiales, un 70% más de alimentos y experimentaremos un aumento del 40% en la demanda de agua y energía” (Barretet,2018).

Aunque el modelo lineal facilita la producción rápida, resulta lento cuando se trata de la capacidad del planeta para digerir sus consecuencias. Este modelo tiene sus raíces en un sistema económico capitalista e individualista que fomenta el consumo excesivo dentro de la sociedad, al mismo tiempo prioriza que maximicen las ganancias para las grandes empresas a expensas de los costos sociales y ambientales.

La WWF (Organización internacional de conservación de la naturaleza) es una organización dedicada a detener el deterioro del entorno natural de la Tierra y promover un futuro en el que la humanidad conviva en armonía con la naturaleza. Esta organización lleva en funcionamiento por más de 50 años en la mayoría de los países, la misma a publicado un informe completo de los recursos naturales de todo el planeta, como se puede observar en la figura 2 [4].

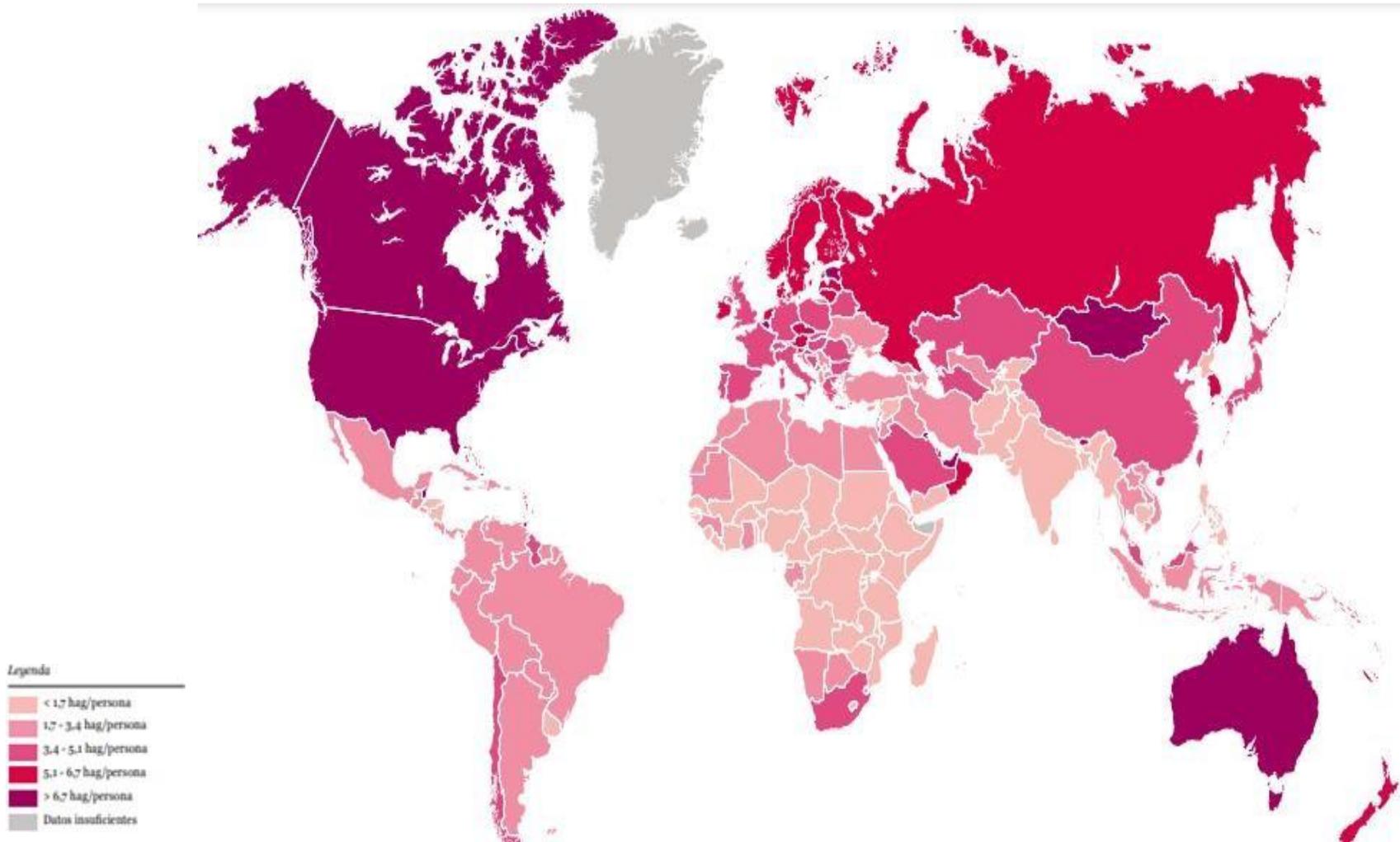


Figura 2. Mapa mundial de la huella ecológica del consumo.  
(Fuente: Informe Planeta Vivo, 2022)

La figura 2 muestra la huella ecológica del consumo, la misma que debería ser menor a la biocapacidad de la tierra, que actualmente es de 1,6 hectárea por persona, también muestra la distribución global de los recursos. Para cada país el comportamiento de consumo es diferente, esto debido a estilos de vida y sus factores como la cantidad de alimento, bienes y servicios utilizados por los habitantes [5].

## **1.2 Economía Circular en la Industria**

La economía circular es un nuevo enfoque para la gestión de recursos que tiene como objetivo pasar del modelo lineal de producción, consumo y eliminación, a un modelo circular. Este cambio de paradigma reconoce las limitaciones del modelo lineal, que se basa en recursos abundantes y de fácil acceso que ahora se están agotando y causando daños ambientales.

Por el contrario, la economía circular se inspira en los procesos de la naturaleza, donde los desechos de un organismo sirven como materia prima para otro proceso. La economía circular busca replicar este ciclo regenerativo tanto en el ciclo biológico como en el técnico o productivo.

El ciclo biológico se enfoca en regenerar a través de varios procesos que transforman los materiales desechados, en el ciclo técnico se enfoca en la recuperación y restauración de los recursos con intervención humana. Facilitar la transición a un modelo circular requiere un nuevo enfoque para el diseño y la concepción de productos de consumo [6].



Figura 3. Ciclo Economía Circular.

(Fuente: La economía circular, la recuperación, la reutilización y el medio ambiente, 2018)

El modelo circular introduce conceptos de ecodiseño para optimizar la cantidad, forma de los materiales utilizados, así como los envases, asegurando su reintegración en el ciclo productivo. Fomenta una práctica sostenible, desde la extracción responsable de las materias primas hasta la logística y el consumo eficiente de los recursos, pensando en alternativas renovables.

Este modelo también alienta a las industrias a tomar decisiones ecológicas, optando por productos que sean duraderos y evitando una cultura del desperdicio. La reutilización de activos y la iniciativa para compartir artículos que se usan con menos frecuencia, como el uso compartido de vehículos, uso compartido de lavanderías, entre otros., mejorando así la eficiencia.

Para completar el ciclo de la economía circular, la correcta separación y reciclaje de los residuos es fundamental, representando así un cambio hacia un enfoque más sostenible y regenerativo de la gestión de recursos [6].

“La economía circular contrasta directamente con el modelo lineal, este modelo permite que los productos, elementos y materiales conserven su valor y utilidad indefinidamente a lo largo del ciclo de producción y uso. Por lo que también añade grandes beneficios ambientales, ventajas sociales y mayor valor para las empresas, garantizando así la sostenibilidad y diversidad de los recursos y materia prima” (Espaliat Canu, 2017).

## 1.2.1 Niveles de implementación de la Economía Circular

### Nivel micro

La sociedad forma círculos donde cualquiera puede participar a través de pequeñas acciones, como desechar adecuadamente la basura y reciclar, o convertirse en usuario alquilando productos en lugar de ser otro consumidor más. Sin embargo, para tener impacto significativo, estas acciones deben coordinarse y formar círculos más grandes [10].

### Nivel meso

El sector empresarial, que actualmente opera con un modelo de creación de valor derrochador de cantidades importantes de recursos. En la última década, las empresas han demostrado mayor compromiso, impulsado por las regulaciones para reducir las negativas. Desde el 2009, ha habido un aumento del 66% en las leyes de cambio climático [10].

### Nivel macro

Está bien documentado que el 75% de consumo de recursos naturales ocurre en las ciudades, que también generan el 50% de los desechos globales y entre el 60% y el 80% de las emisiones de gases de efecto invernadero [9]. Para lograr el desarrollo de una economía circular en las ciudades, se requiere un rediseño total.

## 1.2.2 Las tres erres ecológicas



Figura 4. Las 3 “R” ecológicas  
(Fuente: ASECA, 2018)

En los últimos años se ha producido un aumento significativo de la conciencia medioambiental, tanto entre los sectores reguladores como en la sociedad en general. La disposición inadecuada de los residuos tiene consecuencias negativas para el aire, el suelo, los ríos y mares. Además, el problema se agravado por el crecimiento exponencial de la población, que requiere más lugares para la eliminación de desechos (Lara,2008).

Como resultado, las ciudades se acercan peligrosamente a los grandes vertederos de basura, lo que lleva a una disminución de la calidad de vida, particularmente en los países subdesarrollados.

En el cuidado del medio ambiente implica preservar el entorno natural y evitar la eliminación no autorizada de residuos. Un componente de las “3R” es el reciclaje, un medio para lograr aplacar el impacto ambiental. Sin embargo, las “3R” siguen un orden jerárquico que no empieza por el reciclaje. El primer paso de las “3R” es reducir la generación de residuos, seguido de la reutilización de materiales siempre que sea posible. El reciclaje debe considerarse como último recurso, idealmente, si se da prioridad a la reducción y reutilización, se minimizaría la necesidad de reciclaje (Lara,2008).

### **1.2.3 Reducir**

La primera “R” en la jerarquía es reducir. La generación de residuos está directamente influenciada por dos factores: la creciente población mundial y el consumismo (Balkau,2004). Si bien el control del crecimiento de la población a través de la planificación familiar puede plantear una disminución al crecimiento de la población.

El consumismo es un problema social que impulsa la sobreexplotación de los recursos naturales para obtener materias primas y recursos adicionales en los procesos de producción y distribución, con el fin de sostener la oferta y demanda del mercado (Lara, 2008). Esta extracción excesiva de recursos naturales no solo conduce a la degradación ambiental, sino que también afecta la calidad de vida de las personas, muchas veces sin conocimiento. Por lo tanto, es crucial reducir el consumo y adoptar prácticas de consumo responsable y respetuoso con el medio ambiente, sin comprometer un nivel de vida aceptable.

## **Diferentes maneras de reducir en la industria**

- Planificación de mantenimiento.
- Capacitación en personal.
- Lubricación y limpieza continua.
- Indicadores de desgaste.

### **1.2.4 Reutilizar**

La segunda “R” sugiere explorar un camino alternativo antes de etiquetar algo como basura. En lugar de simplemente tirar lo que ya no necesitamos, es esencial participar en un consumo responsable y considerar como se pueden reutilizar estos elementos. Esta fase exige conciencia, toma de decisiones y un toque de imaginación y creatividad.

Al adoptar la reutilización, no solo se pueden rediseñar y reutilizar los productos, sino también sus componentes y empaques. La participación de instituciones gubernamentales y privadas en la capacitación y orientación sobre los beneficios, proceso y desafíos de reintegrar objetos y empaques al ciclo productivo es crucial (Lara,2008).

## **Diferentes maneras de reutilizar en la industria**

- Reutilizar componentes de otras máquinas de la empresa.
- Relación entre empresas similares para obtención de repuestos reusables.
- Búsqueda de repuestos reusables en línea

### **1.2.5 Reciclar**

La tercera “R” es el reciclaje, un concepto ampliamente conocido en la sociedad que requiere mejoras y debe presentarse como la tercera opción. Tras reducir el consumo y reutilizar todos los componentes de un producto, se procede al proceso de reciclaje. Sin embargo, es importante tener en cuenta que no todos los materiales pueden entrar en esta fase, ya que deben cumplir con criterios específicos.

Es fundamental educar a los consumidores sobre como reciclar correctamente los productos, ya que el proceso de reciclaje no es fácil y requiere inversión y

conocimiento. Es importante que la sociedad entienda que el reciclaje no es un ciclo infinito; los materiales solo se pueden reciclar un determinado número de veces (Lara,2008).

## **Tipos de contenedores**

- Contenedor amarillo: envases plásticos, botellas, latas.
- Contenedor azul: revistas, papel, cartón.
- Contenedor verde: vidrios, botellas, jarros, tarros.
- Contenedor gris: todo residuo no orgánico y elementos no reciclables.
- Contenedor rojo: residuos tóxicos y peligrosos

### **1.3 Residuos**

Los residuos se entienden como cualquier material que se considere inútil o desechado como resultado de los procesos de producción. Este tipo de residuo puede existir en diferentes formas: sólido, gaseoso o líquido y puede ser liberado en cualquier ambiente: suelo, agua, aire [13].

#### Residuos no peligrosos

Todo material o producto resultante de los procesos de producción que se encuentren en diferentes lugares, sin que represente daño alguno para el medio ambiente o la salud humana es considerado, residuo no peligroso. Todo residuo que se tenga relación con un residuo peligroso debe considerarse como tal.

#### Residuos peligrosos

Todo material o producto inflamable, reactivo, infeccioso, explosivo, corrosivo y tóxico, ya que causan daño al medio ambiente y a la salud humana.

#### Residuos patológicos

Estos residuos hacen referencia a todo material proveniente de intervenciones quirúrgicas o procesos de curación hospitalaria, autopsias, áreas de contagio. Estos residuos tienen propiedades altamente dañino, independientemente de su estado físico de la materia.

## Incineración

Todo proceso de incineración debe ser considerado como residuo ya que implica la combustión y quema completa de cualquier residuo peligroso o no, hasta reducirlo a cenizas. La principal función es esterilizar los residuos industriales.

### 1.4 Ciclo de vida

Toda actividad humana genera un impacto sobre el medio ambiente, pero el sector industrial se destaca por sus notables efectos. Acciones como la extracción de materias primas, la generación de residuos, el consumo de agua y el uso de energía alteran o modifican significativamente el entorno en el que se producen (Gómez y Moreno,2010).

El análisis de ciclo de vida evalúa las consecuencias ambientales asociadas con el desarrollo de un producto, proceso o actividad a lo largo de su existencia. Al realizar un análisis de ciclo de vida, es posible atribuir todos los impactos ambientales de un producto, desde su diseño hasta su eventual eliminación, así como evaluar las estrategias de mejora ambiental y su implementación [11].



Figura 5. Ciclo de Vida .  
(Fuente: INFINITIAN Industrial Consulting, 2022)

## 1.5 Ecodiseño

El ecodiseño, también conocido como diseño ecológico, implica considerar los impactos ambientales de un producto o servicio desde su fase de diseño. El objetivo del ecodiseño es reducir la cantidad de materiales utilizados en la producción, mejorar la funcionalidad del producto, anticipar los patrones de uso del consumido y planificar la generación y gestión de residuos.

Es importante que el ecodiseño priorice la seguridad y calidad del producto o servicio y tenga en cuenta todo su ciclo de vida, incluidos los costes de internalización. El eco diseño no está en conflicto con los intereses de los productores o consumidores. Los productores pueden beneficiarse del ecodiseño al reducir el uso de materiales y, por lo tanto, reducir sus costos [12].

Un producto diseñado ecológicamente puede reducir los costos adicionales asociados con el productor. Por otro lado, los consumidores obtendrán acceso a productos más duraderos y funcionales. Según Lutterop y Lagerstedt (Luttropp, 2005), mencionan algunas reglas exitosas para el ecodiseño:

1. Evitar el uso de sustancias tóxicas o, asegurar sus ciclos de reciclaje.
2. Minimizar el consumo de recursos y energía durante la producción y transporte a través de la gestión interna.
3. Promover la reparación y actualizaciones de los productos.
4. Promover una vida más larga del producto.
5. Utilizar materiales de similares características de alta calidad para minimizar el peso sin comprometer la eficiencia del producto.
6. Emplear materiales, tratamientos superficiales o arreglos estructurales para proteger los productos de la suciedad, corrosión o desgaste.
7. Mejorar la accesibilidad, etiquetado, diseño modular, actualizaciones de ser necesario y conocimientos sobre reciclaje.

## 1.6 Mantenimiento Industrial

Es el conjunto de tareas y procedimientos destinadas a garantizar el correcto funcionamiento de los equipos y maquinarias que intervienen en un determinado proceso productivo, con el objetivo de permitir que el proceso se ejecute con la máxima eficiencia.

El mantenimiento industrial está enfocado en preservar el estado óptimo de los equipos para generar menos pérdidas a la empresa, también está relacionado directamente con la conservación del medio ambiente, ya que al alargar el ciclo de vida de un producto este permite que se generen menos desechos o residuos, causando un menor impacto sobre el ambiente [15]. Existen varios tipos de mantenimiento como:

### Preventivo

El mantenimiento preventivo tiene como base una serie de tareas o actividades que son planificadas y que se realizan en plazos definidos, está diseñado con el objetivo de garantizar que los equipos o máquinas de una empresa cumplan con las funciones requeridas dentro de los procesos de producción para optimizar la eficiencia.

Este mantenimiento trata de prevenir y anticipar fallas en los componentes de los equipos y máquinas, como también trata sobre diferentes acciones, tales como reparaciones o sustituciones, adaptaciones, restauraciones, inspecciones o evaluaciones, entre otros, que son realizadas en fechas específicas establecidas o por usos de tiempos activos.

### Correctivo

El mantenimiento correctivo es destinado a reparar o reemplazar el equipo y reanudar las operaciones lo más rápido posible, generando un impacto mínimo en la productividad. En el pasado la mayoría de empresas se enfocaban exclusivamente a este tipo de mantenimiento debido a la falta de conocimiento, presupuesto o falta de personal calificado.

### Predictivo

El mantenimiento predictivo toma en cuenta los parámetros físicos con el desgaste o condición de un equipo o máquina. Esto quiere decir que monitorea

y mide varios parámetros y condiciones de operación para identificar problemas potenciales antes de que ocurra.

El objetivo es predecir cuándo podría fallar un componente de la máquina para que pueda ser reemplazado antes de su fallo, minimizando el tiempo de inactividad y extendiendo la vida útil del componente. Se usan pruebas no destructivas para monitorear los equipos y máquinas, para así identificar señales de posibles fallas o problemas.

## **1.7 Normativa para un incinerador patológico**

### Norma ISO 14001

Es una norma internacional que establece los requisitos necesarios para la implementación de un sistema de gestión ambiental. El objetivo de la norma es ayudar a las empresas a identificar, controlar y mejorar su desempeño o el de sus productos de manera efectiva.

Para la aplicación de esta norma se realiza análisis de entorno, se enfatiza en la importancia de compromiso de la alta dirección para establecer una política ambiental donde la planificación juega un papel importante, ya que esta permite que la empresa establezca metas y objetivos ambientales.

La norma establece la implementación de operaciones efectivas tales como: asignación de recursos, la capacitación del personal, la comunicación interna y externa, con esto pone énfasis en la verificación y evaluación del desempeño ambiental a través de monitoreo, medición y auditorías [19].

### Norma técnica para emisiones a la atmósfera de fuentes fijas

Esta Norma decreta los valores máximos permitidos para las emisiones contaminantes atmosféricas producidas por fuentes fijas, tales como incineradores o las industrias. Esta Norma puede establecer requisitos de monitoreo y reportes de emisiones, así como la implementación de tecnología en control de emisiones [20].

Tabla 1. Límite de emisiones permitidas en un incinerador.

<b>CONTAMINANTE</b>	<b>UNIDAD<sup>(1)</sup></b>	<b>LIMITE DE EMISION</b>
CO	(mg/Nm <sup>3</sup> )	87
HCl	(mg/Nm <sup>3</sup> )	55
NO <sub>x</sub>	(mg/Nm <sup>3</sup> )	611
SO <sub>2</sub>	(mg/Nm <sup>3</sup> )	109
Material Particulado	(mg/Nm <sup>3</sup> )	55
Arsénico, Selenio, Cobalto, Níquel, Telurio	(mg/Nm <sup>3</sup> )	2 <sup>(2)</sup>
Cadmio y Talio	(mg/Nm <sup>3</sup> )	0,1 <sup>(2)</sup>
Plomo, Antimonio, Cromo Total, Platino, Cobre, Vanadio, Zinc, Estaño, Manganeso, Paladio	mg/Nm <sup>3</sup> )	3 <sup>(2)</sup>
Mercurio	(mg/Nm <sup>3</sup> )	0,1
Dioxinas y Furanos EQT	(ng/Nm <sup>3</sup> )	11

(Fuente: Esquema del Manejo y control de los desechos tóxicos y peligrosos generados en el DMQ)

Notas:

(1) Todos los valores están para condiciones normales (1 atmósfera, base seca 0° C y 11% de O<sub>2</sub>).

(2) Suma total de metales pesados

Tabla 2. Límite permitido de incineradores eléctricos.

<b>CONTAMINANTE EMITIDO</b>	<b>UNIDADES<sup>[1]</sup></b>	<b>Valores Máximos</b>
Material Particulado	mg/Nm <sup>3</sup>	150
Óxidos de Nitrógeno	mg/Nm <sup>3</sup>	2 000
Dióxido de Azufre	mg/Nm <sup>3</sup>	400
Monóxido de Carbono	mg/Nm <sup>3</sup>	1 500

(Fuente: Dirección Metropolitana Ambiental, Resolución No 003, Capítulo III. 14 octubre 200)

## 1.8 Incineradores

Un incinerador es un dispositivo diseñado para llevar a cabo la combustión controlada de residuos sólidos a altas temperaturas. Esto implica que los materiales introducidos en el incinerador se transforman en otra forma de energía. Un incinerador sirve para reducir el volumen de materiales sólidos a través de altas temperaturas controladas [18].

## 2 METODOLOGÍA

### 2.1 Análisis de la Metodología

Para el estudio presente sobre la implementación de la Economía Circular en un incinerador patológico, se establece las características y necesidades mediante el método de investigación descriptiva, partiendo desde el punto de vista ecológico.

La investigación descriptiva se enfoca en la recopilación de datos para estudiarlos, analizarlos e identificar las relaciones de las variables para así comprender y describir un estudio realizado.

El capítulo uno del presentes trabajo se recopiló información de modelos circulares, evaluaciones de impacto ambiental, normativas reguladoras, con el fin de plantear adecuadamente un modelo circular para el incinerador patológico.



Figura 6. Representación de la Economía Circular.  
(Fuente: Carbono Neutral, 2020)

## 2.2 Eco Diseño

El Eco Diseño tiene como objetivo principal la reducción del impacto ambiental que generan las maquinas o procesos, permitiendo así la optimización de recursos, disminución de residuos. Este modelo también permite gestionar una nueva vida útil a los materiales o maquinaria.

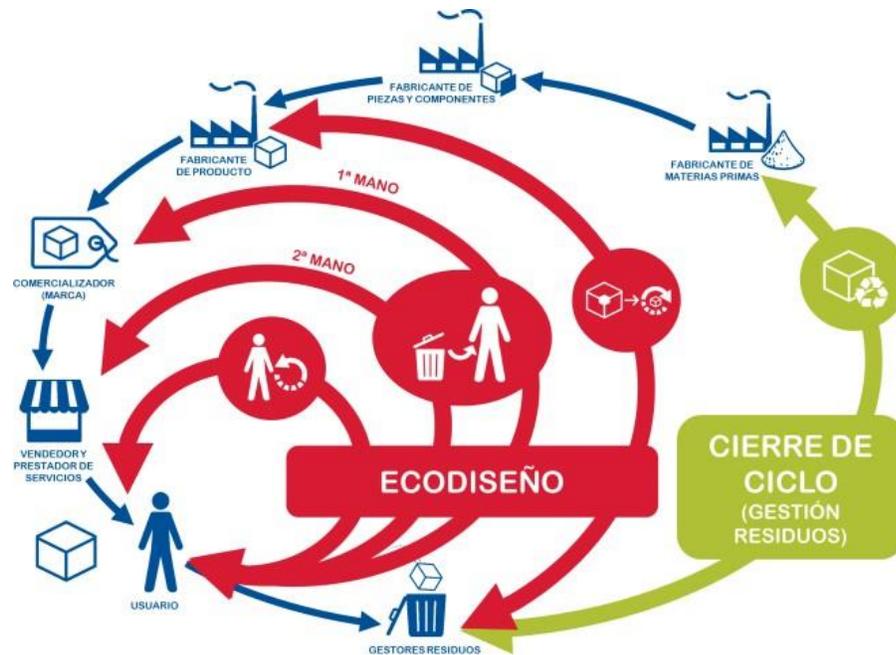


Figura 7. Eco diseño y su cierre de ciclo  
Fuente: IHOBE,2017

Para el estudio dividimos nuestro Eco diseño en tres segmentos.

- Diseño
- Materiales
- Procesos de fabricación

### 2.2.1 Diseño

#### a. Mayor eficiencia en la cámara principal

Se plantea la reducción de las dimensiones del horno, ya que no perjudica al funcionamiento ni alcance deseado, al disminuir el volumen de la cámara principal

mejora la distribución de temperatura sobre la masa a incinerar. La reducción permite aumentar la eficiencia de la cámara principal y reducir material y costo de fabricación.

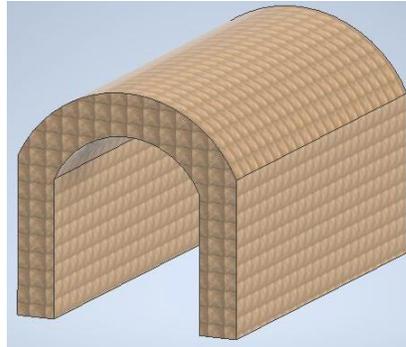


Figura 8. Cámara principal del incinerador.  
(Fuente: Naranjo, A., Velasco, E., 2022)

Para aumentar la eficiencia se acelera el flujo de calor que le llega a la masa a incinerar. Para el estudio se tomará el caso como transferencia de calor por conducción.

La capa de aire será tomada como una pared de espesor “ $x$ ”, se supondrá una temperatura a la superficie del material a incinerar, luego se calculará el flujo de calor variando el espesor de la capa de aire para observar su comportamiento. Se obtendrá valores adecuados para la reducción de las dimensiones de la cámara principal.

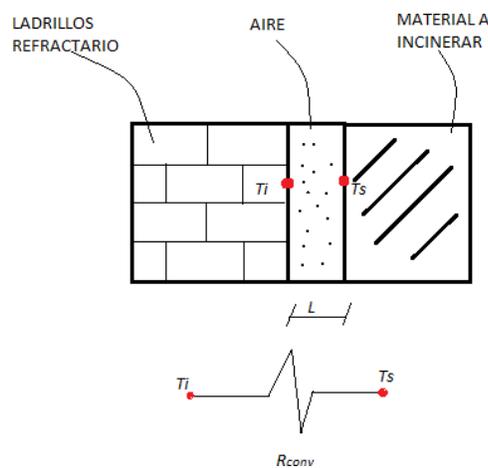


Figura 9. Esquema del modelo de transferencia de calor.  
(Fuente: Propia)

$$Q = \frac{T_i - T_s}{R_{conv}} \quad (\text{Ec. 1}) \text{ (Cengel \& Ghajar, 2011)}$$

$$R_{conv} = \frac{L}{h * A} \quad (\text{Ec. 2}) \text{ (Cengel \& Ghajar, 2011)}$$

Donde:

$Q$ : Flujo de calor

$T_i$ : Temperatura de la pared en °C

$T_s$ : Temperatura de la superficie de la masa en °C

$R_{conv}$ : Resistencia térmica de convección

$L$ : Distancia de la pared de aire

$h$ : Coeficiente de conductividad térmica del aire

$A$ : Área de la pared de aire

$$Q = h * A * \frac{T_i - T_s}{L}$$

Tabla 3. Variación de flujo de calor a diferentes distancias.

L (m)	Ti (°C)	Ts (°C)	Q (kW/m2)
0.05	1100	800	207.960
0.1	1100	800	103.980
0.15	1100	800	69.320
0.2	1100	800	51.990

Como se puede observar en la tabla 3, el valor del flujo de calor, aumenta si la distancia entre los ladrillos refractarios y el material a incinerar es menor, y este disminuye si este material esta más alejado de las paredes. Por lo cual se propone reducir dimensiones de la cámara.

Tabla 4. Comparación de mediciones anteriores y sugeridas de la cámara principal.

Magnitud	Dimensión	Dimensión Sugerida	Unidad
Largo Cámara Principal	2280	2280	mm
Largo Útil Cámara Principal	2116	2116	mm

Ancho Útil Cámara Principal	912	821	mm
Ancho Total Cámara Principal	1368	1277	mm
Alto Cámara Principal (incluido arco)	1114	1003	mm
Alto Pared Interior	819	738	mm

b. Cámara secundaria

En la cámara secundaria se produce la eliminación de partículas liberadas en la primera fase de incineración, esto para no generar residuos de mayor grado de contaminantes. Para esto se plantea aumentar potencia y generar más calor, resultando así una mejor quema de partículas liberadas y los gases generados.



Figura 10. Modelo cámara secundaria  
(Fuente: Naranjo, A., Velasco, E., 2022)

Para aumentar la potencia se aumentará el número de resistencias y el valor de la corriente, dando así con la ley de Joule, que establece que la potencia disipada ( $P$ ) es igual a corriente ( $I$ ) al cuadrado por la resistencia ( $R$ ). La configuración se la realiza mediante una conexión en paralelo de las resistencias, esto permite aumentar la corriente ya que se divide para cada resistencia en paralelo, evitando así que los componentes se dañen por sobrecarga.

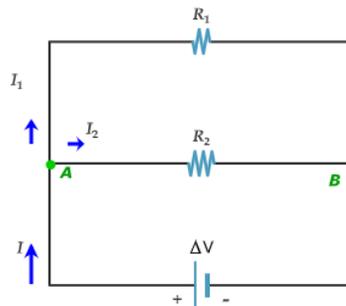


Figura 11. Esquema conexión en paralelo.  
(Fuente: Educaplus, 2011)

La potencia actual del incinerador es 15 kW, para poder elevar la potencia cambiaremos las resistencias Khantal A1 por resistencias niquelina de cuarzo distribuyéndolas como muestra la figura 12 disminuyendo así la resistencia y aumentando la corriente de entrada.

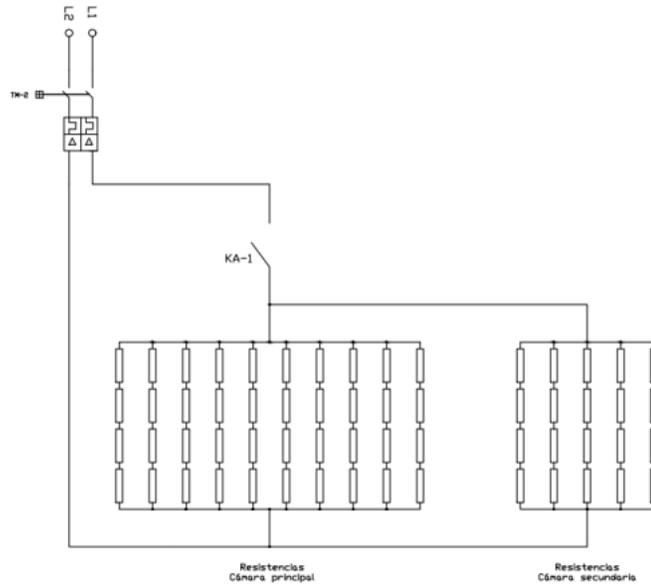


Figura 12. Diagrama de resistencias para 15 kW  
(Fuente: Flores, V., Mena, D., 2022)

$$P_i = P * \#R$$

$P_i$ : Potencia cámara secundaria

$P$ : Potencia de la resistencia

$\#R$ : Numero de resistencias

Potencia actual de la cámara secundaria con resistencias Khantal A1

$$P_2 = 400W * 10$$

$$P_2 = 4000 W$$

Potencia sugerida de la cámara secundaria con resistencias Niquelina de Cuarzo

$$P_2 = 375W * 15$$

$$P_2 = 5625 W$$

Potencia total de entrada

$$P = 20625 W$$

Al aumentar el número de resistencias en la cámara secundaria la potencia requerida será de 22500 W, permitiendo así una mejor combustión de los gases. Las resistencias generarán mayor transferencia de calor ya que su resistencia disminuirá y la corriente aumentará, permitiendo así un mejor procesamiento para los residuos sólidos y gases.

c. Chimenea

La función de la chimenea de un incinerador es la evacuación de los gases evitando la acumulación de humo o residuos tóxicos o no deseables. Se encarga de dispersar las emisiones generadas en la incineración mediante un flujo estable y controlado.

Para el proyecto se propone remplazar o adecuar una chimenea recta debido a que la chimenea utilizada tiene 2 curvaturas, perjudicando así el flujo correcto de los gases de la incineración, también el tener cambios bruscos genera turbulencias y puede afectar al rendimiento del incinerador.



Figura 13. Chimenea del Incinerador.  
(Fuente: Propia)

Como se puede observar en la figura 13 la chimenea puede generar acumulación de residuos sólidos y partículas de ceniza, con el tiempo esto puede reducir la

capacidad de salida de los gases generando resistencia al flujo de los mismos, generar malos olores por la acumulación y también puede hacer que residuos o partículas se regresen a la cámara secundaria y afecte al rendimiento del incinerador.

Al presentar desviaciones la chimenea

En la Norma Ambiental Ecuatoriana Anexo 1, señala los límites máximos permisivos de emisiones contaminantes gaseosas en Instalaciones de Incineración, según Gómez, A., la altura recomendada de una chimenea para incineradores debe ser 10 metros, dejando mínimo 3 metros en el exterior del techo para permitir la correcta degradación de los gases contaminantes como se muestra en la figura 14.

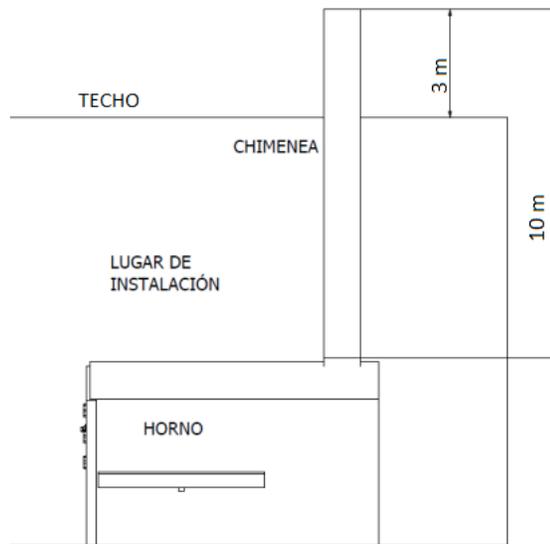


Figura 14. Esquema recomendado para chimeneas de incineración.  
(Fuente: Naranjo, A., Velasco, E., 2022)

La sugerencia de cambio como se muestra en la figura 14 evitará la acumulación de residuos sólidos eliminando así la posible generación de malos olores, también permite que la velocidad de salida de los gases no se vea afectada y su funcionalidad sea óptima.

### 2.2.2 Materiales

Es importante realizar un buen sistema de gestión para la materia prima reciclada y nueva, esta mediante seguimiento de los flujos de materiales para una buena utilización y sostenibilidad de los mismos.

### Adquisición de Ladrillo refractario

El ladrillo refractario se lo puede obtener de diferentes maneras, ya sea nuevo o reciclado. Nosotros procedemos a realizar un estudio de existencia de lugares de reciclaje para ladrillos refractarios. Entre los cuales disponemos de:



Figura 15. Ladrillo refractario  
(Fuente: FG refractario, 2023)

➤ Plus ambiente S.A.

Plus ambiente S.A. una solución a la obtención de ladrillos refractarios, esta empresa nos brinda: asesoramiento personal, ubicación cercana, menor costo del ladrillo, ladrillos refractarios reciclados.

➤ Crematorio San Francisco

Crematorio San Francisco otra opción de obtención de ladrillos, cuenta con dos hornos incineradores de los cuales reciclan sus materiales, la desventaja es que no cuentan con suficientes ladrillos refractarios reciclados.

➤ Laboratorio de Fundición Escuela Politécnica Nacional

El laboratorio de fundición de la escuela Politécnica Nacional, cuenta con ladrillos refractarios perteneciente a un horno cubilote actualmente desarmado, lo que permite el reciclaje de los ladrillos refractarios y posteriormente implementarlos a este proyecto.

### *Selección de proveedor de ladrillo refractario reciclado*

Como resultado de los diferentes lugares de reciclado de ladrillos, se selecciona al Laboratorio de Fundición de la Escuela Politécnica Nacional como proveedor principal de los ladrillos refractarios.



Figura 16. Ladrillo refractario del laboratorio de fundición.  
(Fuente: Propia)

Tabla 5. Dimensiones ladrillo refractario.

<b>Magnitud</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Unidad</b>
Largo	228	mm
Ancho	114	mm
Alto	63	mm

Tabla 6. Especificaciones técnicas ladrillo refractario.

<b>Magnitud</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Unidad</b>
Temperatura de trabajo	1400	°C
Densidad	2,5	gr/cm <sup>3</sup>
Porosidad aparente	4 – 8	%
Resistencia a la flexión	130	Kg/cm <sup>2</sup>

### Adquisición Concreto refractario

El concreto refractario no se puede reciclar, debido a esto se lo debe comprar. Se lo puede comprar.



Figura 17. Concreto refractario.  
(Fuente: MAREC,2023)

Tabla 7. Especificaciones técnicas concreto refractario.

Magnitud	Dimensión	Unidad
Temperatura de trabajo	1400	°C
Densidad	2,4	gr/cm3
Resistencia al impacto a 1300°C	2000	Lb/plg2
Modulo rotura a 1300°C	500	Lb/plg2

### Adquisición Acero

Debido a que las propiedades del acero pueden cambiar dependiendo del tipo de reciclaje, se utilizará acero nuevo, se tiene como opción el acero inoxidable AISI 304 y el acero AISI 430 para la cubierta del incinerador. Para los tubos estructurales donde se ensambla la puerta se usará acero ASTM A36. Todos estos aceros tienen cierto grado de resistencia a la corrosión.

Tabla 8. Especificaciones técnicas Acero AISI 304.

Magnitud	Dimensión	Unidad
Módulo de elasticidad en tensión	200	GPa
Dureza Brinell	92	RB

% Elongación en 51 mm	50	%
Resistencia a la tracción	515	MPa

Tabla 9. Especificaciones técnicas Acero AISI 430.

Magnitud	Dimensión	Unidad
Módulo de elasticidad en tensión	200	GPa
Dureza Brinell	B85	RB
% Elongación en 51 mm	25	%
Resistencia a la tracción	438	MPa

Como se observa en las tablas las propiedades de los dos aceros son similares pero su composición química es diferente, ya que el acero 304 contiene 10,4% de Níquel a comparación del acero 430. Esta cantidad hace que el acero 304 sea altamente resistente a la oxidación en entornos más agresivos, por lo cual es la opción para este proyecto.

Tabla 10. Especificaciones del fabricante Acero 304

ESPEORES	0.40 – 15mm	
ACABADOS	2B – N4 – N1	
DIMENSIONES	1220 x 2440 mm (standard)	
DESCRIPCIÓN DE ACUERDO A LA NORMA	JIS	SUS 304
	ASTM	304
	DIN	4301

## Adquisición Aislante térmico

El aislante térmico sirve para aislar la temperatura generada en las cámaras incineradoras, se tiene como opciones la lana de roca funcional hasta temperaturas de 1000°C a comparación de la lana de vidrio superior a 1000°C.



Figura 18. Lana de roca.  
(Fuente: Rockwool,2023)

### ➤ Laboratorio de Fundición Escuela Politécnica Nacional

El laboratorio de fundición de la Escuela Politécnica consta de un horno cubilote en estado de reciclaje, permitiendo así la obtención del aislante térmico

### ➤ ACIMCO

Esta empresa cuenta con programas de reciclaje de aislantes térmicos, con excelentes propiedades. Esta la procesa y la repara o refina para su adquisición a menor costo.

### *Selección de proveedor de aislante térmico*

ACIMCO, Aunque se puede reciclar es mejor comprar producto nuevo lana de roca ya que uno reciclado no conserva sus propiedades originales y durará menos tiempo elevando costo.



Figura 19. Lana de roca  
(Fuente: ACIMCO, 2023)

Tabla 11. Especificaciones técnica lana de roca

Magnitud	Dimensión	Unidad
Conductividad Térmica	0,034	W/mK
Espesor	40	mm
Ancho	500	mm
Largo	1200	mm
Peso	3,2	Kg/m <sup>2</sup>

### Adquisición resistencias eléctricas

El reciclaje de resistencias eléctricas no es muy común, ya que la mayoría son hechas a medida de los requerimientos del usuario. Por este motivo este material debe ser adquirido como nuevo.

#### ➤ Resistencia niquelina de cuarzo

Estas resistencias son hechas de alambre de níquel – cromo, encapsulada en tubos de cuarzo. Estas presentan alta resistencia al calor sin deformarse, también son conocidas por su rápida respuesta en niveles energéticos ya que me convierte la energía eléctrica en calor en menor cantidad de tiempo que otras resistencias.

Una de las cualidades del cuarzo es que es duradero y resistente al impacto, esto contribuye a una larga vida útil del elemento relacionándose directamente con el eco diseño. Estas resistencias alcanzan una temperatura de trabajo de 1000 ° - 1100° centígrados.



Figura 20. Resistencia eléctrica de cuarzo  
Fuente: (Resistencias del Oriente Ltda., 2021)

➤ Resistencias Khantal A1

Estas resistencias alcanzan temperaturas hasta los 1375 ° centígrados, son conocidas por tener una estabilidad química adecuada y ser de duraderas en ambientes corrosivos. Consta de una baja expansión térmica, permitiendo que conserve su forma aun trabajando a altas temperaturas.



Figura 21. Resistencias eléctricas Khantal A1  
(Fuente: Hornos Industriales A&M, 2021)

*Selección de resistencias eléctricas*

La elección de las resistencias se basa en la economía sostenible o circular, mediante este criterio se opta por las resistencias de niquelina de cuarzo. Esto debido a su alta

durabilidad y su rápido alcance a la temperatura deseada, reduciendo el tiempo de incineración y aumentando la eficiencia.

Tabla 12. Especificaciones técnicas de resistencia eléctricas Niquelina de Cuarzo

Magnitud	Dimensión	Unidad
Temperatura de trabajo	1100	°C
Potencia	375	W
Largo	400	mm
Peso	3,2	Kg/m2

### 2.2.3 Procesos de fabricación

#### Ensamble plancha de acero

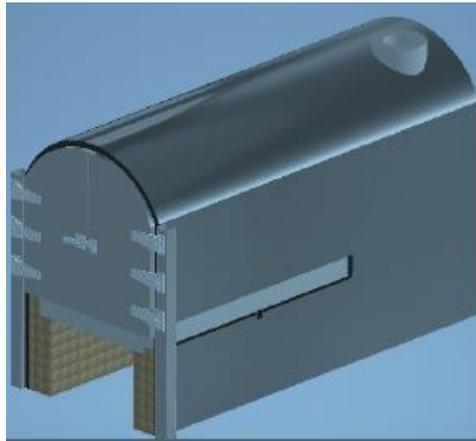


Figura 22. Plancha de acero del incinerador.  
(Fuente: Naranjo, A.; Velazco, E.,2022)

El ensamble consiste en unir la plancha de acero mediante soldadura, impidiendo así la posibilidad de volver a utilizar o reciclar este material, por lo tanto, se plantea a posibilidad de cambiar la soldadura por sujeción mediante pernos, permitiendo así el reciclaje y ayudando a un fácil mantenimiento de los componentes internos como: aislante térmico, ladrillos refractarios.



Figura 23. Perno M6X1  
(Fuente: Juters Tools, 2023)

Tabla 13. Características Perno M6X1

Tipo de perno	Hexagonal milimétrico
Material	Acero inoxidable 304
Dimensiones	12 – 70 mm
Resistencia a la tensión	100 000 psi
Especificación	DIN 933

Los pernos M6 gracias a su tamaño versátil y su fácil disponibilidad se encuentran en aplicaciones de sujeción fuerte de estructuras metálicas, equipos industriales, entre otros. Los pernos al ser de acero 304 tienen gran resistencia a la corrosión y resistencia química

### Compuerta inferior

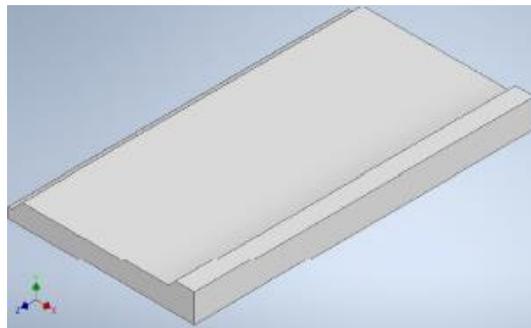


Figura 24. Compuerta inferior de horno.  
(Fuente: Naranjo, A.; Velasco, E., 2022)

La compuerta inferior es fundida de concreto refractario y es móvil para que la ceniza descienda y se pueda recolectar, esto aumenta el costo de fabricación debido a que se debe implementar rieles y un motor para su movilidad. La sugerencia de cambio es tener una base fija y sellada de concreto refractario, disminuyendo el escape de energía y reduciendo los costos.

Los residuos y la ceniza se pueden retirar con herramientas tipo palas de metal, pero más alargadas en comparación al estándar para protección del operador, así se evita la construcción de rieles y se disminuye el costo de fabricación.

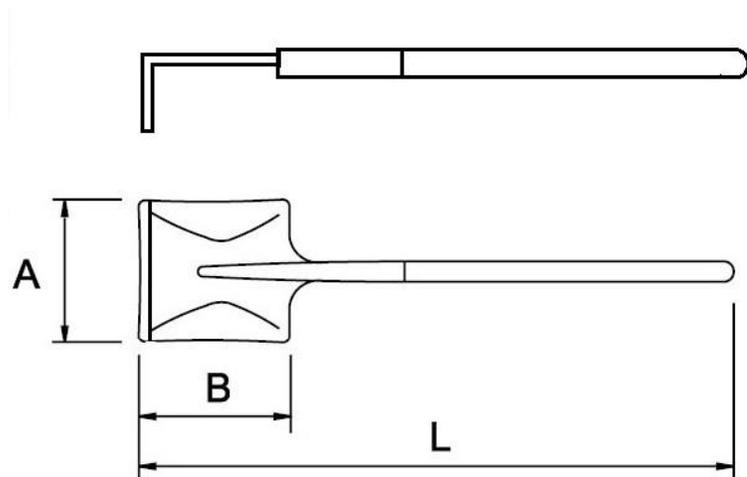


Figura 25. Esquema de recogedor tipo pala para la ceniza.  
(Fuente: Propia)

A diferencia de una pala normal, se plantea alargar la longitud del mango y al final tener un filo doblado para la recolección de la ceniza mediante arrastre y así evitar accidentes del operador, la herramienta está hecha de acero inoxidable y su mango de madera. La utilización de esta herramienta permite la reducción de costo en la fabricación del incinerador.

#### Hermeticidad en la compuerta de ingreso

La función del incinerador patológico es la eliminación segura y adecuada de desechos hospitalarios, tejidos, órganos y desechos biológicos. Para el diseño del incinerador la hermeticidad es un factor importante en el cual se debe evitar la liberación de gases y productos nocivos al medio ambiente, mediante un sistema de sellado robusto.

En el incinerador de cremación del Proyecto de Trabajo y Titulación de Naranjo, A y Velasco, J., en el cual hacemos el estudio de implementación de Economía Circular, la compuerta de ingreso presenta errores de construcción, debido al proceso de fabricación. Los errores son el cierre no adecuado de la compuerta con la cámara del horno, salida de humo, gases y partículas nocivas como se muestra en la figura 26. Estos errores hacen que el incinerador no sea hermético.

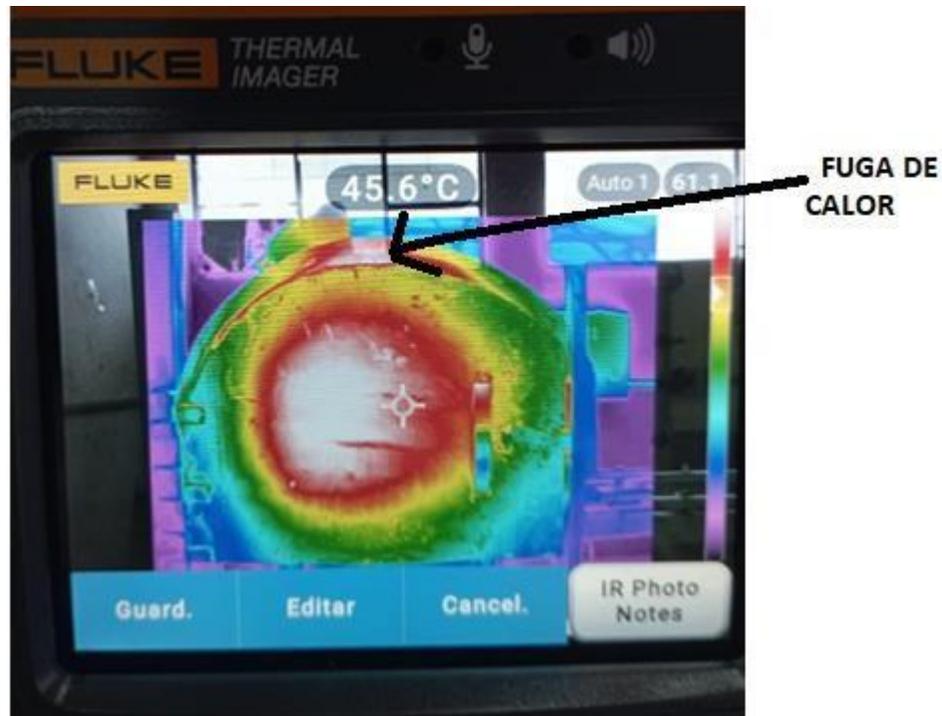


Figura 26. Análisis de fuga de calor en la cámara principal.

De acuerdo con la información brindada del incinerador de la figura 26 la cámara principal del horno fue realizada antes que la compuerta, creando así fallos de cierre y mala hermeticidad.

Para una aproximación de la pérdida de calor por fuga en la compuerta se puede trabajar con la ley de enfriamiento de Newton, mediante la cual se mide el calor perdido a través del área de fuga.

$$Q = k * A(T_H - T_C)$$

$Q$ : Calor perdido por fuga

$k$ : conductividad térmica del concreto refractario

$A$ : área de la fuga

$T_H$ : temperatura interna del incinerador

$T_C$ : temperatura ambiente

$$Q = 1.8 \frac{W}{m * ^\circ K} * 0.006m^2 * (900 - 26)^\circ K$$

$$Q = 9.43 W$$

La compuerta al no cerrar herméticamente en la parte superior crea un área aproximada de 0.006 m<sup>2</sup>, con lo cual existe una fuga de calor aproximada de 9.43 watts, lo que influye en la eficiencia del incinerador. La sugerencia establecida en este proyecto es primero realizar la compuerta, darle buenos acabados de superficiales para luego sacar un molde que permita ser usado en la construcción del arco de la cámara principal. Una vez realizada las dos partes se verifica la hermeticidad del incinerador, observando que no existe escape de humo o gases.

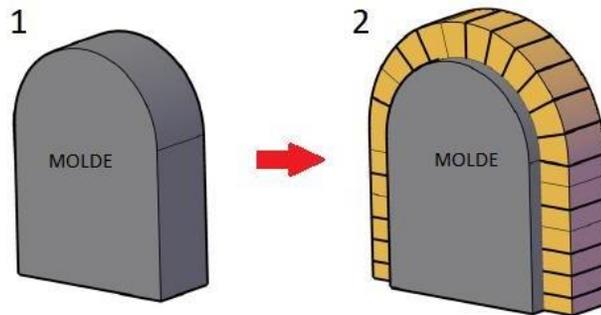


Figura 27. Secuencia para construcción del arco del incinerador.  
(Fuente: Propia)

## Aplicación de las tres “R”

Parte fundamental de la Economía Circular es la implementación de las tres “R”, reducción, reutilización y reciclaje. A continuación, presentamos sugerencias para la aplicación de las mismas en un incinerador patológico.

### 2.3 Reducción

#### 2.3.1 Sistema de control de emisiones

##### Sistema mediante Catalizador

Este sistema permite reducir la toxicidad y cantidad de contaminantes presentes en los gases generados en el incinerador, el catalizador ayuda a convertir los residuos dañinos en compuestos menos perjudiciales antes de liberarse al medio ambiente. Los catalizadores transforman los gases nocivos con un 90 % de eficacia, sin embargo, no resisten tan altas temperaturas.



Figura 28. Catalizador Cilíndrico.  
(Fuente: GRWA Performance, 2023)

### Sistema mediante Carbón activado

El carbón activado mediante su gran fuerza de atracción química permite la adsorción de contaminantes y compuestos volátiles presentes en gases. Sirve como sistema de control de emisiones de humo, gases tóxicos o industriales, y malos olores.



Figura 29. Carbón activado, en polvo y granulado.  
(Fuente: Manufactura, proveedores y productos de China, 2023)

Se selecciona al carbón activado como sistema de control ya que este puede ser ajustado al tamaño de la chimenea con mayor facilidad que un catalizador, el carbón activado granulado ayudará a mejorar la calidad de aire en su entorno y reducirá los gases nocivos generados por la cámara principal.

### **2.3.2 Hornos de los incineradores**

#### Horno de combustión

Ventajas

- Gran poder calorífico
- Menor costo de instalación
- Mayor flexibilidad de diseño

#### Desventajas

- Utilización de combustibles fósiles
- Menor eficiencia
- Mantenimientos con más frecuencia
- Mayor cantidad de contaminación y emisiones

#### Horno eléctrico

#### Ventajas

- Mayor eficiencia que el de combustible
- Mejor control de temperatura
- Utilización solo de electricidad
- Menor cantidad de emisiones
- Mantenimientos con menor frecuencia

#### Desventajas

- Mayor costo de instalación
- Menor capacidad de calor
- Dependencia de red eléctrica
- Mayor complejidad de instalación

Debido al impacto ambiental y daño a la salud humana que causan los gases residuales por la combustión de combustibles fósiles, y partiendo desde el punto de vista del Eco Diseño. Los incineradores eléctricos son la solución a una reducción de contaminantes lanzados al aire.

### **2.3.3 Mantenimiento industrial**

Para alargar el ciclo de vida del incinerador y ayudar en la economía circular, se ha establecido a que se debe realizar un mantenimiento preventivo. El mantenimiento detallará todas las actividades a realizar en cada uno de sus componentes a su debido cronograma.

El manual de mantenimiento debe ser realizado por personal calificado. A continuación, una breve descripción general de las partes del mantenimiento preventivo para un incinerador patológico.

➤ Cronograma

El cronograma es una de las partes fundamentales en el mantenimiento preventivo, esta se dedica a detallar las fechas exactas donde debe realizarse el mantenimiento para así prever cualquier fallo posible. Aquí se observa los desgastes, la corrosión o daños que presente el estado actual del incinerador.

➤ Limpieza y lubricación

La eliminación de residuos acumulados como ceniza o residuos sólidos es necesariamente hacerlo regular. Esto beneficia a la eficiencia de la combustión y al rendimiento general del equipo.

La lubricación de los elementos es fundamental, ya que estos permiten evitar que los materiales se desgasten, prevengan la corrosión, eliminar partículas o impurezas, también disminuye la fricción que hay entre materiales. Es importante utilizar el lubricante indicado por el fabricante.

➤ Calibración

La calibración brinda la precisión y confiabilidad del equipo, esto se lo realiza mediante comparación de instrumentos estandarizados. Calibrar cualquier tipo de medidor o sensor como el de temperatura para garantizar el funcionamiento óptimo.

➤ Capacitación de personal

Otro paso importante dentro del mantenimiento es la capacitación y enteramiento adecuado del personal para una correcta ejecución de las tareas con el incinerador, esto hará que se evite cualquier fallo humano y se cuide la salud humana y el equipo de trabajo.

## **2.4 Reutilización o reparación**

### **2.4.1 Reparación de ladrillos refractarios**



Figura 30. Esquema reparación de ladrillo refractario.  
(Fuente: Propia)

### Limpieza

Se la realiza mediante un cepillo o aspiradora, asegurándose de la superficie quede limpia y libre de polvo.

### Evaluación de daños

Inspeccionar visualmente el ladrillo refractario y determinar el alcance del daño. Si el daño es menor, es posible una reparación. Si el daño es demasiado grande o compromete su funcionalidad, se reemplaza por completo.

### Preparación y aplicación de la mezcla

Para la mezcla se utilizará cemento refractario especial con agua, esta mezcla debe ser homogénea. Usar una espátula para esparcir la mezcla sobre el ladrillo, ejercer presión para una mejor adherencia de la mezcla. Revisar si está a nivel con los otros ladrillos.

### Curado

Dejar secar el ladrillo al aire por un día entero en un lugar seguro.

## **2.4.2 Reparación del acero**

### Limpieza

Se realiza una limpieza de manchas u oxidaciones con la ayuda de productos específicos para acero y la protección adecuada, si son manchas con la ayuda de una mezcla de bicarbonato de sodio con agua. En el caso de oxidaciones con lijas, hacer un frotado suave hasta la eliminación del óxido.

### 2.4.3 Reparación del concreto refractario



Figura 31. Esquema reparación de concreto refractario.  
(Fuente: Propia)

#### Evaluación de daños

Antes de aplicar una reparación se debe inspeccionar y evaluar la magnitud de los daños como: fisuras, corrosión, erosión.

#### Selección de material y Preparación de superficie

Se debe seleccionar el material compatible con el concreto refractario, realizar una limpieza del área afectada. Eliminar concreto suelto o desprendido, limpiar con cepillos de alambre, lijas de grano grueso, cinceles.

#### Aplicación y secado

Para la aplicación se realiza la mezcla con las proporciones adecuadas según el fabricante, se la aplica mediante espátulas o paletas llanas. Una vez realizada la aplicación se lo deja curar el tiempo indicado por fabricante en una zona controlada para garantizar el curado.

## 2.4.4 Reparación del aislante térmico



Figura 32. Esquema reparación de aislante térmico.  
(Fuente: Propia)

### Protección y Evaluación de daño

Para el manejo de lana de vidrio o lana de roca se usa ropa protectora, guantes, gafas y máscara de gases, para evitar inhalación de gases o fibras e irritación de la piel. Se inspecciona y evalúa el daño.

### Reparación o reemplazo

Si la lana está reducida el espesor o parte de ella está comprometida con algún otro material, se puede intentar aflojarla con las manos o herramientas para poder restaurar su espesor y su rendimiento. Si el área está demasiado dañada se utiliza cuchillas o tijeras y se corta el área comprometida, reemplazándola por una nueva y verificando que se encuentre ajustada y en contacto con las superficies circundantes.

### Sellado de juntas y prevenciones futuras

Para las juntas o grietas entre secciones de la lana se utiliza cinta adhesiva especial para sellar y evitar pérdida de aislamiento. Una vez reparada el aislante se revisa la posible causa del origen del daño.

## 2.5 Reciclaje del Incinerador

Para nuestro estudio hemos realizado un incinerador desde el punto de la economía circular con materiales ya reciclados y otros nuevos, por lo que los materiales una vez cumplidos su nuevo ciclo de vida se disponen de otros terceros para su nuevo reciclaje.

El reciclaje del incinerador se puede considerar con dos aspectos, el reciclaje de los componentes y el tratamiento de las cenizas, para algunos de los elementos se toma ayuda de instituciones dirigidas al reciclaje.

#### Reciclaje de los componentes

Los materiales del incinerador que ya llegaron al fin de su ciclo de vida se proceden a desensamblar del equipo para ser tratados por separado. Los materiales que se pueden desensamblar son:

- Ladrillo refractario
- Resistencias eléctricas
- Aislante térmico
- Planchas de acero
- Material eléctrico: cables, sensores, fuente de energía

Una vez realizado el desensamble, se procede a establecer contacto con la institución o destruirlos, si la opción es la de utilizar instituciones se debe coordinar el transporte y el correcto manejo de los mismos. Algunas instituciones de reciclaje se las puede observar en la lista de Gestores para el manejo de materiales peligrosos y/o desechables registrada en el Ministerio Del Ambiente, Anexo 2.

#### Tratamiento de cenizas

Una vez obtenida la ceniza del incinerador se procede a realizar una gestión adecuada para su eliminación, la primera opción es arrojarla en vertederos especiales o hechos específicamente para las cenizas, otra manera es estabilización lo cual somete a la ceniza a tratamientos para reducir su toxicidad y estabilizarlas, por último, si las cenizas no representan ser nocivas se las puede utilizar en la industria de cemento.

### **3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **3.1 Análisis de las tareas Ecológicas implementadas**

##### Análisis del Eco Diseño implementado

La reducción de las dimensiones resultantes de la cámara principal están dentro de las dimensiones estándares que tienen los incineradores patológicos, se reduce un

10% el volumen de aire dentro de la cámara principal teniendo así un ancho útil de dimensión 821 mm y una altura de 738 mm, estas dimensiones no afectan a la cantidad de oxígeno que se requiere para que exista el proceso de oxidación; sin embargo, ayudan a aumentar la transferencia de calor.

La cámara secundaria se compone de 20 resistencias de níquelina de cuarzo con disposición de 5 ramales en paralelo y en cada ramal 3 resistencias en serie, esto debido que cada resistencia mide alrededor de 40 cm por lo cual cada ramal mide aproximadamente 120 cm, las resistencias son colocadas a lo largo de la cámara secundaria que tiene un largo útil de 126 cm. La potencia nueva con esta disposición es de 5625 W existiendo una diferencia de 1625 W a comparación con el diseño anterior que generaba 4000 W utilizando las resistencias Khantal A1.

La chimenea cuenta con un diámetro de 250 mm determinado en el estudio de Naranjo, A. y Velasco, E. establecido para este incinerador, la forma de la chimenea se dispone de manera recta con una altura de 7 metros hasta el borde del techo y 3 metros sobre el borde del techo, esto gracias al estudio realizado por Gómez, A.

Para los materiales se investigaron algunas instituciones recicladoras, en el caso de los ladrillos refractarios se adquirieron gran parte de ellos de la Escuela Politécnica Nacional verificándose que cumplan con los requerimientos necesarios, otros materiales como: las resistencias eléctricas, aislante térmico, planchas de acero también se encontraron instituciones recicladoras aunque para el caso de estudio se decidió comprarlos debido a que estos materiales afectan directamente a la eficiencia del incinerador, disminuyendo así su ciclo de vida y aumentando los gastos a largo plazo.

En los procesos de fabricación como el ensamble de las panchas de acero se dispone a realizar sujeción mediante pernos M6 de acero inoxidable 304, retirando así las soldaduras y permitiendo su fácil desmontaje. En el ensamble de la compuerta inferior se realiza un cambio donde está ya no es corrediza, es fija y sella la cámara principal lo cual para la recolección de ceniza se requieren de herramientas recolectoras tipo pala, el largo normal de estas herramientas es de 1.10 metros por lo que para nuestra sugerencia es fabricar un mango de 1.60 metros, esta herramienta permitirá el arrastre de la ceniza hacia el borde de la cámara a diferencia de una pala que su función es levantar material. La hermeticidad de la cámara principal se realiza mediante el correcto proceso de fabricación ya que primero se realizará la construcción de la compuerta mediante la fundición de concreto refractario para posterior sacar un molde el cual permita como segundo paso la correcta construcción de la forma de la cámara principal.

## Análisis de las Tres Erres implementado

La primera “R” es la reducción, para empezar, se tiene la reducción de emisiones nocivas mediante un sistema de control, este sistema de control cuenta con la implementación de un filtro de carbón activado granulado ubicado en la boca de la chimenea, se coloca una malla de acero y sobre la malla el carbón activado granulado, esto pensando en la reducción del impacto ambiental. Para el incinerador se implementa un horno eléctrico ya que este reduce ampliamente la generación de gases y partículas nocivas a comparación de un horno a combustión. Otro punto importante en la reducción es un buen mantenimiento y para el caso se determinó un mantenimiento preventivo permitiendo así alargar la vida útil del incinerador patológico.

En la segunda “R” de reutilización o reparación se estableció que después de un mantenimiento se selecciona y separa los elementos que se puedan reparar, para esto tenemos la reparación de ladrillos refractarios los cuales se reparan mediante una mezcla hecha de concreto refractario, polvo de ladrillo refractario y agua. La reparación del aislante térmico consiste en hacer arreglos de la misma con las manos o herramientas adecuadas para desenredar, acomodar o ajustar el espesor de la lana de roca para mantener su efectividad aislante. El concreto refractario en ocasiones puede presentar grietas o roturas las mismas que pueden generar daños a largo plazo en su estructura, se reparan mediante mezclas hechas de cemento refractario agua y polvo para mantener su estructura funcional. Las resistencias térmicas no se pueden reparar por lo cual deber ser reemplazadas si llegan a fallar o dañarse.

La última “R” es el reciclaje, aquí se analizó los materiales posibles para reciclaje después de su ciclo de vida tales como: ladrillos refractarios, lana de roca, resistencias eléctricas, planchas de acero y material eléctrico, estos elementos se ponen a disposición del encargado en el departamento ambiental de la institución o por otra parte se pone en contacto con el ministerio del ambiente para que recicle todo el incinerador según sus normativas. Otro elemento que conforma parte del reciclaje es el tratamiento de cenizas, con el proyecto se prioriza generar cenizas que no sean dañinas, las cuales serán usadas en trabajos relacionados con cemento o desechadas a los contenedores de basura pertenecientes al Municipio de Quito.

## **3.2 Resultados sugeridos del diseño**

### Cambios sugeridos

Mediante la implementación de los conceptos de Economía Circular se puede realizar los cambios sugeridos en la tabla 14.

Tabla 14. Cambios sugeridos mediante la implementación de Economía Circular.

<b>Sección</b>	<b>Sugerencia de cambio</b>	<b>Ventaja</b>	<b>Observaciones</b>
Cámara Principal	Reducir la dimensión de la cámara.	Aumento de la eficiencia	Al reducir la dimensión se reduce la capa de aire presente lo cual permite aumento de flujo de calor.
Cámara Secundaria	Aumento de potencia.	Mejora la quema de gases.	Se aumenta el número de resistencias para aumento de potencia
Chimenea	Chimenea recta.	Mejor evacuación y eliminación de gases.	Para la chimenea recta se debe acondicionar la salida en el techo.
Ladrillo refractario	Utilizar ladrillo refractario reciclado.	Reduce el costo de fabricación.	Se debe inspeccionar estado del ladrillo y ver si es funcional.
Aislante térmico	Lana de roca.	Reduce costo de fabricación.	N/A
Resistencias eléctricas	Resistencia niquelina de cuarzo	Reducción de tiempo de calentamiento, facilidad sustitución.	Realizar una correcta distribución en el incinerador
Ensamble de cubierta de acero	Ensamblar mediante pernos.	Fácil desmontaje. Mejora el mantenimiento.	Utilizar pernos adecuados para la sujeción.
Compuerta inferior	Compuerta fija	Reduce el costo de fabricación. Reduce la disipación de calor.	Realizar de concreto refractario.

Reciclaje	Establecer métodos de reciclaje.	Reduce el impacto ambiental. Mejora la sostenibilidad.	Se debe crear métodos de reciclaje para después de fin de ciclo de vida del incinerador.
-----------	----------------------------------	--	--

Como se observa en la tabla 14 de cambios sugeridos, todas las sugerencias parten del principio de la Economía Circular, permitiendo crear un Eco Diseño más sostenible y duradero. Los cambios también son analizados particularmente para cada elemento con el fin de reducir su costo y aumentar su eficacia.

### Costo de materiales

En la tabla 15 se muestra el costo de materiales una vez aplicado los conceptos básicos de la Economía Circular.

Tabla 15. Costo de materiales.

<b>MATERIALES</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>COSTO UNIT.</b>	<b>COSTO TOTAL</b>
Ladrillo Refractario	2900	u	\$ 4	\$ 10 150
Concreto Refractario	26	saco	\$ 15	\$ 390
Mortero Refractario	350	kg	\$ 3	\$ 1050
Lana de Roca	12	u	\$ 6,16	\$ 73,92
Cemento	6	saco	\$ 8,11	\$ 48,66
Arena	4	m3	\$ 12.50	\$ 50
Bisagras	6	u	\$ 50	\$ 300
Pernos M6	100	u	\$ 0,80	\$ 80
Planchas de Acero 2400x1200x2 mm	8	u	\$ 235	\$ 1880
Plancha de Acero 2400x1200x6 mm	1	u	\$ 680	\$ 680

Varilla Acero corrugado 10 mm	9	m	\$ 9,80	\$ 88,20
Tubo Cuadrado de Acero Estructural 120x120x3/16	1	m	\$ 40	\$ 40
Cerradura	1	u	\$ 20	\$ 20
Pintura Alta Temperatura	2	gal	\$ 57	\$ 114
			<b>TOTAL</b>	<b>\$ 16 414,78</b>

Como se observa la tabla 15, el precio de los ladrillos al ser reciclados baja el costo de adquisición, también al cambiar el diseño de la compuerta inferior y hacerla fija, se necesita menos tubos estructurales por lo que reduce su costo. Los pernos a usar se incrementan para la sujeción de las planchas. El aislante térmico lana de roca es sustitución de la lana de vidrio por lo que su precio es menor conservando las propiedades necesarias para el incinerador.

#### Comparación precios

En la tabla 16 se muestra el análisis y comparación de los precios aplicando los conceptos de la Economía Circular versus los precios establecidos anteriormente.

Tabla 16. Comparación precio anterior y precio nuevo.

Precio Anterior	\$ 19 147,66
Precio Nuevo	\$ 16 414,78
Diferencia	\$ 2 732.88

Como se muestra en la tabla anterior, existe una diferencia de \$2 732,88, los mismos que muestran que el estudio aplicado sobre la Economía Circular está establecido adecuadamente sin comprometer su funcionalidad y eficiencia.

## 4 CONCLUSIONES

La disminución de dimensiones en la cámara principal se la realiza tomando en cuenta la cantidad de aire necesaria para que exista el proceso de oxidación completo ya que al no existir suficiente oxígeno la materia ingresada no podrá transformarse en ceniza, la reducción de volumen en la cámara principal también permite aumentar la eficiencia, debido a que la masa recibiría un flujo de calor mayor al estar más cerca de las paredes, todo esto manteniendo su funcionalidad de poder incinerar una masa de ~120 kg.

La selección de resistencias de níquelina de cuarzo en reemplazo de las resistencias khantal A1, se debe a su mejora en tiempo de calentamiento ya que son más rápidas en llegar a su temperatura máxima lo que permite reducir el tiempo de trabajo, la fácil sustitución en casos de fallos también las hace más versátiles para la construcción de incineradores.

El aumento de resistencias en la cámara secundaria se basó en una mejor quema de gases residuales por lo que permite elevar la temperatura y evacuar gases menos nocivos al medio ambiente.

El diseño de la chimenea recta concuerda con el diseño de los incineradores en el mercado, este diseño permite una mejor evacuación y degradación de los gases evitando que los residuos y partículas se estanquen o regresen, generando malos olores.

El ensamble de las planchas de acero se las realizó mediante pernos permitiendo su fácil desmontaje para cualquier tipo de reparación o mantenimiento que requieran los elementos: aislante o ladrillo refractario.

La hermeticidad de la cámara principal se vio afectada por la compuerta principal debido a su mala fabricación, permitiendo que el calor generado disminuya por presencia de una fuga, para lo cual se estableció el orden de construcción el mismo que evitará que exista fallas en los acoples o sujeción de la compuerta.

La construcción de una compuerta inferior móvil se debió a los requerimientos del proyecto anterior ya que era para cremación, lo cual la recolección de ceniza sin otros residuos era importante. Al tratarse de un incinerador patológico, la recolección de ceniza pasa a no tener tanta prioridad por lo que se cambió el diseño móvil por uno fijo para así abaratar costos y reducir costos.

La implementación de la Economía Circular redujo los costos de fabricación y mantuvo la eficiencia del incinerador, esto debido al estudio del diseño como su proceso de fabricación, el cambio planteado maneja elementos sostenibles mediante la implementación de las tres erres, reducir, reutilizar y reciclar.

El estudio realizado de materiales permitió reciclar los ladrillos refractarios, así como parte del aislante térmico lana de vidrio, las resistencias también se reciclaron, pero debido a optimizar el incinerador se las cambiaron por niquelinas de cuarzo.

La Economía Circular está renovando el concepto de procesos de diseño y fabricación del mundo, permitiendo así la mejora en calidad de vida y un medio ambiente más sano, con la finalidad de crear un sistema sostenible y seguro.

La economía circular busca soluciones sostenibles y fomenta la innovación, llevando a mejorar las técnicas y tecnologías utilizadas en la industria, para obtener un desarrollo más responsable.

El cambio de fuente de energía de combustible a energía eléctrica es una de las decisiones más notable en la Economía Circular, ya que esta reduce el impacto ambiental debido a no presentar gases resultantes de la incineración.

## **5 RECOMENDACIONES**

Identificar los materiales y elementos reciclables que se presenten en los residuos de la incineración para establecer programas o guías de reciclaje adecuados y mantener los estándares de seguridad y calidad en el proceso de reciclaje.

Establecer acuerdos o colaboraciones con otros responsables de la industria para compartir y desarrollar tecnologías más sostenibles y ampliar la adaptación de Economía Circular.

Establecer un sistema de monitoreo donde se evalué el desempeño del incinerador en el tema ambiental y rendimiento en términos de reducción de emisiones y eficiencia energética. Realizar mejoras continuas de acuerdo a los datos obtenidos en el monitoreo.

Priorizar el uso de materiales reciclados para la construcción del incinerador, verificando que sean seguros, funcionales y amigables con el medio ambiente. Evitar el uso de materiales difíciles de reciclar.

Considerar el tiempo de precalentamiento para alargar la vida útil de los componentes de la cámara principal, asegurándose de evitar choques térmicos que lleven a agrietar o desgastar los ladrillos refractarios.

Programar adecuadamente un mantenimiento, mediante los datos obtenidos en los controles continuos del incinerador.

Provisionar el equipo de protección a los operarios destinados tanto al manejo del incinerador como a los que retiran las cenizas para evitar futuros accidentes.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ANPER Ceramics. (s.f.). *Resistencias eléctricas a medida Kanthal A1*. Obtenido de Anper.net: <https://anper.net/productos/1089/construccion-de-hornos/resistencias-electricas-consultar>
- [2] MCKINSEY. The circular economy: Moving from theory to practice, p. 2. Accesible en: <https://n9.cl/t68fp>
- [3] Gonzales, G. (2020). De la economía lineal a la circular: la logística inversa y la sostenibilidad de la cadena de suministro como elementos fundamentales del cambio. [Tesis de grado, Universidad Zaragoza]. Accesible en: <https://zaguan.unizar.es/record/90097/files/TAZ-TFG-2020-273.pdf?version=1>
- [4] Falappa, M. Lamy, M. Vázquez, M. (2019). De una Economía Lineal a UNA Circular, en el siglo XXI. [Tesis Universitaria, Universidad Nacional de Cuyo].
- [5] WWF (2020). Informe Planeta Vivo 2022. Hacia una sociedad con la naturaleza en positivo. Almond, R.; Grooten M.; Juffe, D. y Petersen, T. Suiza
- [6] Lehmann, L. (2020). Economía Circular, el cambio cultural. El modelo sostenible para la reactivación. (2 Ed). PROZA EDITORES.
- [7] Prendeville, S., Sanders, C., Sherry, J., & Costa, F. (2014). "Circular economy: is it enough." EcoDesign Centre, Wales.
- [8] Mondiale, B. E. (2015). "Carbon pricing watch 2015, Advance brief from the state and trends of carbon pricing 2015 report" World Bank Group and Ecofys, Washington DC.
- [9] United Nations (UN). (2014). "World urbanization prospects. World Urbanization Prospects: Highlights".
- [10] Aranda, M. Alcibar, A. Rodríguez, M. Camacho, M. (2022). La economía circular como alternativa hacia un nuevo modelo para la actividad industrial sustentable. Tecnología en Marcha. Vol. 35(3), 1-12. Accesible en:

- [11] Asqui, W. (2017). Desarrollo de un Plan Piloto para Optimizar el Ciclo de Vida de Equipos instalados por las Empresas de Telecomunicaciones en Ecuador. [ Tesis de Grado, Escuela Politécnica Nacional].
- [12] Cortés, F. (2020). LA ECONOMÍA CIRCULAR Ideas claves para la comprensión de un nuevo modelo de gestión de los recursos económicos. Universidad Autónoma de Chile. Accesible en: [https://repositorio.uautonoma.cl/bitstream/handle/20.500.12728/3246/ECONOMIA\\_CIRCULAR.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.uautonoma.cl/bitstream/handle/20.500.12728/3246/ECONOMIA_CIRCULAR.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [13] Ferrin, R. Macas, C. (2019). Diseño y construcción de un prototipo de hornode doble cámara de (glp) para incinerar desechos patológicos hospitalarios. [Tesis de grado, Universidad Técnica Estatal de Quevedo]. Accesible en: <repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/3737/1/T-UTEQ-0020.pdf>
- [14] Otero, A. (2001). Medio ambiente y educación ambiental para docentes, Novedades Educativas. Argentina.
- [15] Villanueva, E. (2014). La productividad en el Mantenimiento Industrial. (3ª Ed). PATRIA Editorial.
- [16] Gómez, F. (1998). Tecnología del Mantenimiento Industrial. Servicios Publicitarios. Murcia.
- [17] Quesada, H. Salas, J. Romero, L. (2007). Manejo de desechos industriales peligrosos. Tecnología en Marcha. Vol. 20(2). Accesible en: [https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec\\_marcha/article/view/39/38](https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/39/38)
- [18] Boada, L. (2022). Diseño Térmico de un Incinerador Patológico Eléctrico en Estado Transitorio. [Tesis de grado, Escuela Politécnica Nacional].
- [19] International Organization for Standardization. (2015). ISO 14001:2015 Environmental management systems - Requirements with guidance for use. Geneva, Switzerland: Author.

## Anexo 1. Acuerdo Ministerial MAAE-201220. Anexo 4

### LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE EMISIONES DE CONTAMINANTES GASEOSOS PARA INSTALACIONES DE INCINERACIÓN DE DESECHOS

Todos los valores están referidos a condiciones normales de presión y temperatura: 0°C y 100 kPa y corregidos al 11% de Oxígeno

No.	Contaminante gaseoso (mg/Nm <sup>3</sup> )	LMP promedio horario	Frecuencia de Medición	Método de análisis	LMP promedio diario	Frecuencia de Medición	Método de análisis
1	Material Particulado	45	Semestral	USEPA, Parte 60, Apéndice A, método 5 o USEPA Parte 60, Apéndice A, método 17 Método de referencia ASTM D 3685-13	20	continuo	USEPA, Parte 60, Apéndice B, PS 11 PARA CEMS
2	Monóxido de Carbono (CO)	100	Semestral	USEPA, PARTE 60, Apéndice A, Métodos 10 y 10A.	50	continuo	USEPA, Parte 60, Apéndice B, PS 4, 4A y 4B para CEMS o Método EPA, parte 60, Método 10A
3	Cloruro de hidrógeno (HCl)	60	Anual	USEPA, PARTE 60, Apéndice A, Métodos 26 y 26A.	12,5	continuo	USEPA, Parte 60, Apéndice B, PS18
4	Fluoruro de hidrógeno (HF)	4	Anual	USEPA, PARTE 60, Apéndice A, Métodos 26 y 26A.	1,25	continuo	USEPA, Método 13A
5	Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	100	Semestral	USEPA, PARTE 60, Apéndice A, método 6C	50	continuo	USEPA, Parte 60, Apéndice B, PS 2 para CEMS

Tabla de LMP de emisiones contaminantes (1/3)  
Fuente: (Proaño, 2021)

No.	Contaminante gaseoso (mg/Nm <sup>3</sup> )	LMP promedio horario	Frecuencia de Medición	Método de análisis	LMP promedio diario	Frecuencia de Medición	Método de análisis
6	Monóxido de nitrógeno (NO) y dióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> ); expresados como dióxido de nitrógeno	400	Semestral	USEPA, Parte 60, Apéndice A, método 7E	400	continuo	USEPA, Parte 60, Apéndice B, PS 2 para CEMS
7	Dioxinas y furanos (µg EQT/Nm <sup>3</sup> )	0,3	Anual	USEPA, Parte 60, Apéndice A, método 23	NA	NA	NA
8	Cadmio y sus compuestos, expresados en cadmio (Cd). Talio y sus compuestos, expresados en talio (Tl).	0,1 (sumatoria total)	Anual	USEPA, Parte 60, Apéndice A, método 29	NA	NA	NA
9	Mercurio y sus compuestos, expresados en mercurio (Hg).	0,1 (sumatoria total)	Anual	USEPA, Parte 60, Apéndice A, método 29	NA	NA	NA

Tabla de LMP de emisiones contaminantes (2/3)  
Fuente: (Proaño, 2021)

No.	Contaminante gaseoso (mg/Nm <sup>3</sup> )	LMP promedio horario	Frecuencia de Medición	Método de análisis	LMP promedio diario	Frecuencia de Medición	Método de análisis
10	Antimonio y sus compuestos, expresados en antimonio (Sb) + Arsénico y sus compuestos, expresados en arsénico (As) + Plomo y sus compuestos, expresados en plomo (Pb) + Cromo y sus compuestos, expresados en cromo (Cr) + Cobalto y sus compuestos, expresados en cobalto (Co) + Cobre y sus compuestos, expresados en cobre (Cu) + Manganeso y sus compuestos, expresados en manganeso (Mn) + Níquel y sus compuestos, expresados en níquel (Ni) + Vanadio y sus compuestos, expresados en vanadio (V).	1,0 (sumatoria total)	Anual	USEPA, Parte 60, Apéndice A, método 29.	NA	NA	NA

NA: No aplica.

LMP: Límite máximo permisible.

Tabla de LMP de emisiones contaminantes (3/3)  
Fuente: (Proaño, 2021)

# Anexo 2. Gestores Ministerio del Ambiente



PRESTADORES DE SERVICIO (GESTORES) PARA EL MANEJO DE MATERIALES PELIGROSOS (SUSTANCIAS QUIMICAS PELIGROSAS Y/O DESCHOS PELIGROSOS)										Información de la Empresa						
EMPRESA	Representante Legal	RESOLUCION	Fecha Emisión	ACTIVIDAD	DESCRIPCION	ACTIVIDAD	DESCRIPCION	Dirección Instalaciones (Ciudad - Provincia)	Dirección Oficinas (Ciudad - Provincia)	Página web	Persona de contacto	Correo electrónico	Teléfono	Fax	Celular	
1 HAZWAT CIA LTDA (*)	Jairo Orlando Muñoz	067	2003-12-22	Operación del Centro de Remediación Ambiental INCHICAT CALTA	Tratamiento (Clasificación, Tercera, Biorremediación y Disposición Final (Celdas de seguridad))	Productos termofluorocarburos, suelos contaminados con hidrocarburos, desechos acuosos	-	Cayambe - Pichincha	Av. en Estación, mediante la cual se autoriza el traslado de los desechos que se encuentran en la Unidad de Acuerdo Ministerial No. 142. La base de Tránsito de Desechos Peligrosos se encuentra en un Estado de Paralización de Licencia Ambiental, en donde se detallará el estado de desechos peligrosos y especiales a ser transportados.	Km 37.12 vía Quito - Cayambe, 15 minutos de Cayambe - Pichincha	Jairo Muñoz	muoz@hazwat.com.ec hazwat@hazwat.net	5931 2 2791 209 5931 2 202300 5931 2 233821 5931 2 238146	(593) 2 3388 421	0988250184	
2 CONCRETOS Y PASTAS ARBORICIDAS CIA. LTDA. (*)	Luis Caputi	043	2004-08-05	Planta de tratamiento de aguas residuales, aceites usados y lodos	Tratamiento	Líquidos oleosos, aceites usados y serrines	-	Guayaquil - Guayas	El Alcançe de la Licencia Ambiental se encuentra sujeto al análisis del cumplimiento del Acuerdo Ministerial No. 026, y la publicación del Listado Nacional de Desechos Peligrosos y especiales según lo establecido en el Acuerdo Ministerial No. 142.	Km 6.1/2 Vía Duzán Tambo, Cayambe - Guayas	Luis Caputi	lucio@concretosyplastificadores.com	5931 4 2324 612	(593) 4 2326 483		
3 GADERE	Edgar Enrique Pezón Muñoz	118	2004-10-13	Instalación de la planta de tratamiento de residuos especiales y peligrosos y protección del servicio de gestión integral de residuos.	Almacenamiento temporal, Tratamiento (Inmovilización), Transporte	Residuos especiales y peligrosos	-	Nobol - Guayas (París) Nacional (Transporte)	El Alcançe de la Licencia Ambiental se encuentra sujeto al análisis del cumplimiento del Acuerdo Ministerial No. 026, y la publicación del Listado Nacional de Desechos Peligrosos y especiales según lo establecido en el Acuerdo Ministerial No. 142.	Km 30 Vía a Daule, Comuna Pueblo, Nobol - Guayas	Edgar Pezon	pezon@gadere.com	5931 4 2103 954 5931 4 2802 075 5931 4 2281 015 5931 2 2351 881 5931 2 2460 485		0983337272	
4 INPAE EN ECUADOR (*)	Rodrigo Anibal Zapata Rumpamba	091	2006-11-15	Interrupción, inactivación de la generación, reutilización, inmovilización, recolección, transporte, recolección, transporte, disposición final y retiro de materiales al Ecuador continental.	Tratamiento (Inmovilización)	Desechos Peligrosos*	-	San Cristóbal, Pueno Baezquez Moreno - Galapagos	Proyecto a entrar en operación el Centro de Gestión de Residuos Sólidos, deberá obtener la licencia ambiental del incinerador ubicado en el sitio donde se construirá el proyecto	San Cristóbal - Galapagos	Juan Tigua (Responsable de la Gestión Ambiental del Centro San Cristóbal)	jtigua@hotmail.com	5939895473			
5 EQUIVAMENTE CONSULTING GROUP	Maria Eugenia Moreno Puelma	102	2006-10-08	Centro Integral de Ingeniería Ecológica - CIE	Tratamiento	Suelos contaminados con hidrocarburos	-	Ciudad - Orellana	No realizará obras de valor inmobiliario y arquitectónico. Presentar un programa de actividades de implementación total de las pichinas de tratamiento	Km 12.10 Vía Lago Agrio	Mario Pueno	mario@equivamente.com mario@abn@equivamente.com	5931 2 6912 525 5931 2 3352 165		0997101205	
6 INCINEROC CIA LTDA.	Diego Román Silva	103	2006-12-08	Preparación de servicios de inmovilización de desechos peligrosos en la planta Shushufudi, ubicada en el sector Shushufudi.	Tratamiento (Inmovilización)	Desechos Peligrosos*	-	Quito - Pichincha	Prohibida la inmovilización de desechos hospitalarios peligrosos, líquidos contaminados con hidrocarburos pesados (HCP), aceites contaminados con hidrocarburos pesados, aceites electrónicos, residuos farmacológicos, baterías y pilas, desechos electrónicos, desechos radioactivos, cianuro de potasio (PCY) cianuro de polibromuro (PCPB), agroquímicos cáusticos y levas de especificaciones, envases de agroquímicos sin triple lavado.	Km 14.12 Vía Pto Barahona para la instalación de Pto Barahona (París Barahona), Quito - Pichincha	Diego Román Silva	diego@incineroc.com.ec incineroc@incineroc.com.ec	5931 2 2481 865 5931 2 2481 970		0999465886	
7 SIERA DEL ECUADOR S.A. ADELGA (*)	Carlos Alberto Arellano Arellano	105	2006-12-20	Ampliación del Área de Fundación de la Planta Industrial Adalg	Reciclaje (fundición)	Chatarra metálica libre de material peligroso	-	Majá - Pichincha	Prohibida la inmovilización de desechos hospitalarios peligrosos, líquidos contaminados con hidrocarburos pesados (HCP), aceites contaminados con hidrocarburos pesados, aceites electrónicos, residuos farmacológicos, baterías y pilas, desechos electrónicos, desechos radioactivos, cianuro de potasio (PCY) cianuro de polibromuro (PCPB), agroquímicos cáusticos y levas de especificaciones, envases de agroquímicos sin triple lavado.	Km 1.12 Vía Alag - Santa Cruz, Cumbala de las Tachas, Majá - Pichincha	Mario Obasa Javier Vilalba	mario@siera.com	5931 2 3968 100 5931 2 3801 321	(593) 2 3968 139 (593) 2 3968 131	0994207474	
8 INCINEROC (*)	Diego Román Silva	149	2007-05-21	Preparación de servicios de inmovilización de desechos peligrosos en la planta Shushufudi, ubicada en el sector Shushufudi.	Tratamiento (Inmovilización)	Desechos Peligrosos*	-	Shushufudi - Sucumbita	Prohibida la inmovilización de desechos hospitalarios peligrosos, líquidos contaminados con hidrocarburos pesados (HCP), aceites contaminados con hidrocarburos pesados, aceites electrónicos, residuos farmacológicos, baterías y pilas, desechos electrónicos, desechos radioactivos, cianuro de potasio (PCY) cianuro de polibromuro (PCPB), agroquímicos cáusticos y levas de especificaciones, envases de agroquímicos sin triple lavado.	Km 1.12 Vía Limonocha, Shushufudi - Sucumbita	José Flores	joseflores@incineroc.com.ec	5931 2 2481 865 5931 2 2481 970		0998492025	
9 CERAMALGO CIA. ZELTEL (*)	Enar Alejandro Gall Aráez	208	2007-07-18	Planta de reciclaje de desechos sólidos, técnica de separación CERAMALGO y Transporte, Tratamiento y Disposición Final de Desechos Peligrosos de la Compañía SCS, S. de C. y Servicio de Limpieza de Cisternas	Reciclaje, transporte, almacenamiento y Disposición Final	Desechos Sólidos Desechos Peligrosos*	-	Lago Agrio - Sucumbita	El proyecto debe estar limitado a lo especificado en el EIA y PMA esto es a la construcción y operación de una bodega y área de transformación de arena o monóxido (arena 300 m2), una planta para realizar la fundición de arena 300 m2, oficina local de 40 m2, campamento y bodega de arena 300 m2, en las áreas cercanas del proyecto	Km 10.12 Vía Lago Agrio - Sucumbita	Enar Alejandro Gall Aráez	enar@ceramalgotel.com.ec	022279411 022279412 022279413 022279414 022279415	022279411 022279412 022279414 022279415	994546524	
10 HAZWAT CIA. LTDA.	Ronald Washington Puelma Chiriboga	140	2008-06-24	Construcción y operación del proyecto Centro de Tratamiento Ambiental - CRA (Lago Agrio)	Tratamiento (Inmovilización y Biorremediación)	Desechos Peligrosos *	-	Lago Agrio - Sucumbita	El proyecto debe estar limitado a lo especificado en el EIA y PMA esto es a la construcción y operación de una bodega y área de transformación de arena o monóxido (arena 300 m2), una planta para realizar la fundición de arena 300 m2, oficina local de 40 m2, campamento y bodega de arena 300 m2, en las áreas cercanas del proyecto	Km 8 Vía al Coca, sector Aguapuro, Lago Agrio - Sucumbita	Rolando Guzmán	guzman@hazwat.com.ec	5931 6 2935 655		Lago Agrio	
11 TIFICO S.A. TRANSPORTADORA ECUATORIANA DE VALORES (*)	Diego Mauricio Bravo Castañeda	143	2008-07-01	Transporte de agroquímicos y residuos peligrosos (farmacos, herbicidas, plaguicidas, residuos de agroquímicos, de los cultivos de las variedades TIFICO)	Transporte	Ingeniería, Fitosanitarios, carbanos, residuos de agroquímicos, residuos de plaguicidas	-	Nacional	El Alcançe de la Licencia Ambiental se encuentra sujeto al análisis del cumplimiento del Acuerdo Ministerial No. 026, y la publicación del Listado Nacional de Desechos Peligrosos y especiales según lo establecido en el Acuerdo Ministerial No. 142.	Av. La Prensa 35-58 y Base Aérea, Quito - Pichincha Calle Centinela 101 y Julia Centinela, Guayaquil - Guayas	Diego Vardoli Miguel Avila	miguel@tifico.com.ec vardoli@tifico.com.ec	5931 2 2031 440 5931 4 2561 051	(593) 2 2550 405	0998292367 0999054283	
12 BRACPOWER S.A. (*)	Billy Velázquez	177	2008-09-15	Recepción y acople de chatarra ferrosa	Almacenamiento temporal	Chatarra ferrosa libre de material peligroso	-	Guayaquil - Guayas	El Alcançe de la Licencia Ambiental se encuentra sujeto al análisis del cumplimiento del Acuerdo Ministerial No. 026, y la publicación del Listado Nacional de Desechos Peligrosos y especiales según lo establecido en el Acuerdo Ministerial No. 142.	Km 10.12 Vía Daule, Guayaquil - Guayas	Siricaco Hernández	hernandez@brac.com	5931 4 2114 173			
13 BRACPOWER S.A. (*)	Billy Velázquez	683	2012-04-25	Almacenamiento y Disposición de la Materia de reciclaje	Almacenamiento temporal	Materia de Reciclaje	-	Guayaquil - Guayas	El Alcançe de la Licencia Ambiental se encuentra sujeto al análisis del cumplimiento del Acuerdo Ministerial No. 026, y la publicación del Listado Nacional de Desechos Peligrosos y especiales según lo establecido en el Acuerdo Ministerial No. 142.	Ciudadela Los Virreyes Km 10.12 Vía Daule, Guayaquil - Guayas	Siricaco Hernández	hernandez@brac.com	5931 4 2114 173			
14 LINDREICLAR (*)	Jaime Mauricio Chavez Puyahansa	188	2008-10-01	Fundición y reciclaje de metales ferrosos y no ferrosos	Reciclaje (fundición)	Chatarra ferrosa y no ferrosa	-	Quito - Pichincha	Para la exportación de chatarra deberá seguirse a los tratamientos establecidos en el Convenio de Basilea	21 de Noviembre Lote 2 Calle 1, Estrada a Llano Grande, Quito - Pichincha	Natasha Redovan	nredovan@lucal.com	5931 2 8225 085	(593) 2 2825 084	0999031774	
15 NOVACERO S.A. (*)	Enar Alejandro Para Ramirez	193	2008-10-09	Construcción y operación de horno eléctrico de fundición de chatarra, Planta Lazo	Reciclaje (fundición)	Chatarra ferrosa libre de material peligroso	-	Latacunga - Cotacachi	El Alcançe de la Licencia Ambiental se encuentra sujeto al análisis del cumplimiento del Acuerdo Ministerial No. 026, y la publicación del Listado Nacional de Desechos Peligrosos y especiales según lo establecido en el Acuerdo Ministerial No. 142.	Panamarina Norte, Km 16 Latacunga, Cotacachi - Cotacachi	Enar Alejandro Para Ramirez	enar@novacero.com	5931 2 3981 900 5931 2 2261 044 5931 2 2719 480 5931 2 2719 118	(593) 2 3981 900	0994520866	
16 RHEMA COMPANIA RECIADORA INTERNACIONAL DE METALES S.A. (*)	Henry Benavides Castillo	195	2008-10-17	Recepción, transporte y almacenamiento temporal de desechos peligrosos como: baterías de plomo, acidos, transformadores eléctricos con PCB, materiales metálicos y no metálicos contaminados con residuos peligrosos	Recepción, Transporte y Almacenamiento temporal	Baterías de plomo, ácidos en desuso, transformadores eléctricos con PCB, materiales metálicos y no metálicos contaminados con residuos peligrosos	-	Nacional*	El Alcançe de la Licencia Ambiental se encuentra sujeto al análisis del cumplimiento del Acuerdo Ministerial No. 026, y la publicación del Listado Nacional de Desechos Peligrosos y especiales según lo establecido en el Acuerdo Ministerial No. 142.	Ciudad Los Virreyes, km 10.5 Vía a Daule	Henry Benavides	benavides@rhema.com	5931 4 2113 146			
17 COMPAÑIA BIOFACTOR S.A. (*)	Enar Alejandro Para Ramirez	197	2008-10-17	Construcción, operación, almacenamiento, tratamiento y reutilización de aceites usados	Almacenamiento temporal y Reciclaje (Inmovilización)	Residuos viscosos	-	Duquén - Guayas	El Alcançe de la Licencia Ambiental se encuentra sujeto al análisis del cumplimiento del Acuerdo Ministerial No. 026, y la publicación del Listado Nacional de Desechos Peligrosos y especiales según lo establecido en el Acuerdo Ministerial No. 142.	Km 9 Vía Duzán Tambo, Sururi - Guayas	Roberto Segura Patana Gordon	roberto@biofactor.com	5931 4 2681 407	(593) 4 2681 415	0999160202	
18 COOPERACION LATINOAMERICANA RECIPOC CIA. LTDA.	Raúl Caszattín Guibacano	071	2009-04-08	Planta de reciclaje Siderap	Almacenamiento temporal	Desperdicios y desechos de fundición, hierro, acero, lingotes.	-	Majá - Pichincha	Trabaja y cumpliendo al proyecto la planta el SIDA Pichincha	Panamarina Sur Km. 16 1/2, Calle de Santa Rita, Quito Pichincha	Raúl Caszattín	caszattin2006@gmail.com caszattin@recomail.com	5931 2 2656 251 5931 2 2268 717	(593) 2 2656 251		
19 PÉCS INCENTSA S.A. (*)	Rafael Germán Avila	089	2009-04-30	Planta de tratamiento, sistema de tratamiento, sistema de recolección y transporte de desechos peligrosos	Tratamiento (Inmovilización, inmovilización)	Desechos de hidrocarburos	-	Joya de las Tachas - Pichincha	El Alcançe de la Licencia Ambiental se encuentra sujeto al análisis del cumplimiento del Acuerdo Ministerial No. 026, y la publicación del Listado Nacional de Desechos Peligrosos y especiales según lo establecido en el Acuerdo Ministerial No. 142, de acuerdo a lo establecido en el Acuerdo Ministerial No. 142.	Km. 1.12 Vía Santa Cruz, Joya de las Tachas - Pichincha	Juan Carlos Avila	juan@pccs.com.ec	5931 2 2487 240 5931 2 2487 241 5931 2 2487 240		0997160343	









