Universidad Nacional
Federico Villarreal

Vicerrectorado de
INVESTIGACION

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO

"EVALUACIÓN DEL PROCESO DE INCINERACIÓN DE RESIDUOS SOLIDOS HOSPITALARIOS PELIGROSOS DE LA PROVINCIA DE LIMA"

TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL

AUTORA

ERIKA LIZETH, CRUZADO PERICHE

ASESOR

DR. EDWIN JAIME GALARZA ZAPATA

JURADO

DR. NOÉ SABINO ZAMORA TALAVERANO

DR. ALDO JUAN SANDOVAL RICCI

MG. GLADYS ROJAS LEÓN

MG. BENIGNO PAULO GOMEZ ESCRIBA

LIMA - PERU

2019

DEDICATORIA

A mi hija Kristell Isabella mi principal motivación de esfuerzo y dedicación en cada una de mis metas trazadas y quien con la gracia de Dios colma mis días de felicidad para lograr cada uno de mis objetivos propuestos; a quien también estoy agradecida por comprender que no estuve con ella acompañando algunos momentos de su pequeña pero muy importante etapa de crecimiento; así también, para inculcarle un ejemplo de dedicación, perseverancia, constancia y disciplina que le toca asumir en el progreso de su vida.

AGRADECIMIENTO

En el nombre de Dios, mi creador, el unico al cual estaré siempre profundamente agradecida por darme la oportunidad de haber alcanzado esta importante meta.

A mi familia, mis padres y mi hermana, quienes me han apoyado incondicionalmente en cada etapa de mi vida.

A mi madrina, quien considero una segunda madre, por su apoyo brindado a lo largo de toda mi vida y tus sabios consejos.

A mis compañeros de trabajo de la Municipalidad de Lima, quienes a su vez como amigos me acompañaron en esta larga etapa y con sus consejos ayudaron enormemente a concretar este objetivo.

A la Universidad Nacional Federico Villarreal y a la Facultad de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo, por ser mi fundadora principal en mi formación profesional.

Agradezco al Dr. Edwin Galarza Zapata, por su disposición y consejos para la realización del presente trabajo de investigación.

Al Ing. Carlos Ballardo, Ing. Benigno Gomez, Ing. Noe Zamora, Ing. Aldo Sandoval y Ing. Gladys Rojas, a quienes les estoy muy agradecida por la colaboración para la realización del presente trabajo de investigación.

A mis amistades, cada uno de ellos, por su constante ayuda y motivación en todos los momentos en que me vi desanimada.

INDICE

RESUMEN ix

ABSTRACT..... x

I. INTRODUCCIÓN 1

1.1. DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA..... 3

1.1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA 3

1.1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA 5

1.2. ANTECEDENTES..... 6

1.3. OBJETIVOS..... 12

1.3.1. OBJETIVO GENERAL 12

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 12

1.4. JUSTIFICACIÓN..... 12

1.4.1 IMPORTANCIA..... 14

1.5. HIPÓTESIS..... 14

II. MARCO TEÓRICO 15

2.1. BASES TEÓRICAS..... 15

2.2. MARCO LEGAL..... 41

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS 44

III. MÉTODO 49

3.1. TIPO DE INVESTIGACION 49

3.2. AMBITO TEMPORAL Y ESPACIAL..... 51

3.3. VARIABLES 54

3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA..... 55

3.5. INSTRUMENTOS 56

3.6. PROCEDIMIENTOS 58

3.7. ANALISIS DE DATOS 60

IV. RESULTADOS 62

4.1. MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS HOSPITALARIOS PELIGROSOS 62

4.2. PROCESO DE INCINERACIÓN DE RESIDUOS SOLIDOS HOSPITALARIOS PELIGROSOS 74

4.2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE INCINERACIÓN 74

4.2.2. SUBPRODUCTOS DEL PROCESO DE INCINERACIÓN 80

4.2.3. CONTROL DE EMISIONES Y RESIDUOS DEL PROCESO DE INCINERACIÓN 82

4.2.4. IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES 92

4.3. IDENTIFICACIÓN DE MEDIDAS DE CONTROL AMBIENTAL 101

4.3.1. PARÁMETROS DE CONTROL DE OPERACIONES DEL PROCESO DE INCINERACIÓN 101

4.3.2. RESUMEN DE MEDIDAS DE CONTROL DEL PROCESO DE INCINERACIÓN 102

4.3.3 PLAN DE MANEJO AMBIENTAL 103

4.3.5. CONSIDERACIONES Y VENTAJAS 112

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS 118

VI. CONCLUSIONES 121

VII. RECOMENDACIONES 123

VIII. REFERENCIAS 126

IX. ANEXOS 129

ANEXO 1 129

ANEXO 2 130

ANEXO 3 131

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Distribución General de los Ambientes de la Planta de Incineración 15
Tabla 2: Sistema de Almacenamiento Diferenciado 17
Tabla 3: Criterios Aplicados para Valorar el Desempeño de las Plantas de Incineración de Residuos Peligrosos 25
Tabla 4: Disposiciones para la Gestión de los Residuos Sólidos de los Establecimientos de Salud 42
Tabla 5: Volumen de Residuos Sólidos dispuestos en el Relleno El Zapallal 43
Tabla 6: Caracteristicas Generales del Equipo 45
Tabla 7: Operacionalización de la Variable 1 54
Tabla 8: Operacionalización de la Variable 2 54
Tabla 9: Características de los Residuos Hospitalarios Peligrosos 62
Tabla 10: Procedimiento de Recolección y Transporte Externo 63
Tabla 11: Procedimiento de Recepción 65
Tabla 12: Procedimiento de Almacenamiento 68
Tabla 13:Resumen de Actividades en la Recepción y Almacenamiento 70
Tabla 14: Procedimiento de Preparación de la Carga 71
Tabla 15: Residuos No tratados en la Planta de Incineración 73
Tabla 16: Procedimiento de Introducción de la Carga al Horno de Incineración 75
Tabla 17: Volumen Mensual de Residuos Incinerados 75
Tabla 18: Proceso de Incineración (Combustión Principal) 77
Tabla 19: Capacidad Operativa del Incinerador 78
Tabla 20: Características de la Cámara Secundaria 79
Tabla 21: Subproductos generados por el Sistema de Incineración 80
Tabla 22: Producción de Residuos (Cenizas) 81
Tabla 23: Eficiencia de la Planta de Incineración - Lima 82
Tabla 24: Sistema de Recuperación de Energía 85
Tabla 25: Principios de Conducción, Neutralización y Filtración 87
Tabla 26: Limpieza Química 87
Tabla 27: Limpieza Física 88
Tabla 28: Funcionamiento del Filtro 88
Tabla 29: Sistema de ventilación 89
Tabla 30: Sistema de Monitoreo Constante 89

Tabla 31: Manejo de Cenizas.....91
Tabla 32: Distribución del Personal.....93
Tabla 33: Acciones de Operación de la Planta de Incineración.....96
Tabla 34: Variables Ambientales del Proceso de Incineración 96
Tabla 35: Resúmen del control de operaciones observadas en el sistema de incineración (Horno Rotativo).....101
Tabla 36: Medidas de control del proceso de incineración.....102
Tabla 37 Lista de Medidas de Control Ambiental.....103

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Equipo de Incineración del área de Incineración 19
Figura 2. Fuentes de residuos en una planta de incineración.....28
Figura 3. Sistema de depuración de gases por vía seca. 33
Figura 5. Zona recepción de residuos en fuente de generación 64
Figura 6. Zona recepción de residuos de la Planta de Operaciones.....66
Figura 7. Zonas seguras y Áreas de Tránsito Peatonal. 66
Figura 8. Zona de lavado y desinfección vehicular de la Planta de Operaciones.....67
Figura 9. Recepción de Residuos Sólidos.....67
Figura 10. Área de Pesaje de Contenedores de la Planta de Tratamiento.....69
Figura 11. Almancén Temporal de Residuos Sólidos Hospitalarios. 69
Figura 12. Interior del Almacén Temporal de Residuos Biocontaminados.....70
Figura 13. Zona de Preparación de la Carga y Sistema de Alimentación del Área de Incineración.....72
Figura 14. Unidad de Carga Automática del Área de Incineración.....76
Figura 15. Equipo de Incineración por Horno Rotativo de Combustión Principal.....78
Figura 16. Cámara de Combustión Secundaria del Área de Incineración. 80
Figura 17. Sistema de control automático de los parámetros de combustión. 84
Figura 18. Medición de la temperatura de los gases de salida.....86
Figura 19. Sistema de recuperación de energía 86
Figura 20. Sistema de depuración por vía seca de los gases de combustión 88

Figura 21. Garita de Control y Monitoreo de las Emisiones 90
Figura 22. Infraestructura de la Planta de Incineración 99
Figura 23. Diagrama del Manejo Integral de Residuos Solidos Hospitalarios Peligrosos 129
Figura 24. Diagrama de las operaciones de la Planta de Incineración.....130

RESUMEN

En nuestro país, el manejo inadecuado de los residuos hospitalarios peligrosos, trae consecuencias como impactos a la salud y al ambiente, los cuales en su mayoría (95%) son dispuestos sin un tratamiento previo, incremetando su volumen y peligrosidad en los escasos (10) rellenos de seguridad existentes. El objetivo general fue evaluar el proceso de incineración de residuos hospitalarios peligrosos de una planta de tratamiento de la Provincia de Lima con la finalidad de identificar las ventajas y tener una adecuada disposición final de los mismos; para lo cual, se realizó un diagnóstico del manejo de los residuos sólidos hospitalarios peligrosos, luego se analizó el proceso de combustión para determinar las posibles etapas que contaminan y finalmente se identificaron las medidas de control adecuado del proceso. La metodología consta de un diseño de investigación de campo de los tipos de estudios de caso, posee un enfoque cualitativo y cuantitativo hasta un nivel de tipo exploratorio y descriptivo. Los resultados mostraron que, solo el 5% de los residuos hospitalarios realizan el tratamiento y sus características y condiciones de almacenamiento facilitaron su tratamiento, del proceso se determinó 7 posibles etapas que contaminan y se identificó 4 medidas para el control adecuado de la contaminación. A la conclusión que se llegó, es que el proceso de incineración redujó el 97% de los residuos; por lo tanto, presentó un desempeño adecuado; asimismo, una disminución de la contaminación ambiental en base a criterios y parámetros para del control de los subproductos de la combustón.

Palabras Claves: Incineración, combustión, postcombustión, impacto al ambiente, depuración de gases.

ABSTRACT

In our country, the problem of improper handling of hazardous hospital waste, has consequences such as impacts on health and the environment, which are mostly (95%) arranged in ladnfills without prior treatment, increasing their volume and danger in the scarce (10%) existing landfills. The general objective of this research is to evaluate the development of the incineration process of a treatment plant, to identify the advantages and to help with the proper final disposal of hazardous hospital waste from the province of Lima, for which the management of these kinds of waste has been made to know their charateristics, analyzing the combustion process to identify the stages that produce pollution and to indicate the control measures. The methodology consists of a field research design of the types of case studies, has a qualitative and quantitative approach to an exploratory and descriptive type level. The results showed that only 5% of hospital waste carried out the treatment and its characteristics and storage conditions facilitated its treatment, the process determined 7 possible stages that contaminate and identified 4 measures for the adequate control of contamination. The conclusion reached is that the incineration process reduced 97% of waste; therefore, it presented adequate performance; also, a decrease in environmental pollution based on criteria and parameters for the control of combustion by-products.

Key words: Incineration, combustion, afterburning, environmental impact, gas cleaning.

I. INTRODUCCIÓN

Esta investigación pretende evaluar el desarrollo del proceso de incineración de una planta de tratamiento, con la finalidad de identificar las ventajas de mismo y conocer si contribuye a la adecuada disposición final de los residuos sólidos peligrosos de los establecimientos de atención de salud de la Provincia de Lima, para lo cual a través de una metodología de análisis con enfoque de tipo cualtitativo y cuantitativo de alcance tipo descriptivo, se recolectó en campo una serie de datos e indicadores registrados durante las operaciones de una planta de tratamiento ubicada en la Provincia de Lima, permitiendo conocer las características y manejo de los residuos sólidos peligrosos de los establecimientos de salud de la Provincia de Lima, para luego de ello, analizar el proceso de incineración y determinar las posibles etapas que contaminan e identificar las medidas de control ambiental a fin de desarrollar un proceso adecuado que ayude a minimizar el impacto negativo que los residuos sólidos hospitalarios peligrosos generan a la etapa de disposición final.

En el primer capítulo se desarrolla el manejo actual de los residuos solidos hospitalarios peligrosos de la Provincia de Lima, describiendo el procedimiento en la etapa de recolección y transporte en los establecimientos de atención de salud, acondicionamiento, almacenamiento y preparación previa de la carga a ingresar al horno de incineración, para lo cual se dispusó del volumen mensual generados de residuos sólidos hopitalarios peligrosos.

En el segundo capítulo, se analiza el proceso de incineración identificando los impactos ambientales conforme a criterios de evaluación de las condiciones favorales al proceso de combustión, respecto a los gases de combustión y generación de cenizas; además, de otros criterios importantes que se derivan del proceso.

Finalmente, en el tercer capítulo se presentan las medidas adoptadas para el control de los gases de combustión y de los residuos o cenizas generadas luego del proceso de incineración. En base a ello, se pudo conocer el beneficio a la adecuada disposición final de los residuos

hospitalarios peligrosos a través de la reducción del volumen de cenizas generadas así como de otros indicadores del proceso de combustión que según criterios de evaluación permitieron identificar las ventajas de éste proceso y sus consideraciones para realizarlo adecuadamente.

Sin una educación pública en el tema y con un desconocimiento de los peligros de la disposición impropia de los residuos, crea un grave riesgo para la salud de las personas que realizan el reciclaje informal, la salud pública en general y el ambiente, lo cual conlleva a existir una insuficiente demanda pública por la opción de emplear tecnologías de tratamiento adecuadas que benefician a la disposición final de los residuos.

1.1. DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En el Perú, según Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos 2016-2024-MINAM, en el país solo existen 10 rellenos de seguridad autorizados y se requiere de mas de 190 rellenos para la disposición final adecuada de los residuos sólidos generados a nivel nacional; generando que una proporción importante de residuos se disponga en lugares inapropiados o en botaderos. Muchos de los rellenos existentes, no garantizan la destrucción total, ni previenen o evitan el manejo inadecuado de los residuos sólidos peligrosos, pudiendo incluso constituir una amenaza para el entorno, debido a las emisiones tóxicas que se generan, la contaminación al suelo y al agua subterránea y en última instancia a la salud de la población. (Espino, Gonzáles y Viladegut, 2014, p. 05-08)

Por otro lado, según Plan Nacional de Gestión de Residuos de Establecimientos de Salud 2010-2012-MINSA, a nivel nacional existe una proporción de residuos sólidos hospitalarios peligrosos que se llevan a botaderos cercanos de la ciudad o se queman al aire libre en un área propio del establecimiento de salud.

De los rellenos utilizados para la disposición final adecuada de los residuos sólidos hospitalarios peligrosos generados en las diferentes jurisdicciones de la Provincia de Lima, tales como: el relleno de seguridad Taris S.A, el relleno sanitario Huaycoloro S.A y el relleno sanitario El Zapallal, éste último es el único que se ubica en la Provincia de Lima.

Actualmente, en nuestro país el 95% de los residuos hospitalarios peligrosos declarados son dispuestos directamente en dos rellenos tales como: Huaycoloro y El Zapallal (MINAM, 2013), sin ningún tratamiento previo como el proceso de incineración.

En la Provincia de Lima, a la actualidad existen solo 2 plantas de incineración (pertenecientes a las empresas Incineragas E.I.R.L y Kanay S.A.C.) debidamente autorizadas.

Estudios realizados para el diseño e instalación de plantas de tratamiento de residuos solidos hospitalarios peligrosos en Colombia y en el Perú, afirman que el proceso de incineración de estos residuos en base a criterios técnicos, científicos, administrativos y financieros, es efectivo, reduciendo el riesgo biológico, el peso, el volumen y el tiempo de tratamiento del residuo sólido, así también lo consideran como la mejor opción entre varias alternativas planteadas debido al uso de equipos sencillos industriales y a los bajos consumos de energía, además, que los costos asociados a la instalación y operación de la planta son moderados, con costos de producción por una alta demanda insatisfecha por el servicio de incineración que demuestran que es una alternativa económica y financieramente viable.

Por otro lado, en la mayoría de los países europeos y en algunos países latinoamericanos tales como: Brasil, Colombia, Chile, México, entre otros, existe una tendencia en la aplicación del proceso de incineración, debido a que la tecnología ha ido avanzando con el uso de mejores técnicas para el crontol respectivo de la contaminación ambiental.

En ese sentido, en nuestro país es necesario conocer como se desarrolla el proceso de incineración como alternativa de tratamiento de los residuos hospitalarios peligrosos, con la finalidad de ayudar a minimizar su volumen y peligrosidad que generan al ambiente y que exigen la utilización de mayores espacios para su adecuada disposición final.

Considerando lo anteriormente expuesto, la presente investigación pretende evaluar el desarrollo del proceso de incineración de los residuos sólidos peligrosos de los establecimientos de salud llevado a cabo en una planta de tratamiento de la Provincia de Lima, con la finalidad de identificar sus ventajas y contribuir a la disposición final de los mismos.

1.1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA

1.1.2.1. PROBLEMA PRINCIPAL

¿De qué manera el proceso de incineración de los residuos sólidos hospitalarios peligrosos de una planta de tratamiento de la Provincia de Lima, contribuye a la adecuada disposición final de estos residuos?

1.1.2.2. PROBLEMAS SECUNDARIOS

¿De qué manera se realiza el manejo y tratamiento de los residuos sólidos hospitalarios peligrosos?

¿De qué modo el proceso de incineración hace posible la reducción de la contaminación?

¿Cómo las medidas de control ambiental facilitan el desarrollo de un proceso de incineración adecuado?

1.2. ANTECEDENTES

ANTECEDENTES NACIONALES

Angulo (2017), elaboró un Estudio de Pre-factibilidad para la Ampliación y Mejoramiento de Planta de Tratamiento Térmico en una Empresa de Gestión de Residuos Industriales, en donde menciona que existe una demanda insatisfecha generando atractivas posibilidades para empresas que brinden servicios de incineración de residuos, las cuales se encuentran actualmente centralizadas en Lima. En la evaluación del proyecto en un horizonte de 10 años demuestra que es viable económicamente; asimismo, indica que la mejora en procesos a través del reaprovechamiento energético genera un impacto económico positivo sustentable, que no solo permite una reducción de costos, sino que además deja abierta la posibilidad de reducir los costos de ventas del servicio y captar potenciales clientes. Por lo que, incluso así existieran variaciones en el precio de venta del servicio, la demanda y costos de ventas, sigue siendo económicamente viable. Por otro lado, la valorización energética mediante tecnologías probadas y planteadas en el proyecto, es ecológicamente sostenible debido a que es energéticamente eficiente y no generaría emisiones perjudiciales para la salud y el ambiente. En ese sentido, recomienda, estar a la vanguardia tecnológica que permita la mejora de procesos, disminución del impacto ambiental y a la salud y reducción de costos, por medio de la adquisición de equipos más eficientes, aprovechando que el sector de gestión de residuos se encuentra en desarrollo y que el desarrollo de la legislación medioambiental en el Perú favorece a la demanda de los servicios de gestión y disposición final ofrecidos por la empresa en estudio; así también, se recomienda, una mayor difusión de la legislación sobre gestión de residuos sólidos por parte de las entidades pertinentes, mayor severidad en las sanciones por incumplimiento de la legislación y un estímulo fiscal, económico y/o financiero por parte del Estado; con la finalidad de promover la ampliación e implementación de sistemas de minimización, reutilización y reciclaje de residuos sólidos.

Menacho, Quispe y Azcona (2015), realizaron el Diseño de una Planta para el Tratamiento Residuos Sólidos Hospitalarios, donde consideran como tecnología de incineración utilizar dos reactores, un reactor de incineración gas-sólido y otro reactor gas-gas de post combustión, siendo la mejor opción entre varias alternativas planteadas, debido al uso de equipos sencillos industriales y los bajos consumos de energía; por lo que, los costos asociados a la instalación y operación de la planta son moderados; se logró el objetivo de la evaluación económica y financiera, con costos de producción que demuestran que es una alternativa económicamente rentable y afirman que el proyecto es un proceso con una gran potencia, siendo necesario ampliar su investigación. Además, recomiendan que debido a la poca información acerca del tratamiento de incineración de residuos sólidos hospitalarios, se deberá de evaluar la proyección de instalación de una planta para el tratamiento de residuos sólidos hospitalarios en la localidad de Ventanilla.

Espino, González y Viladegut (2014**)**, desarrollaron un Estudio de Viabilidad sobre la Implementación de una Planta de Incineración para la Destrucción de Residuos Sólidos generados por empresas farmacéuticas, donde mencionan, que existen las condiciones favorables para la implementación de la planta de incineración, debido a que las empresas miembros de la Industria Farmacéutica del Perú (Asociación Nacional de Laboratorios Farmacéuticos - ALAFARPE) tienen la necesidad de utilizar el método de incineración para la destrucción de sus residuos sólidos, debido a que se reduciría el mercado informal de productos farmacéuticos que son reciclados y adulterados, y/o comercializados en dicho mercado; de la evaluación del proyecto, afirman que la implementación de planta de incineración resulta operativamente y financieramente viable; por otro lado, mencionan que el Perú es el único país de América Latina que no realiza un tratamiento apropiado para la disposición final de los residuos sólidos en la industria farmacéutica; por lo que, recomiendan concientizar a la sociedad y a la población, de la importancia de métodos apropiados para el tratamiento de

residuos de todas las industrias; con ello, la regulación de la norma, para que se establezca el método de destrucción de los residuos sólidos de la industria farmacéutica mediante el proceso de incineración, por ser considerado el más adecuado.

Uzuriaga (2013), realizó el Estudio de Pre-Factibilidad para la Instalación de un Relleno Sanitario de Seguridad para el Tratamiento y Disposición de Residuos Sólidos Industriales Peligrosos en el botadero de Reque en la Provincia de Chiclayo. El estudio menciona que en dicha provincia existen condiciones favorables para implementar proyectos que puedan satisfacer la demanda de servicios para tratamiento y disposición de residuos industriales peligrosos; se evaluó el proyecto para un horizonte de 10 años en el que se demuestra que éste proyecto es viable económica y financieramente; sin embargo, existen riesgos por conflictos sociales en zonas cercanas al proyecto; por lo que, recomienda realizar una mayor difusión en las prácticas de responsabilidad social y ambiental planteando estrategias de Responsabilidad Social y Relaciones Públicas con la población del área de influencia del proyecto; asimismo, recomienda realizar un Estudio de Factibilidad y un Estudio Técnico Detallado de Riesgos a fin de minimizar los riesgos de accidentes ambientales y ocupacionales que conlleven gastos futuros como pagos de multas, costos de post-clausura mayores y/o posibles accidentes de seguridad ocupacional.

Loayza y Nava (2012), elaboró un estudio de Impacto Económico del Tratamiento y Gestión de los Residuos Solidos Producidos por el Hospital Militar Central – Lima, donde indican que de acuerdo con el análisis de costos desarrollados, la tecnología de autoclave con triturador tiene el menor costo efectividad para el ciclo al interior del establecimiento de salud, sin embargo, considerando el costo de transporte externo y la disposición final se realiza en función al peso y volumen del residuo hospitalario (el sistema de incineración reduce en un 90% el volumen inicial de los residuos tratados mientras que en el autoclave no varía los costos contingentes como el control de vectores la vigilancia y acondicionamiento del residuos son

menores en la incineración) el estudio permitió concluir que la incineración es la tecnología más adecuada para establecimientos de salud que emiten alrededor de 40 TM de residuos por mes y en ciudades con un alto crecimiento poblacional.

Berrocal (2009), elaboró un Estudio de Pre - Factibilidad para la instalación de una Planta de Tratamiento de Residuos Sólidos Hospitalarios Biocontaminados y Especiales en la Provincia de Lima, donde menciona que existen las condiciones favorables para implementar el proyecto en la Provincia de Lima, viéndose reflejado en el incremento de clínicas y hospitales; por ende, una demanda del servicio; finalmente, se logra demostrar que el proyecto es viable económica y financieramente; entonces, recomienda brindar charlas periódicas en las instituciones de salud, que fomenten el uso de tecnologías más limpias de tratamiento de residuos y a la vez continuar con el desarrollo de este tipo de proyectos a fin de fomentar el cuidado al medio ambiente, por medio del uso de tecnologías limpias de tratamiento; asimismo, sugiere estar a la vanguardia de nuevas tecnologías y métodos de tratamiento de residuos sólidos.

ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Rosas et al. (2014), realizó un estudio de Evaluación de la Incineración de Residuos Peligrosos, donde diseñó el método de evaluación del desempeño de los sistemas de incineración para valorar los diferentes parámetros de operación de los incineradores, de acuerdo con rangos de operación satisfactorios, basados en su mayoría en los lineamientos establecidos en proyectos de normas mexicanas y en normas aplicables en países donde la incineración es práctica común. Se incluyeron también otros parámetros que no están directamente relacionados con el proceso de incineración, pero que deben atenderse para mejorar el desempeño general de las plantas. Así, se asignaron valores de acuerdo con una escala donde se distinguen condiciones y características de una operación ineficiente, satisfactoria o excelente, valoradas con 0, 1 y 2, respectivamente.

Tasneem (2014), realizó un estudio de Aprovechamiento Sostenible de las Cenizas generadas en las Plantas Incineradoras de Residuos Sólidos Municipales como Materiales de Construcción para carreteras en Estados Unidos, donde se menciona que dicha técnica ha sido aplicada en los sectores de construcción civil, de los países europeos y asiáticos; además, evaluó que en comparación con las cenizas volátiles, las cenizas fijas, han sido mayormente utilizadas en el área de asfalto, pavimentación de carreteras y productos de hormigón, debido a su alto contenido de componentes ricos en sílice (fortalecimiento de la fuerza); por otro lado, se revela que las cenizas volátiles poseen más porosidad interna y presentan morfología irregular y angular en comparación con las cenizas fijas; contienen sales altamente solubles, cloro y metales pesados, que necesitan ser tratados antes de su utilización. Con respecto al aluminio metálico que parece estar presente en ambos tipos de cenizas; se ha detectado que el aluminio conduce al rendimiento inferior del producto de hormigón debido a la evolución del gas hidrógeno producido como resultado de la hidrólisis del aluminio en un entorno altamente alcalino; por lo que, la opción de reutilizar las cenizas en asfalto y cemento es la más aceptable debido a que interfiere en la reducción significativa de la liberación de elementos tóxicos así como suficiente nivel de integridad estructural. Finalmente, recomienda realizar extensos esfuerzos de investigación para el desarrollo de la tecnología de procesamiento de materiales para hacer que la utilización de las cenizas tratadas sea una opción prometedora para un material de transporte sostenible.

Pérez (2010), en su investigación sobre Rellenos versus Incineradores: Identificación y Comparación de Peligros planteados por las emisiones tóxicas asociadas con la Eliminación de Residuos Sólidos Municipales en Puerto Rico, determinó que el proceso de incineración en comparación con los rellenos emite 3.7 veces más agentes contaminantes peligrosos; no obstante, se emite 18 veces menos agentes contaminantes cancerígenos peligrosos conocidos y 190 veces menos posibles o potenciales agentes contaminantes cancerígenos peligrosos de

riesgo ocupacional que en los rellenos; en base a ello revela que si en el manejo de residuos sólidos se incluyen el proceso de reciclaje, compostaje e incineración o la combinación de dichos procesos; así también, si se utiliza la mejor tecnología y la adecuada operación en el proceso de incineración, el flujo de ingreso de los residuos a los rellenos se reduciría considerablemente, la reducción de las emisiones sería significante; lo cual aumentaría la capacidad restante de la vida útil de un relleno.

Blanco y Briceño (2005), realizaron un Diseño de una Planta de Tratamiento de Residuos Sólidos Hospitalarios y similares en el Municipio de Arauca, en Colombia, donde indican que el tratamiento por el método de incineración en base a criterios técnicos, científicos, administrativos y financieros, es efectivo porque reduce el riesgo biológico, el peso, el volumen y el tiempo de tratamiento del residuo sólido; además, señalan que es indispensable realizar la instalación de sistemas de depuración de los gases y la inertización de las escorias; aunque, la depuración de humos, la instalación de quemadores o la inyección de oxígeno puro no son la solución definitiva a la contaminación; pues, antes se debe mejorar la calidad de la combustión, la capacitación, la elaboración de manuales de operación y el uso de instrumentos y equipos para el control automático; así también, menciona que en caso de una inadecuada gestión de los desechos hospitalarios (minimización, clasificación y metodología de disposición) se generaría un exceso de residuos y en consecuencia la saturación del incinerador. Por lo que, recomienda que los establecimientos de salud cuenten con estudios de costos de la incineración, lo que les permitirá planificar y evaluar este método de tratamiento, siendo necesario que se caractericen los residuos, se determinen los que inevitablemente deben ser incinerados, con el propósito de minimizar los costos de operación y mantenimiento.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

- Evaluar el proceso de incineración de una planta de tratamiento, con la finalidad de identificar sus ventajas y tener una adecuada disposición final de residuos sólidos hospitalarios peligrosos de la Provincia de Lima.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diagnosticar el manejo actual de los residuos sólidos hospitalarios peligrosos con el fin de conocer las características de estos residuos.
- Analizar el proceso de incineración de los residuos sólidos hospitalarios peligrosos para determinar las posibles etapas que contaminan.
- Identificar las medidas de control ambiental con la finalidad de desarrollar un proceso de incineración adecuado.

1.4. JUSTIFICACIÓN

En el Perú, los residuos sólidos hospitalarios peligrosos, los cuales en su mayoría (95%) se disponen en los muy escasos rellenos de seguridad existentes para la disposición final, no reciben un tratamiento previo que ayude a minimizar su volumen y peligrosidad, propiciando el uso de mayores espacios para la respectiva disposición final y en algunos casos ocasionando que el manejo sea inadecuado. Por otro lado, la aplicación del tratamiento por incineración es muy mínima, además no ha sido plenamente estudiado a pesar de que, en el Perú existen estudios que han demostrado la viabilidad económica y financiera respecto a la implementación de plantas de incineración para la destrucción de residuos sólidos, éstos son escasos. Por ello,

resulta de suma importancia fomentar el uso de alternativas, sustentables con el ambiente, siendo a su vez una opción compatible para el tratamiento de una variedad de residuos como se da en la mayoría de los países europeos y latinoamarecianos.

La investigación surge de la necesidad de conocer el desarrollo del proceso de incineración de los residuos hospitalarios peligrosos de una planta de tratamiento llevado a cabo en una empresa de la Provincia de Lima, con la finalidad de identificar las ventajas que derivan del mismo y determinar si ayuda a la adecuada disposición final de los mismos.

Debido a que no se cuenta con suficientes estudios del alcance nacional sobre la materia de investigación, servirá para alcanzar un mayor conocimiento del mismo; por lo cual, busca proporcionar información que será útil para mejorar el conocimiento sobre el desarrollo, el desempeño adecuado y el beneficio a la etapa de disposición final, del proceso de incineración. Por otra parte, contribuye a ampliar los datos sobre el manejo de las cenizas y las características del proceso, para contrastarlos con otros estudios y analizar las posibles variantes según lo encontrado.

El trabajo tiene una utilidad metodológica ya que podrian realizarse futuras investigaciones que utilizarán metodologías compatibles de manera que se posibilitaran analisis conjuntos, comparaciones entre periodos temporales concretos y evaluaciones de las intervenciones que se estuvieran llevando a cabo para la mejora a la etapa de disposicion final de los residuos.

Cabe señalar que, la investigación si bien es cierto se obtuvo información relevante de fuente primaria e in situ; no se necesitó de mayores recursos para llevarla a cabo efectivamente, debido a que la operatividad de la planta utilizó un equipo nuevo, tecnológico y automatizado, facilitando los datos de los cuantitativos mas importantes del proceso de manera automatica.

1.4.1 IMPORTANCIA

La presente investigación es importante debido a que el tema en estudio no se encuentra muy estudiado en nuestro país ya que, según se percibió durante el desarrollo de éste estudio, por la falta de conciencia ambiental, por parte de los involucrados e interesados tales como: las EORS y sobre todo de los generadores que aún no realizan éste tratamiento debido a que para ellos implica grandes inversiones considerar dicha alternativa al manejo actual de sus residuos, pese a que hay estudios que han demostrado y evaluado su viabilidad económica y financiera; así también, está dirigida para las autoridades del país, especialmente a los sectores competentes como el MINAM, OEFA y MINSA, ya que según la actual normativa del país, no es de aplicación obligatoria; sin embargo, la minimización de los residuos, no solo es conveniente con el uso de tecnologías modernas que como se ha visto en este estudio cuenten con los controles respectivos para la contaminación ambiental; sino también, con la aplicación de normativa no menos exigente pero concensuada en el control y la supervisión del desempeño adecuado de las mismas; así también, que desde un punto de vista ambiental, el ciclo del manejo actual de los residuos se complete eficientemente; es decir, se lleve a cabo el manejo integral con prioridad a la minimización desde la fuente del generación hasta la última etapa del ciclo de los residuos que es la disposición final; por lo cual, resulta importante para profundizar en el estudio de mejores técnicas de minimización como es la incineración de residuos y que se adecuen al actual sistema de gestión y manejo de residuos de nuestro país.

1.5. HIPÓTESIS

El proceso de incineración de los residuos sólidos hospitalarios peligrosos de una planta de tratamiento de la Provincia de Lima contribuye a la adecuada disposición de estos residuos.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. BASES TEÓRICAS

Planta de Incineración

La distribución general de los ambientes de la Planta de Incineración, se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1: Distribución General de los Ambientes de la Planta de Incineración

N°	Descripción
1	Área Administrativa
2	Almacén Temporal de Residuos Sólidos
	Almacén de Residuos A
	Almacén de Residuos B
3	Almacén Temporal de cenizas
4	Área de Laboratorio
5	Área de Capacitación
6	Área de Incineración
7	Área de Maniobra y Estacionamiento Vehicular
8	Área de Higienización y Desinfección
9	Lavandería
10	Servicios higiénicos y Vestuarios
11	Áreas verdes
12	Sistema de abastecimiento de agua
13	Área de Vigilancia
14	Área de Tránsito peatonal
15	Áreas libres

Fuente: Elaboración Propia.

Área Administrativa

Se encuentra cosntruida de material noble con piso de cerámico y paredes revestidas con pintura lavable, el cual cuenta con equipos de cómputo, comunicaciones y mobiliario necesario.

Esta instalación está conformada por los siguientes ambientes:

-Oficinas administrativas

-Área de capacitación

-Comedor

-Servicios higiénicos

-Lavandería

Almacén Temporal de Residuos Sólidos

Es un área dispuesta para el almacenamiento temporal de todos los residuos recolectados previos a su incineración; el almacén es de material noble. El piso del almacén es acondicionado con cerámicos y canaletas de drenaje para posibles lixiviados y escorrentía de agua producto del lavado de superficies. En esta área se ubican las bolsas y cajas provenientes de los centros de atención de salud, las que serán recibidas en su bolsa de revestimiento acondicionado por el hospital de origen, dichas bolsas se almacenan de manera separada por colores; los de color rojo con residuos biocontaminados para un lado y los residuos especiales en bolsas de color amarillo para otro lado, para conocer el sistema de almacenamiento diferenciado y el área de la zona se muestra en la Tabla 2.

Cabe indicar que el tiempo de almacenamiento de residuos sólidos es menor a cinco (05) días.

Tabla 2: Sistema de Almacenamiento Diferenciado

Sistema de Almacenamiento Diferenciado	
Almacén N° 01 de Residuos Solidos Hospitalarios	
Área física efectiva	199.86 m^2
Tiempo de Almacenamiento	Almacenamiento entre 0 y 2 días (48 horas), según procedimientos de trabajo actuales, que serán conservados.
Tipo de infraestructura	Área techada con puerta de acceso restringido.
Manejo de residuos	Ingreso de residuos biocontaminados, solo en contenedores individuales de 1.1 m^3.
Capacidad de almacenamiento	Capacidad de 100 m^3 efectivos. Aproximadamente para 5 días de almacenamiento.
Paredes y Pisos	Acabados impermeables de cerámico lavable con sumidero.
Ambiente de operaciones	Temperatura controlada y sistema de control de incendios.
Distribución de residuos	Materiales separados por tipos.
Sistema de Limpieza	Limpieza en Seco.
Almacén N° 02 de Cenizas	
Área física efectiva	200 m^2
Tiempo de almacenamiento	Almacenamiento entro 0 y 5 días, en función de la recarga de trabajo
Tipo de infraestructura	Área techada con puerta de acceso restringido.
Manejo de residuos	Ingreso de residuos peligrosos varios, en barriles, cajas de plástico, cajones de madera, bidones de plástico y contenedores de 1.1 m^3. Estos son depositados sobre parrillas, sin contacto con el suelo.
Capacidad de almacenamiento	Capacidad de 120 m^3 efectivos. Aproximadamente para 5 días de almacenamiento.
Paredes y Pisos	Acabados impermeables de cemento pulido, lavable con sumidero.
Ambiente de operaciones	Temperatura controlada y sistema de control de incendios.
Distribución de residuos	Materiales separados por tipos
Sistema de Limpieza	Limpieza con agua y desinfección con hipoclorito de sodio.

Fuente: Elaboración propia.

Almacén Temporal de Cenizas

Este ambiente es de material noble, tiene un área de 76.95 m^2 y tiene capacidad máxima de almacenamiento de 150 m^3 para acopiar de manera temporal las cenizas generadas en las actividades de incineración de los residuos sólidos hasta un periodo máximo de un (01) día, los cuales posteriormente son llevados por una empresa operadora de residuos sólidos para la respectiva disposición final; relleno de seguridad autorizado.

Área de Laboratorio

Este ambiente es de material noble que utiliza un área de 18.43 m^2, el cual se encuentra implementado de acuerdo a la necesidad de los requerimientos de la planta.

Área de Capacitación

Este ambiente es de material noble, tiene un área de 37.17 m^2 y está equipada con los equipos necesarios para capacitación y sensibilización del personal; así como, para realizar las reuniones con las entidades relacionadas con la actividad.

Área de Incineración

Esta zona está conformada por los espacios donde se encuentra el Equipo Incinerador por Horno Rotativo de Combustión Principal (Ver Figura 1), el cual está protegido contra el ingreso de lluvias, conformado por un techo de protección metálica fija y segura para evitar y reducir los riesgos de accidentes, en las que se apoyan las calaminas galvanizadas. Asimismo, el área cuenta con pisos lisos y lavables con un sistema de evacuación de aguas provenientes del lavado de los recipientes que trasladen los residuos hasta ésta zona.

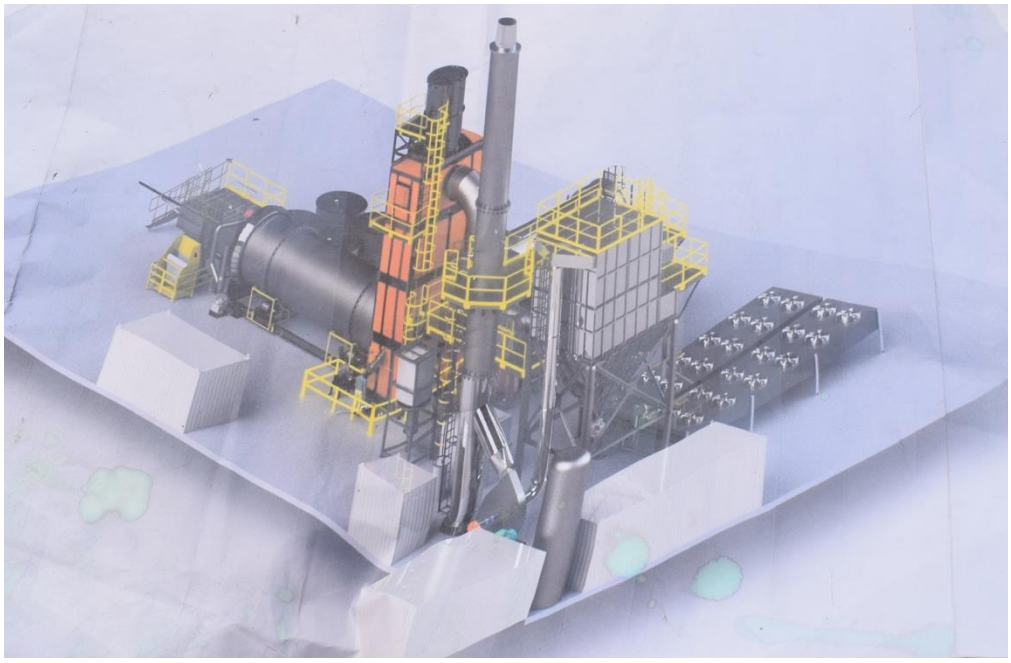


Figura 1. Equipo de Incineración del área de Incineración

Fuente: Elaboración Propia

El área total de la nave es de 1018 m^2, las cuales se distribuyen los siguientes ambientes:

- Área de Control de Procesos
- Zona de Procesos
- Zona de Carga

Área de Maniobra y Estacionamiento Vehicular

El área de maniobra es una superficie de tránsito vehicular construido de material noble (concreto armado), ocupando un área de 380.14 m^2, el cual cuenta con canaletas de drenaje para la escorrentía de agua del lavado de pisos y paredes.

En este espacio se determina por indicadores la cantidad y volumen de residuos a tratar diariamente, ya dentro preferentemente se colocan en estantes acomodados de abajo para arriba, los residuos biocontaminados deben ser colocados en la parte inferior para evitar derrames y para el caso de punzocortantes, éstos deben llegar en sus recipientes cerrados. Los residuos ubicados en ésta área alcanzan una estancia no mayor a las 24 horas o excepcionalmente a las 48 horas; posteriormente, son llevados al Área de

incineración. En cuanto a su estructura, está debidamente señalizado, con iluminación, ventilación adecuada, paredes lisas que faciliten la limpieza, pisos duros y lavables, además cuenta con elementos que impidan el acceso de vectores y roedores. El ingreso es restringido, solo ingresa el personal autorizado y capacitado en el manejo de residuos hospitalarios.

Además, cuenta con un sistema de evacuación de aguas provenientes de pisos y paredes.

Área de Higienización Vehicular

Es el área donde se realiza el lavado de los vehículos, el cual está conformado de una rampa y canaletas laterales para la escorrentía del agua producto del lavado. Dicha instalación ocupa un área de 227.9 m^2.

Sistema de Tratamiento y Almacenamiento de Aguas Residuales

El sistema de tratamiento y almacenamiento de aguas residuales está conformado por un pozo séptico, el cual tiene la finalidad de almacenar temporalmente las aguas residuales, para luego ser extraídas y transportados a una planta de tratamiento de aguas residuales o relleno de seguridad, está ubicado dentro de la planta de tratamiento, tiene 2.20 m de profundidad y ocupa un área de 3.50 m por 3.50 m; además, cuenta con la capacidad de almacenar 7 m^3.

El tanque séptico recibe las aguas residuales provenientes del drenaje de las áreas de almacenamiento, servicios higiénicos, lavado de paredes y pisos; etc. Su forma es de una gran caja de forma rectangular, que posee uno o más compartimientos.

La Instalación de sumidero de conducción y almacenamiento de aguas residuales (solo limpieza de proceso) la misma que consta de un sistema de conducción y almacenamiento de agua de lavado del proceso. Esta instalación se realiza con la finalidad de insuflar al interior del horno todos los líquidos residuales que forman parte del proceso de limpieza de contenedores, vehículos y demás procesos relacionados con

el contacto con residuos peligrosos. Este sistema no es utilizado para eliminación de aguas residuales domésticas.

Caja Sumidero: Consiste en una trampa de grasa para reducir la obstrucción de la red de drenaje de aguas residuales, el cual está seguido de un sistema de sedimentador primario que tiene el objetivo de reducir los sólidos y saturar la red de drenaje de aguas residuales.

Sistema de Abastecimiento de Agua

El sistema de abastecimiento de agua para consumo humano y uso industrial de la planta, está conformado por lo siguiente:

Sistema de abastecimiento: esta se realiza a través de servicios de abastecimiento con camión cisterna, para el cual se ha diseñado la infraestructura necesaria.

Sistema de almacenamiento: el almacenamiento se desarrolla en una cisterna de concreto de bajo nivel del piso, con una capacidad de 30 m^3.

Sistema de distribución: El sistema de distribución es con tubería de PVC, empotrada en pisos y paredes de toda la infraestructura.

Sistema de Abastecimiento de Combustible

Está conformado por una infraestructura de soporte que consiste en una base en el segundo nivel del lado izquierdo de la nave, el cual se ha construido con columnas, vigas y techo de concreto armado armable.

Tanque de almacenamiento de gas licuado de petróleo (GLP) para el funcionamiento de los incineradores, con tuberías metálicas para su distribución.

Área de Tránsito Peatonal

Está conformada por los pasadizos y escaleras de tránsito peatonal en el primer nivel de la planta, el cual ocupa un área de 93.17m^2.

Área Verdes

Está conformado por las jardineras sobre el nivel y nivel del piso, ocupando un área de 25.15 m^2.

Área de Vigilancia

Está conformada por una caseta cerrada de material noble adyacente a la puerta, el cual ocupa un área de 6.88 m^2.

Esta es una instalación de material noble de dos pisos con luna refractiva al exterior, el cual está conformado por dos áreas diferenciadas:

-Caseta de control en el primer piso

-Caseta de vigilancia en el segundo piso

Está diseñada con el uso de la tecnología moderna de cámaras de vigilancia de estructuras de material sólido que permite desarrollar actividades en condiciones de seguridad adecuada.

Servicios Higiénicos y Vestuarios

Está conformado por los servicios higiénicos para los trabajadores y visitantes, el cual ocupa un área de 17.14 m^2.

Como parte de la rutina diaria, al finalizar la jornada del turno de trabajo, el personal realiza las actividades que forman parte del cuidado de higiene personal, colocando su indumentaria de trabajo en el respectivo casillero asignado a cada personal en el área de vestuarios. La limpieza de la indumentaria de trabajo se realiza en forma periódica, para lo cual, el personal debe comunicar su necesidad. Se genera un reporte de las actividades diarias.

Señalizaciones, Ubicaciones y Capacidad de Extintores

Señalizaciones

La planta cuenta con señalizaciones que están dadas básicamente para que el usuario actúe adecuadamente frente a sismos y a incendios, al comportamiento que debe de tener en los espacios funcionales que han sido acondicionados y equipados para hacer frente a estos siniestros y que de acuerdo al grado de intensidad pueden ser pasajeros y/o exigir una inmediata evacuación.

Contempla la siguiente señalización:

1. Señalización direccional de rutas de salida.
2. Señalización de salidas.
3. Señalización de zonas de seguridad en caso de sismos.
4. Señalización de la ubicación de los extintores y luces de emergencia.
5. Señalización respecto a la orientación hacia las salidas principales, la identificación de las salidas de emergencia y las zonas de seguridad en caso de sismos. También se encuentra señalizada la ubicación de los gabinetes contra incendio, los equipos de extintores, etc., los cuales se encuentran ubicados y señalizados.

En Casos de Sismos

Presenta zonas de seguridad internas y externas, en el primer caso de acuerdo al sistema estructural del edificio, donde se ha determinado los espacios más resistentes y libres de obstáculos y/o desprendimientos.

En Caso de Incendios

En las zonas de trabajo como en las circulaciones, se han dotado de gabinetes contra incendios y de extintores.

Equipamiento

La planta cuenta con el siguiente equipamiento:

-Red de agua contra incendios.

-Detección y alarma contra incendio.

-Extintores portátiles de PQS y CO_2.

-Hidrantes interiores.

-Mangueras contra incendios.

-Ubicación y Capacidad de Extintores.

Los extintores secos se utilizan principalmente para extinguir fuegos de líquidos inflamables. Por ser eléctricamente no conductores. También pueden emplearse contra fuegos de líquidos en que también participen equipos eléctricos bajo tensión. Los extintores de polvo seco normal se han ensayado por parte de laboratorios de ensayos de quipo de incendio en estas circunstancias y han demostrado que son aptos para su empleo contra incendios de líquidos inflamables y fuegos eléctricos (Fuegos de Clase ABC).

Extintores de CO_2

También conocido como Nieve Carbónica o Anhídrido Carbónico, fuegos de clase BC, residuos líquidos del tipo B como líquidos inflamables (gases, grasas, pinturas, disolventes) y eléctricos del tipo C como equipo eléctrico (circuitos maquinarias y transformadores).

La planta cuenta con trece (13) extintores del tipo PQS y 02 del tipo Espuma a FFF.

Operaciones de una Planta de Incineración de Residuos Peligrosos

El esquema de una planta de incineración de residuos peligrosos incluye los siguientes bloques de operaciones:

-Recepción y preparación de los residuos a tratar.

-Combustión.

-Recuperación de Energía.

-Depuración de los gases de combustión.

-Tratamiento y gestión de los residuos sólidos y de las aguas residuales. (Rodríguez y Irabien, 1999, p. 191-192)

Evaluación del Proceso de Incineración de Residuos Peligrosos

Rosas et al. (2014), estableció los criterios (Ver Tabla 3) empleados para establecer los valores para evaluar los diferentes parámetros de operación de los incineradores, están basados tanto en las condiciones establecidas en proyectos de normas mexicanas, como en la legislación y literatura internacionales sobre el proceso de incineración. (p.28-29)

Tabla 3: Criterios Aplicados para Valorar el Desempeño de las Plantas de Incineración de Residuos Peligrosos

Criterios de Combustión	Criterios para el Tratamiento de Gases	Otros Criterios Importantes
1. Temperatura en la Cámara de Combustión Primaria.	1. Control de particulas y gases ácidos.	1. Almacenamiento de residuos.
2. Temperatura en la Cámara de Combustión Secundaria.	2. Temperatura de salida de los gases.	2. Manejo de Cenizas.
3. Tiempo de retención en Cámara de Combustión Secundaria.		3. Tratamiento de aguas.
4. Perdida de materia volátil de las cenizas.		

Fuente: Rosas et al. (2014)

Condiciones del Proceso en relación a la eficacia del mismo

En el caso de los residuos peligrosos, el carácter de los mismos impone niveles de destrucción muy elevados, tanto mas cuanto mayor es la peligrosidad de los componentes que le confieren tal carácter y la concentración de los mismos en el residuo.

Las reglamentaciones existentes en algunos paises, en materia de incineración de residuos peligrosos, fijan los niveles de destrucción minímos que han de alcanzarse para diversos compuestos seleccionados por su peligrosidad. La eficacia de destrucción, para un compuesto dado, se define como:

$$\eta = 100 (W_0 - W_e) / w_0$$

Donde W_0 y W_e representan la masa del mismo alimentado al horno con el residuo y la emitida en los gases, respectivamente tomada ambas para el mismo tiempo de intervalo. La eficacia de destrucción en un tratamiento de incineración viene determinada, como operación de combustión que en definitva es, por la combinación de tres condiciones operativas que definen lo que le conoce como las "3 Tes" de la combustión: temperatura, tiempo y turbulencia (calidad de la mezcla). Existe una estrecha relación entre ellas, de forma que un aumento de la intensidad de mezcla entre el O_2 y la materia combustible permite rebajar la temperatura y/o tiempo de contacto para obtener la misma eficacia. (Rodríguez y Irabien, 1999, p. 173-174)

Impactos Ambientales del Proceso de Incineración

Los problemas de contaminación gasesosa asociados con ésta vía de gestión de los residuos peligrosos constituyen uno de sus puntos críticos mas importantes y determinan la necesidad no solo de emplear condiciones de trabajo particularmente enérgicas sino de incorporar sistemas de alta eficacia para la limpieza de los gases, que

representan parte esencial del esquema del proceso y suponen una fracción sustancial de la inversión de una planta incineradora y de los costes de operación de la misma.

Pero, además de los contaminantes gasesos, las instalaciones de incineración producen distintos residuos sólidos. La fracción generalmente más importante en volumen de los mismos corresponde a las cenizas fijas recogidas en el horno de combustion. Las particulas de menor tamaño, arrastradas por la corriente gaseosa, constituyen las cenizas volantes, que se retienen en su mayor parte en los dispositivos de limpieza de los gases, pasando así a formar parte del inventario de residuos sólidos de la planta incineradora.

La eliminación de alguno de los contaminantes gaseosos más importante, como HCl, Cl_2, HF y SO_2, produce tambien residuos solidos, si se realiza por via seca o aguas residuales, con sus correspondientes lodos, cuando se lleva a cabo por vía humeda. Si el tren de limpieza de gases requiere la inclusión de una etapa final de tratamiento con carbón activo para reducir la emisión de dioxinas o de Hg por debajo de los niveles exigidos, el adsorbente constituye, una vez usado, otro residuo solido del proceso.

En la Figura 2, se resumen de forma esquemática las principales fuentes de materias residuales de una planta de incineración. La gestión de todos estos residuos ha de realizarse teniendo en cuenta su composición y caracteristicas. Un volumen importante de los mismos puede ser catalogable como caracter peligroso, lo que exigirá, en tal caso, el empleo de vías de acondicionamiento, tratamiento o deposición adecuadas a dicho caracter. (Rodríguez y Irabien, 1999, p. 177-178)

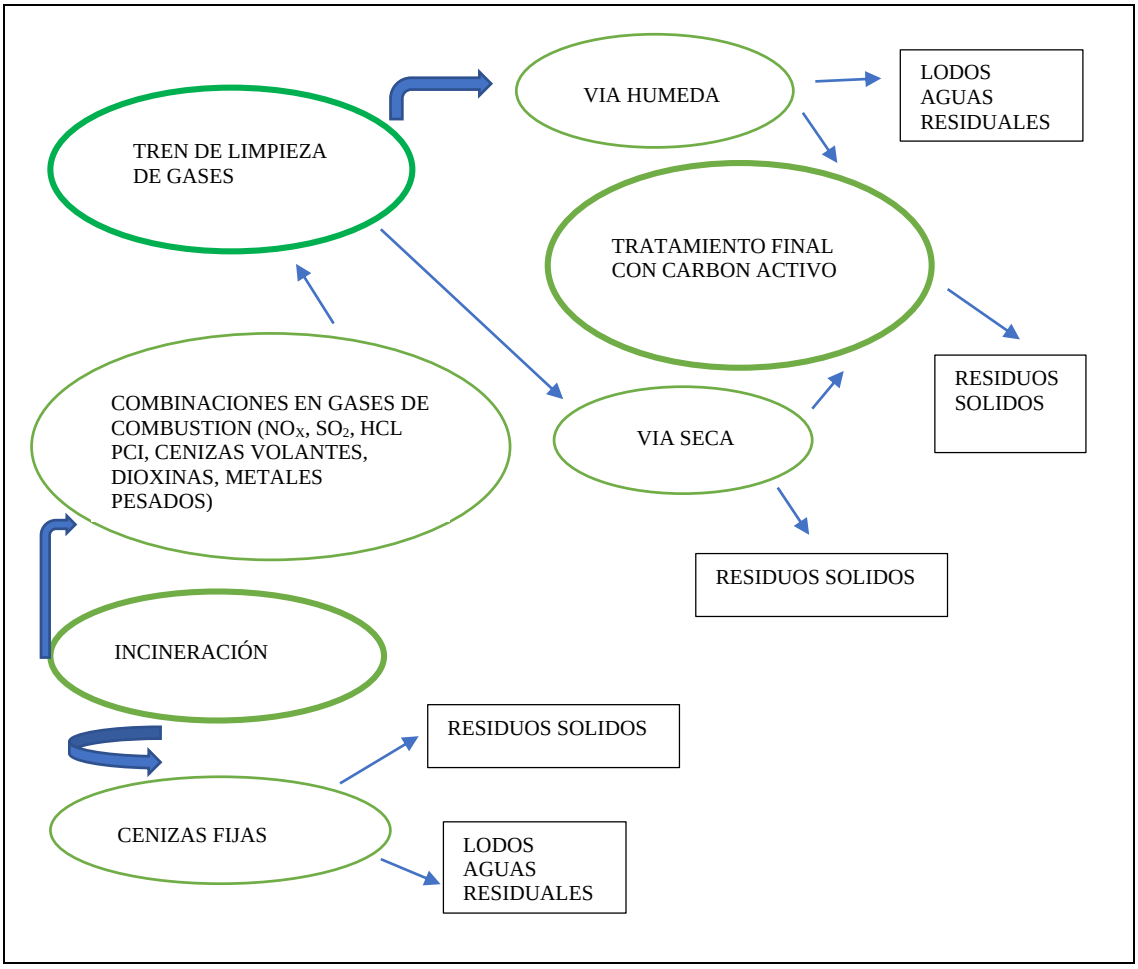


Figura 2. Fuentes de residuos en una planta de incineración

Fuente: Rodríguez y Irabien, 1999

Aspectos Mediombientales Claves

El tratamiento térmico de residuos puede, verse como una respuesta a las amenazas medioambientales planteadas por corrientes de residuos mal gestionadas o sin gestionar.

El objetivo del tratamiento térmico es conseguir una reducción global en el impacto medioambiental que de otro modo se derivaría del residuo. No obstante, en el curso del funcionamiento de las instalaciones de incineración, se producen emisiones y consumos cuya existencia o magnitud dependen del diseño y operación de la instalación. Por consiguiente, se resume brevemente los principales aspectos medioambientales derivados directamente de las instalaciones de incineración (es decir, no incluye los

impactos o beneficios más amplios de la incineración). Esencialmente, estos impactos directos se engloban en las siguientes categorías:

-emisiones globales del proceso a la atmósfera y al agua (incluido olor)

-producción global de residuos del proceso

-ruido y vibración del proceso

-consumo y producción de energía

-consumo de materias primas (reactivos)

-emisiones fugitivas - principalmente del almacenamiento de residuos

-reducción de los riesgos de almacenamiento/manejo/proceso de residuos peligrosos.

-Otros impactos (que pueden tener una influencia significativa sobre el impacto medioambiental global de todo un proyecto) se derivan de las siguientes operaciones:

-transporte de los residuos entrantes y de los residuos de salida.

-pretratamiento amplio de residuos (ej. separación de combustibles derivados de residuos y tratamiento asociado del rechazo). (Comisión Europea, 2011, p.11)

Emisiones del Proceso

Las emisiones rutinarias a la atmósfera generalmente se producen exclusivamente desde la chimenea. A continuación, se presenta un resumen de las principales emisiones a la atmósfera de las emisiones de chimenea:

- Partículas de diversos tamaños.

- ácidos y otros gases: Incluyen HCl, HF, HBr, HI, SO_2, NOX, NH_3 entre otros;

- Metales pesados: Incluye Hg, Cd, Tl, As, Ni, Pb, entre otros.

- Composición de carbono (no GHG): Incluye CO, hidrocarburos (COV), PCDD/F, PCB entre otros.

- Otras emisiones a la atmósfera pueden ser, si no existen medidas para su reducción:

• Olor, proveniente del manejo y almacenamiento de residuos sin tratar.

• Gases de efecto invernadero (GHG) de la descomposición de residuos almacenados, ej. Metano, CO_2.

• Polvo, de las zonas de manejo de reactivos secos y almacenaje de residuos. (Comisión Europea, 2011, p.12)

Producción de Residuos Solidos de la Instalación

Aunque los tipos y cantidades de residuos producidos varían mucho según el diseño de la instalación, su funcionamiento y la entrada de residuos, normalmente se producen las siguientes corrientes residuales principales durante el proceso de incineración:

- Cenizas y/o escorias
- Cenizas de calderas
- Polvo de filtros
- Otros residuos de la limpieza de gases de combustión (ej. cloruros de calcio o sodio)
- Lodos del tratamiento de aguas residuales. En algunos casos, estas corrientes residuales están separadas; en otros casos, se combinan dentro o fuera del proceso.

Algunos residuos del tratamiento térmico (normalmente escorias vitrificadas de procesos a temperaturas muy altas) pueden usarse directamente sin tratamiento. Las sustancias que pueden obtenerse tras el tratamiento de las cenizas de fondo son:

• Materiales de construcción

• Metales férreos

• Metales no férreos

Además, algunas plantas que utilizan procesos de limpieza de gases residuales con equipos específicos adicionales recuperan:

• Sulfato cálcico (yeso)

• Ácido clorhídrico

• carbonato sódico

• Cloruro sódico

De estos productos, aunque dependen mucho del tipo de residuo, las cenizas de fondo son las que generalmente se producen en mayores cantidades. En muchos lugares, que muchas veces dependen de la legislación y prácticas locales, las cenizas de fondo se tratan para su reciclaje como sustituto de agregados.

Los residuos producidos de la limpieza de los gases de combustión son una importante fuente de producción de residuos. La cantidad y naturaleza de los mismos varía, principalmente según los tipos de residuos que se incineran y la tecnología empleada. (Comisión Europea, 2011, p.13)

Tratamiento de los Gases

Los gases procedentes de la incineración de residuos peligrosos están contaminados por partículas (cenizas volantes) y compuestos gasesosos, como HCl y SO_2, a los que pueden acompañar también HF, HBr y P_2O_5 y a los que se hace referencia, de forma genérica, como gases ácidos. Junto a estos contaminantes mayoritarios es necesario controlar la presencia de metales pesados, en general, con especial atención al Hg, dada su alta volatilidad y a otros también termolábiles por sí o en presencia de Cl. Las dioxinas, por su elevada toxicidad, constituyen uno de los factores de riesgo más importantes y caracteristicos de la incineración de residuos peligrosos. Además, como en cualquier sistema de combustión, ha de tenerse en cuenta también la presencia de NO_x en los gases.

Los sistemas de depuración de gases de una planta incineradora de residuos deben contemplar, por tanto, el doble objetivo de eliminar materia particulada y contaminantes en estado gaseoso y han de diseñarse para unos niveles de eficacia elevados, a fin de

cumplir los límites de emisión legalmente establecidos, lógicamente exigentes, dada la naturaleza del problema.

Para conseguir ese objetivo no existe una solución única, por lo que la sección de depuración de gases se estructura en función de distintios esquemas, según las características específicas de la planta, definidas por su propia capacidad, el tipo de residuos que procesa y las condiciones de operación. Dicha estructura responde a tres modelos básicos, según que la depuración se lleve a cabo por vía seca, por vía humeda o mediante una combinación de ambas.

El tratamiento por vía seca presenta la ventaja de que evita la producción de aguas residuales (siempre que el enfriamiento de las cenizas fijas se realice con aire, situación normal en las plantas que operan por vía seca). Frente a esta ventaja, el volumen de residuos sólidos resulta mayor, ya que en la eliminación de gases ácidos por esta vía se trabaja con una dosificación de reactivo (normalmente $Ca(OH)_2$ en polvo) de hasta dos veces la estequiométrica, a pesar de lo cual la eficacia suele ser menor que por vía humeda. La vía seca constituye, pues, una alternativa aconsejable cuando la concentración de HCl y SO_2 en los gases de combustión se encuentra dentro de los niveles bajos o moderados. En la figura 3 se muestra un esquema típico de tratamiento de los gases por vía seca.

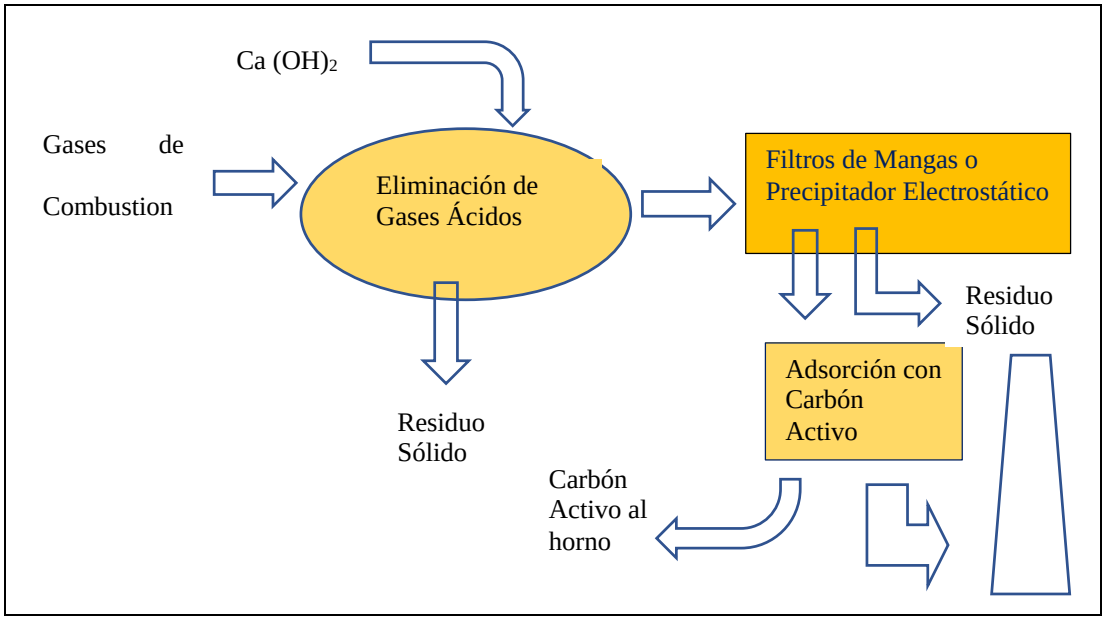


Figura 3. Sistema de depuración de gases por vía seca.

Fuente: Rodríguez y Irabien, 1999

La primera etapa suele ser la eliminación de HCl, SO_2 y, en su caso, otros gases ácidos, por reacción con $Ca(OH)_2$ que se inyecta en polvo o en suspensión, en forma de gotas finas. En este segundo caso, el calor de los gases evapora el agua, con lo que únicamente queda un residuo sólido. La baja reactividad de la cal limita la eficacia del sistema y obliga a utilizar dosis de 1.5 a 2 veces la estequiométrica, origen del inconveniente antes señalado para esta vía en relación con el volumen final de residuos sólidos. Los solidos procedentes de esta etapa, junto con las propias cenizas volantes de la corriente gasesosa, se retienen mediante algún sistema de captación de partículas que opere por vía seca y proporcione una alta eficacia, como un filtro de mangas o un precipitador electrostático. En este sentido, ha de tenerse en cuenta que entre un 15 y un 25% de la masa de cenizas volantes puede corresponder a partículas de menos de 2 μm.

Los dos sistemas consiguen altas eficacias de retención para partículas de hasta de 0.1 μm y mantienen niveles muy aceptables incluso para tamaños de 0.05 μm. Los filtros de mangas presentan un límite superior en torno a unos 250 °C, por razones técnicas (material de la tela filtrante) y de seguridad (inflamabilidad). Los filtros de mangas

contribuyen a mejorar la eficacia de eliminación de gases ácidos, ya que la reacción continúa sobre las particulas de Ca $(OH)_2$ retenidas en el medio filtrante atravesado por el gas. En uno y otro sistema resulta importante controlar el ritmo de evacuación de los sólidos retenidos, de forma que se limite el tiempo de permanencia de las particulas captadas, ya que un contacto mas prolongado con los gases aumenta el riesgo de formación de dioxinas (sintesis de novo, catalisis).

El tratamiento de los gases se completa en ocasiones con una operación final de adsorción con carbón activo, para reducir los niveles de dioxinas cuando resulta necesario, operación también efectiva, en su caso, para controlar las emisiones de Hg. El ajuste final de los niveles de dioxinas puede también llevarse a cabo por combustión catalítica, que afecta además al CO y a los compuestos orgánicos que pudieran quedar en los gases.

Finalmente, como en cualquier planta de combustión, un elemento importante en toda planta de incineración, en relación con la emisión de los gases, es la chimenea. Constituye el paso final para lograr el objetivo de que estas instalaciones operen dentro del menos riesgo posible para el medio ambiente. Su altura determina, para unas condiciones meteorológicas dadas, las concentraciones máximas de contaminantes a nivel del suelo, asi como la distancia a la que éstas se producen. Su diseño debe incluir una plataforma con las correspondientes ventanas para la toma de muestras de gases en condiciones isocinéticas, cuya altura debe situarse a una distancia de 8 o mas diametros de la entrada de los gases y al menos a 5 diametros del extremo superior. (Rodríguez y Irabien, 1999, p. 200-204)

Gestión de los residuos sólidos de la incineración

Las cenizas procedentes de la incineración de residuos peligrosos son consideradas, en principio como residuos peligrosos. Por lo tanto, han de ser sometidas a los test

reglamentarios para determinar de forma efectiva su carácter y establecer las condiciones para su desposición o analizar, en su caso, las posibilidades de desclasificación para facilitar su gestion final, pensando incluso en posibles aplicaciones utilitarias.

En el caso de cenizas fijas, las condiciones empleadas en la combustión son, en buena medida, determinantes del estado final de las mismas. A tempertura de 850 °C – 900 °C, con tiempos de residencia de unos 10 minutos, se producen ya fenómenos de sinterización importantes, que se ha comprobado conducen a una diminución significativa de las proporciones lixiviables de distintos metales como Cr, Ni, Cu, Zn y Pb. A temperaturas superiores a unos 1200 – 1300 °C, como las que se dan en algunos hornos rotatorios, la fusion de las cenizas y su posterior vitrificación constituye una vía de estabilización de las mismas.

El exceso de O_2 constituye también una variable importante, ya que una mayor proporción del mismo favorece el predominio de los óxidos frente a otros compuestos metálicos de las cenizas. Esta circunstancia adquiere una mayor significación cuando se incineran residuos que contienen Cl y/o S, ya que la presencia de HCl y SO_2 en la atmósfera del horno promueve la formación de cloruros y sulfatos en una proporción que depende en gran medida de la temperatura y la presión parcial de O_2. A alta temperatura y en exceso de O_2, las formas mas estables son, en general, los óxidos, que, al ser menos lixiviables que los cloruros y sulfatos, determinan un mejor comportamiento de las cenizas frente a los tests de caracterización de residuos peligrosos. Sin embargo, la formación de cloruros favorece la volatilización de algunos metales pesados, lo que se reduce su concentración final en las cenizas fijas.

Esas mismas condiciones de mayor temperatura, tiempo de residencia y exceso de O_2, reducen la proporción de residuo carbonoso en las cenizas, circunstancia también

importante de cara a su clasificación. Cuando el nivel de COT de las cenizas fijas está por encima del limite exigido para su desclasificación, estas se recirculan total o parcialmente al horno. Cabe señalar que, sin embargo, que sobre dicho límite, no existe una formulación precisa y explicita ni en la legislación española ni en la comunitaria. Esta última fija la concentración máxima de COT en el lixiviado en 200 mg/l, para que el residuo pueda ser considerado como inerte. No obstante, éste criterio parece mas dudoso en su aplicación a la materia carbonosa, dada su escasa solubilidad en las disoluciones utilizadas en los ensayos normalizados.

En síntesis, el empleo en la combustión de condiciones mas agresivas, que favorecen la destrucción prácticamente completa de los componentes peligrosos de los residuos tratados, promueve también un mayor grado de inertización de las cenizas fijas del horno, reduciendo así las necesidades de acondicionamiento posterior de las mismas.

Cuando en el horno no se consigue una inertización suficiente de las cenizas fijas, éstas pueden someterse a un tratamiento térmico posterior. En atmósfera reductora puede conseguirse la fusion de al menos una fracción suficiente para que la masa vitrifique al enfriar.

Los residuos sólidos constituidos por las cenizas volantes recogidas en los equipos de retención de partículas (filtros de mangas y precipitadores electrostáticos), así como en la caldera cuando las plantas disponen de éste sistema de recuperación de calor. Estas cenizas son potencialmente catalogables como residuos peligrosos por diversos conceptos, por lo que estos residuos sólidos deben ser convenientemente tratados antes de su deposición final. Existen diversas vías para ello, entre las que cabe precisar las siguientes:

-Inertización /estabilización

-Tratamiento térmico

-Extracción seguida de tratamiento térmico

Los residuos sólidos que resultan de la eliminación de HCl y SO_2 de los gases, bien por viá seca o por vía húmeda, son básicamente similares en cuanto a su composición. Los problemas de gestión vienen más por su volúmen, sobre todo cuando los gases se depuran por vía seca, que por su constitución. Como se ha indicado, se utilizan a veces para la inertización de las cenizas fijas. Los lodos de los lavadores de SO_2 pueden emplearse incluso para la producción de yeso en países con deficit del mismo, como Japón.

La presencia de cenizas volantes puede representar un inconveniente en algunos casos, aunque es una situación poco frecuente, ya que la proporción de las mismas suele ser baja. En tales casos, la deposición o utilización de éstos sólidos requiere un acondicionamiento previo.

Finalmente, cuando se utiliza un tratamiento con carbón activo como etapa final para la eliminación de dioxinas de los gases, el adsorbente, que, una vez usado, constituye un residuo peligroso, se envía al horno de incineración. En dicha etapa de adsorción se retiene también Hg, si está presente en los gases, en cuyo caso debe controlarse adecuadamente el balance de dicho elemento, ya que puede ser necesario someter el carbón activo usado a un tratamiento de lixiviación antes de quemarlo en el horno. (Rodríguez y Irabien, 1999, p. 204-206)

Recuperación y Aprovechamiento Energético

El calor de los gases puede aprovecharse para la producción de vapor, con o sin generación subsiguiente de energía eléctrica, o para precalentar el aire alimentado al sistema de combustión.

Desde el punto de vista técnico, la recuperación de calor en una planta incineradora responde esencialmente a las mismas concepciones que en las instalaciones convencionales de combustión. Las posibilidades se concretan básicamente en el aprovechamiento del calor de los gases para la producción de vapor y/o para precalentar el aire alimentado como comburente. Dichas operaciones se realizan mediante sistemas de intercambio de calor (economizador, recuperador) de tubos, normales en cualquier instalación de combustión.

Las condiciones que han de soportar los tubos de la caldera obligan a espaciados más amplios en la sección de entrada de los gases. Algunos diseños incorporan incluso dispositivos de golpeteo y sacudida de los tubos para evitar una excesiva acumulación de depositos sólidos sobre las paredes de los mismos. En definitiva, tanto el diseño de la caldera como su mantenimiento estám muy condicionados por las características de los residuos procesados. Así, cuando la instalación está destinada a la incineración de residuos líquidos con bajo contenido en cenizas, los sitemas de recuperación de calor puenden responder a criteios mas corrientes, a base de hornos rotatorios, se conciben para procesar una amplia gama de residuos y, por tanto, los equipos de recuperación de calor deben proyectarse para soportar lo mejor posible las condiciones particularmente adversas en que frecuentemente han de operar. (Rodríguez y Irabien, 1999, p. 209-210)

Enfriamiento rápido de los gases de combustión

Esta técnica comporta el uso de un lavador de agua para enfriar los gases de combustión directamente desde su temperatura de combustión hasta menos de 100°C. , la cual se utiliza en algunas incineradoras de residuos peligrosos. La acción del enfriamiento rápido reduce la residencia de los gases de combustión en zonas de temperaturas que pueden dar lugar a síntesis de novo adicional de PCDD/F. El lavador debe estar

diseñado para poder aceptar las elevadas cargas de partículas (y otros contaminantes), que son transferidas al agua del lavador.

No se utiliza ninguna caldera y la recuperación de energía está limitada a la transferencia de calor de las soluciones calientes del lavador. (Comisión Europea, 2011, p. 155-156)

Beneficios Medioambientales del Uso de Sistemas de Control

El uso de sofisticados sistemas de control puede producir un proceso de incineración con menos variaciones en el tiempo (es decir, mejor estabilidad) y el espacio (es decir, más homogéneo), permitiendo una mejora global de la combustión y la reducción de las emisiones a todos los medios. El mejor control de proceso tiene ventajas específicas:

-mejor calidad de la ceniza de fondo (debido a una suficiente distribución del aire primario y una mejor posición del proceso de incineración sobre las parrillas);

-menor producción de ceniza volante (debido a la menor variación en la cantidad de aire de incineración primario);

-mejor calidad de la ceniza volante (menos materia sin combustionar, debido a condiciones de proceso más estables en el horno);

-menos formación de CO y COV (debido a condiciones de proceso más estables en el horno; es decir, no hay «puntos calientes»);

-menor formación de NOX (debido a condiciones de proceso más estables en el horno; es decir, no hay «puntos fríos»);

-menor riesgo de formación de dioxinas (y precursores) gracias a la mayor es- tabilidad del proceso en el horno;

-mejor utilización de la capacidad (ya que la pérdida de capacidad térmica por variaciones se reduce);

-mejor eficiencia energética (ya que la cantidad media de aire de incineración se reduce);

-mejor funcionamiento de la caldera (ya que la temperatura es más estable, hay menos «picos» de temperatura y por tanto menos riesgo de formación de ceniza volante que causa obstrucciones);

-mejor operación del sistema de tratamiento de gases de combustión (ya que la cantidad y la composición de los gases de combustión es más estable);

-mayor potencial de destrucción, combinado con una combustión más eficaz de los residuos.

-Las ventajas indicadas también producen un menor mantenimiento y por tanto una mayor operatividad de la planta. (Comisión Europea, 2011, p. 325-326)

Visión General de la Monitorización de Emisiones Realizadas

Las emisiones de los compuestos (polvo, HCl, SO2, CO, NO_X y HF) deben monitorizarse de forma continua, para el caso del NO_X solo si son aplicables normas de emisión y HF no es necesario si el proceso asegura una eliminación adecuada de HCl). Las mediciones continuas no son obligatorias para HCl, HF y SO_2, cuando el proceso es tal que no es posible que se superen las normas de emisión.

Además, deben monitorizarse de forma continua los siguientes parámetros de proceso: temperatura del horno, O_2, presión, temperatura de salida de los gases de combustión, contenido de vapor de agua (a menos que las mediciones de emisiones se realicen en gas de combustión seco). Otras emisiones de compuestos a medir de forma regular (mínimo 2-4 veces al año) son: metales pesados y PCDD/F.

Las técnicas de medición para mercurio (Hg) y dioxinas (PCDD/F) son relativamente complicadas y caras. (Comisión Europea, 2011, p. 182)

Visión General de Dispositivos y Medidas de Seguridad

> La seguridad de la planta en función de prevenir accidentes que puedan dar origen a emisiones contaminantes.
>
> Las partes relevantes a la seguridad de las plantas incineradoras de residuos y, por tanto, las fuentes potenciales de peligro incluyen dispositivos y medidas de seguridad, en particular en zonas en las que estén presentes o puedan formarse determinadas sustancias en cantidades que puedan afectar la seguridad. (Comisión Europea, 2011, p. 185)

2.2. MARCO LEGAL

A continuación, se presenta un listado de la legislación y regulaciones aplicables al manejo de residuos solidos hospitalarios:

Gestión de Residuos Sólidos Hospitalarios Peligrosos

La gestión de los residuos solidos hospitalarios peligrosos de los establecimientos de atención de salud de la Provincia de Lima que realizan el proceso de incineración en la planta de tratamiento, está determinada por lo establecido en la actual normativa vigente Norma Técnica de Salud N° 144-MINSA/2018/DIGESA, la cual establece:

1. Los establecimientos de atención de salud, deben incorporar en sus acciones de planificación las acciones necesarias para la adecuada gestión integral y manejo de los residuos sólidos.

A continuación, en Tabla 4, se describen las disposiciones de carácter obligatorio:

Tabla 4: Disposiciones para la Gestión de los Residuos Sólidos de los Establecimientos de Salud

N°	Disposiciones
1	Sensibilizar y comprometer al personal del ESS, SMA y CI.
2	Conformar un Comité de Gestión Integral y Manejo de Residuos Sólidos
3	Elaborar el Diagnostico Basal o Inicial de la Gestión y Manejo de los Residuos Sólidos en el EESS, SMA y CI.
4	Se contemplan diez etapas en el manejo de los Residuos Sólidos en cada EESS, SMA y CI.

Fuente: Norma Técnica de Salud N° 144-MINSA/2018/DIGESA

2. Cada establecimiento de atención de salud debe contar con un instrumento para la gestión y manejo de sus residuos, siendo este el Diagnóstico Basal o Inicial de la Gestión y Manejo de los Residuos Sólidos en el EESS, SMA y CI. Este diagnóstico inicial sobre el manejo de los residuos forma parte de la planificación de todo Establecimiento de Salud, se basa en un proceso de recolección, análisis y sistematización de la información acerca del historial de los residuos generados, el cual considera lo siguiente:

1. Caracterización del Residuo Sólido
    - Datos de la composición de los residuos sólidos generados de acuerdo a su clase, peso y volumen.
    - Clase de residuos
    - Volumenes de los residuos solidos
    - Peso de los residuos
    - Calculo del volumen y peso de los residuo por numero de camas
2. Información de los aspectos adminsitrativos y operativos del manejo de los residuos solidos en el establecimiento de salud.
3. Sistematización y análisis de la información.

Operadores de Residuos Sólidos

Según el Decreto Supremo N° 014-2017-MINAM, Aprueba el reglamento de la "Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos" son las personas jurídicas que realizan operaciones y procesos con residuos sólidos. Son considerados operadores las municipalidades y las empresas autorizadas para tal fin (p. 42).

Tratamiento de Residuos Solidos Hospitalarios Peligrosos

Según D.L. N° 1278 Decreto Legislativo que aprueba la "Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos", en el caso de los residuos sólidos biocontaminados generados en establecimientos de salud, se ha establecido que dichos residuos se encuentran a cargo del Ministerio de Salud y pueden ser tratados previamente a la disposición final, a fin de reducir o eliminar su peligrosidad.

Volumen de Residuos Sólidos Hospitalarios Peligrosos dispuestos en el relleno, El Zapallal

En el siguiente Tabla 5, se detalla respecto al Volumen de Residuos Sólidos Hospitalarios Peligrosos dispuestos en el Relleno El Zapallal al año 2013.

Tabla 5: Volumen de Residuos Sólidos dispuestos en el Relleno El Zapallal

N°	Número de Establecimientos de Salud a Nivel Nacional	Año	Descripción	Disposición final de Residuos	
				(Ton/mes)	(Ton/año)
1 2 3 4 5 6	548	2013	Residuos Hospitalarios Peligrosos	908	10893

Fuente: Sexto Informe Nacional de Residuos Solidos de la Gestión del Ambito Municipal y No Municipal – MINAM (2013)

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Combustión

Xavier (2003) indica que la combustión se designa toda reacción química que va acompañada de gran desprendimiento de calor. Sin embargo, la combustión propiamente dicha es una oxidación rápida que produce el calor. Para que la combustión tenga lugar y sea estable, necesita una temperatura elevada, asimismo, tenemos tipos de combustión como: completa, estequiométrica e incompleta. (p. 2,3 y 4)

Dioxinas y Furanos

Las dioxinas y furanos, o simplemente dioxinas, son los nombres comunes por los que se conoce a dos grupos de sustancias químicas con cloro. Existen 75 dioxinas y 135 furanos diferentes, de los cuales el 12% son muy tóxicos. Se producen generalmente en procesos de incineración no controlada o de deficiente tecnología (Jaquenod, 2007, p. 43).

Según Xavier (2003) las dioxinas y los furanos son compuestos tóxicos formados por anillos bencénicos en cuyos radicales se insertan oxígenos y cloros. Ello da lugar a un sinfín de isómeros de los cuales son extremadamente tóxicos. (p. 4)

Equipo de incineración

El equipo de incineración es un sistema, cuya cámara principal (Horno Rotativo de Combustión Principal) está conformado por un cilindro de acero exterior que gira sobre su eje horizontal, permitiendo una incineración de 39 m^3 de capacidad y un mejor contacto del residuo con las llamas directas del sistema de quemado. Su parte interior o zona de contacto con los residuos está conformada por material refractario de alta alúmina para evitar pérdidas de calor en el sistema asegurando un funcionamiento adecuado monitoreado por un instrumento de control

de temperatura que indica que en condiciones normales alcanza los 850 °C, cuyas características principales se aprecian en el siguiente Tabla 6:

Tabla 6: Características Generales del Equipo

Caracteristicas Generales del Equipo
-Horno de Incineración continúo tipo túnel rotatorio.
-Necesita una preparación de la carga con composición de poder calorífico.
-Sistema de incineración pro llama directa de sólidos, pastas y líquidos en simúlatenos.
-Operación con velocidad variable.
-Combustión a 1000 °C y Post- combustión a 1200 °C.
-Un sistema de filtrado de emisiones.
-Un sistema de purificado de emisiones.
-Recuperación automática de cenizas, sin necesidad de paralizar las operaciones.

Fuente: Elaboración Propia.

Filtros de Tejido

> Los filtros de tejido, también denominados filtros de manga, se utilizan ampliamente en plantas de incineración de residuos. Las eficiencias de filtración son muy altas para una amplia gama de tamaños de partículas. A tamaños de partículas inferiores a 0.1 micras, las eficiencias se reducen, pero la fracción de estas partículas existente en el flujo de gases de combustión de plantas incineradoras de residuos es relativamente baja. Con esta tecnología se consiguen bajas emisiones de polvo. También puede utilizarse después de un precipitador eléctrico y lavadores húmedos. (Comisión Europea, 2011, p.135-136)

Incineración

Es el proceso por el cual se destruyen los residuos bioinfecciosos y químicos mediante la combustión bajo condiciones controladas para oxidar el carbón y el hidrógeno presente en los

residuos. Este método se utiliza para tratar varios tipos de residuos. Los materiales no incinerables permanecen como residuos. Los incineradores deben contar con doble cámara: primaria, con temperaturas de 600 y 850 °C y la secundaria alrededor de 1200 °C; además de contar con filtro y lavador de gases (Cantanhede, 1999, p. 4)

Manifiesto de Residuos Peligrosos

Según el Anexo de Definiciones de la Ley N° 1278, Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, es un documento técnico administrativo que facilita el seguimiento de todos los residuos solidos peligrosos transportados desde el lugar de generación hasta el lugar de disposición final, el cual debera contener informacion relativa a la fuente de generación, las caracteristicas de los residuos generados, transporte y disposicion final consignados en formularios especiales que son suscritos por el generador y todos los operadores que participan hasta la disposición.

Postcombustión

Xavier (2003) refiere que la postcombustión tiene la misión de asegurar que los gases procedentes del horno, en parte no quemados, permanezcan en ella el tiempo de residencia preciso, con una temperatura superior a la que indica la curva de destrucción térmica del residuo. Con ello se garantiza una destrucción térmica superior al 99.99% de los compuestos entrantes (p. 25)

Quema de residuos sólidos

Según el Decreto Supremo N° 014-2017-MINAM, es un proceso de combustión incompleta de los residuos ya se al aire libre o empleando equipos inapropiados, que causa impactos negativos a la salud y el ambiente. (p. 42)

Relleno

Es importante tener en cuenta que la promoción del relleno sanitario sostenible de ninguna manera disminuye la importancia de la reducción de desechos, la reutilización, el reciclaje, la

combustión y otras medidas de procesamiento de desechos como elementos clave en el sistema de manejo integrado de desechos sostenible de una comunidad. Los rellenos sanitarios modernos proporcionan un hogar seguro a la fracción de los residuos sólidos municipales de una comunidad que permanece después de todo esfuerzo razonable para reducir su volumen a través del reciclaje, la transformación y otros medios. Asimismo, minimizan la emisión de líquidos y gases al medio ambiente y, como ya se señaló, reducen la propagación de enfermedades asociadas con la basura expuesta. (Rosas et al. 2011, p.1)

Loayza y Nava (2012), indican que el relleno sanitario o enterramiento controlado, es una técnica para la disposición de los residuos sólidos hospitalarios en el suelo, sin causar perjuicio al medio ambiente y sin causar molestia o peligro para la salud y seguridad pública, dicho método utilizar principios de Ingeniería para confinar los residuos en la menor área posible, reduciendo su volumen al mínimo practicable y para cubrir los residuos así depositados con una capa de tierra con la frecuencia necesaria, por lo menos al fin de cada jornada.

Residuos Sólidos de Establecimientos de Salud Peligrosos

Según la Norma Técnica de Salud N° 144-MINSA/2018/DIGESA, estos residuos se caracterizan por estar contaminados con agentes infecciosos o que pueden contener altas concentraciones de microorganismos que son de potencial peligro, tales como: agujas hipodérmicas, gasas, algodones, medios de cultivo, órganos patológicos, restos de comida, papeles, embalajes, material de laboratorio, medicamentos o productos farmacéuticos.

Clase A: Residuos Biocontaminados: Son aquellos residuos peligrosos generados en el proceso de la atención e investigación médica que están contaminados con agentes infecciosos, o que pueden contener altas concentraciones de microorganismos que son de potencial riesgo para la persona que entre en contacto con dichos residuos.

- Tipo A.1: Atención al Paciente
- Tipo A.2: Biológico

- Tipo A.3: Bolsas conteniendo sangre humana y hemoderivados
- Tipo A.4: Residuos Quirúrgicos y Anátomo-Patológicos
- Tipo A.5: Punzo cortantes
- Tipo A.6: Animales contaminados

Clase B: Residuos Especiales: Son aquellos residuos peligrosos con características físicas y químicas de potencial peligro por lo corrosivo, inflamable, tóxico, explosivo y reactivo para la persona expuesta.

- Tipo B.1: Residuos Químicos
- Tipo B.2: Residuos Farmacológicos

Volumen

Loayza y Nava (2012), en el estudio de Impacto Económico del Tratamiento y Gestión de los Residuos Solidos producidos por el Hospital Militar Central – Lima, mencionan que la minimización trae como consecuencia una reducción de los costes de manejo, menor riesgo de exposición y reducción de accidentes ocupacionales y de la contaminación ambiental. Uno de los métodos utilizados es a través de Técnicas de reducción de volumen, como la incineración, compactación y trituración.

Por otro lado, Ross, Agamuthu & Gardner (2011), mencionan que: "(...) cuando la economía tiene razón, tiene sentido reducir el volumen de desechos que van a los vertederos, pero para muchos materiales y muchas situaciones, la economía de la desviación de desechos no es favorable (...)" (p. 2)

III. MÉTODO

De los diversos esquemas de la clasificación de la investigación científica, se desprenden criterios significativos y definidos para cada tipo de investigación, los cuales se describirán a continuación:

3.1. TIPO DE INVESTIGACION

- **Por el Propósito:** La presente investigación es una investigación **aplicada** cuyo propósito es dar solución a situaciones o problemas concretos e identificables (Bunge, 1985); es decir, tiene como finalidad evaluar una alternativa de tratamiento, considerando un tipo proceso de incineración llevado a cabo en una planta de tratamiento de una empresa, para identificar el beneficio a la adecuada disposición final de los residuos sólidos hospitalarios peligrosos de la Provincia de Lima.
- **Por el Enfoque:** Presenta un **enfoque cualitativo**, debido a que se ha realizado la interpretación y se ha integrado hallazgos o resultados cualitativos, siendo éste enfoque seleccionado cuando: "(…) el propósito es examinar la forma en que los individuos perciben y experimental los fenómenos que lo rodean, profundizando en sus puntos de vista, interpretaciones y significados (…)", además "(…) el punto de partida de la investigación cualitativa el propio investigador, su preparación y su experiencia (…)". (Hernandez R., Fernandez C. y Baptista, P, 6ta ed, 2014, p. 358 y p. 466). Asimismo, desarrolla un **enfoque cuantitativo,** debido a que se ha realizado la interpretación y se ha integrado hallazgos o resultados cuantitativos.
- **Por el Diseño**: La principal fuente de información de la presente investigación utilizó, la **técnica de campo**, puesto que permitió a través de la observación simple no estructurada, obtener información del contexto real en que dan los hechos. Por otro

lado, dentro la investigación de campo puede darse los **estudios de caso** (Fedupel, 3ra ed, 2006, p. 11 y p.12). Dichos estudios se pueden definir como estudios que al utilizar los procesos de investigación cuantitativa, cualitativa o mixta analizan profundamente una unidad holística para responder al planteamiento del problema, probar hipotesis y desarrollar alguna teoría. (Hernández R., Fernández C. y Baptista, P, 6ta ed, 2014, p.164).

- **Por el Nivel de Investigación:** El primer nivel de investigación utilizado es de tipo **exploratorio** porque el tema de estudio respecto al tratamiento de residuos sólidos hospitalarios mediante el proceso de incineración de este tipo es llevado a cabo únicamente en una empresa de Lima, por lo que es relativamente nuevo; asimismo, existe poca información al respecto o no se conoce estudio similar realizado en la Provincia de Lima. Esto con el propósito de motivar a otros investigadores para que realicen nuevos y más profundos estudios sobre el tema formulando alternativas de intervención en la materia desarrollada; a su vez es de tipo **descriptivo**, ya que lo se busca es evaluar como se desarrolla el proceso de incineración de una planta de tratamiento detallando el actual manejo de residuos sólidos hospitalarios peligrosos de la Provincia de Lima, analizando el proceso e identificando el beneficio que brinda a la última etapa de disposición final de los mismos. Ambos niveles de investigación también pueden ser categorizados: "(…) bajo la modalidad (diseño) de campo (…)". (Francisco T, 2016, p 43 y p. 44)

3.2. AMBITO TEMPORAL Y ESPACIAL

AMBITO TEMPORAL

Las etapas de la presente investigación se han llevado a cabo en el periodo de un año, iniciado desde el año 2018 hasta el año 2019.

AMBITO ESPACIAL

El presente estudio se realiza en base a la información recopilada de una planta de tratamiento de residuos sólidos de una empresa operadora de residuos sólidos. Como se detalla a continuación:

Ubicación y Localización

La planta de tratamiento, se ubica en la Calle 4, Mz. U, Lote 02, Cooperativa de Colonización Las Vertientes de la Tablada de Lurín, Distrito de Villa El Salvador, Provincia y Departamento de Lima. El predio donde opera la planta se encuentra dentro de la zona industrial del distrito de Villa el Salvador, ocupando la categoría de Industrial Liviano (i-II) para el funcionamiento de actividades de tipo industrial.

<u>Ubicación Geográfica</u>

La coordenada geográfica central del predio es:

- Latitud Sur: 12° 13’ 34. 48’’ S
- Longitud Oeste: 76° 57’ 52. 38’’ O
- Altitud: 74 msnm

A continuación, se muestra la ubicación del área de estudio en Tabla 7.

Tabla 7: Ubicación del Área de Estudio (Datum WGS-84 S-18 UTM)

Vertices	Coordenadas Norte	Coordenadas Este
P1	8647653.31	286310.732
P2	8647626.98	286281.694
P3	8647700.14	286265.313
P4	8647674.57	286236.426

Fuente: Elaboración Propia.

Los linderos establecidos son:

- Por el Nor Oeste (NW): Predio con lindero a un terreno descampado de propiedad privada.
- Por el Nor Este (NE): Predio con linderos a un terreno descampado de propiedad privada.
- Por el Sur Este (SE): Predio con linderos a un terreno de semi descampado con actividad de crianza de cerdos.
- Por el Sur Oeste (SW): Lindero con la vía pública (Calle 4).

Ubicación de la Planta de Incineración, ver el mapa en Figura 4.

3.3.VARIABLES

Describiremos las variables de la presente tesis, Tabla 8 y 9

Tabla 8: Operacionalización de la Variable 1

Variable 1	Dimensiones	Indicadores	Técnicas	Instrumentos
Evaluación del Proceso de Incineración	-Evaluación del desarrollo de las operaciones del proceso de Combustión -Control de emisiones y residuos	-Condiciones favorables al proceso de combustión. -Etapas contaminantes. -Control de los gases. -Tipo de almacenamiento de cenizas. -Volumen de Cenizas.	-Observación Directa Simple -Observación No Estructurada	-Cuaderno de notas de gabinete -Libreta de Campo -Ficha de Campo -Cámara Fotográfica -Entrevistas No Estructuradas

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9: Operacionalización de la Variable 2

Variable 2	Dimensiones	Indicadores	Tecnicas	Instrumentos
Residuos Sólidos Hospitalarios Peligrosos	-Operaciones de recolección, transporte, recepción y Almacenamiento.	-Manifiesto de Residuos Peligrosos. -Tipo de Almacenamiento. -Tipo de Residuo. -Volumen del Residuo.	-Observación Directa Simple -Observación No Estructurada	-Cuaderno de notas de gabinete -Libreta de Campo -Ficha de Campo -Cámara Fotográfica -Entrevistas No Estructuradas

Fuente: Elaboración propia

3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA

POBLACIÓN

La población de la presente investigación estuvo conformada respecto a los residuos sólidos peligrosos de los 548 establecimientos de salud que reportan a nivel nacional al Ministerio de Salud.

MUESTRA

Para la realización de la presente investigación, estuvo conformada por (06) seis establecimientos de salud de la Provincia de Lima, los cuales realizan el tratamiento de incineración en su momento en la empresa y se justifica porque se disponía de información relevante de la materia; a su vez por su ubicación accesible dentro de la Provincia de Lima. Además, no todos los establecimientos de salud realizan el tratamiento mediante el proceso de incineración**,** debido a que éste tratamiento no es un servicio obligatorio para todo establecimiento de salud; además, ésta población debido a sus características de los residuos ya se encuentran clasificados de acuerdo a la norma repectiva.

Para la selección de dicho proceso, no se aplicó fórmulas estadísticas, ya que es la única planta de tratamiento que lo desarrolla; por lo que, resultó accesible obtener los datos principales y relevantes para evaluar el procedimiento desde la planta de tratamiento. Además, permitió conocer el panorama de la realidad actual sobre el proceso de incineración llevado a cabo en nuestro país.

Por otro lado, para fines de un mayor análisis sobre el proceso de incineración, en base a criterio del evaluador "(…) criterio para estimar el tamaño de la muestra (…)" (Arias, F, 6ta ed., 2006, p.87), se ha seleccionado el procedimiento general del manejo de los residuos sólidos hospitalarios peligrosos respecto a los datos del peso y del volumen de los seis (06) establecimientos de atención de salud que realizan el proceso de incineración en dicha planta.

3.5. INSTRUMENTOS

Los principales instrumentos utilizados en la investigación son:

- Computadora (1 Laptop Apple con Procesador 2.4 GHz Intel Core i5) y sus unidades de almacenaje, para realizar la descripción de los procesos y la digitalización de datos.
- Libreta de Campo, para realizar los apuntes observados en campo.
- Ficha de Campo, llenar datos necesarios para la evaluación.
- Cámara Fotográfica (01 Cámara Fotográfica Digital de 10 MPx) registro de fotografías de la etapa de campo.

Materiales

Para el buen desarrollo del trabajo de campo se utilizó los siguientes materiales:

Materiales de Escritorio:

- Cuaderno para las anotaciones de las observaciones.
- Útiles de escritorio para las anotaciones de gabinete y campo.

Software:

- Windows 10 y Microsoft Office 2013 para el procesamiento de la información.
- Software Arcgis 10.6 para la elaboración del mapa de localización.

Equipos

- 01 Cámara Fotográfica Digital de 10 MPx, para la toma de fotos de las actividades realizadas.
- 1 Laptop Apple con Procesador 2.4 GHz Intel Core i5, para el procesamiento de la información.
- Memoria USB (capacidad 32 GB), para el almacenamiento de la información.

Técnicas

Las principales técnicas utilizadas en la investigación son:

- Observación Directa Simple.

Las principales estrategias utilizadas en la investigación son:

- Análisis de datos.
- Desarrollo de los temas de análisis.
- Presentación de cuadros y gráficos.

FUENTES DE INFORMACIÓN

Se ha recurrido, a los siguientes tipos de fuentes de Información:

Fuentes Primarias

Este tipo de fuente es de la materia, referente a información proveniente directamente de la investigación, fundamentalmente las que tiene que ver con el objeto de estudio; es decir, respecto a la descripción y análisis sobre el proceso de incineración llevado a cabo en una planta de tratamiento; para ello, se han recurrido a las siguientes:

- Tesis y Tesinas.
- Documentos Internos de Instituciones Públicas.
- Documentos Internos de la empresa en estudio (Manifiestos de Residuos Peligrosos, Procedimientos Internos, Manuales del Equipo Incinerador, Contratos, entre otros).
- Consultas y entrevistas no estructuradas a especialistas en la materia de entidades públicas y privadas.
- Apuntes de Investigación.
- Clases de Cursos, seminarios, etc.

Fuentes Secundarias

Este tipo de fuente, es la que ha permitido analizar e interpretar, en cierto modo, las fuentes primarias, siendo las siguientes:

- Revistas
- Publicaciones
- Artículos específicos
- Estudios del Tema
- Apuntes
- Libros
- Dispositivos legales y principales normas legales

REFERENCIAS DIGITALES

Este tipo de fuentes se encuentran en línea o en red donde se hacen consultas cuidando su veracidad y objetividad del tema; se han consultado las siguientes:

- Páginas web de los sectores de gobiernos (Ministerio de Salud y Ministerio del Ambiente)
- Páginas web de las municipalidades (Municipalidad Metropolitana de Lima y Villa el Salvador)
- Páginas web de software para revisión de normas y reglamentos – SPIG
- Libros
- Tesis y Tesinas

3.6. PROCEDIMIENTOS

El desarrollo del presente trabajo de investigación tuvo en consideración tres etapas, teniendo en cuenta en cada una de ellas lo siguiente:

Etapa 1: Recopilación de Datos

Se realizó la investigación de textos escritos y digitales, para lo cual se utilizó la técnica de compilación, selección y síntesis bibliográfica, con la finalidad de tener una visión general de la problemática planteada. Asimismo, se ha recopilado información acerca del área en estudio tales como: antecedentes de la planta, memorias descriptivas del proceso, el intrumento de gestión ambiental existentes, informes de monitoreos ambientales y documentación adicional, así como de la metodología a aplicar para poder analizar e identificar los posibles impactos ambientales directos del proceso de combustión y realizar una descripción del manejo de estos residuos provenientes de los establecimientos de salud de la Provincia de Lima, para luego identificar la información relevante, lo cual implica también revisar normativas legales aplicables al tema.

Las actividades en esta etapa son las siguientes:

a) Recopilación de información.

b) Visitas a Bibliotecas e Instituciones Públicas y Privadas.

c) Organización y selección de información (pre diagnóstico).

Etapa 2: Etapa de Campo

En esta etapa, se ha realizado en primer lugar el análisis de la información de temática recopilada en gabinete sobre los criterios de evaluación a seguir en campo con el fin de establecer los instrumentos adecuados que permitieron fundamentar la hipótesis planteada. Posterior a ello, se realizó el reconocimiento del área de estudio en campo a través del desarrollo del recorrido guiado de la planta en dos visitas; asi como sus alrededores, contrastando la documentación con la realidad, efectuando entrevistas informales a los trabajadores y pobladores de la zona; por otro lado, se realizó la consulta de especialistas en la materia de la municipalidad metropolitana de lima, ministerio del ambiente, de empresas operadores de residuos sólidos y de la empresa en estudio; con la finalidad de conocer in situ

los procedimientos de la planta de tratamiento, la tecnología aplicada y sus controles para el adecuado manejo; es decir, se realizó una visita técnica, utilizando la técnica de observación simple o no participante, según diseño descrito anteriormente.

Etapa 3: Análisis y Resultados Finales

En esta etapa, se analiza la información obtenida de las etapas anteriores, cuya información permitirá garantizar la adecuada evaluación del proceso de incineración, además de la identificación de las principales ventajas del mismo.

Las actividades en ésta etapa son las siguientes:

a) Elaboración de diagramas.

b) Construcción de tablas y cuadros resultantes.

c) Interpretación de los resultados.

d) Redacción de tesis con la absolución de los objetivos.

3.7. ANALISIS DE DATOS

Para alcanzar el objetivo general, la investigación adopta una metodología objetiva enfoque en el cual se especifican una serie de objetivos y se identifican los métodos para lograrlos, de la siguiente manera:

1. Primero, se evaluó los datos e información sobre el proceso de incineración que se realiza en la Provincia de Lima, u otros subprocesos complementarios a este.

2. Luego, se contrastó la información de acuerdo a los requisitos y/o procedimientos técnicos - legales que se encuentran en la normativa ambiental actual en materia de gestión de residuos sólidos hospitalarios peligrosos.

3. Se identificaron las etapas de cada procedimiento a partir de la recolección y transporte externo, proceso de incineración, tratamiento, reaprovechamiento y disposición final.

4. Se analiza cada subproceso del manejo de los residuos en la planta de tratamiento, lo cual incluye analizar las características del proceso desde el ingreso de los desechos, las características de los residuos ingresantes, la capacidad operativa, el control de la contaminación ambiental durante las operaciones y otros aspectos técnicos pertinentes.

5. Identificar las ventajas del proceso de incineración y el manejo de los subproductos salientes.

6. Se establecieron las consideraciones para realizar un proceso de incineración adecuado para mejorar la gestión integral de los residuos sólidos hospitalarios peligrosos; asimismo, se identificaron las ventajas que cumple el proceso.

IV. RESULTADOS

4.1. MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS HOSPITALARIOS PELIGROSOS

GENERACIÓN DE RESIDUOS HOSPITALARIOS PELIGROSOS

Los tipos de residuos generados se encuentran clasificados como residuos sólidos biocontaminados y especiales (excepto radioactivos). Actualmente, son seis (06) establecimientos de salud que participan en el tratamiento de incineración. Cabe señalar que, en este caso se describe solo el servicio de los residuos que son directamente recolectados y transportados por la misma empresa en estudio, los cuales provienen de los Establecimientos de Salud que se aprecian en la Tabla 10.

Tabla 10: Características de los Residuos Hospitalarios Peligrosos

Características de los Residuos Hospitalarios Peligrosos					
N°	Establecimientos de Salud	Año	Descripción	Cantidad de Bolsas Mensuales	Peso Ton/mes
1	Hospital Nacional Daniel Alcides Carrión	2018	Materia orgánica, fluidos corporales, papeles, telas, comida, vacunas, medicamentos (en sus empaques), trapos con hidrocarburos, piezas metálicas usadas, materiales y equipos biomédicos (plástico–acrílico–polimeros), reactivos y químicos en general.	429	15
2	Clínica Ricardo Palma	2018		229	8
3	Clínica Providencia	2018		28	1
4	Clínica Limatambo	2018		114	4
5	Clínica Monterrico	2018		6	0.2
6	Clínica Internacional	2018		400	14
TOTAL				**1206**	**42.2**

Fuente: Elaboración Propia.

PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE EXTERNO

A continuación, se describe el procedimiento general desarrollado dentro de cada establecimiento de salud durante la entrega de sus residuos a la empresa operadora de transporte de residuos sólidos, (Ver Tabla 11):

Tabla 11: Procedimiento de Recolección y Transporte Externo

Procedimiento de recolección y Transporte Externo
1. El personal de la EO-RS de transporte, antes de ingresar al establecimiento de salud, se anuncia en coordinación con el personal encargado.
2. Una vez dentro de los ambientes de trabajo, el personal operario de recolección de la EO-RS de transporte, se apersona hasta los ambientes del almacén final o ambiente destinado para el almacén de residuos, previa coordinación con el personal responsable y debidamente implementados para el recojo de las bolsas conteniendo los residuos.
3. Las bolsas (rojas) son pesadas, etiquetadas y registradas en el manifiesto de residuos peligrosos según formato establecido en la Ley. Posteriormente, se disponen dentro del vehículo recolector.
4. Antes de llenar el manifiesto de residuos con los datos de los pesos, se verifican que estén colocados correctamente, que el embalaje que contiene los residuos peligrosos concuerde con el tipo, características y volumen declarado en el manifiesto por el generador, el mismo que debe llevarse hasta la planta de incineración.
5. El manifiesto de residuos es entregado a diversas instancias entre ellas: original verde (autoridad competente), primera copia de color blanco (generador), segunda copia de color amarillo claro (EO-RS de transporte), tercera copia de color celeste claro (EO-RS de tratamiento o disposición final).

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 4, Zona recepción de residuos en fuente de generación

Fuente: Elaboración Propia.

RECEPCIÓN DE RESIDUOS

A continuación, se describe el procedimiento general desarrollado para la entrega y recepción de los residuos sólidos hospitalarios peligrosos por la EO-RS de transporte a la planta de incineración (Ver Tabla 12):

Tabla 12: Procedimiento de Recepción

Procedimiento de Recepción
1. El conductor comunica su cercanía a la planta, para que el personal del Área de vigilancia prepare el pase respectivo a ésta.
2. Una vez dentro de la planta y estando estacionado el vehículo de manera segura en el área de maniobra y estacionamiento vehicular, el personal operativo se dirige hacia la parte posterior del vehículo y considerando las medidas de seguridad correspondientes, procede a iniciar la descarga de los residuos que se encuentran almacenados en bolsas rojas y/o amarillas dentro del vehículo, hacia los contenedores ubicados en la parte baja.
3. Lo que se hace es una previa inspección mediante la obervación y verificación a los residuos que se encuentran dentro de las bolsas por seguridad ya que luego serán ingresados al sistema de incineración.
4. Una vez culminada la descarga, los vehículos son lavados en el área de higienización vehicular, utilizando para ello productos que contengan compuestos a base de amonio cuaternario; con la finalidad de realizar la desinfección de los vehículos para su posterior uso.

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 5. Zona recepción de residuos de la Planta de Operaciones.

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 6. Zonas seguras y Áreas de Tránsito Peatonal.

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 7. Zona de lavado y desinfección vehicular de la Planta de Operaciones.

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 8. Recepción de Residuos Sólidos.

Fuente: Elaboración Propia.

ALMACENAMIENTO TEMPORAL

Una vez recepcionados los residuos en planta, se realiza el siguiente procedimiento de almacenamiento temporal de los residuos sólidos hospitalarios peligrosos (Ver Tabla 13):

Tabla 13: Procedimiento de Almacenamiento

Procedimiento de Almacenamiento
1. El almacenamiento temporal se realiza en el Almacén Temporal de Residuos Sólidos, de manera diferenciada de acuerdo al tipo de residuo, en contenedores de color rojo para los residuos biocontaminados y de color amarillo para los residuos especiales; según las características físicas y químicas de los residuos y las características declaradas en la documentación respectiva.
2. Una vez que cada contenedor complete hasta una altura máxima de ¾ de su capacidad, se procede a trasladar éstos hasta la zona de pesaje para su respectivo registro, ésta actividad es realizada por el personal designado en planta.
3. Luego del pesado y el registro, los contenedores son etiquetados y colocados en forma ordenada en el almacén de la planta, de acuerdo a la señalización previamente establecida según el tipo de residuo y sus características de peligrosidad.

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 9. Área de Pesaje de Contenedores de la Planta de Tratamiento

Fuente: Elaboración Propia

Figura 10. Almancén Temporal de Residuos Sólidos Hospitalarios.

Fuente: Elaboración Propia

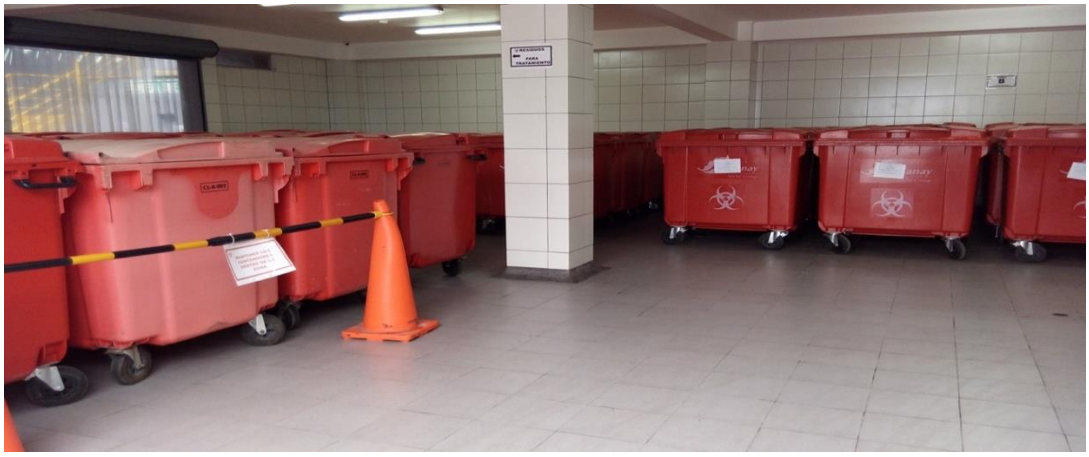


Figura 11. Interior del Almacén Temporal de Residuos Biocontaminados.

Fuente: Elaboración Propia

En ese sentido, las operaciones de ambas actividades se resumen en los siguientes pasos que se muestra en la siguiente Tabla 14:

Tabla 14: Resumen de Actividades en la Recepción y Almacenamiento

Resumen de Actividades de Recepción y Almacenamiento
1. Llegada del vehículo de recolección.
2. Descarga de los residuos de manera manual; sin embargo, también se realiza la descarga mecánica, con el uso de la carreta para cilindros.
3. Pesado de la carga por cada cantidad máxima de hasta 1100 litros.
4. Distribución de la carga en el área de almacenamiento por filas, dejando espacio para su tránsito de evaluación e inspección.
5. Para el caso de almacenamiento de los residuos especiales, la distribución del almacenamiento sería realizada por compatibilidad de residuos como actividad de control de riesgos.
6. Lavado y Desinfectado de todas las superficies cada dos 02 días.

Fuente: Elaboración Propia

PREPARACIÓN DE LA CARGA

La etapa de preparación de la carga tiene como objetivo preparar el residuo previo a su ingreso al incinerador, para aquellos residuos que necesiten ser mezclados, dosificados y volteados por un montacargas acondicionado con un sistema de carga-volteo de 360°, contando para ello con dos mecanismos de alimentación del propio sistema de incineración (Ver Tabla 15):

Tabla 15: Procedimiento de Preparación de la Carga

Procedimiento de Preparación de la Carga
Sistema de alimentación de residuos sólidos
1. Esta operación se realiza mediante la selección de materiales compatibles entre si, que son depositados en una tolva de recepción (sin mezcla de materiales), el cual es depositado al interior de contenedores de 1100 litros y luego empujado automáticamente por pistón dentro de la cámara de combustión.
Sistema de alimentación de residuos líquidos
1. Esta operación se realiza mediante la inyección de residuos líquidos en el interior de un tanque dosificador, el cual de manera automática bombea los líquidos al interior del horno rotatorio, eliminando todo contacto y/o operación llevada a cabo de manera manual para la eliminación de residuos líquidos. 2. Los residuos líquidos en condiciones homogéneas compatibles son colocados en tanques dosificadores de 3 m^3 y de esa forma ingresarlos de manera directa en el incinerador. De manera eventual, si los líquidos y/o pastosos fueran reactivos, éstos deben ser mezclados con aserrín de madera para facilitar su mejor manejo e incineración efectiva.

Fuente: Elaboración Propia.

-La etapa de preparación de la carga consiste únicamente en la selección de materiales compatibles entre si, el transporte y el vertido de los materiales a incinerar (solo materiales seleccionados en una carga individual) los que serán descargados en la tolva de recepción de carga automática, la cual por medio de un sistema de izaje y descarga automatizada, vierte los residuos hacia el ingreso del horno rotatorio.

-Aplica solo para los residuos hospitalarios especiales, puesto que los residuos biocontaminados no acondicionados (debidamente empacados) son eliminados sin ningún contacto previo; es decir, son incinerados de manera inmediata.

-Entre los residuos sólidos susceptibles de acondicionamiento tenemos a los siguientes: empaques contaminados, sólidos combustibles, sólidos no combustibles, minerales sucios, restos de biomasa, dependiendo de su tamaño, los cuales son depositados en los contenedores de ingreso del incinerador.

Figura 12. Zona de Preparación de la Carga y Sistema de Alimentación del Área de Incineración

Fuente: Elaboración Propia

TIPO DE RESIDUOS NO TRATADOS EN LA PLANTA DE INCINERACIÓN

A continuación se detallan los tipos de residuos no tratados en la planta de tratamiento, los cuales se muestran a continuación en Tabla 16:

Tabla 16: Residuos No tratados en la Planta de Incineración

Tipo de Residuo	Riesgos Asociados	Materiales
Compuestos con mercurio	Emanación de gases de mercurio	Fluorescentes, equipos médicos y materiales contaminados y/o conteniendo mercurio metálico.
Explosivos	Daños al equipo y al personal	Dinamita, municiones, pirotécnicos, pólvora en cualquiera de sus formas y nitratos concentrados en forma sólida.
Gases combustibles embotellados	Explosiones y emanación de gases en el área de trabajo	Botellas de acetileno, botellas oxígeno, botellas con carburo de calcio, botellas con reactivos de combustión espontanea.
Residuos de radioterapia	Contaminación con material ionizante	Restos de materiales usados en radioterapia, materiales procedentes de institutos especializados para tratamiento de cáncer.
Residuos Incompatibles	Combustión espontánea a altas temperaturas + generación de gases sulfurosos	Minerales concentrados de sulfuros en forma masiva, piezas de concreto, piezas metálicas y/o acero de gran magnitud, etc.

Fuente: Elaboración Propia.

MANEJO DE RESIDUOS SOLIDOS NO TRATADOS

A continuación se procede a detallar el procedimiento de manejo de los residuos sólidos no tratados:

1. Los residuos recepcionados constan de características peligrosas tales como: PCL, DTQD (Productos Químicos de Laboratorio y Residuos Tóxicos en Cantidades Dispersas) y residuos especiales de condiciones particulares, éstos son envasados adecuadamente para su posterior manejo.

2. Las baterías de vehículos, aceites minerales, entre otros residuos, pueden ser comercializados a empresas formales que desarrollan actividades de tratamiento y recuperación de estos tipos de residuos o en su defecto se llevan al relleno de seguridad respectivo.

4.2. PROCESO DE INCINERACIÓN DE RESIDUOS SOLIDOS HOSPITALARIOS PELIGROSOS

A continuación se describe el proceso de incineración de residuos sólidos hospitalarios peligrosos.

4.2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE INCINERACIÓN

En el Área de Incineración se encuentra el sistema de incineración, en el cual se desarrollan los siguientes procedimientos:

1. INTRODUCCIÓN DE LA CARGA AL HORNO

El sistema de introducción del residuo, consiste en un sistema de carga automática, operado por un sistema PLC (Controlador Lógico Programable) de la siguiente manera (ver Tabla 17):

Tabla 17: Procedimiento de Introducción de la Carga al Horno de Incineración

Procedimiento de Introducción de la Carga al Horno de Incineración
1. Los residuos son cargados al sistema de incineración mediante un sistema de carga automática, la cual está diseñada en una estructura hermética que asegura que el ingreso del residuo, no tenga ningún tipo de contacto con el exterior, evitando el enfriamiento del sistema y los ingresos de cantidades no dosificadas adecuadamente, consiguiendo generar un ciclo de carga-ingreso de residuos, mediante la operación de un sistema de carga hermético conformado por puertas cortafuegos que brindan mayor seguridad al sistema. 2. La alimentación de residuos en el sistema es de forma intermitente y el sistema de carga automatizado se encarga de que la dosificación de residuos acondicionados en el interior del incinerador sea de manera continua. 3. En el caso de la incineración de residuos líquidos, estos se insuflan de manera directa al interior del horno mediante unas boquillas a presión positiva que son alimentadas de cisternas ubicados en la parte lateral del sistema de incineración. Estos líquidos pueden ser ingresados al incinerador de manera simultánea con los sólidos de la línea de carga automática.

Fuente: Elaboración Propia.

En la siguiente Tabla 18, se puede apreciar el volumen de residuos que ingresan al horno rotativo en un mes.

Tabla 18: Volumen Mensual de Residuos Incinerados

N°	Descripción	Año	Volumen
1	Residuos sólidos hospitalarios peligrosos	2018	42.2 Tn/mes

Fuente: Elaboración Propia

Figura 13. Unidad de Carga Automática del Área de Incineración.

Fuente: Elaboración Propia

2. INCINERACIÓN EN HORNO ROTATIVO (COMBUSTIÓN PRINCIPAL)

A continuación, se describe el procedimiento general desarrollado para el proceso de combustión de residuos sólidos hospitalarios peligrosos, mediante el uso de un equipo incinerador de doble cámara de tipo túnel rotatorio (ver Tabla 19):

Tabla 19: Proceso de Incineración (Combustión Principal)

Proceso de Incineración (Combustión Principal)
1. El sistema de incineración se realiza por llama directa, el cual permite que los residuos que son ingresados en la cámara primaria, sean sometidos a un proceso de incineración de régimen turbulento oxidante (con exceso de oxígeno) en un tiempo de residencia de entre 50 y 75 minutos (regulable según las necesidades), permitiendo que el contacto del residuo con las llamas directas se realice sobre una mayor superficie específica, lo que se traduce en una incineración más rápida y más completa hasta su punto de ceniza y/o calcinación. 2. Este sistema cuenta con un diseño que permite el ingreso de líquidos dosificados mediante boquillas, los cuales en el proceso de incineración, se entremezclan con los materiales sólidos, evaporando el componente acuoso e incinerando el material orgánico que forma parte de la matriz líquida, es decir; el sistema permite el ingreso de líquidos que tendrán tratamiento similar a los sólidos; por lo tanto, sus componentes también se someten a incineración primaria de 850 °C (regulable hasta 1000 °C). 3. Bajo estas condiciones operacionales del diseño del incinerador, es posible el tratamiento de residuos sólidos y líquidos, así como materiales que generan cenizas y/o materiales calcinados (óxidos estabilizados).

Fuente: Elaboración Propia.

Capacidad Operativa del Incinerador

La planta de tratamiento tiene una capacidad operativa de hasta 7128 ton / año, teniendo en cuenta que su sistema de operación es continuo, en Tabla 20 podemos observar la capacidad que tiene el equipo de incineración en kilogramos y en toneladas al año, asimismo tenemos que la capacidad operativa es menor a la capacidad del diseño del horno.

Tabla 20: Capacidad Operativa del Incinerador

Descripción	Capacidad Operativa		
	Kg/ hora	Ton/día	Ton/ año
Capacidad de diseño al 100% *	1000	24	8640
N° Horas Operativas	24		
Capacidad Real del Incinerador incluyendo mantenimiento	900	21.6	7776
Días de parada para mantenimiento (preventivo y correctivo)			30
Capacidad Operativa de 90% **	900	21.6	7128

* Basado en una capacidad de operación de hasta 360 días / año

** Se considera prudente el uso diario del equipo al 90% de capacidad nominal

Fuente: Elaboración Propia

Figura 14. Equipo de Incineración por Horno Rotativo de Combustión Principal.

Fuente: Elaboración Propia

3. CÁMARA DE POST-COMBUSTIÓN

De manera posterior al primer proceso de incineración, los humos generados son conducidos hacia la cámara secundaria donde son incinerados a una temperatura de 1200°C, asegurando la destrucción de posibles dioxinas y furanos el mismo que por tratarse de un sistema de rectificación, consta de un sistema estático, para conocer más de la cámara de post-combustión ver Tabla 21.

Tabla 21: Características de la Cámara Secundaria

Nombre de la Unidad	Cámara de combustión secundaria
Función	Incineración de humos
Cantidad	1 unidad
Temperatura	1200 °C
Tiempo de Residencia del Gas	2 segundos
Material externo	Acero de Carbono
Material refractario	Ladrillo refractario de alta alúmina
Tipo de Quemador	Industrial / Quemador tipo dual
Capacidad del quemador	1 200 222 kcal / h
Promedio de residuos WCI	1200000 kcal/ kg

Fuente: Elaboración Propia

Figura 15. Cámara de Combustión Secundaria del Área de Incineración.

Fuente: Elaboración Propia

4.2.2. SUBPRODUCTOS DEL PROCESO DE INCINERACIÓN

Los componentes residuales que se generan producto de la combustión, se muestran a continuación en Tabla 22:

Tabla 22: Subproductos generados por el Sistema de Incineración

Subproductos generados por el Sistema de Incineración		
Tipo de Sustancia	Descripción	Medidas de Control
CN	Cenizas de Combustión (óxidos e inertes diseminados no aglomerados)	Sistema de colección de cenizas, filtros secos de finos.
GC	Gases de combustión (podría contener CO_2, CO, SO_x, NO_x)	Operación adecuada con exceso de aire, filtros y reactor de flujo con carbón activado.
INT	Inertes, conformado por material calcinado aglomerado (puede estar vitrificado)	Sistema de colección de metales de manera conjunta con las cenizas (Sistema de recolección de cenizas)

Fuente: Elaboración Propia

PRODUCCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS DEL PROCESO DE INCINERACIÓN

Los procesos de combustión de flujo constante generan residuos; por ello, el sistema cuenta con un sistema de recolección continua de cenizas que extrae las cenizas en lotes hacia una tolva resistente al poder corrosivo de cenizas calientes. Es importante mencionar que éstas cenizas son generadas y eliminadas mediante un relleno de seguridad, debido a que las cenizas suelen tener elevadas concentraciones de metales pesados en estado oxidado. Este sistema al igual que el proceso de carga, es automatizado, no teniendo acceso al sistema de colección de cenizas, sino sólo a la zona donde se almacena el residuo en proceso de enfriado (Ver Tabla 23).

Tabla 23: Producción de Residuos (Cenizas)

Producción de Residuos (Cenizas) de la Planta de Incineración - Lima									
N°	Número de Establecimientos de Atención De Salud	Año	Descripción	Residuos ingresantes		Residuos tratados		Producción de Residuos dispuestos (cenizas) al relleno	
				(Ton/mes)	(Ton/año)	(Ton/mes)	(Ton/año)	(Ton/mes)	(Ton/año)
1	Hospital Nacional Daniel Alcides Carrión	2018	Residuos Hospitalarios Peligrosos	15	180	14.55	174.6	0.45	5.4
2	Clínica Ricardo Palma			8	96	7.76	93.12	0.24	2.88
3	Clínica Providencia			1	12	0.97	11.64	0.03	0.36
4	Clínica Limatambo			4	48	3.88	46.56	0.12	1.44
5	Clínica Monterrico			0.2	2.4	0.194	2.328	0.006	0.072
6	Clínica Internacional			14	168	13.58	162.96	0.42	5.04
	TOTAL			**42.2**	**506.4**	**40.934**	**491.208**	**1.266**	**15.192**

Fuente: Elaboración Propia

Los procesos de combustión de flujo constante generan una cantidad equivalente aproximada del 3% del flujo de residuos, tal y como se puede apreciar en Tabla 24.

Tabla 24: Eficiencia de la Planta de Incineración - Lima

Eficiencia de la Planta de Incineración - Lima						
Número de Establecimientos de Atención De Salud	Año	Descripción	Residuos ingresantes		Producción de residuos salientes	
			(Ton/mes)	(Ton/año)	(Ton/mes)	(Ton/año)
6	2018	Residuos Hospitalarios Peligrosos	42.2	506.4	1.266	15.192
Porcentaje de Residuos			100%		3%	
Porcentaje de Eficiencia de la Planta			97%			
Recuperación de Cenizas			3%			

Fuente: Elaboración Propia

4.2.3. CONTROL DE EMISIONES Y RESIDUOS DEL PROCESO DE INCINERACIÓN

CONDICIONES FAVORABLES AL PROCESO DE COMBUSTIÓN

Para que se realice el adecuado proceso de incineración, es importante que se establezca un sistema de alimentación de combustible y aire en exceso, de modo que se asegure el sistema de combustión completo, evitando la generación de gases no oxidados y dificultando la operación en la segunda cámara, por ello; se ha considerado un régimen de alimentación de aire en exceso (20%) y temperaturas de 1200 °C, donde la combustión es completa, con producción de dióxido de carbono CO_2 y H_2O.

Como parte del proceso de combustión completa, se ha identificado que los compuestos no deseados que podrían aparecer en el flujo de chimenea son principalmente las partículas finas, óxidos de nitrógeno, dióxidos de azufre, monóxido de carbono, ácido clorhídrico o acido fluorhídrico (en concentraciones del orden de ppm) y otros compuestos en concentraciones traza como las dioxinas y los furanos (concentraciones en el orden de ppm). Por otro lado, la

generación de emisiones que en su composición pueden tener moléculas halogenadas, se debe exclusivamente a la introducción en el horno de residuos que en su composición cuenta con átomos de cloro, flúor, iodo.

Parámetros

El tiempo de residencia

El tiempo de residencia es un factor de control muy importante, ya que por tratarse de un horno que se encuentra en pendiente negativa respecto a su eje horizontal, ante una rotación rápida, se consigue un tiempo de residencia menor, mientras que para un proceso de incineración adecuado no puede ser muy lento ya que no asegura que la llama directa tenga contacto con el residuo. Para una adecuada operación se asegura que el residuo permanecerá en el sistema un tiempo de entre 50 minutos y 75 minutos (en el interior de la cámara principal). En el caso del tiempo de residencia de los humos en la cámara secundaria, este no será menor a dos (2) segundos.

Temperatura

A mayor temperatura, mayor es la reacción. Se debe alcanzar la temperatura de ignición de los materiales que van a incinerarse (conocer su poder calorífico).

Turbulencia

Es esencial para permitir el contacto de los residuos con el oxígeno. Mezclar el oxígeno del aire con los gases combustibles y con los vapores generados.

Figura 16. Sistema de control automático de los parámetros de combustión.

Fuente: Elaboración Propia

Controles y Ajustes del Incinerador

Los controles básicos que permiten un adecuado uso de los incineradores son los siguientes:

Caja de interruptores:

-Un disyuntor para cada motor (ventiladores y quemadores).

-Un temporizador con retardo ajustable para control de cada quemador.

-Un regulador de pantalla digital para la temperatura de combustión.

-Un regulador de pantalla digital para la temperatura de post-combustión.

Ventilador:

Consta de un electro - ventilador distribución de aire primario y secundario, el ajuste de las tasas de aire se lleva a cabo a través de las válvulas y el servomotor de acuerdo con los controles de ciclo automático; además, de accesorios: raspador metálico y caja de cenizas con asas.

SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN

A continuación, se detalla el procedimiento respecto al sistema de recuperación de energía, el cual es un sistema que se utiliza para enfriar los gases de salida de la cámara de combustión secundaria, antes de ser conducidos al sistema de filtros (Ver Tabla 25).

Tabla 25: Sistema de Recuperación de Energía

Sistema de Recuperación de Energía
1. Es un sistema de intercambiadores de calor aire/agua, en el cual se utiliza agua blanda en un circuito cerrado que enfría los gases de la salida de la segunda cámara de combustión hasta una temperatura de entre 230 °C – 250 °C, de éste modo.
2. Para la utilización del sistema de recuperación de energía se necesita un sistema de ablandamiento de agua para evitar las incrustaciones en el sistema.
3. Este proceso de enfriamiento se realiza sin contacto directo entre el agua y los gases de salida, haciendo que el sistema de enfriamiento de gases forme parte de un ciclo cerrado con recirculación de agua tratada sin capacidad de generar incrustaciones en el sistema; por lo tanto, el agua no debe contener carbonatos y/o bicarbonatos y cationes de calcio y magnesio (dureza y alcalinidad de agua cercanos a 0 mg/1).
4. El sistema de provisión de agua tratada, o sistema de ablandamiento, tiene intervención en el sistema de recuperación de energía, a través del ingreso de agua común que se pone en contacto con resinas catiónicas no tóxicas que atrapan los iones que generan dureza y genera agua blanda que se inyecta y se repone en ciclo cerrado de enfriamiento y recuperación de energía.
5. Una vez que el sistema se encuentra saturado se regeneran las resinas por contacto con salmuera de cloruro de sodio (sal común), siendo este el único agente químico utilizado, generando una reacción química global.
6. De manera posterior al calentado del agua, ésta debe ser enfriado al ambiente por contacto con aire ambiental a presión, el cual será proporcionado por 8 ventiladores que devolverán el agua a condiciones de poder ingresar nuevamente al sistema de intercambiadores de calor.
7. Los gases calientes pasan a través del intercambiador de calor y calientan un fluido térmico que transmite su calor al agua en un reservorio. El agua caliente > 90 °C se utiliza para el lavado y desinfección de los contenedores y envases utilizados en la planta.
8. El agua caliente es utilizada a su vez para calentar agua de proceso para limpieza de contenedores y/o sistema de transporte con restos de fluidos biológicos en pisos y paredes.

Fuente: Elaboración Propia

Figura 17. Medición de la temperatura de los gases de salida.

Fuente: Elaboración Propia

Figura 18. Sistema de recuperación de energía

Fuente: Elaboración Propia

DEPURACIÓN DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN POR VÍA SECA

El Sistema de Depuración de los Gases de Combustión por Vía Seca se basa en tres principios, que se detallan a continuación (ver Tabla 26):

Tabla 26: Principios de Conducción, Neutralización y Filtración

Principios de Conducción, Neutralización y Filtración		
Principio de Neutralización	Principio de Conducción	Principio de Filtración
Se utiliza piedra caliza como base para neutralización de cloro y de flúor y se utiliza sulfato de calcio para la neutralización de azufre.	Se adiciona carbón activado (el cual se regenera mediante el vapor de agua), para la adsorción de las dioxinas y furanos y metales pesados volátiles como el mercurio.	Se realiza la filtración de polvo, en donde el polvo, debido a su baja densidad y velocidad de circulación de las emisiones, queda atrapados en el filtro, en los intersticios de las piedras y de la zona de relajación.

Fuente: Elaboración Propia

A continuación se procede a detallar el procedimiento de Depuración de los Gases de Combustión, realizado mediante dos sistemas (Ver las Tablas 27, 28 y 29):

Tabla 27: Limpieza Química

Limpieza Química
1. El sistema de limpieza de emisiones, recoge los gases enfriados por el sistema de intercambiador de calor para ser sometido a contacto directo con carbón activado que pueda absorber moléculas de compuestos tóxicos que fueron arrastrados por el flujo de gases quemados en la segunda cámara de incineración.
2. Este proceso al igual que los anteriores es monitoreado y realizado su dosificación de manera automática.
3. Posteriormente, es importante poner en contacto el flujo de gases proveniente del filtro de carbón activado, con sólidos de cal o de bicarbonato, de modo que se pueda neutralizar y atrapar ácidos que podrían estar presentes en las emisiones.

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 28: Limpieza Física

Limpieza Física
1. La corriente de emisiones que ya tuvo contacto con carbón activado y polvo es atrapada en el filtro de mangas. 2. Los filtros de tipo bolsas atrapan con alta eficiencia el material particulado presente el flujo de emisiones. 3. El polvo se elimina mediante un sistema de tornillo sin fin que conducen al interior de bolsas tipo big-bag para su retiro y posterior traslado hacia una celda de seguridad.

Fuente: Elaboración Propia

A continuación se procede a detallar el procedimiento de filtración:

Tabla 29: Funcionamiento del Filtro

Funcionamiento del Filtro
1. El filtro está elaborado con acero pre - fabricado. 2. Un primer filtrado en acero inoxidable está situado en la entrada del filtro y una segunda filtración en la salida del filtro.

Fuente: Elaboración Propia

Figura 19. Sistema de depuración por vía seca de los gases de combustión

Fuente: Elaboración Propia

A continuación se procede a detallar el funcionamiento del sistema de ventilación para la extracción de emisiones, (Ver Tabla 30):

Tabla 30: Sistema de ventilación

Sistema de ventilación
El ventilador ubicado a la salida de los filtros manga, permite extraer la corriente de emisiones y conducirla a través de chimenea para su eliminación hacia el ambiente, este sistema es muy importante porque devuelve la velocidad de flujo perdida al paso por los filtros de manga.

Fuente: Elaboración Propia

A continuación se procede a detallar el funcionamiento del sistema de monitoreo de emisiones, (Ver Tabla 31):

Tabla 31: Sistema de Monitoreo Constante

Sistema de Monitoreo Constante
El sistema de monitoreo de condiciones de operación es completamente automatizado y controlado por PLC, denominado Sistema de Monitoreo de Emisión Continua (CEMS) conformado por una sonda de muestreo, con analizadores de gases que permiten la lectura de en línea y a tiempo real de las operaciones parámetros controlados como: O_2, CO, CO_2, NO, NO_2, SO_2, TOC, polvo, HCl, H_2O y HCl + H_2O.

Fuente: Elaboración Propia

Figura 20. Garita de Control y Monitoreo de las Emisiones

Fuente: Elaboración Propia

MANEJO DE RESIDUOS DEL PROCESO DE COMBUSTIÓN

A continuación se procede a detallar el procedimiento de manejo de las cenizas, (ver Tabla 32):

Tabla 32: Manejo de Cenizas

Manejo de Cenizas	
Acondicionamiento	Almacenamiento temporal
Terminado el proceso de incineración, las cenizas se retiran del horno con ayuda de una pala metálica, luego se depositan en contenedores metálicos para su enfriamiento, se trasladan al área de tratamiento de cenizas donde se empaquetan y se embalan manualmente para ser trasladadas al relleno de seguridad respectivo.	Las cenizas son almacenadas de manera temporal en el Almacén Temporal de Cenizas de la planta y luego transportadas a un relleno para su respectiva disposición final.
Recolección y transporte	Disposición final
El transporte de éstas cenizas es realizado en un vehículo que se dedica a transportar residuos sólidos peligrosos.	La disposición final de los residuos sólidos peligrosos producto del tratamiento por el método de incineración, se realiza en un relleno más cercano.

Fuente: Elaboración Propia.

4.2.4. IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES

A continuación, se describen otros aspectos importantes que se generan en relación a las operaciones del proceso de incineración:

ASPECTOS GENERALES DE LA EMPRESA

Para tener una mejor evaluación del proceso de incineración y de las operaciones que se derivan luego del desarrollo del mismo, se detallarán algunos aspectos generales de la empresa.

La empresa

La empresa en estudio se encuentra constituida como empresa privada peruana, establecida desde el año 2013, encargada del manejo y tratamiento de residuos sólidos hospitalarios, generados en los diversos establecimientos de atención de salud a nivel nacional utilizando para ello el proceso de incineración.

De las Zonas Colindantes

La zona donde se encuentra instalada la empresa, corresponde a la zonificación industrial liviana; por lo que, en las zonas colindantes se puede observar diferentes actividades de tipo industrial, como almacenes y otros.

Actualmente, se puede observar que las zonas que están alrededores de la empresa son ocupadas por diferentes industrias que operan, así como también se puede observar criaderos de chanchos y personas que se dedican al reciclaje.

Algunas zonas urbanas con presencia de población recién lo encontramos a una distancia de 190 metros, en línea recta, conformada por algunos asentamientos humanos recientes.

Vida útil de la planta de Incineración

La planta de incineración tiene una vida útil estimada de 50 años; por lo cual, sus estructuras son permanentes, principalmente construidas en ladrillo, concreto y acero.

Distribución General de la Planta de Incineración

La planta ocupa un área total de 2517.24 m^2 y puede contar con los siguientes ambientes: área administrativa, almacén temporal de residuos sólidos, almacén temporal de cenizas, laboratorio, área de capacitación, área de maniobra y estacionamiento vehicular, área de higienización vehicular, lavandería, servicios higiénicos, jardín, área de cisterna de agua, área de vigilancia, áreas libres y una zona donde funciona el equipo incinerador, el cual ocupa un área de 1018 m^2. Asimismo, cuenta con las señalizaciones de seguridad y emergencia operativas.

Del Personal

La cantidad de personas para administrar y operar la planta de tratamiento es de diez (10) personas, que laboran en un solo turno, la supervisión y seguimiento de los trabajos está a cargo de un profesional especialista en ingeniería sanitaria de residuos sólidos, en Tabla 33, que se muestra a continuación se detalla la distribución del personal.

Tabla 33: Distribución del Personal

Personal	Número de trabajadores
Operarios de recolección y transporte de residuos	12
Operarios de la Planta de Incineración	7
Vigilantes – Guardián - Almacenero	3
Supervisor Jefe de Operaciones	1
Total	23

Fuente: Elaboración Propia

Del Horario de Trabajo

El horario de trabajo en operación de la planta es de 12 horas y un solo turno laboral de 9 horas dándose inicio las 8:00 am y 6:00 pm; sin embargo, el inicio de calentamiento de las incineradoras se da a las 6:00 am, lo cual es prendido de manera automática.

De la Salud Ocupacional

Los trabajadores dedicados a los servicios de recolección, transporte y tratamiento de residuos sólidos hospitalarios, están permanentemente expuestos a adquirir enfermedades infecto-contagiosas, debido a diferentes condiciones inseguras con los residuos sólidos, se dota al personal de los siguientes implementos de protección personal completa y adecuada para el desarrollo de sus actividades tales como:

- Uniforme
- botas
- guantes de cuero y látex reforzado
- mascarillas con filtros
- cascos
- capa impermeable

Como medida complementaria, cuentan con un cronograma de exámenes médicos que permite identificar los potenciales riesgos de contaminación y/o enfermedades relacionadas con la actividad, además se cuenta con más de un botiquín de primeros auxilios para atención de emergencias.

Del Control Médico y Vacunas

Se realiza el control médico de acuerdo a las recomendaciones del sector salud por lo menos cuatro veces por año. La empresa, además de lo mencionado controla el estado de salud de sus trabajadores a través, del carné de sanidad u certificados médicos de apoyo, el personal por prevención recibe las vacunas contra el tétanos y la hepatitis, de acuerdo a los requerimientos necesarios y recomendaciones del Ministerio de Salud, el programa de vacunación contra el tétanos, hepatitis y refuerzo contra la tuberculosis.

1. DESCRIPCIÓN DE ASPECTOS AMBIENTALES

Habiendo realizado el análisis del proceso de incineración de residuos sólidos hospitalarios peligrosos de la Provincia de Lima y en base a información relevante obtenida del caso, se han identificado aquellas acciones que implican interés, ya que de éstas se desprenden situaciones del manejo del proceso que conlleva a la manifestación de posibles impactos ambientales.

A continuación, se presenta el diagnóstico ambiental que identifica aquellos aspectos relevantes que pueden generar impactos ambientales y los elementos del ambiente que pueden sufrir alteración, desarrollándolo de ésta manera en cada una de las siguientes etapas identificadas del proceso:

- Etapa previa al proceso de incineración
- Durante el Proceso de Incineración
- Etapa posterior al Proceso de Incineración

ACCIONES DE OPERACIÓN

Para la evaluación del proceso de incineración y de las operaciones que se derivan del mismo, se ha utilizado el diagrama del proceso de incineración (Ver Anexo 1 y 2), el cual permitió identificar las acciones de operación de la Planta de Incineración susceptibles de causar impactos ambientales, las cuales se muestran en Tabla 34:

Tabla 34: Acciones de Operación de la Planta de Incineración

N°	Etapa	Acciones
01	Durante	Operación del Sistema de Alimentación de la Carga.
02	Durante	Operación del Proceso de Combustión Primaria.
03	Durante	Operación del Sistema de Depuración de los Gases.
04	Durante	Operación de la Chimenea.
05	Antes y Despues	Operaciones de Recepción, Almacenamiento y Preparación de la Carga.
06	Antes y Despues	Operación del Sistema de Drenaje de Aguas Residuales.

Fuente: Elaboración Propia

Las variables ambientales consideradas como potenciales a ser impactados por el proceso de incineración afectando la calidad de suelo, agua, aire y etc. Ver en Tabla 35.

Tabla 35: Variables Ambientales del Proceso de Incineración

Variables Ambientales		
Variables Físicas		
Suelo	**Aire**	**Agua**
-Calidad del recurso Suelo -Contaminación del Recurso Suelo	-Calidad del Aire Local -Ruido Ambiental	-Calidad del agua subterránea -Calidad de agua superficial

Fuente: Elaboración Propia

2. DESCRIPCIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES

De las acciones de operación de la Planta de Incineración susceptibles de causar impactos ambientales, se identificaron las posibles etapas que contaminan, las cuales se muestran en el Anexo 3 y se detallan a continuación:

OPERACIÓN DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE LA CARGA

Perturbación por Ruido

En ésta etapa se observa un impacto negativo que podría afectar a la calidad del aire del lugar, por el ruido que se produce en el sistema de carga automática durante las operaciones de introducción de la carga al sistema de incineración.

OPERACIÓN DEL PROCESO DE INCINERACIÓN (ETAPA DE COMBUSTIÓN PRIMARIA)

Generación de Cenizas

-Se identifica un impacto directo negativo a la calidad del aire del lugar ya que en la etapa de combustión se generan residuos tales como: cenizas, materiales metálicos e inertes, de no haber un adecuado almacenamiento se podrian exparcir las partículas de las cenizas en el aire ocasionando impactos en la salud de los trabajadores. Asimismo, se aprecia un impacto indirecto en la disponibilidad del recurso suelo; ya que su evacuación hacia el relleno de seguridad inhabilita la posibilidad de brindar usos productivos a las zonas de confinamiento afectando de manera indirecta la disponibilidad del suelo. Por lo tanto, el proceso de combustión incide en la calidad del aire y del suelo.

OPERACIÓN DEL SISTEMA DE DEPURACIÓN DE GASES

Generación de Residuos Sólidos

-Se identifica un impacto negativo directo a la calidad del aire del lugar ya que se generan residuos resultantes del tratamiento de gases tales como: carbón activado, otros reactivos utilizados de no haber un adecuado almacenamiento se podrian exparcir las partículas de las cenizas en el aire ocasionando impactos en la salud de los trabajadores. Asimismo, se aprecia un impacto indirecto en la disponibilidad del recurso suelo; ya que su evacuación hacia el relleno de seguridad inhabilita la posibilidad de brindar usos productivos a las zonas de confinamiento afectando de manera indirecta la disponibilidad del suelo. Por lo tanto, éste proceso incide en la calidad del aire del lugar y disponibilidad del recurso suelo.

OPERACIÓN EN LA CHIMENEA

Emisión de gases contaminantes

Pese al control del proceso, la alteración que se produciría si se exceden los límites máximos permisibles en la calidad del aire producto de posibles gases como: partículas de diversos tamaños, ácidos y otros gases, metales pesados y compuestos de carbono (excepto gases de efecto invernadero). Por lo tanto, en ésta actividad la emisión de gases contaminantes puede incidir en la calidad del aire del lugar.

RECEPCIÓN, ALMACENAMIENTO TEMPORAL Y PREPARACIÓN DE LA CARGA

Generación de aguas residuales

La alteración que se produce en la calidad del agua por la posible contaminación del agua superficial por escurrimiento de las aguas de limpieza y desinfección de superficies que se ejecutará en el funcionamiento de la planta, generadas por las actividades de recepción, almacenamiento temporal y preparación de la carga. Por lo tanto, califica como un impacto negativo.

Figura 21. Infraestructura de la Planta de Incineración

Fuente: Elaboración Propia

Emisión de gases contaminantes

La alteración que se produce en la calidad del aire del lugar en el caso que se exceda del tiempo máximo (48 horas) de almacenamiento temporal, ocasionando la descomposición de los residuos y el movimiento frecuente durante el traslado de los residuos de un área a otra. Sin embargo, la incineración se realiza inmediatamente sin ningún tratamiento previo y el almacenamiento temporal de los residuos especiales se realiza en condiciones de hermeticidad y hasta un periodo máximo de 48 horas, evitando de ésta manera la emisión de gases contaminantes tales como: metano, monóxido de carbono y partículas al ambiente. Por lo tanto, en ésta actividad la emisión de gases contaminantes puede incidir en la calidad del aire del lugar.

Emisión de Olores Ofensivos

Este impacto tiene relación con la alteración que se produce en la calidad del aire en el caso que se exceda del tiempo máximo (48 horas) de almacenamiento temporal, ya que la descomposición y el movimiento que sufren los residuos durante la carga y su traslado de un área a otra ocasionarían la emisión de fuertes olores. Sin embargo, la incineración se realiza inmediatamente sin ningún tratamiento previo y el almacenamiento temporal de los residuos especiales se realiza en contenedores herméticos y hasta un periodo máximo de 48 horas, evitando la exposición de olores al ambiente; además, las operaciones se realizan siguiendo procedimientos controlados. Por lo tanto, la generación de olores de ésta etapa puede incidir en la calidad del aire del lugar.

SISTEMA DE DRENAJE DE AGUAS RESIDUALES

Generación de aguas residuales

La alteración que se produce en la calidad del agua con la potencial infiltración de aguas residuales generadas por las actividades de limpieza y desinfección por deterioro de las paredes del tanque de almacenamiento o rotura de la barrera impermeable en casos de sismos de gran severidad, aceptándose que la posible ocurrencia de un sismo podría generar infiltración de agua de proceso que obligaría a paradas de equipo como parte de un mantenimiento extraordinario por la contingencia. Por lo tanto, califica como un impacto negativo.

4.3. IDENTIFICACIÓN DE MEDIDAS DE CONTROL AMBIENTAL

A continuación se procede a detallar las medidas de control ambiental del proceso de incineración.

4.3.1. PARÁMETROS DE CONTROL DE OPERACIONES DEL PROCESO DE INCINERACIÓN

A continuación se procede a detallar los parámetros de control del proceso de incineración, (Ver Tabla 36):

Tabla 36: Resúmen del control de operaciones observadas en el sistema de incineración (Horno Rotativo)

	Criterios de combustión			Criterio de tratamiento de gases				Otros criterios importantes			
Residuos tratados	Temperatura en Cámara de Combustión Primaria	Temperatura en Camara de Combustión	Tiempo de retención en Camara de Combustión	Tratamiento de gases	Reactivo	Temperatura de salida del gas	Cenizas generadas	Manejo de cenizas	Tratamiento de agua	Almacenamiento	Combustible
biocontaminantes y especiales	850 - 1000 °C	1200 °C	2 seg.	1.Enfriador 2.Neutralizador 3.Filtro de mangas 4.Medio adsorbente	$Ca(OH)_2$	110 a 120 °C	3 - 5 %	Manejo de cenizas fijas y volantes por separado	Depuración Seca (No utiliza aguas residuales)	Adecuado	Gas Licuado de petróleo (GLP)

Fuente: Elaboración Propia

4.3.2. RESUMEN DE MEDIDAS DE CONTROL DEL PROCESO DE INCINERACIÓN

A continuación, se procede a detallar el resumen de las medidas de control del proceso de incineración, (ver Tabla 37):

Tabla 37: Medidas de control del proceso de incineración

Medidas de Control del proceso de incineración		
Depuración de gases	Control de la Combustión	Preparación rigurosa de la Carga
Captura mediante filtros secos de materiales finos de la corriente de salida de gases de combustión, mediante el uso de filtros de manga e inyección controlada de un neutralizador como el bicarbonato o cal.	Ingreso de aire sobre alimentado (hasta el 20 % de exceso).	Identificación exhaustiva de los de compuestos de los materiales (procedimiento de operación de equipo patentado) para anticipar las necesidades más altas de reactivos en la etapa de depuración de gases, tales como: compuestos con contenido de azufre dentro del horno, entre otros.
Limpieza con Carbón Activado	Control de Chimenea – Online	Monitoreo de Calidad semestral
Adición de un componente de limpieza de gases como el carbón activado, el cual permite la eliminación mediante la captura y adsorción molecular de componentes orgánicos no deseados, atrapando éstos componentes en los microporos manométricos del carbón activado.	Todos los compuestos de interés exigidos en los ECA´s de aire, son monitoreados en la chimenea de manera continua y sus valores estarán conectados activamente a la programación automática de dosificación de reactivos químicos.	Monitoreo de la calidad de las emisiones y un monitoreo de calidad ambiental en el entorno (emisiones, calidad ambiental del aire y ruido ambiental), según los compromisos asumidos en el Estudio de Impacto Ambiental.

Fuente: Elaboración Propia.

4.3.3 PLAN DE MANEJO AMBIENTAL

Una vez identificado los aspectos ambientales de cada proceso se actualiza la lista de aspectos ambientales para luego tomar las medidas de control respectivas, ver en la Tabla 38:

Tabla 38 Lista de Medidas de Control Ambiental

Lista de Impactos Ambientales y Medidas de Control				
Nro.	Aspectos Ambientales	Impacto Ambiental	Proceso (s) relacionados	Medidas de Control
1	Generación de residuos sólidos	Contaminación del aire Contaminación del suelo	Combustión Primaria y Depuración de Gases	Manejo de Residuos (Encapsulación, Almacenamiento, Transporte y Disposición final a un relleno de seguridad
2	Generación de aguas residuales	Contaminación del agua superficial y subterránea	Limpieza y desinfección de las áreas de almacenamiento y preparación de la carga, sistema de drenaje de aguas residuales deterioro por eventos sísmicos.	Tanque diseñado para poder extraer las aguas desde el exterior, verificación periódica de la calidad del material de recubrimiento.
3	Emisión de gases contaminantes	Contaminación del aire	Chimenea, recepción, almacenamiento y preparación de la carga	Monitoreo permanente durante las operaciones, uso de tecnología del incinerador, auditorías internas y externas, Monitoreos de la Calidad ambiental
4	Emisión de olores ofensivos	Alteración de la Calidad del aire	Recepción, Almacenamiento y Preparación de la Carga.	Monitoreo permanente durante las operaciones, uso de tecnología del incinerador, auditorias internas y externas, ejecución del manejo de residuos solidos, utilzación de contenedores herméticos y rociamientos de soluciones pulverizadas de odorizadores c/4 horas.
5	Perturbación por Ruido	Alteración del Nivel de Ruido ambiental	Sistema de Alimentación de la Carga.	Controlar y monitorear que las emisiones de ruido no superen los límites máximos permisibles de la zona, barrera de reducción con aisladores mecánicos y uso de protectores de oido.

Fuente: Elaboración Propia

Para conocer las medidas de prevención, corrección, mitigación, restauración y compensación que se adoptan, para el cumplimiento con la normatividad nacional vigente y por lo dispuesto por la autoridad competente, se describen las siguientes actividades para las acciones de operación de la planta de incineración:

4.3.3.1 MANEJO AMBIENTAL

Medidas de Mitigación Ambiental

Las medidas de mitigación que se adoptan en la fase de operación están enfocadas precisamente a reducir los posibles impactos dentro de un criterio de protección ambiental y salud ocupacional.

- Ruido

El ruido generado en el funcionamiento de la planta en su conjunto, es otro de los impactos negativos que pueden afectar al ambiente; por lo que, se realizan las siguientes actividades como medida de mitigación o prevención:

En la etapa de funcionamiento del incinerador, se determina el nivel de ruido generado, a través de un monitoreo de la calidad de ruido ocupacional y ambiental realizado en tres momentos diferentes.

En la posibilidad de sobrepasar los niveles de ruido correspondiente a la zona, se procede a realizar una barrera de reducción de ruido con aisladores mecánicos.

Se brinda protectores de oído a todo el personal que trabaje al interior de la planta, el mismo que es supervisado en forma permanente respecto al uso adecuado de dichos implementos.

Como media de mitigación; se realiza el control de ruido, esto es en caso que emitieran ruidos que sean necesarios mitigándolos y controlándolos.

- Generación de Residuos Sólidos

Se activará el plan de manejo de residuos solidos de adecuado a la normativa actual vigente:

- Los residuos generados son colocados en puntos de acopio tomando en cuenta las características de los residuos para que puedan ser almacenados adecuadamente en el área de almacén temporal de cenizas. El transporte se realiza en vehículos adecuados administrados por EO-RS de transporte, siendo la última etapa de manejo la disposición final en el relleno de seguridad.

- Emisiones de Gases

La salud pública es una de las variables socioeconómicas que podria ser afectada en la fase de recepción, almacenamiento y preparación de la carga antes de ingresar al área de incineración y por las posibles emisiones de contaminantes a la atmósfera por fallas o deterioros del sistema de control de emisiones; por lo que, se realizan las siguientes actividades:

-Los incineradores cuentan con un cronograma estricto de mantenimiento y renovación de partes de forma controlada y auditada.

-Existe un plan de contingencia para el caso de parada de los incineradores y el transporte seguro de los residuos hospitalarios, considerando para esos casos el almacenamiento a otra instalación de tratamiento formal o un relleno de seguridad.

-Los vehículos de recolección y transporte ingresan a la planta respetando la previa programación y evaluación del servicio.

-No se pueden abrir las puertas de carga de los vehículos antes de ingresar a la planta.

-Todos los vehículos que transportan residuos sólidos deben respetar lo establecido en su plan de contingencia, el cual es revisado en forma periódica, para los casos de emergencia.

-La zona de la planta está conformada por cúmulos de residuos sólidos de la construcción y otros desechos sin vegetación natural o inducido; por lo que; se encuentra en forma esporádica alguna presencia de diversidad de flora.

-Como medida de mitigación la planta cuenta con áreas verdes al interior y exterior, con forestación y reforestación de arbustos apropiados para la zona.

- Salud Ocupacional

La salud ocupacional al interior de la planta es la variable más impactada negativamente en la fase de recepción y almacenamiento de los residuos sin tratamiento alguno; por lo que, una de las medidas de mitigación es la política de bioseguridad la cual comprende las siguientes actividades:

- Cumplir obligatoriamente con el Reglamento de bioseguridad al interior y exterior de la planta.
- Dotación de equipos de protección personal adecuada, para lo cual cuenta con un área de servicios higiénicos y vestuarios.
- Capacitación y supervisión permanente en la aplicación de los procedimientos seguros de trabajo.
- Monitoreo biológico de superficies cada seis (06) meses.
- Evaluación médica al personal de manera anual.
- Dotación de vacunas de protección según requerimiento técnico de salud.

Vigilancia Ambiental de la planta

Con el fin de que la planta opere adecuadamente, se cuenta con un Programa de Monitoreo Ambiental para mantener un estado de alerta respecto a los posibles impactos ambientales derivados de las operaciones, a fin de establecer la legislación ambiental vigente.

Está centrado en establecer mecanismos de vigilancia ambiental a través del cumplimiento de las normas peruanas, como el estándar de calidad ambiental del aire y estándar nacional de calidad ambiental para ruido y los que consideren la autoridad competente.

Monitoreos Ambientales

Para evaluar el correcto funcionamiento de la planta, el cual permitirá adoptar mayores medidas de mitigación o correctivas en caso de presentar errores o fallas operacionales, se realiza lo siguiente:

-Se verifica que la magnitud y naturaleza de los impactos potenciales se ajusten a los estándares de calidad ambiental establecidas en la legislación ambiental peruana vigente.

-Se corrobora que los compromisos ambientales realizados durante la etapa de evaluación sean realizados.

-Detectar y prevenir la ocurrencia de accidentes o efectos ambientales no deseados.

-Control y observación de las posibles fuentes de contaminación.

Se han establecido dos perspectivas de compromiso ambiental, los cuales son:

Monitoreos de la calidad ambiental

La empresa realiza actividades de monitoreo de la calidad ambiental a través de servicios de un laboratorio acreditado por INDECOPI y una consultora ambiental formal. Los monitoreos ambientales se realizan por un periodo de tres (3) años, cada seís meses, contados a partir de iniciados sus actividades de manera formal, en base a los parámetros establecidos y entrega de informe por periodos de monitoreo.

Vigilancia ambiental por el estado peruano

Esta actividad se refiere a facilitar las actividades de vigilancia ambiental que pueda realizar las autoridades del estado peruano, tales como: El Ministerio de Salud, Ministerio del Ambiente, Municipalidad de Villa El Salvador, Policía Ecológica; etc., de tal manera poder constatar y evaluar las condiciones sanitarias y ambientales con las que trabaja la empresa; brindando las facilidades necesarias que lo soliciten.

4.3.4.2. MEDIDAS DE CONTINGENCIA

- **Prevención de Riesgos**

El plan de prevención de riesgos define las acciones concretas a tomar, toda vez que ocurra un accidente específico donde las medidas para evitarlo no hayan sido suficientes. Su finalidad está en minimizar los daños a las instalaciones, comunidad o al ambiente circundante.

- **Medidas de Prevención**

En el área de capacitación, se desarrolla la primera medida que considera la capacitación de los directivos (Gerencia), trabajadores y principales proveedores de la planta, en los siguientes temas:

- Orientación en seguridad individual.
- Uso de equipos de higiene y seguridad ocupacional.
- De las buenas prácticas operacionales.
- De la forma de carga y descarga de contenedores o cilindros conteniendo residuos y equipos o herramientas pesados.
- Posición correcta de carga de pesos (columna recta y esfuerzo con las piernas).
- Carga de pesos de acuerdo a la contextura de la persona.
- Sistema de Seguridad durante la descarga de los residuos sólidos.
- Primeros Auxilios.

Durante la descarga, el personal usa sus EPPs completos y adecuados y debe ubicarse al lado derecho o izquierdo de la puerta de la carga del vehículo y nunca en forma a la carga.

Durante la manipulación de residuos para evitar accidentes y enfermedades:

- Evitar el contacto directo con los residuos sólidos.
- No comer ni fumar en los sectores operativos de la planta.
- Evitar la inhalación directa de los gases que se puedan generar en las chimeneas, aún cuando se esté usando respiradores o mascarillas.

El personal de la planta mantiene actualizado el formulario de control del volumen y tipo de residuos sólidos que se recepcionen.

- **Otras medidas de seguridad e higiene ocupacional**

Las medidas de seguridad e higiene ocupacional son:

- Todas las áreas de trabajo al interior de la planta, estan señalizados con señales de seguridad, contra sismos, incendio, explosiones, derrame de sustancias toxicas, inflamables, etc.
- El ingreso al área de operación de la planta solamente será permitido al personal de la planta.

- Las personas consideradas como visitantes solo podrán observar las operaciones desde el balcón de los altos del Área Administrativa.
- Las áreas de trabajo se encuentran en forma permanente ordenada y limpia para evitar accidentes o riesgos de accidentes.
- El personal es controlado al ingreso de la planta, prohibiéndose ingresar con signos de embriaguez.
- Está prohibido ingerir alcohol y/o drogas en el área de trabajo o interior de la planta.
- El personal debe usar en todo momento el siguiente equipo de higiene y seguridad laboral tales como: Respirador con filtro intercambiable, Guantes de cuero, Casco protector, Zapatos o botas de seguridad, Mameluco, Mandil o delantal sintético.
- Prevención de riesgos naturales y generados, tales como: sismo, lluvia extrema, derrumbes, etc., y para los riesgos generados por las actividades.

- **Medidas y Acciones para los riesgos naturales**

Las Medidas y Acciones para los riesgos naturales generados son:

-Para evitar los derrumbes en el área de la planta, se encuentra construida con paredes con muro de contención de concreto armable, el mismo que está alejado de la pared de corte a una distancia mayor de 1mt.

-Para el caso de presencia de lluvias extremas, el interior del área de trabajo esta diseñado con canaletas de escurrimiento o colección de aguas residuales que son almacenadas en el tanque de almacenamiento de aguas residuales.

-Si producto de un derrumbe en un área de la planta, se inhabilita la operación de la planta, esto es comunicado a la autoridad de salud correspondiente y se procede al retiro de escombros y residuos sólidos hospitalarios en conjunto, considerándose todo como residuos sólidos peligrosos.

- **Medidas de control de riesgos**

A continuación, se presentan las principales medidas consideradas para los riesgos asociados a las diversas actividades del proceso. Las principales situaciones de riesgo ambiental identificadas son las siguientes:

- Infiltración de aguas residuales al subsuelo.
- Emisiones incontroladas de gases de combustión del incinerador, tales como:
    - Proliferación de vectores sanitarios.
    - Agudización de emisión de olores.

- **Infiltraciones de aguas residuales al subsuelo**

La probabilidad de ocurrencia de una infiltración de aguas residuales es muy baja, debido a que las superficies del tanque de almacenamiento es una superficie impermeable; sin embargo, éstas pueden colapsar por algún fenómeno natural; por lo que, como medida de control de riesgo, el tanque ha sido diseñado con dos puertas de entrada para poder extraer las aguas desde el exterior y evitar la infiltración del agua residual al subsuelo.

Las acciones y medidas a seguir en el caso de detectarse contaminación de aguas subsuperficiales, se detallan a continuación:

-Se verifica la calidad de la cobertura periodicamente, revisando si existen grietas o disminución del espesor del material de recubrimiento. Si se constata su deterioro, se procede a su reparación.

-Adicionalmente, se informa a la autoridad competente mediante la entrega de un informe que describa la situación de emergencia y presente las medidas a seguir.

-Cuando se haya solucionado el problema de contaminación se comunicará nuevamente a la autoridad enviando para éstos efectos el desarrollo de las medidas y los resultados de los análisis.

-Las medidas de emergencia se mantienen hasta que se demuestre que la contaminación no es causada por la planta de manejo de residuos o que la fuente de contaminación ha sido detectada y reparada.

- **Emisiones incontroladas de gases o partículas en suspensión**

Las emisiones del incinerador son monitoreadas en forma permanente durante su operación, ya que la tecnología del incinerador cuenta con control de medición digital; sin embargo, en la posible falla del sistema automático, y se pudiera observar en forma visual la carga de partículas u olores no característicos, se procede a tomar las siguientes acciones:

- Preparación del personal en identificación de emisiones incontroladas.
- Programa de auditorías internas en forma semestral y externas cada dos años.
- En caso de emergencia implementar la operación de para o apagado del incinerador.
- Elaborar un programa de relaciones con bomberos y comunidades.

- **Agudización de emisión de olores**

Principalmente en el área de almacén se prevé una saturación de olores desagradables por los residuos sólidos no tratados, por lo que, contempla la medida preventiva:

- Todos los residuos se almacenan en depósitos sintéticos cerrados o bolsas seguras, para evitar derrames y generación de olores desagradables.
- Ejecutar el manejo de los residuos sólidos en ordenada en función de su recepción y despacho al incinerador, bajo el sistema del primero que entra, es el primero que sale.
- Sistema de rociamiento de soluciones pulverizadas de odorizadores cada 4 horas.

- **Proliferación de Vectores Sanitarios**

Para evitar la proliferación de diversos agentes, denominados vectores sanitarios que pueden transmitir enfermedades, se prevé una serie de medidas para su control, que se mencionan a continuación:

- Se implementa un sistema permanente de limpieza diaria de todas de las áreas, en especial de las áreas donde se almacenan los residuos sólidos hospitalarios.
- Implementar un programa de saneamiento ambiental con desinsectación, desinfección y desratización del interior de la planta y parte de la zona de todo el perímetro.

4.3.5. CONSIDERACIONES Y VENTAJAS

4.3.5.1 CONSIDERACIONES BASICAS

ANTES DEL PROCESO:

-Las características de los residuos antes de llegar a la planta de incineración deben encontrarse en óptimas condiciones de almacenamiento para poder iniciar la descarga.

-El almacenamiento temporal se realiza en contenedores considerando la compatibilidad de los residuos y según las características fisicoquímicas de los mismos.

-Se realiza el pesaje y el registro del peso de los residuos obteniendo los datos de la cantidad de los mismos, luego los contenedores son etiquetados y colocados en forma ordenada en el área de almacén.

-La etapa de preparación de la carga consiste únicamente en la selección de materiales compatibles entre si, el transporte y el vertido de los materiales a incinerar (solo materiales seleccionados en una carga individual).

DURANTE EL PROCESO:

-El sistema de alimentación de residuos sólidos se lleva a cabo a través de la selección de materiales compatibles entre sí, que son depositados en una tolva de recepción. La descarga es de manera automatizada en la tolva de carga automática, por medio de un sistema de izaje y descarga, que vierte los residuos hacia el ingreso del horno rotatorio; es decir, el pistón empuja automáticamente dentro de la cámara de combustión.

-La unidad de carga está diseñada de una estructura hermética por seguridad al sistema.

-Se realiza la alimentación de forma intermitente; sin embargo, el sistema automatizado se encarga de la dosificación de manera continua.

-El proceso turbulento, con alimentación de combustible, ambiente oxidante, en un tiempo de residencia de 50 y 75 minutos regulable y una temperatura de entre 850 °C a 1000 °C.

-El contacto de los residuos con la llama directa se realiza sobre una superficie específica, por lo que, la incineración es más rápida y completa.

-El ingreso de los residuos líquidos se realiza mediante dosis que se van adecuando y se mezclan con los residuos sólidos.

-Estos residuos se pueden ingresar de manera simultánea con los sólidos de la línea de carga automática.

-Los humos generados ingresan a la segunda cámara a 1200 °C, produciendo CO_2 y agua.

-Debido al diseño de un horno rotativo y ante una rotación rápida, el tiempo de residencia puede reducirse, lo cual no aseguraría el contacto entre el residuo y la llama directa en la cámara principal.

-El tiempo de residencia de la cámara secundaria no debe ser menor a dos segundos.

-La temperatura se controla y se busca alcanzar la ignición de los materiales que van a incinerarse (conocer su poder calorífico).

-La turbulencia se realiza y consiste en el contacto de los residuos con el oxígeno; mezclando el oxígeno del aire con los gases combustibles y con los vapores generados.

DESPUÉS DEL PROCESO:

-El sistema de recolección continua automática de cenizas, recolecta el flujo de residuos ingresantes hacia una tolva resistente al poder corrosivo de las cenizas calientes y luego a la zona donde se almacena el residuo en proceso de enfriado.

-El sistema de recuperación de energía consiste en primer lugar en la provisión de agua previamente tratada mediante un sistema de ablandamiento de agua.

-El sistema de ablandamiento se realiza por contacto de resinas de polímeros con el agua a tratar para capturar los iones de calcio y magnesio que se encuentran en solución. Una vez que el sistema se encuentre saturado se regeneran las resinas por contacto con salmuera de cloruro de sodio (sal común), con la finalidad de no generar incrustaciones en el equipo.

-El agua blanda es recolectada en un reservorio, para ser utilizada para el proceso de enfriamiento en un circuito cerrado sin contacto directo con los gases de salida del incinerador, hasta obtener una temperatura de entre 230 °C a 250 °C.

-El agua caliente generada a una temperatura mayor a 90 °C, es utilizada para calentar agua de proceso para la desinfección de contenedores y/o sistemas de transporte con restos de fluidos biológicos en pisos y paredes.

-El agua caliente debe ser enfriada al ambiente por contacto con aire ambiental a presión, proporcionado por 8 ventiladores que devolverán el agua a condiciones de poder ingresar nuevamente al sistema de intercambiadores de calor.

-El sistema de limpieza de emisiones es llevado a cabo por dos sistemas, en base a un sistema de limpieza química y otro sistema de limpieza física.

-Los gases que pasaron por el sistema de enfriamiento, se someten a contacto directo con el carbón activado mediante la dosificación de manera automática.

-El carbón activado adsorbe las moléculas de compuestos tóxicos, se agrega sólidos de cal o bicarbonato para la neutralización y adsorción de ácidos.

-Un primer filtrado se realiza en la entrada del filtro de mangas, donde la corriente de emisiones es atrapada y el segundo filtrado se realiza en la salida del mismo.

-El ventilador para extracción de emisiones ubicado a la salida de los filtros de manga, devuelve la velocidad del flujo para la conducción de las emisiones a través de la chimenea y su eliminación al ambiente.

-En la base del filtro, las piedras son establecidas por un tanque sumidero para su posterior limpieza.

-Las piedras son tamizadas y vuelven al filtro, recuperando el polvo y los metales pesados.

-El proceso es monitoreado constantemente por un sistema automatizado de control y monitoreo de emisión continua, conformado por sonda de muestreo con analizadores de gases que permiten la lectura en línea y en tiempo real, de parámetros básicos.

-Los controles básicos que permiten un adecuado uso de los incineradores conformado por la caja de interruptores y el electro-ventilador.

-Terminado el proceso de tratamiento, las cenizas se retiran del horno con ayuda de una pala metálica, luego se depositan en contenedores metálicos para su enfriamiento, se trasladan al área de tratamiento de cenizas donde se empaquetan y se embalan manualmente para ser trasladadas al relleno de seguridad respectivo.

4.3.5.2 VENTAJAS DE LA INCINERACIÓN

En general el aspecto más relevante del proceso de incineración desarrollado en la Provincia de Lima, es su producto final, debido a que consigue la reducción del volumen y peso de los residuos y por ende de la contaminación que generan los residuos peligrosos hospitalarios; sin embargo, no conduce a la ausencia total de residuos, pero ésto forma parte de una característica general en todo sistema de incineración. El interés del empleo de la incineración, radica en la significante disminución del volumen final respecto a las cantidades ingresadas al proceso,

como resultado de una serie consideraciones importantes para la destrucción efectiva, vía combustión, de los componentes orgánicos, responsables de dicha peligrosidad. De la amplia variedad de sistemas, en este caso se ha utilizado el sistema de incineración de los tipos de hornos rotatorios, por su diseño y construcción, el cual a su vez permite montar y desmontar sus componentes con facilidad sobre el terreno para su mantenimiento.

A continuación, se describen algunas ventajas más respecto al proceso de incineración evaluado:

- Este proceso utiliza un sistema de incineración a través de un equipo automatizado, reduciendo la manipulación de los residuos sólidos, evitando el análisis exhaustivo de la calidad del residuo antes de ingresar al proceso y anticipando las necesidades mas altas de utilización de reactivos en la etapa de depuración de gases ya que cuenta con un procedimiento de equipo de identificación de compuestos.
- El uso de sistema de depuración por vía seca, elimina el uso y tratamiento de aguas del proceso y menos costo por reactivos a utilizar.
- Totalmente automático y un mantenimiento prácticamente inexistente.
- Recupera la energía debido a que el agua caliente es utilizada a su vez para calentar agua de proceso para limpieza de contenedores y/o sistema de transporte con restos de fluidos biológicos en pisos y paredes.
- Aplicable a variedad de residuos (sólidos, semisólidos, líquidos e inertes).
- Reduce entre el 95% y 97% del peso de los residuos.
- A través de la adición de carbón activado, se permite el control mediante la captura y adsorción molecular de componentes orgánicos no deseados, atrapando estos componentes en los microporos manométricos del carbón activado (entre ellos las dioxinas y los furanos y Hg). Por lo que, reduce la contaminación ambiental.

- A traves del Control de Chimenea de manera continua y automatizada permite el monitoreo de compuestos de interés exigidos en los Estandares de Calidad Ambiental de Aire importante para establecer la calidad del proceso de combustión, post-combustión y del proceso de limpieza de gases en simultáneo y en el tiempo real.

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Blanco y Briceño. (2005), señalan en su estudio que una planta de incineración puede cubrir, según su capacidad operativa, el 100 % de la generación total (120 ton/año) de residuos hospitalarios de una sola ciudad de Colombia. Sin embargo, en mi investigación según los resultados mostrados en la Tabla 9, 6 establecimientos de salud generaron 506 ton/año de residuos hospitalarios, teniendo en cuenta la eficiencia de destrucción del 97% de la planta de incineración, se logró tratar 491 ton/año de residuos; es decir representa el 5% respecto al total de residuos hospitalarios generados a nivel nacional (10893 ton/año), los cuales son dispuestos directamente al relleno El Zapallal (MINAM, 2013); asimismo, significa que solo el 2% de establecimientos de salud realizan la incineración del total de establecimientos de salud (548) que reportan, según MINAM (2013). Como se puede ver, en lima solo el 5% de residuos son tratados por incineración por el 2% de hospitales que reportan a nivel nacional a diferencia de Colombia donde se proyectan a cubrir el 100% de sus residuos hospitalarios generados por una ciudad.

Angulo. (2017), indica dentro de su investigación que en una planta de incineración ubicada dentro de un relleno de seguridad de Lima, el porcentaje de eficiencia del proceso de incineración es de 93% con valorización energética; además, cuenta con una capacidad operativa de incineración de 180 kg / hora; datos que al ser comparados con lo indicado en mi investigación, los resultados mostrados en las Tablas 17, 19, 22 y 23 de la presente investigación, representan que la eficiencia del proceso es 97% y muestra una disposición final del 3 % del peso inicial; además, se tiene que la capacidad operativa es de 900 kg/hora; todo ello permite señalar que se difiere en la capacidad operativa de incineración dado que es inferior a la estudiada, lo cual puede depender del tipo de diseño del horno utilizado; sin embargo, aunque presenta un porcentaje de eficiencia del proceso inferior en 4%, tiene un mejor

aprovechamiento de la energía. Por otro lado, si la capacidad operativa es de 900 kg/hora y se trabaja un total de 16 horas al día, se tratarían 14400 kg/día, 432000 kg/mes y 5184 ton/año de capacidad operativa de la planta en estudio; si le aplicamos el porcentaje (97%) de eficiencia de la incineración se tratarían un total de 5029 ton/año, proporcionando una cobertura aproximada del 46 % al año del total de 10893 toneladas de residuos hospitalarios generados en un año y destinados a la disposición final (MINAM, 2013). Lo expuesto también permite afirmar que el proceso de incineración proporciona una significante cobertura respecto al volumen total de residuos generados a nivel nacional.

Rosas et al. (2014), sostienen que uno de los criterios aplicables para la evaluación del desempeño de plantas de incineración, es el criterio de combustión, el cual engloba parámetros como la temperatura de la primera combustión, la cual debe estar entre 800 °C y no exceder los 1000 °C, la temperatura en la segunda cámara de combustión se opere entre 850 °C y 1200 °C, el tiempo de retención de los gases sea mayor o igual a 2 segundos y un porcentaje de 0 a 10% de perdida de material volátil de las cenizas; seguidamente, de los criterios de tratamiento de gases, los cuales implican una combinación de procesos para el control de partículas y gases ácidos, como la utilización de lavadores de gases, ciclones, precipitadores electrostáticos y filtros de bolsas para la remoción de partículas y de utilización reactivos alcalinos para la neutralización de gases ácidos (NaOH y Ca OH_2), y la remoción de NO_x con la recirculación de los gases en segunda camara de combustión o utilización de catalizadores como el NH_3; finalmente establece otros criterios importantes como el manejo de cenizas, almacenamiento de residuos, entre otros; resultados que al ser comparados con lo indicado respecto a las medidas de control ambiental indicadas para desarrollar un proceso de incineración adecuado, donde según los resultados mostrados en la Tabla 35, la temperatura de la primera combustión trabaja con un rango de entre 850 °C y 1000°C, la temperatura en la segunda cámara de combustión opera a 1200 °C y tiempo de retención de los gases es 2 segundos, el enfriamiento

de la temperatura de gases (de 230 °C a 250 °C), un neutralizador Ca $(OH)_2$, un filtros de mangas y un medio adsorbente (carbón activo) y una temperatura de salida de los gases de 110 °C a 120 °C; se puede inferir que los parámetros de los criterios de combustión y criterios para el tratamiento de los gases coinciden con los parámetros encontrados en ésta investigación; a excepción, respecto al porcentaje de la perdida de materia volátil de las cenizas (criterio de combustión), para el cual no se tiene hallazgos al respecto; asimismo, en cuanto al manejo de las cenizas volantes (otros criterios importantes), éstas no pasan por ningún tipo de estabilización como se recomienda en dicha investigación dado que en nuestros país mientras no se generen contaminantes por más de los límites máximos permisibles, dichos procedimientos de análisis de cenizas fijas y volantes necesarios para la determinación de dicho parámetro, no son exigibles. Asimismo, a diferencia del presente estudio, en la Incineración de residuos sólidos Municipales, se ha estudiado el aprovechamiento sostenible de las cenizas, que según Tasneem (2014), se puede aplicar en los sectores de contrucción civil, siendo las cenizas fijas mayormente utilizadas en el área de asfalto, pavimentación de carreteras y productos de hormigón, debido a su alto contenido de componentes ricos en sílice; al respecto, no se ha encontrado hallazgo alguno.

VI. CONCLUSIONES

- El manejo de los residuos hospitalarios peligrosos permitió concluir que el 100% del volumen de residuos generados por los 6 establecimientos de salud de la Provincia de Lima presentan características (compuestos por materia orgánica, plásticos, cartón, papel, líquidos, textiles, vidrios, punzocortantes, entre otros) aceptables para el ingreso directo al incinerador. Asimismo, desde la fuente de generación presentan condiciones de almacenamiento estrictas y conforme al tipo de residuo a tratar. Sin embargo, se tiene que solo el 5% de los residuos generados por el 2% de los establecimientos de salud que reportan a nivel nacional, son tratados por el proceso de incineración de la planta en estudio de la Provincia de Lima; es decir, el 95% de éstos residuos son dispuestos directamente en los rellenos de seguridad sin ningún tratamiento previo.

-Del análisis realizado al proceso de incineración de los residuos sólidos hospitalarios peligrosos, se concluye que es adecuado debido a que se obtuvo una significante reducción del 97% en el volumen y una generación mínima de cenizas del 3% para la disposición final respectiva; por su capacidad operativa proporciona una cobertura aproximada del 46% respecto al total de los residuos hospitalarios generados en un año y destinados directamente a la disposición final. Por otro lado, su adecuado desempeño hizo posible la reducción de la contaminación en las 7 etapas donde se generan posibles impactos negativos al ambiente tales como: Alimentación de la Carga, Combustión Primaria, Depuración de los gases, Operación de la Chimenea, Almacenamiento, Preparación de la carga y Drenaje de las Aguas Residuales, las cuales se deben considerar para aplicar medidas de prevención, mitigación y/o restauración.

-Las medidas de control del proceso de incineración se basa en sí en controlar principalmente el proceso de combustión, el cual constituye el foco central de la contaminación: 1. Controlar las condiciones favorables para la combustión (Primaria y Secundaria) tales como: La alimentación de forma intermitente, turbulencia del proceso, un ambiente oxidante del 20%, tiempo de residencia de 50 y 75 minutos regulable a 2 horas y una temperatura de entre 850 °C a 1000 °C. En la segunda cámara, una temperatura de 1200 °C y en un tiempo de residencia no menor a 2 segundos. 2. Control de la contaminación atmosférica: Sistema de enfriamiento de gases (230 °C a 250 °C), con un un sistema de ablandamiento del agua y de recuperación de energía. Sistema de depuración de gases, el cual comprende de un sistema de limpieza química (adición de neutralizadores y de carbón activado), sistema de limpieza física a través del filtro de mangas y ventilación (uso de ventiladores), temperatura de salida de los gases en la chimena de (110 °C a 120 °C). 3. Control de los residuos salientes: Las cenizas se encapsulan y se llevan directamente a un relleno de seguridad para su respectiva disposición final. 4. Otros criterios importantes: Condiciones estrictas de almacenamiento de los residuos ingresantes y conforme al tipo de residuo a tratar, reduciendo así la exposición de la emisión de posibles gases contaminantes por la posible descomposición de los mismos.

VII. RECOMENDACIONES

1. Para que el manejo se mejore se recomienda considerar que los residuos se encuentren debidamente segregados y caracterizados antes de ser incinerados, ya que permitiría una mejor calidad de combustión y de sus productos; asimismo los ES se ahorrarían los costos ya que se generarían una menor cantidad de residuos a tratar y con ello también en la etapa de tratamiento una menor cantidad de uso de reactivos así como una menor cantidad de energía requerida (por el poder calorífico de los residuos) para la combustión. En ese sentido, se recomienda que todos los establecimientos de salud se rigan obligatoriamente al diagnóstico requerido en la actual norma técnica de salud, el cual debe enfocarse en la utilización de mejores técnicas de tratamiento a sus residuos antes de destinarlos al proceso de confinamiento más común y cada vez menos utilizado en los países desarrollados, para lo cual puede implementarse mas tecnologías de tratamiento que puedan cubrir el 100% de sus residuos y así ayudar a que los rellenos tengan más tiempo de vida útil, reduciendo el impacto al ambiente. Por otro lado, a las autoridades correspondientes realizar un mejor esfuerzo para incentivar supervisar y fiscalizar a los establecimientos de salud para que estas puedan tener una mejor gestión de sus residuos y optar a que incluyan como prioridad al tratamiento y no solo la valorización antes de la etapa de disposición final.

2. Del analisis del proceso, se recomienda verificar que las condiciones como temperatura suficientemente altas y en buenas condiciones de mezcla se cumplan; ya que la producción de dioxinas depende esencialmente de esos parámetros para la formación de las mismas, cuanto más completa sea ésta menor será la presencia en los gases resultantes de compuestos precursores de dioxinas, reduciendo de ésta manera costos en la depuración y control de los gases contaminantes generados durante la combustión.

Con respecto a las cenizas fijas del proceso, ya que se genera como material inerte, este debe tener en cuenta un posible aprovechamiento sin requerir necesariamente de un pre tratamiento. En cuanto a las cenizas volantes para determinar si es peligroso o no, de requerir la autoridad respectiva sus respectivos estudios de opinión técnica definitoria tal como se refiere Ley N° 1278 Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, ya que por su composición (mayor concentración de contaminantes) podrian requerir pre tratamientos y analisis para su desclasificación como residuo peligroso, existiendo vías químicas y físicas, con la finalidad de incorporar un posible reaprovechamiento o disposición final, garantizando una mejor gestión de sus residuos. Se debe seguir investigando respecto al reaprovechamiento de las cenizas ya que según estudios se tienen alternativas de reaprovechamiento de los subproductos generados por la incineración de los residuos, las cuales son: la elaboración de ladrillos por las cenizas y generación de energía debido al alto calor que se genera durante los procesos de combustión. Las cenizas generadas podrían utilizarse como un material de relleno para aplicaciones de aglomerados en la industria de la construcción civil.

3. Aun cuando se cuenta con la tecnología de depuración de los gases para el control adecuado de la contaminación ambiental; es importante indicar que, actualmente en nuestro país no se encuentra normado los límites máximos permisibles para las emisiones de los incineradores. No existe estándares nacionales para los parámetros de dioxinas y furanos, impactando directamente a la tarea de supervisión por parte de las autoridades competentes; sin embargo, en otros en otros países latinoamericanos como Chile y Colombia si se ha establecido normas específicas para control de los parámetros de emisión de las incineradoras estando aun mas desarrollado la normativa en países europeos y en EEUU. Realizar mayores estudios y empezar con un diálogo entre las autoridades y las actuales empresas de incineración para establecer algunos

lineamientos que puedan servir para adecuar la normativa actual tomando como referencia las actuales tecnologías existentes en nuestro país, con la finalidad de coadyuvar a la tarea de supervisión y para un mejor control de la contaminación ambiental.

VIII. REFERENCIAS

Angulo, E. (2017). *Estudio de Pre factibilidad para la Ampliación y Mejoramiento de la Planta de Tratamiento Térmico en una Empresa de Gestión de Residuos Industriales* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú. Recuperado de http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/cybertesis/6052/Angulo_re.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Arias, F. (2006). *El proyecto de la investigación*. Venezuela. Recuperado de https://ebevidencia.com/wp-content/uploads/2014/12/EL-PROYECTO-DE-INVESTIGACI%C3%93N-6ta-Ed.-FIDIAS-G.-ARIAS.pdf

Berrocal, W. (2009). *Estudio de Pre - Factibilidad para la Instalación de una Planta de Tratamiento de Residuos Sólidos Hospitalarios Biocontaminados y Especiales en la Provincia de Lima* (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú. Recuperada de http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/545

Bunge, M. (1971). *La ciencia. Su método y su filosofía*. Chile. Recuperado de https://users.dcc.uchile.cl/~cgutierr/cursos/INV/bunge_ciencia.pdf

Blanco, J. y Briceño, F. (2005). *Diseño de Una Planta de Tratamiento de Residuos Sólidos Hospitalarios y Similares en el Municipio de Arauca, Capital* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de http://bdigital.unal.edu.co/4755/1/DOCUMENTO_FINAL.pdf

Cantanhede, A. (1999). *La Gestión y Tratamiento de los Residuos Generados en los Centro de Atención de Salud*. Recuperado de http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsare/e/cr/repertorio/02-reper.pdf

Castillo, A. y Romero, S. (2012). *Guía general para la elaboración de un plan de manejo de residuos peligrosos* (Tesis de pregrado) recuperado de https://www.zaragoza.unam.mx/portal/wp-content/Portal2015/Licenciaturas/iq/tesis/manejo%20residuos%20peligroso.pdf

Espino, C., Gonzáles, M. y Viladegut, R. (2014) *Estudio de viabilidad sobre la implementación de una planta de incineración para la destrucción de residuos sólidos generados por empresas farmacéuticas, miembros de la Asociación de Laboratorios Farmacéuticos del Perú-Alafarpe* (Tesis de maestría). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas Escuela de Postgrado, Perú. Recuperado de https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/338546/Tesis%20Espino%20-%20Gonz%C3%A1lez%20-%20Viladegut.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Hernández, R., & Fernández, C. (2006). *Metodología de la Investigación* (Cuarta ed.). México: McGraw-Hill Interamericana.

Jaquenod, S. (2007). *Vocabulario Ambiental Práctico*, España. Recuperado de https://books.google.com.pe/books?id=kFhsgsdlJeYC&printsec=frontcover&dq=furanos+y+dioxinas+pdf&hl=es-

419&sa=X&ved=0ahUKEwj7257O8JPgAhUFTN8KHY_cAoAQ6AEIKDAA#v=onepage&q&f=false

Loayza, J. (2008). Incompatibilidad en el Almacenamiento de Sustancias Químicas. *Boletín Electrónico Informativo Sobre Productos y Residuos Químicos*. Recuperado de http://quimica.unmsm.edu.pe/pdf/ing%20loayza/BOLETIN_40.pdf

Loayza, Luis., y Nava, C. (2012). *Impacto Económico del Tratamiento y Gestión de los Residuos Sólidos Producidos por el Hospital Militar Central - Lima* (Tesis de maestria). Universidad Nacional de Ingeniería. Recuperada de http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/1351

Menacho, J., Quispe, R. y Azcona, L. (2015). *Diseño de una Planta para el Tratamiento Residuos Sólidos Hospitalarios* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Callao. Recuperado de http://repositorio.unac.edu.pe/handle/UNAC/1486

Ministerio del Ambiente. (2014). *Sexto Informe Nacional de Residuos Sólidos de la Gestión del Ámbito Municipal y No Municipal emitido por el Ministerio del Ambiente al año 2013***.** Recuperado de http://redrrss.minam.gob.pe/material/20160328155703.pdf

Ministerio del Ambiente (2017). *Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos 2016 - 2024.* Recuperado de https://sinia.minam.gob.pe/documentos/plan-nacional-gestion-integral-residuos-solidos-2016-2024

Ministerio de Salud (2018). *Plan Nacional de Fortalecimiento de Servicios de Salud Mental Comuitaria 2018 – 2021.* Recuperado de http://bvs.minsa.gob.pe/local/MINSA/4422.pdf

Ministerio de Salud (2010). *Plan Nacional de Gestión de Residuos Sólidos en Establecimientos de Salud y Servicios Médicos de Apoyo 2010-2012*. Recuperado de http://www.digesa.minsa.gob.pe/publicaciones/descargas/Plan%20Nacional_DEPA.pdf

Ochoa, A. (2018). *Gestión de manejo de residuos sólidos hospitalarios en la calidad de servicios en las áreas asistenciales del Hospital Nacional Hipólito Unanue* (Tesis de maestría). Universidad Cesar Vallejo, Perú. Recuperado de http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/13468/Ochoa_NA.pdf?sequence=1...

Pérez, F. (2010). *Landfills vs Incinerators: Identification And Comparison of the Hazards Posed By The Toxic Emisions Associated With The Disposal Of Municipal Solid Wasted In Puerto Rico* (Tesis de pregrado). Metropolitan University, Puerto Rico.

Prevención y Control Integrado de la Contaminación. (2006). *Documento de Referencia sobre Mejores Técnicas Disponibles de referencia europea para Incineración de Residuos.* Recuperado de *http://www.prtr-es.es/data/images/BREF-Incineraci%C3%B3n-de-Residuos-Borrador-castellano.pdf*

Roche. (2013). *Roches position on landfills / contaminated soil*. Recuperado de https://www.roche.com/dam/jcr:4b6d482b-9e13-4cd8-91c9-1dbefad1cb59/11_Position_Landfills%20and%20contaminated%20Soil_reviewed_May%202018.pdf

Rodríguez, J., y Irabien, A. (1999). *Los residuos peligrosos: caracteriación, tratamiento y gestión.* España: Sintesis.

Rosas, A., Peña, A., Ramos, G., Izumikawa, C., Aguilar, G., Velasco, J.,...Salgado, P. (2003). Evaluación de la Incineración de Residuos Peligrosos. *Gaceta Ecológica*, 66, 27-40. Recuperado de http://bases.bireme.br/cgi-bin/wxislind.exe/iah/online/?IsisScript=iah/iah.xis&src=google&base=REPIDISCA&lang=p&nextAction=lnk&exprSearch=33249&indexSearch=ID

Ross, D. E., Agamuthu, P., y Gardner, R. B. (2011). Sustainable Sanitary Landfill celebrates its 80th aniversary. *Waste Management & Research, 29* (1), 1-2.doi: 10.1177/0734242X10388826

Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sustentable (2003). *13° Congreso Argentino de Saneamiento y Medio Ambiente.* Recuperado de https://slideplayer.es/slide/3229980/

Tasneem, K. (2014). *Beneficial Utilization of Municipal Solid Waste Incineration Ashes as Sustainable Road Construction Materials* (Tesis de Maestría). M. S. Carnegie Mellon University, USA. Recuperado de https://stars.library.ucf.edu/cgi/viewcontent.cgi?referer=https://www.google.com/&httpsredir=1&article=5545&context=etd

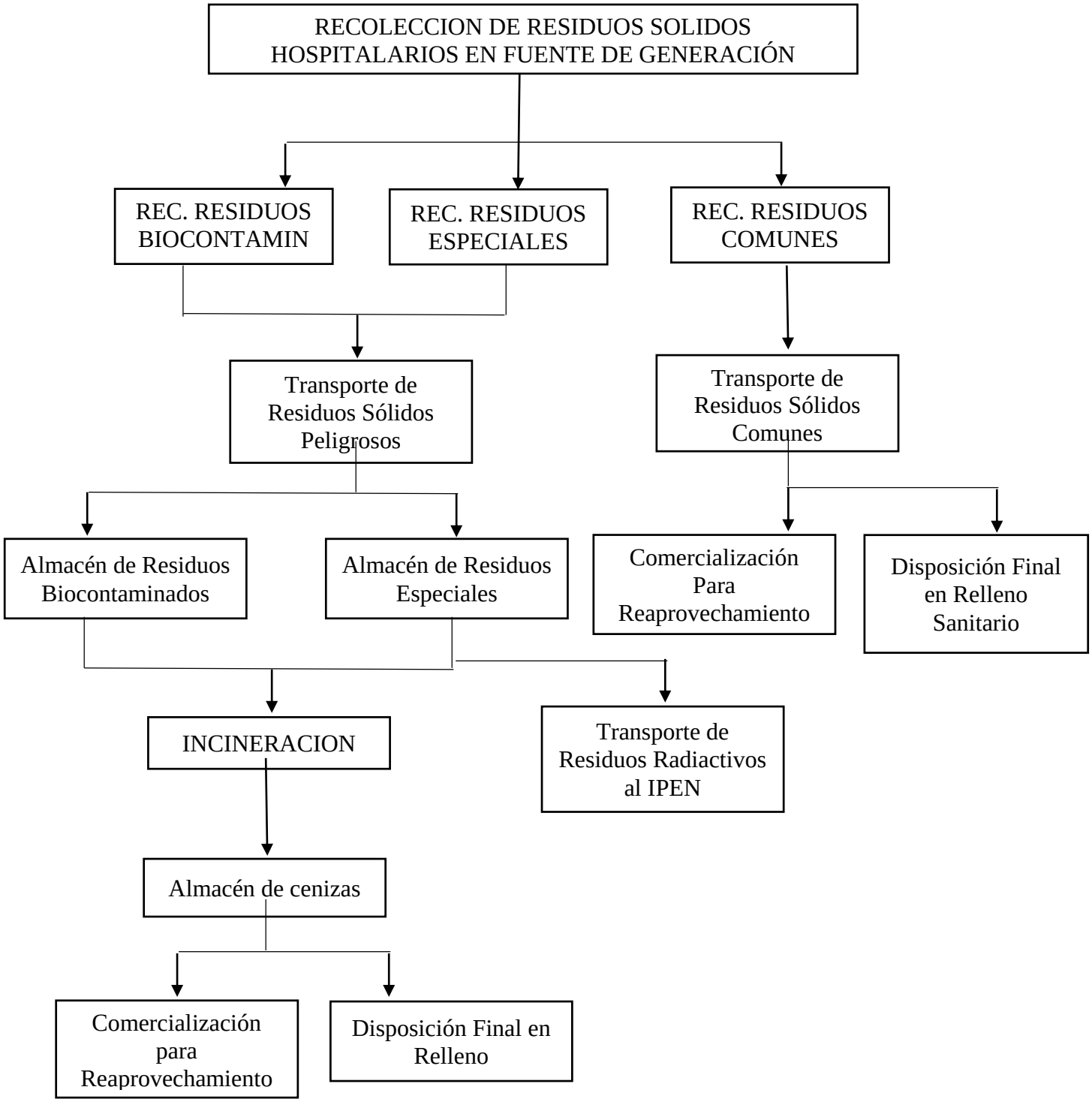
Uzuriaga, L. (2013). *Estudio de Pre-Factibilidad para la instalación de un Relleno Sanitario de Seguridad para el Tratamiento y Disposición de Residuos Sólidos Industriales Peligrosos en el botadero de Reque en la Provincia de Chiclayo* (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú. Recuperado de http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/4792/UZURIAGA_LOURDES_ESTUDIO_PRE-FACTIBILIDAD_RELLENO_SANITARIO_RESIDUOS_SOLIDOS_BOTADERO.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Xavier, E. (2003). *La incineración de residuos y su adecuación a la resolución 0058*, Bogotá. Recuperado de https://es.scribd.com/doc/138364357/Incineracion-Xavier-Elias

IX. ANEXOS

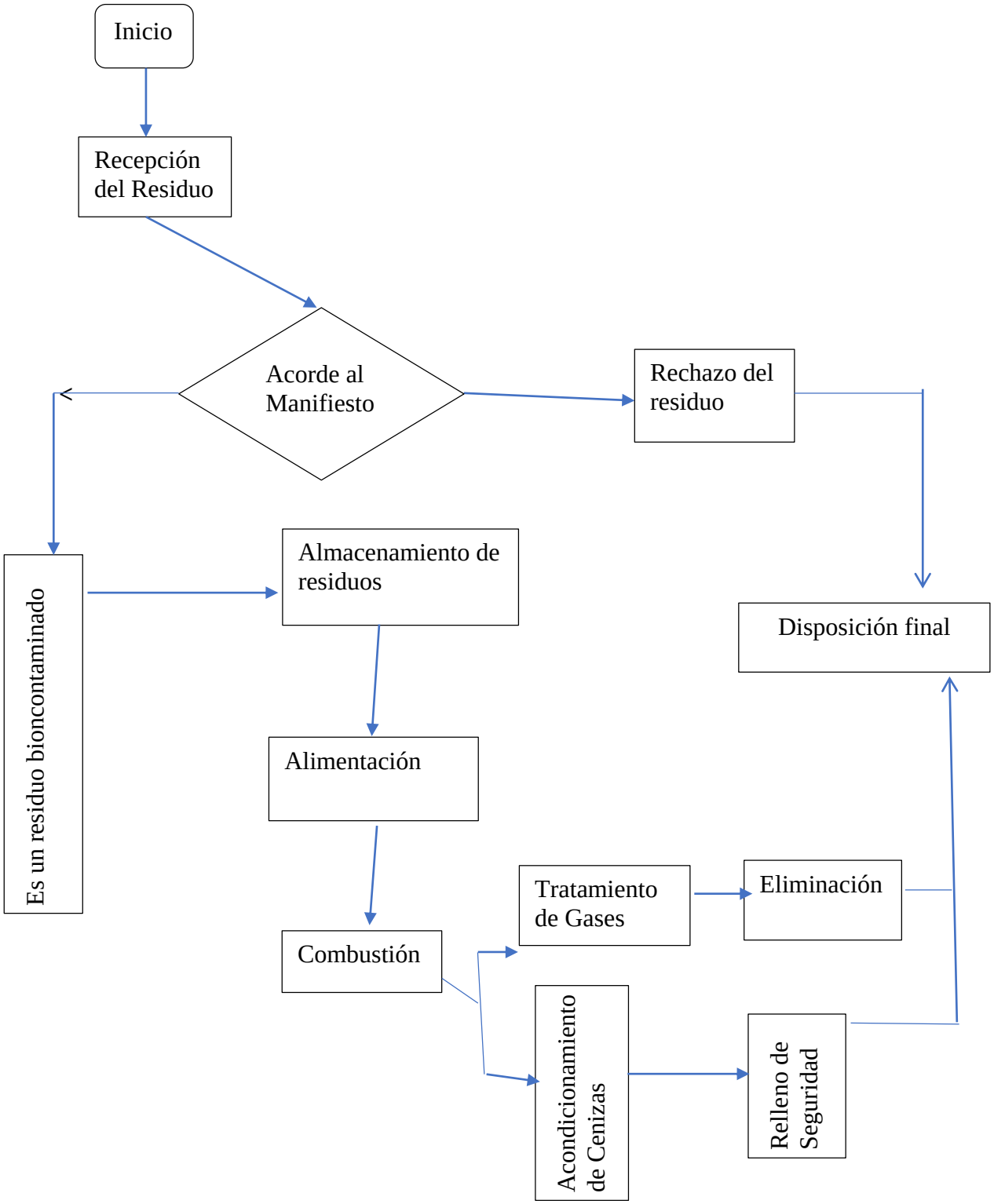
ANEXO 1

Figura 22. Diagrama del Manejo Integral de Residuos Solidos Hospitalarios Peligrosos



ANEXO 2

Figura 23. Diagrama de las operaciones de la Planta de Incineración



ANEXO 3

Identificación de Impactos

Variables Ambientales			Identificación de Impactos	Acciones de Operación de la Planta de Incineración: Sistema de Alimentación de la Carga	Proceso de Combustión Primaria	Sistema de Depuración de Gases	Chimenea	Recepción Almacenamiento y Preparación de la Carga	Sistema de Drenaje de aguas residuales
Físicas	Aire	Alteración de Calidad de Aire	Generación de residuos sólidos		x	x			
	Suelo	Disponibilidad del Suelo							
	Agua	Contaminación del agua superficial	Generación de aguas residuales					x	
		Contaminación del agua subterránea							x
	Aire	Contaminación del aire	Emisión de gases contaminantes				x	x	
			Emisión de olores ofensivos					x	
			Perturbación por ruido	x					