



Análisis de Factibilidad Técnica y Económica en la Implementación de un Horno Incinerador de Desechos Hospitalarios para las Entidades de Salud de las Zonas Rurales de la Provincia de Chimborazo

Analysis of Technical and Economic Feasibility in the Implementation of a Hospital Waste Incinerator Furnace for the Health Entities of the Rural Areas of the Province of Chimborazo

Análise da Viabilidade Técnica e Económica na Implementação de um Forno Incinerador de Resíduos Hospitalares para as Entidades de Saúde das Zonas Rurais da Província de Chimborazo

Diego Fernando Mayorga Pérez ^I
diego.mayorga@epoch.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-2727-942X>

Enrique Javier Orna Chávez ^{II}
javier.orna@epoch.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-0601-1686>

Edwin Fernando Viteri Núñez ^{III}
eviteri@epoch.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-3029-775X>

Otto Fernando Balseca Sampedro ^{IV}
otto.balseca@epoch.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-6713-0991>

Mauro Sebastián Salazar Ramírez ^V
sebassss62@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-5143-0719>

Ronald Ariel Varela Secaira ^{VI}
varelaariel49@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-5566-2066>

Correspondencia: diego.mayorga@epoch.edu.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

***Recibido:** 02 de enero de 2022 ***Aceptado:** 22 de enero de 2022 * **Publicado:** 16 de febrero de 2022

- I. Ingeniero Ingeniero Mecánico, Magister en Seguridad y Prevención de riesgos del Trabajo. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.
- II. Ingeniero Mecánico, Magister en Diseño Producción y Automatización Industrial, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.
- III. Ingeniero Mecánico, Magister en Gerencia de Proyectos de Ecoturismo, Ph.D. Ciencias Administrativas Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.
- IV. Ingeniero Mecánico, Magister en Sistemas de Transporte de Petróleo y Derivados, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.
- V. Investigador Independiente, Ecuador.
- VI. Investigador Independiente, Ecuador.

Resumen

El siguiente artículo tiene como finalidad el realizar el análisis de factibilidad técnica y económica para la implementación de un horno incinerador de desechos hospitalarios enfocado para las entidades de salud de las zonas rurales empleando métodos de selección por matrices de ponderación, con el fin de determinar tanto el tipo de incinerador, como la fuente energética del mismo, permitiendo escoger la mejor opción de implementación entre todas las posibilidades de solución viables para nuestro país, tomando en cuenta varios criterios de elección como las condiciones de funcionamiento, la facilidad de implementación, las condiciones de diseño y la existencia de los materiales en los mercados nacionales, el principio de solución seleccionado bajo este procedimiento, fue un horno incinerador de doble cámara con una fuente energética para el quemador convencional de gas licuado de petróleo. Además, con esta configuración ya seleccionada se realizó un análisis económico con los materiales e insumos disponibles en el país y bajo los precios del mercado nacional, con lo cual se obtiene una idea estimada de los posibles costos que puede tener un proyecto de implementación para una determinada entidad de salud.

Palabras claves: factibilidad técnica; incinerador; desechos hospitalarios; implementación; análisis económico

Abstract

The purpose of the following article is to carry out the technical and economic feasibility analysis for the implementation of a hospital waste incinerator furnace focused on health entities in rural areas using selection methods by weighting matrices, in order to determine both the type of incinerator, such as its energy source, allowing to choose the best implementation option among all the viable solution possibilities for our country, taking into account several selection criteria such as operating conditions, ease of implementation, conditions From design and the existence of materials in national markets, the solution principle selected under this procedure was a double-chamber incinerator furnace with an energy source for the conventional liquefied petroleum gas burner. In addition, with this configuration already selected, an economic analysis was carried out with the materials and supplies available in the country and under the prices of the national market, with which an estimated idea of the possible costs that an implementation project may have for a determined health entity.

Keywords: technical feasibility; incinerator; hospital waste; implementation; economic analysis

Resumo

O presente artigo tem como objetivo realizar a análise de viabilidade técnica e econômica para implantação de um forno incinerador de resíduos hospitalares voltado para entidades de saúde do meio rural utilizando métodos de seleção por matrizes de ponderação, a fim de determinar tanto o tipo de incinerador, quanto bem como a sua fonte de energia, permitindo escolher a melhor opção de implementação entre todas as possibilidades de solução viáveis para o nosso país, tendo em conta vários critérios de seleção como condições de funcionamento, facilidade de implementação, condições de projeto e existência dos materiais nos mercados nacionais, o princípio de solução selecionado neste procedimento foi um forno incinerador de câmara dupla com uma fonte de energia para o queimador convencional de gás liquefeito de petróleo. Além disso, com essa configuração já selecionada, foi realizada uma análise econômica com os materiais e insumos disponíveis no país e sob os preços do mercado nacional, com a qual se fez uma ideia estimada dos possíveis custos que um projeto de implantação pode ter. para uma determinada entidade de saúde.

Palavras-chave: viabilidade técnica; incinerador; resíduos hospitalares; implementação; análise econômica

Introducción

El manejo de la basura se ha vuelto un tema conflictivo en el país. Existen problemas de saneamiento ambiental que de manera prioritaria todo gobierno municipal debe solucionar, estos se enfocan en tres temas principales, a saber:

- Abastecimiento de agua potable.
- Sistema de alcantarillado y tratamiento de aguas servidas
- Recolección y manejo de basura

Otra problemática es que la falta de conocimiento sobre el tratamiento que se debe tener con cierto tipo de desechos, como por ejemplo desechos hospitalarios, textiles, plásticos y como deben disponerse en destino final [1].

Los residuos sólidos hospitalarios que son generados por los centros de atención a la salud resultan infecciosos puesto que se generan en las diferentes etapas del proceso de atención (diagnóstico,

tratamiento, emergencia, inmunización, etc.) y contienen elementos patógenos en suficiente concentración como para contaminar a cualquier persona que a ellos se encuentre expuesta.

De ahí que, la ausencia o nulo tratamiento de neutralización de estos desechos altamente contaminantes, en la fuente o en espacios especialmente adecuados para ello, implica que sean dispuestos directamente en la mayoría de los casos en los rellenos sanitarios y esto, evidentemente constituye un peligro altísimo para la vida de los seres vivos que a dichos residuos puedan ser expuestos [2].

El manejo inadecuado de los residuos sólidos hospitalarios presenta diversos impactos ambientales negativos que se evidencian en diferentes etapas como la segregación, el almacenamiento, el tratamiento, la recolección, el transporte y la disposición final. Las consecuencias de estos impactos no sólo afectan a la salud humana sino también a la atmósfera, el suelo y las aguas superficiales y subterráneas. A todo esto, se suma el deterioro del paisaje natural y de los centros urbanos

Actualmente existen varios métodos que permiten la desinfección de los residuos sólidos hospitalarios, los sistemas más empleados son la incineración, desinfección por microondas y la desinfección térmica húmeda de baja temperatura. La incineración es la acción de quemar los residuos en hornos especiales, mediante un proceso de combustión controlada. La combustión transforma los residuos en cenizas, escorias y gases, los cuales son tratados posteriormente [3].

La incineración no es un sistema de eliminación completo, necesita un sistema complementario de tratamiento para los restos de combustión, lo que se traduce en la existencia de un vertedero y de sistemas de control de emisiones de gases.

En este punto es importante decir que no es suficiente con la actividad de incineración ya que después de la misma debe seguir el proceso de tratamiento de los gases generados al igual que los lixiviados [4].

Metodología

Existen ejemplos deplorables en todo el país del negligente tratamiento de la basura por parte de los gobiernos seccionales, muchas veces por el desconocimiento de los daños tanto sociales, como ambientales que conlleva la falta de tratamiento de los residuos generados por las diferentes industrias. [5]

Es de conocimiento general que la industrialización nos ha permitido tener grandes avances tecnológicos que realmente han mejorado nuestra calidad de vida, pero nunca se pudo prevenir el

impacto ambiental y el daño que a su vez provoca el hecho de no tener un adecuado tratamiento de los desechos. Dicho problema ha sido traspasado de generación en generación y hoy en día podemos ver como el medio ambiente ha sufrido cambios irreversibles que nos afectan directamente a todos [6].

Sector de Impacto

Se pretende analizar la implementación de un horno incinerador de desechos hospitalarios en los centros de salud Tipo C de las zonas rurales de la provincia de Chimborazo.

El manejo de residuos hospitalarios de estos centros de salud se maneja mediante procesos convencionales de recolección rural, y en su gran mayoría no conllevan ningún tratamiento que garantice que estos desechos no representen un peligro para la salud de las personas, además, debido al cronograma de recolección que se maneja en la provincia, es usual que estos desechos permanezcan por tiempos prolongados dentro de los centros de salud [7].

Por esto, se analiza la factibilidad de implementar el sistema de horno incinerador para resolver el tratamiento de estos desechos, la disminución de contaminación y enfermedades, así como todos los problemas relacionados con los desechos hospitalarios generados por estos centros de salud, así como prevenir el riesgo patológico para las personas que traten con estos residuos.

Tecnologías Existentes

A. Programa CDTs: Horno incinerador de desechos hospitalarios.



Fig. 1. Horno Programa Scienti

Realizado por el Centro de Investigación y Desarrollo Sustentable, de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción de la Escuela Superior Politécnica del Litoral, El prototipo realizado alcanza los 1200° C ideales para el tratamiento de desechos hospitalarios, y tiene como

novedad en su construcción el uso de arcillas, para alivianar el prototipo, y disminuir los costes de la producción, además cumple con las Normas EPA, para tratamiento de gases peligrosos [8].

B. Empresa Incinerox (Quito, Ecuador)



Fig. 2. Hornos Industriales Incinerox

La empresa Incinerox se dedica al tratamiento de residuos Peligros a gran escala, desde su transportación hasta su tratamiento adecuado cumpliendo estándares internacionales de gestión ambiental, especialmente para empresas textiles de media y gran escala. [9]

Para el tratamiento de desechos disponen de un gran horno con capacidad para procesar 500 kilos de carga de desechos por hora, y que puede manejar temperaturas de entre 800°C y 1.200°C se encarga de destruir además telas tinturadas, cartones y otros materiales en la planta de Incinerox.

C. Incineradores de residuos comerciales.



Fig. 3. Incinerador Residuos Comerciales

La demanda de los hospitales grandes para el tratamiento de los desechos ha conseguido que varias empresas se especialicen en la fabricación de unidades de incineración, cuyos costos varían según capacidad, los hospitales más grandes del País cuentan con sus propias unidades de hornos

incineradores, su precio aproximado va desde los 8000 a los 40000 dólares en cuanto a los que están orientados al sector de la salud. Además de estos productos, se han realizado numerosos diseños y prototipos en investigaciones de grado, tesis y artículos científicos en nuestro país. [10]

Residuos Hospitalarios

Se denominan residuos hospitalarios a todos aquellos residuos compuestos de carácter especial generadas mediante la actividad de establecimientos hospitalarios y sus derivados, estos desechos requieren un tratamiento específico debido a que generan una alta peligrosidad al contacto con las personas, encontrándose dentro de esta categoría, materiales quirúrgicos, restos de tejidos humanos, elementos cortopunzantes y material de tipo infeccioso [11].

A. Clasificación de los residuos hospitalarios

En un establecimiento de salud se generan toda clase de residuos, y se requiere un tratamiento diferente para cada uno de ellos, se encuentran entre los más comunes, residuos urbanos, biosanitarios, químicos y radioactivos, estos se almacenan, clasifican y procesan para su eliminación mediante métodos y procedimientos especiales, previstos desde el punto de vista de diferentes normativas, con el objetivo de garantizar la seguridad en todo el medio hospitalario y de la población circundante al centro de salud [12].

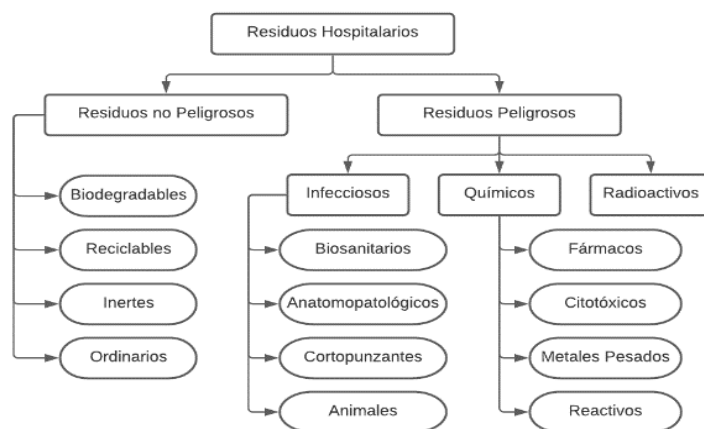


Fig. 4. Clasificación de Residuos Hospitalarios

Esta clasificación de la basura del centro de salud se debe exigir y promover en cada una de las instituciones relacionadas con servicios de salud. Haciendo que tomen parte de este proceso, tanto el generador de los desechos, como el recolector, debido a que, si no se realiza una eliminación adecuada de este tipo de residuos, se ponen en riesgo la vida de los seres humanos.

B. Tratamiento de residuos Sólidos Hospitalarios.

Un tratamiento de residuos tiene como finalidad la eliminación de las características fisicoquímicas de los residuos para que posteriormente estos dejen de representar un riesgo hacia la salud [13]. Cualquier método de tratamiento debe cumplir con ciertos requerimientos básicos que se muestran a continuación.

Tabla I Requisitos en los tratamientos de residuos

No	Descripción
1	Asegurar la eliminación completa de los patógenos presentes incluyendo los que se hallan en el interior.
2	No presentar problemas al medio ambiente como emisiones gaseosas, descargas sólidas y líquidas
3	Reducir el volumen de residuos a incinerar

C. Incineración

La incineración se define como la combustión general de cualquier elemento o material hasta que este se transforme en ceniza, es un proceso útil debido a que, en el tratamiento de la basura, se requiere esterilizar varios tipos de desechos industriales, urbanos, hospitalarios, infecciosos, etc. Este proceso es realizado mediante hornos de oxidación química y abundancia de oxígeno [14].

D. Ventajas e inconvenientes de la incineración

Las desventajas a priori que poseen los dispositivos de incineración, tienen que ver generalmente con el impacto ambiental que genera la quema de residuos, debido a que por su proceso de tratamiento transforman los residuos en ceniza, gases tóxicos, escorias o partículas tóxicas [15].

Tabla II Ventajas e inconvenientes de un horno incinerador

Ventajas	Inconvenientes	
Probabilidad de Recuperación de Energía	de	Generación de gases tóxicos
Disminución Drástica De Volumen		No eliminación total de desechos
Estabilización Residuo	Del	Requiere de permisos legales
Estabilización Residuo	Del	Elevado costo de inversión

E. Tipos de incineradores.

Existe una gran variedad de dispositivos de incineración de tipo horno, casi tan amplia como la variedad de residuos para los que se encuentran enfocados, lo más común es que sus características cambien según la naturaleza física del residuo más usual al que le den tratamiento.

Normalmente en el interior de los hornos incineradores se encuentra una cámara que es donde el residuo combustiona. De manera general también existe un quemador industrial, comúnmente este elemento alcanza una temperatura promedio de 850 °C necesaria para acabar de manera segura con la mayoría de los residuos [16].

Tabla III Tipos de hornos incinerados

Tipo de Horno	Propiedades
Lecho Fluidizado	Permite el tratamiento de residuos de bajo poder calorífico interno
Horno Rotativo	Trabaja en altas temperaturas con líquidos, sólidos, lodos etc.
Horno de doble Cámara	Permite altas temperaturas con mayor tiempo de permanencia
Horno para Vitricado	Trata residuos inorgánicos, trabaja a altas temperaturas y permanencia de mayor tiempo.

F. Horno de doble cámara.

Un horno de doble cámara se encuentra generalmente relacionado con los hornos que presentan dos etapas de combustión, la introducción de los residuos es realizada en la cámara primaria y la cámara secundaria es empleada para la quema de gases, alcanzando una temperatura aproximada de hasta 1200 °C para lograr que estos gases remanentes sean seguros para el medio circundante [16].

Contaminantes procedentes de la incineración de desechos

Durante el cremado de desechos se presentan residuos como hidrógeno, oxígeno, Carbono, azufre y nitrógeno, así como otros materiales en cantidades diminutas como metales y metales alcalinos.

Normativa de Gestión de Tratamiento de Residuos Hospitalarios

Dentro del cuerpo legal que rige los protocolos vigentes para el adecuado manejo de los residuos hospitalarios en Ecuador se destacan dos códigos de relevancia: el Reglamento para la Gestión de los Desechos Generados en establecimientos de Salud, y el Manual de gestión interna de los residuos y desechos generados en establecimientos de Salud, en donde se presenta de modo general el alcance y la metodología de gestión para el tratamiento de los desechos hospitalarios [17].

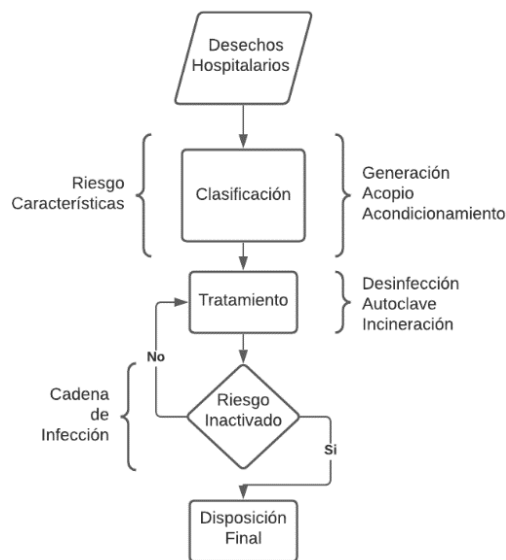


Fig. 5. Gestión de Residuos Hospitalarios según Norma Vigente Ecuatoriana

En la ilustración presentada se propone el flujo de trabajo para la gestión de residuos basado en la normativa ecuatoriana vigente, así como en la existencia de lineamientos emergentes emitidos por la organización mundial de la salud en respuesta a la pandemia de la Covid-19 dentro de la cual se considera la incineración como la alternativa más adecuada en el manejo de residuos hospitalarios. Así también recalca que los incineradores deben ser preferiblemente de doble cámara que alcance una temperatura de 850°C y 1100°C, respectivamente, con un tiempo de quema de gases en la cámara secundaria de 2 segundos, se recomienda también que no se deben incinerar los residuos comunes dado que pueden contener recipientes de aerosol los cuales podrían explotar, por último se establece que las unidades deben cumplir las normas nacionales de reducción de emisiones de contaminantes, incluyendo las dioxinas y los furanos[18].

A. Norma de calidad de aire

Es el valor que establece el límite máximo permisible de concentración, a nivel del suelo, de un contaminante del aire durante un tiempo promedio de muestreo determinado, definido con el propósito de proteger la salud y el ambiente. Los límites máximos permisibles se aplicarán para aquellas concentraciones de contaminantes que se determinen fuera de los límites del predio de los sujetos de control o regulados [19].

B. Límites permisibles de emisiones al aire para fuentes fijas de combustión

Serán designadas como fuentes fijas significativas todas aquellas que utilizan combustibles fósiles sólidos, líquidos, gaseosos, o cualquiera de sus combinaciones, y cuya potencia calorífica (heat input) sea igual o mayor a tres millones de vatios (3×10^6 W), o, diez millones de unidades térmicas británicas por hora (10×10^6 BTU/h).

Para las fuentes fijas que se determinen como fuentes significativas, éstas deberán demostrar cumplimiento con los límites máximos permisibles de emisión al aire, definidos en esta norma técnica. Los valores de emisión máxima permitida, para fuentes fijas de combustión existentes, son los establecidos en la Tabla 4 de esta norma [19].

Tabla IV límites máximos permisibles de emisores al aire para fuentes fijas de combustión

Contaminante Emitido	Combustible Utilizado	Valor	Unidades
Partículas Totales	<i>Sólido,</i> <i>Líquido,</i> <i>Gaseoso</i>	355 355 No aplicable	mg/Nm ³ mg/Nm ³ No aplicable
Óxidos de Nitrógeno	<i>Sólido,</i> <i>Líquido,</i> <i>Gaseoso</i>	1100 700 500	mg/Nm ³ mg/Nm ³ mg/Nm ³
Dióxido de Azufre	<i>Sólido,</i> <i>Líquido,</i> <i>Gaseoso</i>	1650 1650 No aplicable	mg/Nm ³ mg/Nm ³ No aplicable

- Se prohíbe expresamente la dilución de las emisiones al aire desde una fuente fija con el fin de alcanzar cumplimiento con la normativa aquí descrita [19].
- Se prohíbe el uso de aceites lubricantes usados como combustible en calderas, hornos u otros equipos de combustión, con excepción de que la fuente fija de combustión demuestre, mediante el respectivo estudio técnico, que cuenta con equipos y procesos de control de emisiones producidas por esta combustión, a fin de no comprometer la calidad del aire al exterior de la fuente, e independientemente de si la fuente fija es significativa o no significativa [19].
- Toda fuente fija, sea significativa o no, deberá comunicar a la Entidad Ambiental de Control cualquier situación anómala, no típica, que se presente en la operación normal de la fuente, y en la que se verificaron emisiones de contaminantes superiores a los valores máximos establecidos en este reglamento [19].
- Para las fuentes fijas significativas, se requerirá que estas cuenten, por lo menos, con equipos básicos de control de emisiones de partículas, esto a fin de mitigar aquellas emisiones que se registren durante períodos de arranque o de soplado de hollín en la fuente [19].

Situación Actual para el Manejo de Residuos en el Ecuador

Ante el emergente modelo de mitigación para la pandemia de la covid-19, el ministerio de salud pública presentó el Marco de Gestión Ambiental y Social con el objetivo de guiar la gestión

ambiental, social, de salud y seguridad, así como las actividades relacionadas con el proyecto de vacunación nacional [20].

Este lineamiento guiará la identificación de los riesgos e impactos de los sitios destinados a la gestión interna y externa de los desechos sanitarios, con la adopción de buenas prácticas y medidas para mitigarlos, así como para potencializar los impactos positivos previstos.

Se identifican dos componentes en la gestión de desechos, un esquema interno para el manejo de los desechos dentro de las entidades de salud como se ilustra a modo de resumen en la siguiente ilustración [20].

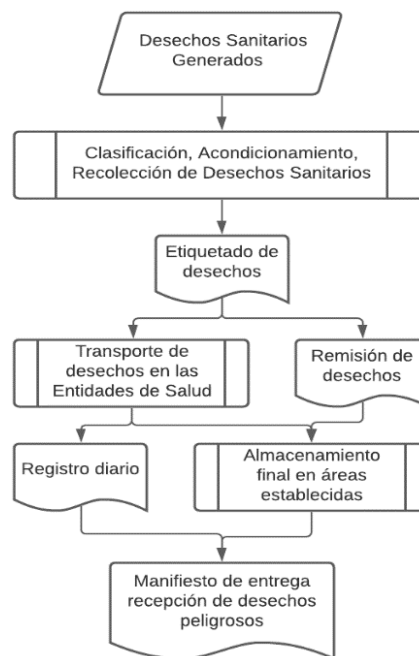


Fig. 6. Gestión Interna de Desechos Hospitalarios para Entidades de Salud

Se presenta complementariamente un mecanismo de regulación para la gestión externa de los desechos generados en las entidades de salud, dentro de esta componente se relacionan gestores y auditores de los gobiernos autónomos descentralizados, ministerio del ambiente y agua, los cuales garantizarán y certificarán el tratamiento y la disposición final en su de los residuos a través de indicadores de cumplimiento y registros anexados a la norma [21].

La aplicación de protocolos y registros en las 24 provincias del país según lo establecido en este plan de administración hospitalaria durante la emergencia de la covid-19 ha sido un factor primordial en la gestión interna y externa de los desechos tanto para la actividad hospitalaria emergente como para la implementación de las fases del plan vacunarse en los establecimientos de salud y puntos de vacunación externos identificados.

Análisis de Factibilidad

A continuación, se presentan varios análisis para determinar la factibilidad de ejecución de un horno incinerador de residuos hospitalarios.

A. Recopilación de datos

Existen varios parámetros que se requiere conocer para poder establecer la ruta de solución, sobre todo relacionados con la cantidad de desechos producidos por un establecimiento de salud rural, para esto se a tomado como base el promedio de desechos hospitalarios de un centro de salud tipo C, ya que se espera que sean los principales beneficiarios de nuestra alternativa de solución [22]. Realizando este análisis se obtiene que la gran mayoría de desechos que se generan son desechos de tipo biológico, así como desechos comunes, los cuales rondan los 25000 kg por año, se observa, además, que los desechos considerados de mayor peligrosidad, como los cortopunzantes, patológicos y reactivos, no generan altos volúmenes de desperdicio.

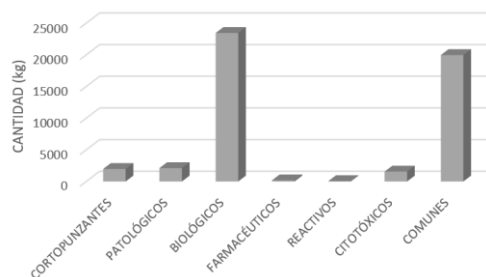


Fig. 7. Promedio de Desechos Hospitalarios generados en una Entidad de Salud

A continuación, se muestra la generación mensual de los desechos biológicos para este centro de salud, observando un flujo constante de desechos, el cual se premia a 2000 kg por mes.

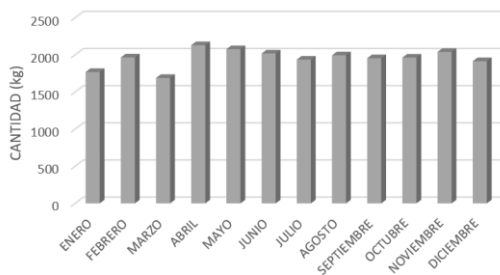


Fig. 8. Distribución de Residuos generados durante un año

Con este valor nos podemos dar una idea más cercana para la capacidad requerida para el prototipo que se vaya a seleccionar.

B. Matriz de ponderación para la selección del tipo de horno

Ponderación de los criterios de evaluación

Se empieza definiendo la importancia de cada criterio evaluativo según el impacto que este tenga en el diseño de la máquina, se consideran, de manera general, cinco factores ordenados de mayor a menor importancia, los cuales son, forma, tamaño, fabricación, mantenimiento y costo.

- 1 mucho más importante
- 0.5 más importante
- 0 igual de importante

CRITERIO	FORMA	TAMAÑO	FABRICACIÓN	MANTENIMIENTO	COSTO	TOTAL	P.PONDERADO
FORMA		1	1	1	1	4	0.381
TAMAÑO	0		1	1	1	3	0.286
FABRICACIÓN	0	0		1	1	2	0.190
MANTENIMIENTO	0	0	0.5		0.5	1	0.095
COSTO	0	0	0	0.5		0.5	0.048
					SUMA	10.5	1

Fig. 9. Matriz de Ponderación para las características del Incinerador

Obteniendo los resultados de la evaluación de las matrices para cada uno de los criterios se puede obtener por tanto la evaluación de la mejor alternativa en función a los criterios que se describieron.

Alternativas

- Rotatorio
- Lecho fluidizado
- Doble cámara

Ponderación de las alternativas en función de su forma

FORMA	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3	TOTAL	P.PONDERADO	
ALTERNATIVA 1			0.5	0	0.5	0.143
ALTERNATIVA 2		1		0	1	0.286
ALTERNATIVA 3		1	1		2	0.571
			SUMA		3.5	1

Fig. 10. Evaluación del peso específico del criterio Forma

Lo que se espera con respecto a este parámetro es que se considere a la alternativa 3 como la opción que permite una mayor facilidad al momento de construcción, seguido muy de cerca de la alternativa 2, cuya geometría también aporta varias facilidades constructivas, y siendo la alternativa 2 la que tiene menor medida de forma, debido a que su estructura dificulta una fácil configuración.

Ponderación de las alternativas en función de su tamaño

En referencia a la manipulación se consideró que la alternativa 3 puede ofrecer una manipulación optima respecto al mismo, ya que el horno es fácil su traslado garantizando que las personas no haya mayor esfuerzo, seguido se tiene la alternativa 2 la cual esta intermedia porque su manipulación es aceptable y a continuación la alternativa 1 con menor grado de importancia.

TAMAÑO	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3	TOTAL	P.PONDERADO	
ALTERNATIVA 1			1	0	1	0.286
ALTERNATIVA 2		0		0.5	0.5	0.143
ALTERNATIVA 3		1	1		2	0.571
			SUMA		3.5	1

Fig. 11. Evaluación del peso específico del criterio Tamaño

Ponderación de las alternativas en función de su fabricación

En cambio, con la fabricación se puede considerar a la alternativa 3 y a la alternativa 2, como los dispositivos con mayor capacidad y opciones de fabricación favorables en el país, quedando empatados en medida, y a la alternativa 2 como la más difícil de fabricar de las opciones de diseño.

	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3	TOTAL	P.PONDERADO
FABRICACIÓN					
ALTERNATIVA 1			1	1	0.500
ALTERNATIVA 2		0		1	0.250
ALTERNATIVA 3		1	0		0.250
			SUMA	4	1

Fig. 12. Evaluación del peso específico del criterio Fabricación

Ponderación de las alternativas en función de su mantenimiento

	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3	TOTAL	P.PONDERADO
MANTENIMIENTO					
ALTERNATIVA 1			0.5	1	0.375
ALTERNATIVA 2		1		1	0.5
ALTERNATIVA 3		0.5	0		0.125
			SUMA	4	1

Fig. 13. Evaluación del peso específico del criterio Mantenimiento

Con el criterio de mantenimiento se consideró que la alternativa 1 puede ofrecer un mantenimiento optimo y mayor facilidad al realizarlo darle mantenimiento a las cámaras, quemadores, seguido se tiene la alternativa 2 la cual esta intermedia porque su mantenimiento es aceptable y a continuación la alternativa 3 con mayor dificultad al realizar el mantenimiento.

Ponderación de las alternativas en función de su costo

	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3	TOTAL	P.PONDERADO
COSTO					
ALTERNATIVA 1		0,5		0	0
ALTERNATIVA 2		1		1	2
ALTERNATIVA 3		1.5	0		1.5
			SUMA		3.5
					1

Fig. 14. Evaluación del peso específico del criterio Costo

En referencia al costo requerido para el horno se consideró que la alternativa 1 es la que interviene menor costo en la fabricación, debido a que no requiere materiales refractarios de geometría específica y aislantes térmicos específicos. En cuanto a la alternativa 3 tiene un costo intermedio debido a que el aire controlado de fácil instalación, y un motor permitiendo la rotación del cilindro. Mientras que la alternativa 2 posee el mayor costo, por considerar una estructura de mayor dimensión y sistemas masa complejos a la hora de la limpieza de gases contaminantes.

Evaluación final

A continuación, se realiza el análisis de residuos ponderados a cada una de las alternativas, se da por concluido que la mejor alternativa que se tiene para horno incinerador es la alternativa 3, correspondiente con los análisis de construcción, fabricación y costos dentro del país, facilitando así los procesos de incineración.

	FORMA	TAMAÑO	FABRICACIÓN	MANTENIMIENTO	COSTO	TOTAL	P.PONDERADO
RESULTADO							
ALTERNATIVA 1		0.143	0.286	0.5	0.375	0	1.304
ALTERNATIVA 2		0.286	0.143	0.25	0.5	0.571	1.750
ALTERNATIVA 3		0.571	0.571	0.25	0.125	0.429	1.946
				SUMA		1	5
							1

Fig. 15. Evaluación de criterios ponderados para la selección del Incinerador

C. Matriz de ponderación para la selección de la fuente energética

Ponderación de los criterios de evaluación

Se definió la importancia de cada criterio para la selección de la fuente energética del horno incinerador, para esta decisión se toman en cuenta tres factores principales, el costo energético en el país, la eficiencia térmica y el índice de contaminación que este proceso produce.

- 1 mucho más importante
- 0.5 más importante
- 0 igual de importante

CRITERIO	COSTO ENERGÉTICO	EFICIENCIA TÉRMICA	CONTAMINACIÓN	TOTAL	P.PONDERADO
COSTO ENERGÉTICO		1	1	2	0.500
EFICIENCIA TÉRMICA	1		0.5	1.5	0.375
CONTAMINACIÓN	0.5	0		0.5	0.125
			SUMA	4	1

Fig. 16. Matriz de Ponderación para las características de la Fuente Energética

Alternativas

- Petróleo
- GN
- ENERGÍA ELÉCTRICA
- GLP

Obteniendo los resultados de la evaluación de las matrices para cada uno de los criterios se puede obtener por tanto la evaluación de la mejor alternativa en función a los criterios que se describieron.

Ponderación de las alternativas en función de su costo energético

A largo plazo, se tienen los siguientes resultados para el costo energético de funcionamiento, siendo la alternativa 1, la fuente de energía más cara, al ser un combustible fósil, seguida de la alternativa 2, por motivos similares, y siendo las mejores opciones la alternativa 4, la cual es a largo plazo más barata, seguida de la alternativa 3, que es un precio establecido bastante accesible.

	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3	ALTERNATIVA 4	TOTAL	P.PONDERADO
COSTO ENERGÉTICO						
ALTERNATIVA 1		0.5	0	0	0.5	0.077
ALTERNATIVA 2	1		0	0	1	0.154
ALTERNATIVA 3	1	1		0	2	0.308
ALTERNATIVA 4	1	1	1		3	0.462
					7	1

Fig. 17. Evaluación del peso específico del criterio Costo Energético

Ponderación de las alternativas en función de su eficiencia térmica

En cuanto al criterio de eficiencia térmica, se tiene como claro ganador a la alternativa 4, la cual energéticamente tiene una eficiencia alta debido a la configuración de horno que se necesita, seguido de esto se tiene en el intermedio, tanto a la alternativa 3 como la alternativa 2, con rendimientos similares, y relativamente aceptables para un incinerador, siendo la alternativa 1 la menos favorecida en este criterio, debido a que no es un combustible ideal para este tipo de quema.

	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3	ALTERNATIVA 4	TOTAL	P.PONDERADO
EFICIENCIA TÉRMICA						
ALTERNATIVA 1		0.5	0	0	0.5	0.083
ALTERNATIVA 2	1		0.5	0	1.5	0.250
ALTERNATIVA 3	1	0.5		0	1.5	0.250
ALTERNATIVA 4	0.5	1	1		2.5	0.417
					6	1

Fig. 18. Evaluación del peso específico del criterio Eficiencia Térmica

Ponderación de las alternativas en función de la contaminación

En referencia al factor de contaminación se tienen como más contaminantes a la alternativa 1, por los gases de combustión fósil, seguida de la alternativa 2, por características similares, y como mejores opciones se tiene la alternativa 4 y la alternativa 3, ya que son las que generan menor cantidad de gases contaminantes a la atmosfera.

	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3	ALTERNATIVA 4	TOTAL	P.PONDERADO
CONTAMINACIÓN						
ALTERNATIVA 1		0.5	0	0	0.5	0.083
ALTERNATIVA 2	1		0	0	1	0.167
ALTERNATIVA 3	1	1		0	2	0.333
ALTERNATIVA 4	1	1	0.5		2.50	0.417
					6	1

Fig. 19. Evaluación del peso específico del criterio Contaminación

Evaluación final

Mediante las matrices anteriores se definió la importancia de cada criterio y su impacto para la selección de la fuente energética del horno incinerador, de todo esto se puede tener que la mejor alternativa que se tiene es la alternativa 4, concordando con los elementos de construcción y disponibilidad que se encuentran en el país, los costos referidos a su funcionamiento, así como los estándares de contaminación necesarios para la correcta ejecución del diseño del horno incinerador.

RESULTADO	COSTO ENERGÉTICO	EFICIENCIA TÉRMICA	CONTAMINACIÓN	COSTO	TOTAL
ALTERNATIVA 1	0.077	0.083	0.083	0.244	0.487
ALTERNATIVA 2	0.154	0.250	0.167	0.571	1.141
ALTERNATIVA 3	0.308	0.250	0.333	0.891	1.782
ALTERNATIVA 4	0.462	0.417	0.417	1.295	2.590
			SUMA	3	6

Fig. 20. Evaluación de criterios ponderados para la selección de la Fuente Energética

D. Árbol de decisión

En base a la metodología expuesta se sintetiza en la figura el proceso de selección y tipificado del incinerador para desechos hospitalarios que debido a los requerimientos expuestos resulto en un horno de doble cámara con una fuente energética de GLP.

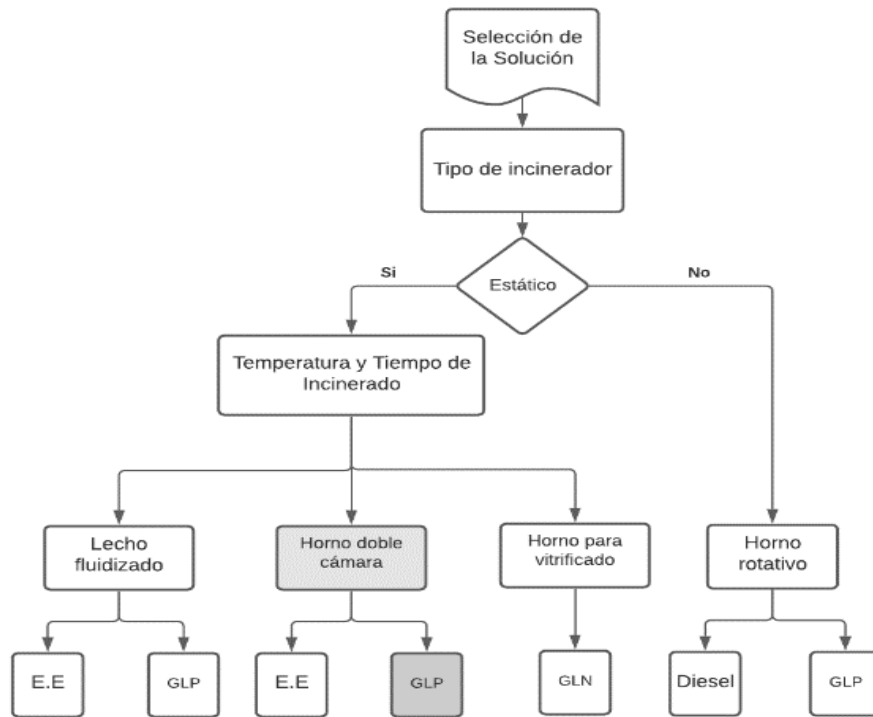


Fig. 21. Árbol de Selección de la Unidad Incineradora

E. Análisis económico de la propuesta

Una vez obtenida la ruta óptima de solución, se tiene una idea general del prototipo que se va a implementar como solución para el manejo de desechos, por tanto se puede realizar una aproximación de costos para la implementación del proyecto, tomando en cuenta cuatro parámetros esenciales que inciden directamente en el costo, los servicios de ingeniería, los trabajos civiles y de montaje, la estructura metálica y fabricación, y por último los accesorios que se requieren importar para poder cumplir con los parámetros necesarios del prototipo.

SERVICIOS	CANTIDAD	UM	PRECIO	IMPORTE	TOTAL
SERVICIOS DE INGENIERÍA					
PROYECTOS	1	u	\$ 177.286	\$ 177.286	\$ 177.286
IMPRESIÓN DE PLANOS	1	u	\$ 40.643	\$ 40.643	\$ 40.643
ASISTENCIA TÉCNICA	1	u	\$ 369.853	\$ 369.853	\$ 369.853
TRABAJOS CIVILES Y DE MONTAJE					
REVESTIMIENTO REFRACTARIO INCINERADOR	1	u	\$ 1,033.433	\$ 1,033.433	\$ 1,033.433
MONTAJE DEL CUERPO DEL INCINERADOR	1	u	\$ 511.694	\$ 511.694	\$ 511.694
ESTRUCTURAS METÁLICAS Y MONTAJE					
FABRICACIÓN DE LA ESTRUCTURA METÁLICA	1	u	\$ 816.171	\$ 816.171	\$ 816.171
ACCESORIOS IMPORTADOS					
QUEMADOR	1	u	\$ 366.744	\$ 3.667	\$ 370.411
VENTILADOR ELÉCTRICO	2	u	\$ 144.816	\$ 1.448	\$ 146.264
PLC (MICROPROCESADOR)	1	u	\$ 272.147	\$ 2.721	\$ 274.868
TOTAL					\$ 3,740.625

Fig. 22. Propuesta de Costos para la implementación de la unidad Incineradora

Con todos estos parámetros se obtiene un precio tentativo de aproximadamente 3740 dólares americanos, precio que se encuentra dentro del rango de este tipo de dispositivos, y es incluso menor, al precio que tienen otros proyectos similares ya implementados, favoreciendo así, a la posible implementación de la alternativa.

Conclusiones

Se exploró de manera técnica las diferentes opciones existentes para la solución del problema de manejo de residuos hospitalarios en las instituciones de salud descentralizadas, se analizaron sus ventajas y desventajas, algunos proyectos ya ejecutados, así como las facilidades de ejecución de estas, capacidad y características principales.

Además se analizaron de manera general las principales normativas necesarias para el manejo de desechos hospitalarios, estudiando tanto la normativa local encargada de este proceso, como ciertas normativas internacionales pioneras en el uso de tecnología de procesamiento de residuos, con el objetivo de garantizar que la solución que se otorgue al problema que se plantee cumpla con todos los requerimientos que se establecen por estas ordenanzas, y sean seguras tanto para los índices de contaminación del planeta, como con el riesgo hacia las personas cercanas.

En base a toda esta información se emplearon matrices de ponderación de importancia bajo criterios de elección, con el objetivo de encontrar la solución óptima para el problema de manejo de residuos, partiendo de dos elecciones fundamentales, el tipo de horno incinerador, y la fuente energética con la que se realizará el proceso de tratamiento térmico.

Mediante este proceso se pudo determinar que la mejor opción de horno incinerador para ser ejecutada en el país es un horno incinerador de doble cámara que funciona a partir de gas licuado de petróleo, ya que es la alternativa que más se adapta a la demanda de los centros de salud a los que se presenta beneficiar, así como a la disponibilidad de insumos y materiales del mercado ecuatoriano.

Una vez obtenido este modelo de solución, se realizó un análisis económico aproximado del proyecto de ejecución, teniendo una idea aproximada del precio que podría llegar a tener la implementación de esta solución en campo, y con los precios que se manejan en el país, concluyendo con que la alternativa que se propone tiene un alto grado de factibilidad de fabricación y ejecución, y que además, satisface adecuadamente el problema planteado, dando el visto bueno

para un posible diseño del prototipo y un testeo en campo del funcionamiento para comprobar su rentabilidad.

Referencias

- 1 CARRIÓN, J. P., & PESÁNTEZ, J. P. "Cálculo y diseño de un prototipo de horno incinerador automático a ser aplicado en el Hospital Docente Veterinario César Augusto Guerrero" (Trabajo de Titulación). Área de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional de Loja. (2010).
- 2 PLAZA, E. D., & RIVERA, A. B. "Dimensionamiento De Un Horno Para La Eliminación De Desechos Hospitalarios En Zonas Rurales Con Minimización De Contaminantes En La Fuente". (Trabajo de Titulación) (Doctorado). Universidad de Washington (2007).
- 3 FERRÍN, E. L., & MACAS, C. J. "Diseño y construcción de un prototipo de horno de doble cámara de GLP para incinerar desechos patológicos hospitalarios" (Trabajo de Titulación). (2019)
- 4 CRIOLLO, C. P. "Diseño térmico de una caldera acetabular con aprovechamiento de energía térmica de la combustión de los desechos sólidos municipales" (Trabajo de Titulación). ESPOL (2018)
- 5 MORALES, J., & MOREANO, D. Carbotecnia. "Diseño de un prototipo de incinerador para desechos hospitalarios" (Trabajo de Titulación). UTC (2013)
- 6 MARTÍNEZ, E. " Construcción de incineradores de basura para casas de salud " (Trabajo de Titulación). ESPOL (1991)
- 7 Ministerio de Salud Pública "Manejo Integral de Desechos Peligrosos Hospitalarios en el Ecuador". [manual operativo] COSUDE (2015)
- 8 MIÑO I., & CAMPUZANO C. "Programa Scienti: Horno incinerador de desechos hospitalarios". [audiovisual] [en línea] Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=VVJS9ga8ir8>
- 9 Incinerox. "Tratamiento y gestión de los residuos hospitalarios en Ecuador". [blog] [en línea] Disponible en: <https://incinerox.com.ec/gestionar-residuos-hospitalarios/>
- 10 Elastec. "Incineradores de Residuos Médicos". [catálogo] [en línea] Disponible en: <https://www.elastec.com/es/products/portable-incinerators/mediburn-medical-waste-incinerator/>

- 11 PLAZA, S. R. "Restauración en el tratamiento de residuos hospitalarios". Vértice [en línea], Madrid, (2008)
- 12 Ministerio de Salud y Protección Social "Manejo de Procedimientos para la gestión integral de residuos hospitalarios en Colombia". [manual operativo] MINCOL (2019)
- 13 HERNÁNDEZ, M.C. "Diseño de un sistema de control de emisiones y residuos para el incinerador del Centro Asistencial el Guavio-Hospital Centro Orient" (Trabajo de Titulación). (Magister) Uniandes, Colombia (2014)
- 14 DUHARTE, J.R. " Diseño de un Incinerador para el cremado de Desechos Humanos " (Trabajo de Titulación). (2014)
- 15 MORA, L.A., "Manual de Bioindicadores y otras técnicas de control en la Esterilidad por calor seco y húmedo". [manual operativo] UNAM (2012)
- 16 CASTELLS, X.E., "Tratamiento y valorización energética de residuos". (Trabajo de Titulación). Barcelona (2015)
- 17 Ministerio de Salud Pública "Manejo de los Desechos Infecciosos para la red de servicios de salud en el Ecuador". [manual operativo] (2014)
- 18 Organización Panamericana de la Salud "Recomendaciones para la gestión de Residuos Sólidos durante la emergencia sanitaria". [manual operativo] (2020) [en línea]
- 19 Ministerio del Ambiente. "Norma de Concentraciones de Emisión al aire desde fuentes fujas de combustión". [Norma técnica Ecuatoriana] (2017)
- 20 Ministerio de Salud Pública "Marco de Gestión Ambiental y Social – Proyecto de vacunación y respuesta a la emergencia por la COVID-19". [manual operativo] (2019)
- 21 Ministerio de Salud Pública "Manual de gestión interna de los residuos y desechos generados en los establecimientos de Salud ". [manual operativo] (2021)
- 22 Instituto Nacional de Estadísticas y Censos "Desechos Sanitarios Peligrosos en Establecimientos de Salud ". [Boletín ejecutivo] (2016)