

T/660.2/M42

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA QUIMICA



**“DISEÑO DE UNA PLANTA PARA EL
TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS
HOSPITALARIOS”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO QUIMICO**

PRESENTADO POR:

MENACHO ZAPATA JOSE FABIAN
CRISTOBAL QUISPE RICARDO
QUINTO AZCONA LEOVICK ELIAS

CALLAO – PERU

2015

PROLOGO DEL JURADO

El presente informe fue Expuesto por los bachilleres **QUINTO AZCONA LEOVICK ELIAS, CRISTOBAL QUISPE RICARDO Y MENACHO ZAPATA JOSÉ FABIAN** ante el **JURADO DE SUSTENTACIÓN DE TESIS** conformado por los siguientes profesores ordinarios:

ING. ALBERTO EMILIO PANANANA GIRO : PRESIDENTE
ING. LEONARDO FELIX MACHACA : SECRETARIO
ING. FABIO MANUEL RANGEL MORALES : VOCAL
ING. OSCAR MANUEL CHAMPA ENRIQUEZ : ASESOR

Tal como está asentado en el libro de actas N° 2 de Tesis Folio N°73 y Acta N° 256 de fecha **VEINTIUNO DE AGOSTO DE 2015**, para la obtención del título profesional de Ingeniero Químico en la modalidad de Titulación por Tesis, de conformidad establecido por el reglamento de Grados y Títulos aprobado por Resolución N° 082-2011-CU de fecha 29 de abril de 2011, Resolución N° 221-2012-CU de fecha 19 de setiembre de 2012 y Resolución N°759-2013-R de fecha 21 de agosto de 2013.

DEDICATORIA:

A nuestros padres, quienes con sus ejemplos hicieron que nos convirtiéramos en los profesionales de hoy.

A quienes luchan por sus sueños, incluso en las dificultades.

A quienes encuentran en la vida su opuesto como un regalo único.

AGRADECIMIENTOS

A nuestra querida Universidad Nacional del Callao, por su infinita fuente de enseñanza académica, así como las valiosas lecciones de vida aprendidas a lo largo de nuestra estadía en esta maravillosa casa de estudios que nos enriquecieron como personas y como profesionales.

A todos aquellos docentes que durante nuestras vidas universitarias nos dieron sus enseñanzas, las que contribuyeron al desarrollo de este trabajo.

INDICE

	Página
RESUMEN	5
I INTRODUCCION	6
1.1 Descripción General del Tema.	6
1.2 Marco Situacional	9
1.3 Enunciado del Problema	9
1.4 Objetivos. Objetivo general y objetivo específico.	10
1.5 Antecedentes, Importancia, Justificación, alcances.	10
1.6 Hipótesis principal y específico	13
II CREACIÓN, ORGANIZACIÓN, PLANIFICACIÓN, PROGRAMACIÓN Y EVALUACIÓN DEL PROYECTO DE INSTALACIÓN DE LA PLANTA PARA EL TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS HOSPITALARIOS.	14
2.1 Creación del proyecto de instalación de una planta para el tratamiento de residuos sólidos hospitalarios.	14
2.2 Organización proyecto de instalación de una planta para el tratamiento de residuos sólidos hospitalarios.	15

2.3 Planificación del proyecto de instalación de una planta para el tratamiento de residuos sólidos hospitalarios.	25
2.4 Programación del proyecto de instalación de una planta para el tratamiento de residuos sólidos hospitalarios.	27
2.5 Evaluación y control del proyecto de instalación de una planta para el tratamiento de residuos sólidos hospitalarios.	29
III INGENIERÍA DE PROCESO.	31
3.1. Desarrollo del Proceso.	31
3.1.1. Diseño del producto	31
3.1.2. Análisis de la materia prima.	31
3.2. Análisis y descripción de tecnologías.	41
3.3. Selección de tecnologías.	49
3.4. Diseño del proceso de la tecnología seleccionada.	53
3.4.1. Balance de materia y energía.	58
3.4.2. Diseño del diagrama de proceso: Diagrama de bloques, Diagrama de flujo codificado.	60
3.5. Plan Maestro.	65
IV LOCALIZACIÓN Y TAMAÑO DE PLANTA.	66
4.1 Localización de Planta.	66
4.1.1. Análisis de los factores locacionales.	67
4.1.2. Evaluación y elección de Localización de Planta.	70
4.2 Tamaño de Planta.	72
4.2.1. Determinación de tamaño de Planta.	72
V INGENIERÍA DE DISEÑO DE DETALLES.	83

5.1	Diseño de equipos principales.	83
5.1.1.	Procedimiento de diseño.	83
5.2	Diseño de equipos de uso genérico.	118
5.2.1.	Procedimiento de diseño.	118
5.3	Listado de los equipos y maquinarias de la Planta Industrial.	123
5.4	Disposición de Planta.	123
VI	EVALUACIÓN ECONÓMICA.	129
6.1	Estimación del costo total de producción.	129
6.2	Estimación de inversión total.	133
6.2.1.	Inversión de capital fijo.	135
6.2.2.	Capital de trabajo.	135
6.3	Financiamiento.	139
VII	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	141
7.1	Conclusiones.	141
7.2	Recomendaciones.	142
VIII	REFERENCIAS.	144
	APENDICE.	
	ANEXOS	

RESUMEN.-

La generación de residuos sólidos producidos por los hospitales, centros médicos, y clínicas, es la problemática a solucionar ya que es un continuo sin fin la generación de estos residuos sólidos hospitalarios que se han denominado basura y por ser un estorbo “contaminante”, de agua, suelo y aire, por lo que es necesario deshacerse de ellas, para poder conseguir esto se ha diseñado la planta para el tratamiento de residuos sólidos hospitalarios con una capacidad de 700 TM/año , con un factor operacional de 92%, el cual se instalara en la localidad de ventanilla. El producto obtenido de la incineración de los residuos sólidos hospitalarios son los humos provenientes del proceso de incineración usando la tecnología de incineración en un reactor rotatorio de lecho móvil. La inversión total es del 4 610 084 U.S \$, cuyo capital de trabajo de \$ 1 383 025 con una rentabilidad muy alta, siendo su VAN de U.S.\$ 7 334 276 y la T.I.R.E. es del 54,263%.

El proceso de incineración tiene un costo de manufactura promedio de US\$ 2 485,4/TM, en comparación con los precios de venta que oscilan alrededor de US\$ 6520/TM Las características técnicas y las ventajas económicas convierten a este proceso en una excelente alternativa para ser implementado en la región y para seguir siendo estudiado.

Finalmente su estructura de financiamiento indica que \$ 3 227 059, debe ser financiado por el banco de crédito (70% de la inversión total) y los \$ 1 383 025 son las aportaciones del propietario y accionistas.

I. INTRODUCCION

1.1 Descripción General del Tema.

Los residuos representan una pérdida enorme de recursos, tanto materiales como energéticos. La producción excesiva de residuos es un síntoma de la ineficiencia de los procesos productivos, de la escasa durabilidad de los productos y de unos hábitos de consumo insostenibles. La cantidad de residuos generados es, por tanto, un indicador del grado de eficiencia con que la sociedad utiliza las materias primas y los productos.

Además de los residuos generados por actividades industriales y domésticas en la actualidad también se originan otro tipo de residuos como consecuencia de los intentos de sanear medios, contaminados, por ejemplo, los lodos procedentes del tratamiento de las aguas residuales, los suelos contaminados, etc. Es importante anotar que las cantidades de residuos generados son ya tan grandes que su transporte representa una parte considerable del total de productos (bienes o mercancías) transportadas.

La humanidad está confrontada desde varias décadas con un aumento considerable de la cantidad de residuos producidos y también de su nocividad.

Los residuos hospitalarios pueden producir contaminación y enfermedades si no se los maneja adecuadamente. Los residuos infecciosos, especialmente el corto punzante, presentan un riesgo para quienes puedan entrar en contacto con ellos. De acuerdo con las estimaciones de la organización mundial de la salud (OMS), el 40% de los casos de hepatitis y el 12% de los casos de VIH en el mundo se deben a la exposición en el ámbito.

Los hospitales también generan residuos químicos, farmacéuticos y radioactivos, todos ellos en pequeñas cantidades, que requieren un manejo especial. Por otra parte, en

los hospitales también se generan grandes cantidades de residuos comunes como envases, papel, comida, etc., que pueden llegar a representar alrededor del 80% de la corriente de residuos. Un hospital de gran tamaño puede producir hasta una tonelada de residuos por día.

El manejo de los residuos sólidos hospitalarios (MRSH) en nuestro país es uno de los aspectos de la gestión hospitalaria, que recién a partir de los últimos años ha concitado el interés de las instituciones públicas y privadas, impulsado por el desarrollo de la seguridad y salud en el trabajo hospitalario, la protección al medioambiente y la calidad en los servicios de salud. los residuos sólidos que se generan en los establecimientos de salud, producto de las actividades asistenciales constituyen un peligro de daño para la salud de las personas si en circunstancias no deseadas, la carga microbiana que contienen los residuos biocontaminados ingresa al organismo humano ó en el caso de los residuos especiales cuando ingresan mediante vía respiratoria, digestiva o dérmica.

Uno de los problemas más graves es que en muchas instalaciones de salud no se incineran los RSH solamente son almacenados en baldes, bolsas plásticas ó barriles metálicos muy pesados. Los desechos sólidos relacionados a los radiofármacos no sellados, (ampolletas, jeringas, agujas, guantes, algodón), son normalmente guardados en cajas de plomo, en un cuarto sin restricciones de acceso y sin ningún tipo de precauciones, agujas, jeringas, algodón y residuos de curaciones son depositados sin ninguna precaución en los centros de acopio temporal y su transporte se realiza junto con la basura común, en el cuadro N° 1, se muestran la clasificación de los RSH.

Cuadro N° 1. Clasificación de los Residuos sólidos Hospitalarios.

TIPO DE RESIDUO	TRATAMIENTO
RESIDUOS ORDINARIOS Ordinarios e inertes	Relleno sanitario
RESIDUOS BIODEGRADABLES Biodegradables	Compostaje, Lombricultura o Relleno Sanitario
RESIDUOS RECICLABLES <ul style="list-style-type: none"> • Reciclables: • Plástico • Vidrio • Cartón y similares • Chatarra 	Reciclaje
RESIDUOS INFECCIOSOS <ul style="list-style-type: none"> • Biosanitarios, Corto punzantes • De animales y anatomopatológicos 	Desactivación de alta eficiencia y relleno sanitario o incineración (las cenizas van a rellenos de seguridad) Desactivación de baja eficiencia e incineración (las cenizas van a rellenos de seguridad)
RESIDUOS QUÍMICOS <ul style="list-style-type: none"> • Contenedores presurizados • Químicos a excepción de metales pesados • Químicos mercuriales • Metales pesados • Fármacos parcialmente consumidos, vencidos, deteriorados y/o alterados. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tratamientos físicoquímicos • Incineración cuando hay lugar (las cenizas van a rellenos de seguridad. • Reciclaje, Rellenos de seguridad, encapsulamiento o cementación y envío a relleno sanitario

Fuente: Elaboración propia

Entre las tecnologías disponibles para el tratamiento de residuos infecciosos es el proceso de incineración, que consiste en un proceso de oxidación térmica que convierte en la fracción combustible de los residuos de gases y un residuo inerte que debe ser dispuesto de una manera adecuada. Por lo que constituye el método de eliminación más efectivo ya que reduce el 90% del volumen y el 75% del peso y consigue una esterilización adecuada. Destruye, además, los fármacos cito tóxicos. Por las razones

expuestas, es materia de investigación diseñar una planta para el tratamiento de residuos sólidos hospitalarios por medio de la tecnología mencionada.

1.2 Marco situacional.-

El tema se encuentra ubicado dentro del área de Ingeniería y tecnología del medio ambiente con la codificación de acuerdo a la UNESCO 3308.09 otros (tratamientos de residuos sólidos hospitalarios), por que el primero responde al fundamento y procedimiento de diseño de plantas químicas para el tratamiento de residuos hospitalarios, y el segundo responde a los aspectos tecnológicos ambientales.

1.3 Enunciado del problema.

Problema general.

El diseño de una planta para el tratamiento de residuos sólidos hospitalarios abarca varios aspectos, entre los cuales los más relevantes, y teniendo en cuenta a la descripción inicial del objeto de investigación y las distintas situaciones planteadas en el análisis de la problemática, se podrá plantear la siguiente pregunta:

¿Cómo se logrará diseñar una planta para el tratamiento de residuos sólidos hospitalarios?

Sub-problemas.

- ¿Cuáles son las informaciones o fuentes disponibles que se analizará para diseñar una planta para el tratamiento de residuos sólidos hospitalarios?
- ¿Cuál será el tamaño de planta óptimo para el tratamiento de residuos sólidos hospitalarios?
- ¿Dónde se localizará la planta para el tratamiento de residuos sólidos hospitalarios?

- ¿Cuáles son los fundamentos y procedimientos de diseño que se analizará para diseñar la planta para el tratamiento de residuos sólidos hospitalarios?
- ¿Cómo se diseñaran los equipos principales y de uso genérico que componen la planta para el tratamiento de residuos sólidos hospitalarios? Y ¿Cómo se elaborara el plano de distribución de planta?

1.4 Objetivos de Investigación para la tesis.-

Objetivo General.-

Diseñar una planta para el tratamiento de residuos sólidos hospitalarios.

Objetivos Específicos

- Analizar y determinar la localización y tamaño de planta óptimo.
- Analizar y seleccionar la tecnología adecuada para el tratamiento de residuos sólidos hospitalarios.
- Diseñar los equipos principales y de uso genérico para elaborar el plano de disposición de planta.

1.5 Antecedentes, Importancia, Justificación, alcances, y metas.

1.5.1. Antecedentes.

Hay estudios de diseño de plantas de tratamiento de residuos sólidos urbanos en forma general, pero no hay estudios específicos sobre el diseño de una planta para el tratamiento de residuos hospitalarios.

- 1) Paul Connett en 1990 ha publicado sobre los problemas generados por los incineradores de residuos hospitalarios donde menciona que "Si la respuesta es incineración, alguien hizo la pregunta equivocada"

- 2) La Agencia de Protección del Medio Ambiente de los EE.UU., en 1994 identificó que los incineradores de residuos hospitalarios son la mayor fuente de compuestos del tipo dioxinas en ese país.
- 3) Verónica Odriozola en 1996, ha publicado en su informe sobre la incineración de residuos hospitalarios que daña la salud MAS VALE PREVENIR QUE CURAR en la Campaña de Tóxicos de Greenpeace en Argentina.
- 4) Araujo Miguel, en 2001 ha publicado sobre Desechos Hospitalarios: Los riesgos biológicos y las recomendaciones generales sobre su manejo, donde desarrolla un algoritmo lógico para la toma de decisiones respecto al manejo de los desechos hospitalarios, Sintetiza la evidencia disponible sobre los riesgos de los desechos hospitalarios para los trabajadores que los manipulan y para la población general, y formula las recomendaciones sobre la disposición de los desechos a partir de las evidencias encontradas y de otras consideraciones que sean relevantes desde el punto de vista sociocultural, económico u otro.
- 5) Geenpeace en el 2001 realizo el estudio de las alternativas a la incineración de residuos hospitalarios; donde menciona que el policloruro de vinilo (PVC o vinilo) constituye la principal fuente de cloro en las incineradoras de residuos hospitalarios, y se encuentra principalmente en productos hospitalarios y embalajes. Aproximadamente el 9.4% de todos los residuos infecciosos son de PVC. Asimismo mencionan que las incineradoras de residuos hospitalarios representan una de las mayores fuentes de dioxinas, por ello algunos países están aplicando medidas restrictivas a este sistema de tratamiento de los residuos. Como consecuencia muchos hospitales han cerrado sus propios hornos incineradores y envían sus residuos a incineradoras con más dispositivos de control de la contaminación.

- 6) Rodríguez Rosa, y colaboradores, en 2001, estudiaron la incineración de residuos patológicos y presentan los resultados obtenidos de la clasificación, pesaje y análisis de residuos patológico del hospital Dr. Guillermo Rawson, y los datos obtenidos de humedad, contenido de ceniza y contenido de volátiles constituyen a realizar un diseño de procesos antipolución. Asimismo mencionan que las altas concentraciones de metal pesado en cenizas y polvos obligan a considerarlos como residuo peligroso.

1.5.2. Importancia.-

La importancia del trabajo de investigación radica en los siguientes aspectos:

- 1) Diseñar una planta para el tratamiento mediante el proceso de incineración de los residuos sólidos hospitalarios y solucionar la contaminación ambiental por residuos sólidos proveniente de los hospitales en general.
- 2) Sus resultados incrementaran a los diferentes estudios existentes con el propósito de dar solución a la contaminación ambiental de residuos sólidos provenientes de los hospitalarios.

1.5.3. Justificación.-

La presente propuesta de tesis se justifica por lo siguiente:

Actualmente los residuos hospitalarios y similares, representan un riesgo para la salud del personal médico, paramédico, enfermeras, pacientes, visitantes, personal de recolección de residuos y otros, y de la comunidad en general, además del riesgo ambiental que de ellos se derivan, y debido a la cantidad de los residuos sólidos generados por los hospitales que son arrojados en la rivera de los ríos y otros lugares públicos por las empresas encargadas del recojo de estos residuos mencionados, constituyen un problema ambiental; y el desafío del futuro consiste en la reducción del

impacto ambiental lo que implica diseñar una planta para el tratamiento adecuado para los residuos sólidos hospitalarios y dar solución a este problema.

Al investigar en las literaturas existentes (artículos publicados), no existen investigaciones con los fundamentos y procedimientos de diseño adecuado de la planta para el tratamiento de residuos sólidos hospitalarios.

1.5.4. Alcances.-

Diseñar una planta para el tratamiento de residuos hospitalarios para dar solución a la contaminación ambiental por residuos sólidos provenientes de los hospitales del País.

1.6 Hipótesis principal y específico.-

Hipótesis general.

Con los fundamentos y los procedimientos de la ingeniería de diseño se logrará diseñar la planta para el tratamiento de residuos sólidos hospitalarios.

Hipótesis de Específica.

- Los fundamentos y los criterios de localización y tamaño de planta permiten evaluar y determinar la localización y tamaño óptimo de la planta para el tratamiento de los residuos sólidos hospitalarios.
- Los fundamentos de diseño de ingeniería de detalles nos permitirán diseñar detalladamente la planta de tratamiento de residuos sólidos por el proceso de incineración
- Diseñar una planta para el tratamiento de residuos sólidos hospitalarios.

II. CREACIÓN, ORGANIZACIÓN, PLANIFICACIÓN, PROGRAMACIÓN Y EVALUACIÓN DEL PROYECTO DE INSTALACIÓN DE UNA PLANTA PARA EL TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS HOSPITALARIOS.

2.1 Creación del proyecto de instalación de una planta para el tratamiento de residuos sólidos hospitalarios.

El manejo de residuos hospitalarios en la región Callao es muy precario actualmente y es preocupante como van aumentando con el tiempo, si bien es cierto en la región del Callao se están planteando proyectos para tratar de solucionar este problema, pero las soluciones planteadas solo consisten en mejorar el sistema de almacenamiento, recojo y disposición final (relleno sanitario) que generalmente son improvisados; sin embargo no se centran en el tratamiento de estos, siendo los residuos hospitalarios focos potenciales de enfermedades e infecciones que al no ser tratados pueden afectar no solo a los pacientes atendidos sino también a los trabajadores de los centros de salud como también a las personas que rodean estos centros de salud y sobretodo contaminar el lugar de su disposición final.

En la región Callao existen cerca de 48 centros de salud atendiendo aproximadamente a más de un millón de pacientes y cerca de mil trabajadores de salud entre doctores y personal de limpieza; viendo esta problemática planteamos tratar este residuo a través del método de incineración ya que este permite reducir el volumen del residuo entre el 90-75% dejando pequeñas cantidades de cenizas, permite una esterilización adecuada y los productos generados al final del proceso son prácticamente inertes.

2.2 Organización del proyecto de instalación de una planta para el tratamiento de residuos sólidos hospitalarios.

Para la organización del proyecto de instalación de una planta industrial para la incineración de residuos hospitalarios, tomaremos en cuenta una secuencia de actividades que se darán en forma sistemática y que nos permitirá un orden en la realización de proyecto en el menor tiempo posible.

Las decisiones principales a largo plazo del proyecto de instalación de la planta industrial se relacionan con el diseño del mismo y, a su vez, estas condicionarán las decisiones relacionadas con las operaciones corrientes del sistema o a corto plazo.

Las decisiones a mediano plazo son las siguientes:

- a) **Estudio de Mercado:** La empresa, a través de su función de planificación, debe conocer la demanda y problemática del servicio así como también el entorno competitivo que pueda existir sobre el mismo servicio para evaluar si el servicio pueda ser viable teóricamente.
- b) **Evaluación del proceso:** Aquí realizaremos la investigación, análisis y selección de la tecnología.
- c) **Selección de la Tecnología:** La empresa debe decidir, después de haber hecho un análisis de aspecto técnico y económico según la factibilidad del servicio a ofrecer, en términos de costos y de los beneficios esperados.
- d) **Programación del proyecto:** Aquí determinaremos el tiempo en el cual va a realizarse el proyecto que puede ser de manera secuencial en cada actividad y en algunos casos las actividades se realizaran en forma paralela para optimizar el tiempo.

PASOS PARA LA EJECUCION DEL PROYECTO.-

Para la ejecución del proyecto se propone los pasos siguientes:

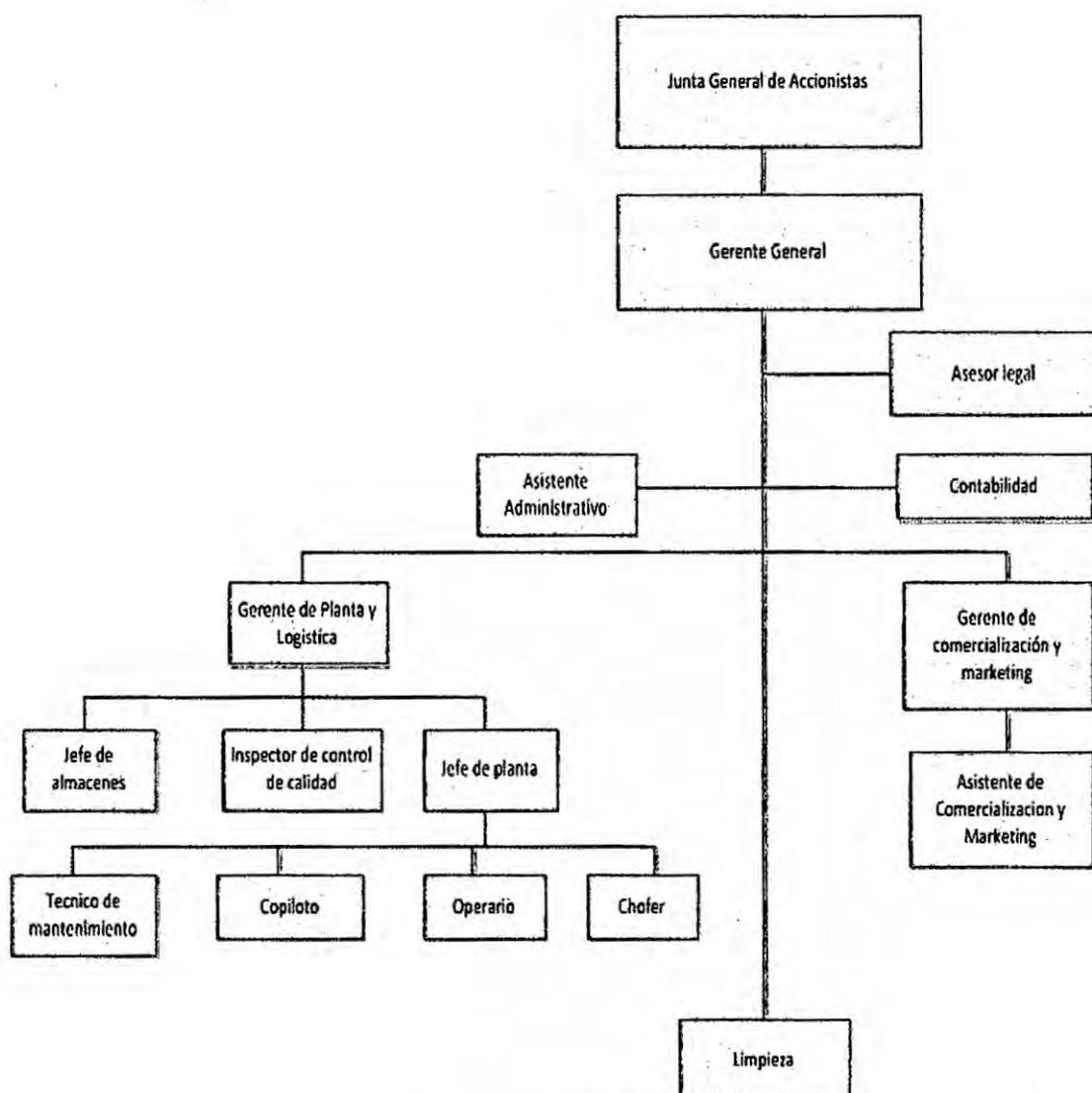
- a) **Contrato de diseño y construcción:** Se buscara a los ingenieros y personas altamente calificadas para la realización de los planos y diagramas que servirá para la construcción de los equipos y de la planta.
- b) **Diseño del proceso:** Se realizará la secuencia del proceso con el cual se desarrollará los planos y los diferentes tipos de diagramas como son el diagrama de flujo, el diagrama de bloque, el diagrama de distribución, etc.
- c) **Diseño detallado:** Se desarrollará la elaboración de los planos para la construcción de los equipos involucrados, también obras para su instalación en la cual involucra aspectos del sistema, mecanismos detallados del equipo, estructura, instalación eléctrica, ubicación de los equipos, etc.
- d) **Adquisición de equipos y materiales:** Esta área se encargará de la compra de los materiales a usar para la construcción de los equipos principales y la compra de los equipos de uso genérico y los diferentes materiales para el funcionamiento de la planta.
- e) **Construcción:** Aquí se realizará la construcción de la planta haciendo uso de los planos y la maqueta hecha a escala.
- f) **Puesta en marcha:** La puesta en marcha será el paso final para el desarrollo del servicio que se esta planteando prestar.

Fig N° 1. PASOS PARA LA EJECUCION DEL PROYECTO



Fuente: Elaboración propia

Fig N° 2. ORGANIGRAMA DE LA PLANTA INDUSTRIAL



Fuente: Elaboración propia

Funciones principales.-

A continuación, se describen las principales funciones que se le asignarán a cada personal de la empresa:

Junta General de accionistas

- Cumplir con las funciones estipuladas en el estatuto de la sociedad.

- Realizar las modificaciones necesarias al estatuto y al capital social, de acuerdo a los intereses de la empresa.
- Evaluar la gestión social de la empresa, así como las cuentas y el balance general.
- Administrar las utilidades y darles el uso más adecuado, velando por los intereses de la empresa.
- Fijar las remuneraciones para el personal de la empresa.

Gerente General

- Representar legalmente a la empresa.
- Informar a la junta de accionistas el desempeño del negocio.
- Encargado del debido funcionamiento del negocio.
- Responsable de la ejecución y del manejo financiero de la empresa.
- Buscar alianzas estratégicas con entidades públicas y privadas vinculadas al sector salud.
- Supervisar los procesos de la empresa, coordinando con las áreas administrativas y operativas, para asegurar la calidad del servicio a ofrecer.
- Gestionar los programas y planes para el cuidado del medio ambiente.
- Verificar la captación de los ingresos a la empresa, así como aprobar y firmar los contratos establecidos con las instituciones de salud.
- Atender a clientes potenciales, con quienes se negociará las condiciones en las que se concretaría la potencial firma de un contrato.
- Autorizar y ejecutar operaciones bancarias, como el giro de cheques; además de realizar el cierre y apertura de cuentas corrientes.
- Celebrar los contratos y acuerdos con los proveedores.

Contador

- Acreditar las transacciones financieras de la empresa, dando conformidad de acuerdo a las leyes y normas internas.
- Asesorar y determinar los pagos tributarios que deberá hacerse a la SUNAT.
- Evaluar la eficiencia y economía administrativa.
- Elaboración y análisis de los estados financieros, balances generales, y estados de ganancias y pérdidas.
- Elaborar y analizar los presupuestos de ingresos y egresos, así como los flujos de caja proyectados.
- Elaborar y cumplir con el cronograma de obligaciones financieras.
- Validar el registro de las operaciones financieras.

Asesor Legal

- Asesorar legalmente a la empresa en las licitaciones y en la firma de los contratos con los clientes y proveedores.
- Formalizar o legalizar los documentos y registros necesarios para el negocio.
- Defender y representar a la empresa en litigios legales, velando en todo momento por los intereses de la empresa.

Asistente Administrativa

- Redactar y archivar la documentación de la empresa.
- Controlar, actualizar, distribuir y mantener la documentación de la empresa.
- Recepcionar y revisar la correspondencia que llegue a la empresa.
- Operar el teléfono, transfiriendo las comunicaciones recibidas a todas las áreas de la empresa.
- Coordinar las cobranzas con las instituciones de salud.



- Recibir a las personas que llegan a la oficina.

Gerente de Planta y Logística

- Planificar, supervisar y ejecutar las labores referentes al tratamiento de los residuos y a las labores del área de logística.
- Elaborar los planes de mantenimiento a los equipos informáticos y a la maquinaria de tratamiento, así como a las unidades de transporte.
- Planificar las rutas de recojo y transporte de los RH al relleno sanitario.
- Analizar el desempeño y eficiencia de las operaciones realizadas en la planta.
- Evaluar los resultados de los controles de calidad de los residuos tratados.
- Monitorear el stock en almacenes, tanto de repuestos para las maquinarias como para los insumos y materiales a emplear.
- Coordinar con Gerencia General el abastecimiento de materiales e insumos para el tratamiento y la cantidad de bolsas de residuos entregadas al cliente.
- Autorizar el mantenimiento y reparación de los equipos.

Jefe de Planta

- Representar al Gerente de Planta y Logística ante el personal que labora en las áreas de almacén y de tratamiento de los residuos hospitalarios.
- Supervisar toda el área de operaciones de la planta, así como las operaciones de transporte de residuos antes y después de ser tratados.
- Mantener continua comunicación con el personal a su cargo y coordinar las actividades diarias.
- Informar al personal de operaciones los acontecimientos o actividades especiales a realizarse en la planta, como revisiones, auditorias, entre otros.
- Asegurar el cumplimiento de los planes de mantenimiento de equipos.

- Monitorear las rutas de recojo y transporte de residuos hospitalarios.
- Solicitar al Jefe de Almacén la entrada o salida de insumos, materiales o repuestos del almacén; a pedido del personal bajo su cargo.

Jefe de Almacenes

- Autorizar la entrada y salida de repuestos, materiales e insumos del almacén.
- Trasladar los residuos que están por ser tratados y los que ya han sido tratados a las áreas que correspondan.
- Controlar y monitorear el ingreso y las salidas de los residuos hospitalarios.
- Asegurar que el personal de limpieza mantenga limpios los almacenes diariamente.

Supervisor de Control de Calidad

- Verificar que los residuos tratados cumplan con los requisitos de esterilización establecidos, por medio de pruebas químicas y biológicas.
- Autorizar la salida de planta de los residuos tratados hacia el relleno sanitario.
- Registrar y analizar los resultados obtenidos después de cada inspección.

Gerente de Comercialización y Marketing

- Definir estrategias de marketing que permitan realizar una buena publicidad y lograr así mayor captación de clientes.
- Supervisar la programación de actividades con los clientes.
- Analizar los ingresos registrados durante cada año.
- Mantener alianzas estratégicas celebradas con la gerencia.
- Gestionar las visitas a las instituciones de salud para promocionar el servicio.

Asistente Comercial y de Marketing

- Ejecutar las campañas de promoción, lanzamiento y mantenimiento del servicio, solicitadas por la Gerencia de Comercialización y Marketing.
- Elaborar y entregar las propuestas a presentar en las convocatorias del Estado.
- Monitorear las convocatorias realizadas por las entidades de salud del Estado publicadas en la página del SEACE
- Realizar las visitas a las instituciones de salud, coordinadas por la Gerencia de Comercialización y Marketing, para promocionar los servicios.
- Recibir y atender a los clientes que llegan en busca de información o servicio.
- Brindar información y folletos a los representantes de las entidades de salud.

Operario

- Manipular los equipos de incineración de manera adecuada, garantizando la eficiencia del proceso.
- Preparar los equipos de incineración al inicio del día.
- Garantizar el cumplimiento de los programas de mantenimiento preventivo, ejecutados por el técnico de mantenimiento encargado.
- Verificar que los equipos de incineración cumplan con los parámetros de temperatura y presión, requeridos para un eficiente proceso de esterilización.

Técnico de Mantenimiento

- Diseñar e Implementar un plan de mantenimiento preventivo, para los equipos de tratamiento de residuos y para los sistemas informáticos de la empresa.
- Mantener operativos los equipos de cómputo al 100%.
- Actualizar continuamente los sistemas informáticos, tanto en a nivel de equipos (hardware) como a nivel de programas (software).

- Mantener debidamente calibrados los equipos de revisión y medición, por ejemplo las balanzas.

Chofer

- Transportar los residuos no tratados a la planta de tratamiento.
- Transportar los residuos tratados al relleno sanitario asignado.
- Velar por la integridad de la carga que transporta, asegurando que esta no sea manipulada por personal ajeno al negocio.
- Mantener actualizada y en regla la información de las unidades de transporte asignadas.
- Realizar el pago al relleno sanitario, por almacenar los RH tratados.
- Verificar que la información consignada en el registro de carga de los residuos hospitalarios sea la misma que la consignada en el registro de descarga de dichos residuos.

Personal de Seguridad

- Velar por la seguridad de la empresa.
- Recibir y despedir al personal ajeno a la empresa, solicitando previamente se identifique y deje como garantía algún tipo de documento de identidad.
- Dar información al cliente referente a los servicios que brinda el negocio.
- Controlar las entradas y salidas del personal de la empresa.
- Abrir y cerrar diariamente el local, tomando las medidas de seguridad para evitar incidentes en su ausencia.

Personal de Limpieza

- Ordenar y limpiar los ambientes administrativos de la Empresa.

- Mantener limpio y desinfectados los ambientes destinados a almacenar los residuos hospitalarios, especiales, y los tratados.
- Realizar mensualmente la fumigación de todas las instalaciones, así como implementar medidas para el control de olores.

2.3 Planificación del proyecto de instalación de una planta para el tratamiento de residuos sólidos hospitalarios.

- a) **Constitución de la empresa:** Se inscribirá a la empresa en Registros Públicos, seguido de la apertura de una cuenta de crédito y la realización de los trámites necesarios.
- b) **Adquisición del terreno:** Se compra el terreno donde se edificará la planta, previo trámite de la minuta de compra venta del terreno e inscripción en registro públicos.
- c) **Obtención de financiamiento:** Una vez adquirido el terreno, se inician las gestiones para financiar el proyecto, lo cual se realiza en base a los resultados obtenidos del estudio de inversiones, económico y financiero.
- d) **Estudio de ingeniería:** Se procede a la elaboración de los planos estructurales, sanitarios y eléctricos de la planta.
- e) **Obras civiles:** Consiste en la construcción de todas las instalaciones de la planta.
- f) **Adquisición de maquinaria y equipo:** Antes que concluyan las obras civiles, se iniciará el proceso de adquisición de maquinaria y equipos.
- g) **Montaje e Instalación de la maquinaria y equipos:** Una vez que los equipos hayan llegado a la planta se inicia la instalación y montaje de los mismos. El servicio será brindado por personal técnico de las empresas proveedoras. Además, dicho personal brindará charlas de capacitación a los empleados.

- h) Compra e instalación de muebles, electrodomésticos y equipos de oficina:** Se adquieren muebles y electrodomésticos para las áreas administrativas, de trabajo, áreas comunes y servicios higiénicos.
- i) Publicidad:** Antes de la puesta en marcha de la empresa, se realizará una campaña intensiva en las principales instituciones de salud, anunciando los servicios que se brindará, así como los beneficios y ventajas en comparación a la competencia.
- j) Reclutamiento selección y contratación de personal:** El asistente administrativo recibirá los currículos de los postulantes. Luego, se realizan evaluaciones y entrevistas a los candidatos. Los seleccionados son contratados y se les solicita la documentación necesaria para su contratación, previa a la firma el contrato.
- k) Entrenamiento de personal:** Se capacitará al personal administrativo y al que interviene en las labores de la empresa. Para los casos específicos del Gerente de Planta y Logística, el Jefe de Planta, los operarios, el Jefe de Mantenimiento y el Supervisor de Control de Calidad; las charlas serán dadas por personal capacitado de la empresa proveedora del equipo de tratamiento. El personal que deba manipular las bolsas con residuos, será capacitado en gestión de residuos y riesgos de bio-seguridad, entre otros temas.
- l) Pruebas de puesta en marcha:** Para las pruebas de los equipos de la planta, se contará con la presencia de los representantes de las principales autoridades y de las facultades de ingeniería o carreras similares que estén interesadas en el tema, para recibir sus apreciaciones.
- m) Correcciones y ajustes:** Una vez concluida las pruebas de puesta en marcha, se realizará una retroalimentación con la información brindada por los operarios de las máquinas, en donde se realizarán las correcciones y ajustes necesarios.

2.4 Programación del proyecto de instalación de una planta para el tratamiento de residuos sólidos hospitalarios.

Consiste en idear y coordinar las acciones para la realización de la instalación de la planta industrial en función de las acciones programadas en un tiempo determinado, en meses. Para lo cual utilizaremos la siguiente ecuación:

$$t_e = \frac{(t_0 + (4t)_m + t_p)}{6} \quad (1)$$

Dónde: t_e = tiempo esperado.

t_0 = tiempo optimista

t_m = tiempo mas probable

t_p = tiempo pesimista

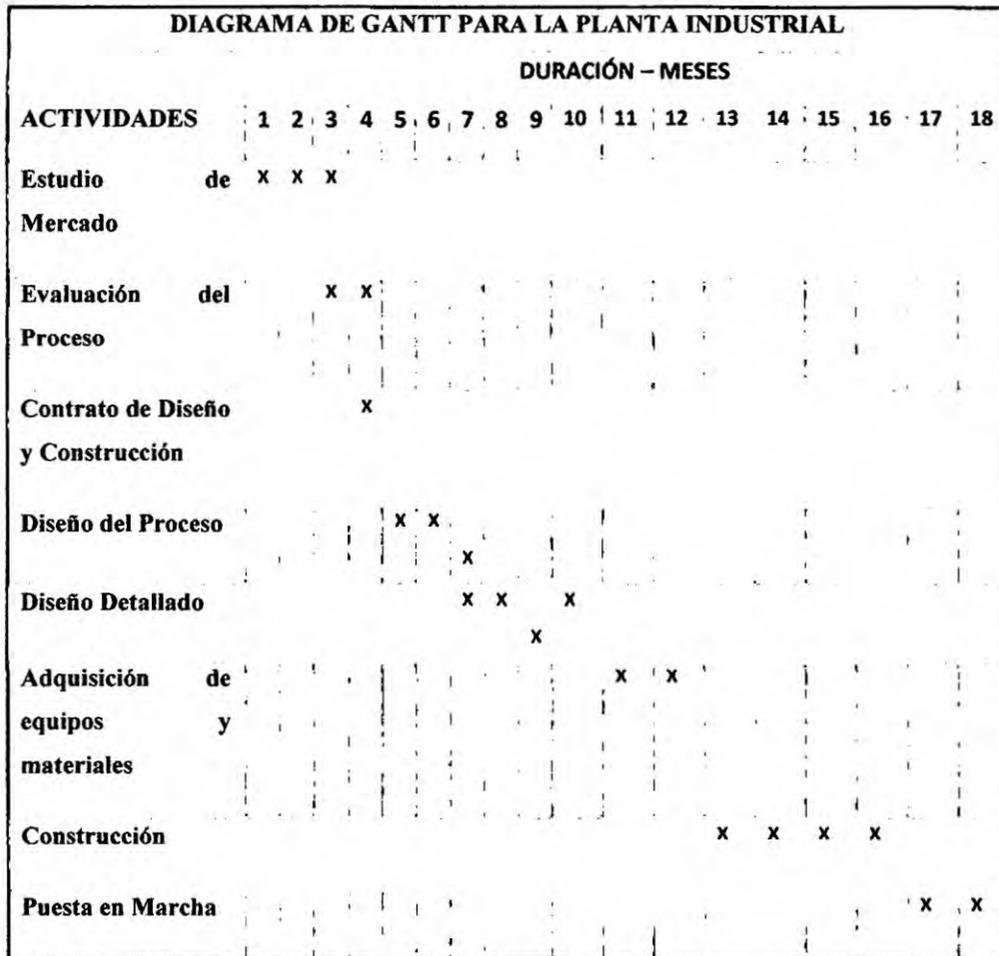
Cuadro N°2. Programación de las actividades en función del tiempo.

ACTIVIDADES	T ₀	T _M	T _P	TIEMPO ESPERADO
Estudio de Mercado	2	3	4	3
Evaluación de Tecnología	1,2	1,8	3	2
Contrato de Diseño y Construcción	1,5	2	2,5	2
Diseño de Proceso	2,5	3	3,5	3
Diseño detallado	3,5	4	5,5	4
Adquisición de equipos y Materiales	1,5	2	2,5	2
Construcción	4	5	6,5	5
Puesta en marcha	1	2	3	2

Fuente: Elaboración propia

El tiempo para las actividades programadas para el proyecto es de 23 meses

Cuadro N°3. Planificación mediante el diagrama de Gantt.



Fuente: Elaboración propia

2.5 Evaluación y Control del proyecto de instalación de una planta para el tratamiento de residuos sólidos hospitalarios.

La evaluación y control de la instalación del proyecto se desarrollara determinando el avance real y el avance planteado de las actividades programadas.

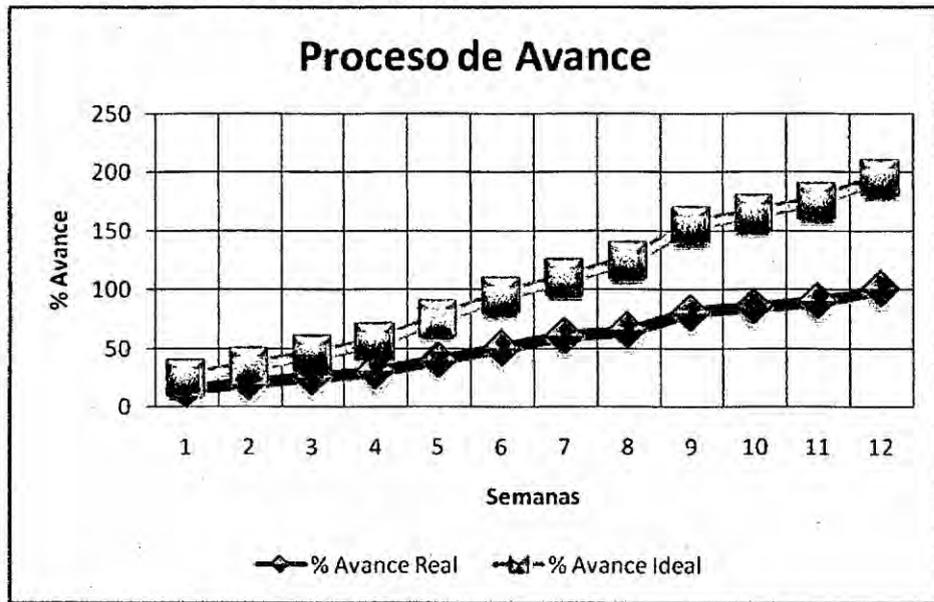
Cuadro N°4. Evaluación y control de las actividades.

MESES	%AVANCE REAL	% AVANCE IDEAL
1	10	15
2	15	20
3	20	25
4	25	30
5	35	40
6	45	50
7	50	60
8	60	65
9	75	50
10	80	85
11	85	90
12	95	100

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto el avance de la evaluación y el control se representarán del siguiente modo.

FIG. Nº 2. Avance de las actividades.



Fuente: Elaboración propia

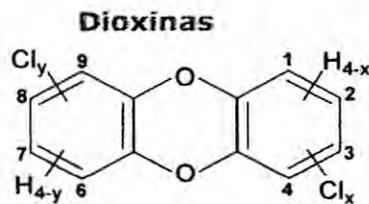
III. INGENIERIA DEL PROCESO.-

3.1 Desarrollo del proceso.-

3.1.1. Diseño del producto.-

El producto obtenido de la incineración de los residuos sólidos hospitalarios son los humos provenientes del proceso de incineración que se han identificado más de 300 compuestos los cuales se pueden agrupar en[6]:

- Gases ácidos: HCl, HF, HI, HBr, SO₂, Cl₂, Br₂, I₂, etc.
- Metales pesados: Pb, Cd, Hg, Cr, Sb, As, Ti, etc.
- Polvo y ceniza: metales, silicatos, óxidos, etc.
- Productos de combustión incompleta (PICs): CO, hollín, alquitranes, aromáticos.
- Hidrocarburos halogenados (HCX): clorofenoles, Dioxinas, Furanos, etc.



3.1.2. Análisis de la materia prima[2,3,4]:

La materia prima principal para la tesis, son los residuos sólidos hospitalarios.

Los residuos hospitalarios son aquellos desechos generados en los procesos y en las actividades de atención e investigación médica en los establecimientos como hospitales, clínicas, postas, laboratorios y otros.

Una de las características importantes de los residuos de hospitales es su heterogeneidad, característica que es consecuencia de la amplia gama de actividades complementarias a la atención médica que se desarrolla al interior de un hospital, todas las cuales, en mayor o menor grado, aportan residuos de diversas calidades.

La composición de los residuos sólidos hospitalarios puede establecerse de acuerdo a diferentes criterios de clasificación de componentes, según sea la utilidad que un determinado criterio de clasificación puede prestar en la resolución de un problema específico. Es así los diversos componentes pueden ser clasificados de acuerdo a su lugar de origen, a su combustibilidad, a su carácter orgánico, a su peligrosidad, o bien de acuerdo a los compuestos y elementos químicos que conforman los desechos.

Desde el punto de vista del manejo sanitario de los residuos sólidos hospitalarios interesa especialmente clasificar los desechos de acuerdo a su carácter infeccioso.

En rigor, un residuo, para ser considerado infeccioso, debe contener gérmenes patógenos en cantidad y con virulencia suficiente como para que la exposición de un huésped susceptible del residuo pueda dar lugar a una enfermedad infecciosa.

Por tanto ha de entenderse como RESIDUOS HOSPITALARIOS a las distintas variedades de desechos generados en establecimientos de salud, como consecuencia del funcionamiento de los mismos.

Habrán entonces residuos contaminantes, residuos inocuos (domiciliarios) y residuos patogénicos.

Los medicamentos vencidos son residuos contaminantes químicos; los residuos de las áreas administrativas son residuos inocuos (papeles, restos de embalajes, etc.); los residuos de áreas de mantenimientos y talleres (aceites, grasas, pintura, adhesivos), lavado de vehículos (barros), etc., son residuos contaminantes con diversas características de peligrosidad.

a. Características, composición y clasificación de los residuos hospitalarios.-

La diversidad de actividades relacionadas con la atención de la salud produce una variedad de desechos que excede a los patogénicos (o infecciosos). Por esto, de acuerdo

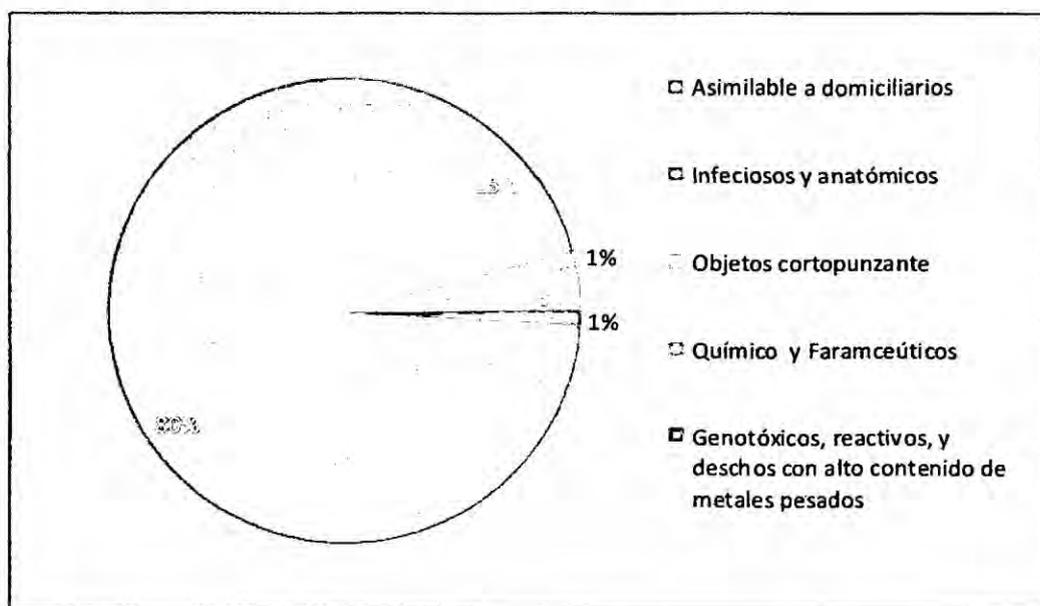
a la peligrosidad de los distintos componentes de la corriente de residuos, se los clasifica y se los compara, según sus características específicas, con los Residuos Domiciliarios (RD), con los Residuos Peligrosos Industriales (RPI) y con los Residuos Radioactivos (RR).

b. Composición de los residuos sólidos hospitalarios.-

La organización mundial de la salud (OMS) es la única institución, que describe la distribución porcentual, de acuerdo a su peligrosidad, del conjunto de residuos generados por los establecimientos de la salud y considera el 80% como asimilable a domiciliarios y sólo aproximadamente el 20% como peligrosos.

La composición porcentual de los residuos sólidos hospitalarios se muestra en la figura N° 4.

Fig. N° 4 .Composición porcentual de los RH según la O.M.S



Fuente: Rodríguez Rosa, y colaboradores, en 2001

Los valores mostrados son valores promedio. Las estadísticas reflejan, en la práctica, que el porcentaje de residuos no riesgosos (o asimilables a domiciliarios) varía entre 70 y 90 % y el de los riesgosos (o peligrosos) entre el 10 y el 30 %.

c. Caracterización del residuo hospitalario.-

Para incinerar un residuo, es indispensable caracterizarlo correctamente. Incinerar un residuo desconocido o en condiciones operativas erradas puede ocasionar desastres para el medio ambiente.

Los siguientes son puntos esenciales en la caracterización de un residuo:

PCI (poder calorífico inferior): indica cuánto calor se libera durante la quema del residuo. Residuos con alto PCI consumen menos combustible. El valor medio para los residuos sólidos domiciliarios es de 1300 Kcal/kg. (5,44 MJ/kg). Un PCI muy variable puede dificultar el control de la temperatura del incinerador y causar:

- Combustión incompleta, con emisión de material tóxico a través de la chimenea;
- Fusión y acumulación de cenizas debido a temperaturas excesivas;
- Consumo excesivo de combustible;
- Generación de monóxido de carbono (CO) debido a insuficiencia de aire para la combustión.

Cenizas: es lo que sobra luego de la incineración, y están constituidas por materia mineral, carbono no quemado y la mayor parte de los metales. El porcentaje de cenizas permite estimar el espacio necesario para el relleno sanitario. Las cenizas son: la escoria (captada en la base), y los volátiles, captados en los filtros de gases. Contienen metales pesados y dioxinas; por lo tanto, se consideran sustancias tóxicas.

Humedad: indica el porcentaje de agua contenida en el residuo. Un índice alto de humedad perjudica la recuperación de energía.

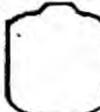
d. Composición de elementos químicos:

- Carbono, hidrógeno y oxígeno: elementos químicos principales de los residuos orgánicos que permiten calcular las condiciones de la combustión;
- Azufre, cloro inorgánico y nitrógeno: estos elementos forman gases ácidos corrosivos que pueden afectar la durabilidad del equipo. Los óxidos de azufre (SOx) y el ácido clorhídrico (HCl) se eliminan por absorción en solución alcalina. Los óxidos de nitrógeno (NOx) deben ser minimizados por medio del control de las condiciones de combustión, con cámaras dobles y quemadores proyectados para tal fin;
- Metales: mercurio, cadmio, plomo y otros, pueden darle una gran toxicidad al residuo o a las corrientes gaseosa y líquida que salen de un incinerador. Precisan ser identificados para la definición del proceso de su remoción de la corriente gaseosa o líquida.

Son factores primordiales en la clasificación de las cenizas de incineración;

- e. Características especiales:** existen propiedades de los residuos que deben ser tomadas en cuenta en el proyecto del incinerador y en los cuidados operacionales, a efectos de garantizar la integridad física de los operadores y del equipo. Son ellas: la toxicidad (por ejemplo: PCBs como ascarel), corrosividad (ácidos), olor (gas sulfhídrico), liberación de humo (ácido clorhídrico), reactividad (pentacloruro de fósforo).
- f. Clasificación por tipo de manejo.-** Se puede clasificar un residuo por presentar alguna característica asociada al manejo que debe ser realizado:

Cuadro N° 5. Tipo de residuos

TIPO DE RESIDUO	COMPOSICION	LUGAR DE PRODUCCION	RECIPIENTE	ROTULO
NO PELIGROSOS: Reciclables Cartón similares	Papeles de oficina y cartones, excepto el papel cartón y el papel de seguridad	Administración, oficina		Rotular con:  RECICLABLE
NO PELIGROSOS: Ordinarios e inertes y biodegradables	El papel cartón, plástico sucios, restos de comida, servilletas y en general todo que no se puede recuperar	Sala de espera, áreas comunes, baños públicos		Rotular con: NO PELIGROSOS ORDINARIOS Y/O INERTES Y BIODEGRADABLES
PELIGROSOS INFECCIOSOS Biosanitarios	Grasas, gasas, algodones, guantes, baja lenguas o cualquier otro elemento desechable impregnado de fluidos corporales.	Producidos en camilla de observación y/o procedimientos		Rotular con: 
PELIGROSOS INFECCIOSOS Anatomopatológico	Restos humanos, muestras para análisis, incluyendo, biopsias, tejidos orgánicos amputados, partes y fluidos corporales que remueven durante cirugías necropsias y otros	Quirófano		Rotular con: 
PELIGROSOS INFECCIOSOS Corto punzantes	Agujas, lancetas, hojas de bisturí, ampolletas	Producidos en camilla de observación y/o procedimientos		Rotular con: 

Fuente: Rodríguez Rosa, y colaboradores, en 2001

Desde este punto de vista se pueden definir tres grandes grupos:

- 1) **Residuo peligroso:** Son residuos que por su naturaleza son inherentemente peligrosos de manejar y/o disponer y pueden causar muerte, enfermedad; o que

son peligrosos para la salud o el medio ambiente cuando son manejados en forma inapropiada.

- 2) **Residuo inerte:** Residuo estable en el tiempo, el cual no producirá efectos ambientales apreciables al interactuar en el medio ambiente.
- 3) **Residuo no peligroso:** Ninguno de los anteriores

g. Clasificación de residuos sólidos hospitalarios en el Perú.-

La clasificación de los residuos sólidos generados en los establecimientos de salud, se basa principalmente en su naturaleza y en sus riesgos asociados, así como en los criterios establecidos por el Ministerio de Salud.

Cualquier material del establecimiento de salud tiene que considerarse residuo desde el momento en que se rechaza, porque su utilidad o su manejo clínico se consideran acabados y sólo entonces puede empezar a hablarse de residuo que tiene un riesgo asociado.

Los residuos sólidos hospitalarios se clasifican en tres categorías:

- Clase A: Residuo Biocontaminado
- Clase B: Residuo Especial y
- Clase C: Residuo Común.

Clase A: RESIDUO BIOCONTAMINADO

- Tipo A.1: Atención al Paciente.-**

Residuos sólidos contaminados con secreciones, excreciones y demás líquidos orgánicos provenientes de la atención de pacientes, incluye restos de alimentos.

- Tipo A.2: Material Biológico.-**

Cultivos, inóculo, mezcla de microorganismos y medio de cultivo inoculado proveniente del laboratorio clínico o de investigación, vacuna vencida o

inutilizada, filtro de gases aspiradores de áreas contaminadas por agentes infecciosos y cualquier residuo contaminado por estos materiales.

□ **Tipo A.3: Bolsas conteniendo sangre humana y hemoderivados.-**

Constituye este grupo las bolsas conteniendo sangre humana de pacientes, bolsas de sangre vacías; bolsas de sangre con plazo de utilización vencida o serología vencida; (muestras de sangre para análisis; suero, plasma y; otros subproductos). Bolsas conteniendo cualquier otro hemoderivado.

□ **Tipo A.4: Residuos Quirúrgicos y Anátomo Patológicos.-**

Compuesto por tejidos, órganos, piezas anatómicas, y residuos sólidos contaminados con sangre y otros líquidos orgánicos resultantes de cirugía.

□ **Tipo A.5: Punzo cortantes.-**

Compuestos por elementos punzo cortantes que estuvieron en contacto con agentes infecciosos, incluyen agujas hipodérmicas, pipetas, bisturís, placas de cultivo, agujas de sutura, catéteres con aguja, pipetas rotas y otros objetos de vidrio y corto punzantes desechados.

□ **Tipo A.6: Animales contaminados.-**

Se incluyen aquí los cadáveres o partes de animales inoculados, expuesto a microorganismos patógenos, así como sus lechos o material utilizado, proveniente de los laboratorios de investigación médica o veterinaria.

CLASE B: RESIDUOS ESPECIALES

□ **Tipo B.1: Residuos Químicos Peligrosos.-**

Recipientes o materiales contaminados por sustancias o productos químicos con características tóxicas, corrosivas, inflamables, explosivos, reactivas, genotóxicos o mutagénicos, tales como quimioterapéuticos; productos químicos no utilizados; plaguicidas fuera de especificación; solventes; ácido crómico (usado en limpieza

de vidrios de laboratorio); mercurio de termómetros; soluciones para revelado de radiografías; aceites lubricantes usados, etc.

□ **Tipo B.2: Residuos Farmacéuticos.-**

Compuesto por medicamentos vencidos; contaminados, desactualizados; no utilizados, etc.

□ **Tipo B.3: Residuos radioactivos.-**

Compuesto por materiales radioactivos o contaminados con radionúclidos con baja actividad, provenientes de laboratorios de investigación química y biología; de laboratorio de análisis clínicos y servicios de medicina nuclear.

Estos materiales son normalmente sólidos o pueden ser materiales contaminados por líquidos radioactivos (jeringas, papel absorbente, frascos líquidos derramados, orina, heces, etc.)

CLASE C: RESIDUO COMÚN

Compuesto por todos los residuos que no se encuentren en ninguna de las categorías anteriores y que, por su semejanza con los residuos domésticos, pueden ser considerados como tales. En esta categoría se incluyen, por ejemplo, residuos generados en administración, proveniente de la limpieza de jardines y patios, cocina, entre otros, caracterizado por papeles, cartones, cajas, plásticos, restos de preparación de alimentos, etc.

OTROS TIPOS DE CLASIFICACIONES:

Se presenta a continuación la clasificación alemana y las sugeridas por la Organización Mundial de la Salud y la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (EPA), las cuales presentan mayor detalle y complejidad, por lo que podrían ser adoptadas por grandes centros de atención de salud.

Clasificación de la Organización Mundial de la Salud

- Residuos generales
- Residuos patológicos
- Residuos radiactivos
- Residuos químicos
- Residuos infecciosos
- Objetos punzocortantes
- Residuos farmacéuticos

Clasificación Alemana

- Residuos generales
- Residuos patológicos
- Residuos radiactivos
- Residuos químicos
- Residuos infecciosos
- Objetos punzocortantes
- Residuos farmacéuticos

Clasificación de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos de América:

- Cultivos y muestras almacenadas
- Residuos patológicos
- Residuos de sangre humana y productos derivados
- Residuos punzocortantes
- Residuos de animales

- Residuos de aislamiento
- Residuos punzocortantes no usados

3.2 Análisis y descripción de tecnologías[4,6].-

La incineración es un proceso de oxidación seca, que reduce a una alta temperatura los residuos orgánicos y combustibles a materia inorgánica incombustible. Potencialmente puede destruir cualquier material que contenga carbón orgánico, incluyendo los microorganismos patógenos. Tiene como efecto la reducción significativa del volumen y del peso de los residuos entre un 90 y un 75% respectivamente.

La combustión de RH (residuos hospitalarios), produce principalmente emisiones gaseosas incluyendo vapor de agua, dióxido de Carbono, óxidos de Nitrógeno, ciertas sustancias tóxicas (como metales pesados, y ácidos) y material particulado, además de residuos sólidos en forma de cenizas. Si las condiciones de combustión no son las adecuadas pueden también generarse gases como el monóxido de Carbono, el óxido nitroso, las dioxinas y furanos, entre otros.

El residuo que va a ser incinerado no requiere ningún tratamiento previo si reúne las siguientes características:

- Poder calorífico inferior, superior a las 3500 kcal/kg.
- Contenido de materia combustible superior al 60%.
- Contenido de humedad inferior al 30%.

Los residuos sólidos hospitalarios cumplen ampliamente con estas especificaciones. Respecto al poder calorífico, los valores varían de un mínimo de 3000 kcal/ kg un máximo de 6000 kcal/kg. En cuanto al porcentaje de elementos

combustibles, éste fluctúa entre un mínimo de 83 a un máximo de 99%. Por último, el porcentaje de humedad promedio es de 35%.

Los incineradores necesitan limpieza periódica con agua, lo que provoca desechos líquidos excesivamente y ácidos que deben neutralizarse.

La incineración de los residuos sólidos hospitalarios es considerada la mejor alternativa de tratamiento por las razones siguientes:

- Reduce drásticamente el volumen del residuo (90%) y el peso del residuo (75%), dejando una pequeña cantidad de cenizas;
- Esterilización adecuada, destruye los fármacos citotóxicos.
- Es un proceso simple, a pesar de ser crítico en cuanto a los procedimientos operacionales; destruye cualquier material que contiene carbón orgánico, incluyendo los patógenos.
- Los restos son irreconocibles y definitivamente no reciclables. la incineración deja como sobras las cenizas, que generalmente son inertes. De esta forma, reduce la necesidad de espacio para el relleno sanitario;
- Recuperación de energía: parte de la energía consumida puede recuperarse para la generación de vapor o electricidad.
- Bajo ciertas condiciones, permite el tratamiento de residuos químicos y farmacéuticos.
- Permite el tratamiento de residuos anatómicos y patológicos.
- Alto grado de efectividad

Desventajas:

- Cuesta 2 ó 3 veces más que cualquier otro sistema.

- Emisión de compuestos tóxicos, tales como las dioxinas y furanos en caso de que el incinerador no esté proyectado y operado adecuadamente.
- Supone un elevado costo de funcionamiento por el consumo de combustible (sobre todo si se cargan con alto contenido de humedad).
- Necesita operadores bien capacitados.
- Necesita un constante mantenimiento. Debido a la variabilidad de la composición de los residuos puede causar problemas de manejo y de operación del incinerador, e inclusive exigir un mantenimiento más intenso.

Los residuos sólidos hospitalarios varían siempre de composición, en especial por estar constituidos de sobras y por tener procedencia heterogénea. El proceso de incineración puede verse seriamente afectado por esta variabilidad del residuo y sus envases.

En los residuos sólidos hospitalarios pueden encontrarse sustancias peligrosas, como acetona, metanol, xileno e, inclusive, metales tóxicos provenientes de baterías retiradas de equipos electrónicos. Algunos metales pesados son extremadamente tóxicos para el ser humano, y exigen un tratamiento especial.

La admisión de residuos con composición muy diferente de la esperada, puede causar problemas de distinta gravedad, tales como:

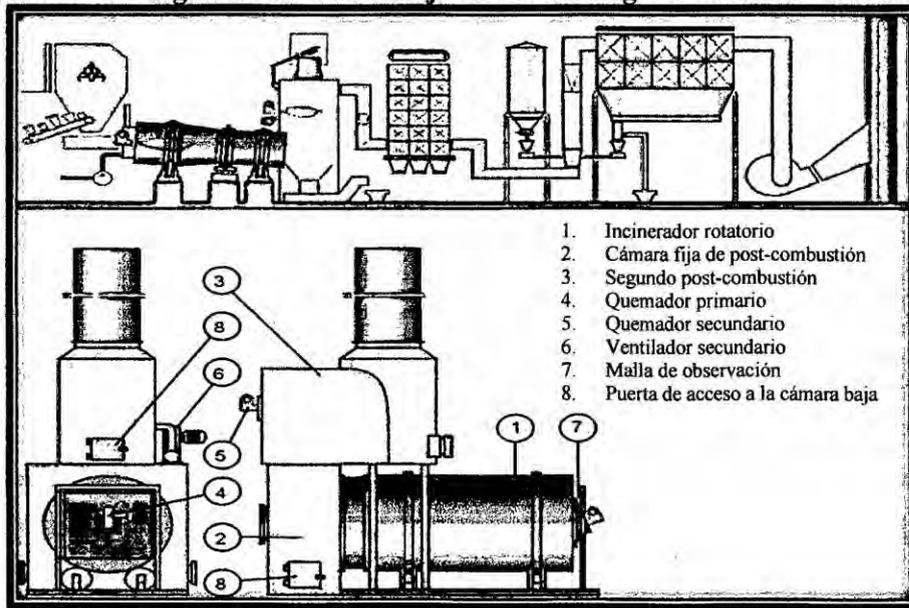
- Contaminación de la corriente gaseosa, líquida y/o de las cenizas. Ej.: metales pesados;
- Daño al revestimiento refractario y a las parrillas. Ej.: exceso de sustancias con PCI elevado (polietileno), exceso de flúor, vidrios, etc.;
- Explosiones. Ej.: explosivos y sustancias inestables muy reactivas;
- Desgaste del revestimiento refractario. Ej.: alta cantidad de sodio (sal de cocina);

- Corrosión. Ej.: alta cantidad de azufre y/o cloro (sulfatos, sal de cocina, PVC);
- Combustión incompleta. Ej.: sólidos en pedazos grandes (trozos de madera, vidrios, yeso ortopédico);
- Consumo excesivo de combustible. Ej.: residuo muy húmedo (los residuos sólidos urbanos generalmente contiene más del 40% de agua);
- Generación de monóxido de carbono (CO) y partículas en exceso. Ejemplo PCI alto y variable, cuando se alternan plásticos y material anatómico (órganos y tejidos de cirugías) de los residuos sólidos hospitalarios.

A continuación realizaremos una descripción de los equipos incineradores para seleccionar el tipo de incinerador más adecuado para este proceso de transformación:

Tecnología 1. Uso de Incinerador rotatorio.- En estos sistemas residuos sólidos y líquidos son alimentados a un horno cilíndrico recubierto interiormente con material refractario. El cilindro está inclinado alrededor de 5° y rota muy lentamente de manera que el tiempo de residencia es alto. El mismo puede variar desde 30 minutos hasta 1 hora y media. Los productos gaseosos no combustionados pasan a una segunda cámara de combustión. Las temperaturas que se alcanzan en estos sistemas son de alrededor de 1300°C.

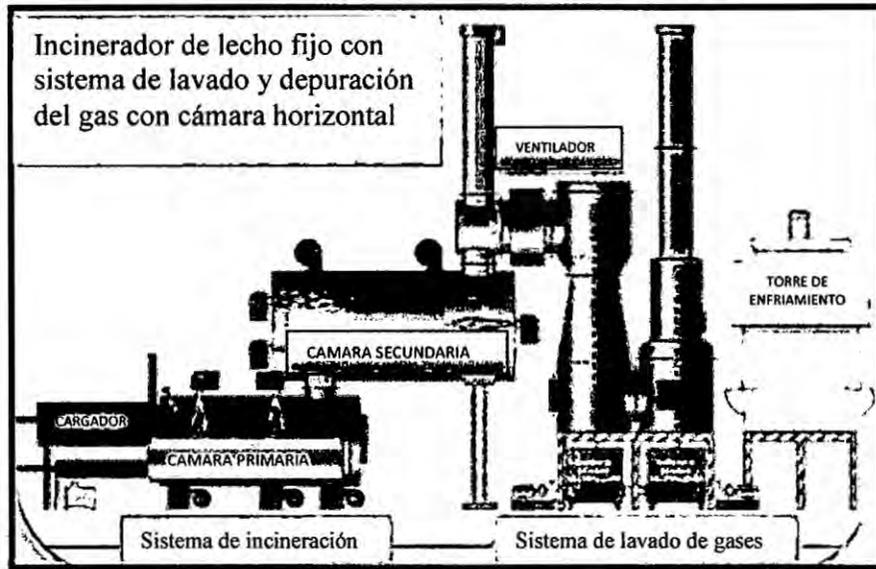
Diagrama N° 1. Diagrama básico de flujo de la tecnología 1. Incinerador rotatorio.



Fuente: Geenpeace, 2001

Tecnología 2. Uso de Incinerados pirolíticos o lecho fijo.- Estos sistemas, también llamados deficientes en aire, son de pequeña capacidad y normalmente empleados para incinerar residuos domiciliarios de pequeñas comunidades incluyendo residuos patológicos. Estos sistemas consisten en un proceso de dos etapas. En una primera, se combustionan los residuos con solamente el 50% del aire requerido para la combustión total. Bajo estas condiciones se produce la pirolisis de las sustancias procesadas. Los productos generados, que incluyen metano y otros hidrocarburos, son destruidos en una segunda cámara de combustión donde se incorpora exceso de aire. En estos sistemas se alcanzan temperaturas de alrededor de 1600°C y resultan muy eficientes para el manejo de pequeñas cantidades de residuos.

Diagrama N° 2. Diagrama básico de flujo de la tecnología 2. Incinerador lecho fijo.



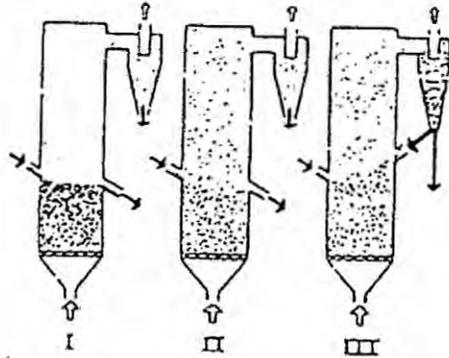
Fuente: Geenpeace, 2001

Tecnología 3. Uso de Incinerador de lecho fluidizado.- Al igual que el incinerador de solera múltiple también es útil para tratar lodos de las EDAR. Desarrolla la combustión en el seno de en suspensión de partículas de inerte y adsorbente, junto con cenizas y combustible, que es fluidizado por una corriente ascensional de aire de combustión. Mediante el cambio de los gases de fluidificación, se realizan variados procesos tales como: temple neutro, carbonitruración, cementación, nitruración, etc.

Según la velocidad de flujo de aire distinguimos dos tipos de horno: lecho circulante y burbujeo.

Los incineradores de lecho fluidizado van a tener que trabajar con un ciclón que dependiendo de las condiciones de fluidización tendrá que llegar a re circular material inerte. El diagrama básico de flujo para esta tecnología muestra este hecho.

Diagrama N° 3. Diagrama básico de flujo de la tecnología 3. Incinerador lecho Fluidizado



Fuente: Geenpeace, 2001

En la primera figura se opera a velocidades bajas de aire y pasa menos del 10% de los sólidos al ciclón. Se denomina fase densa.

En la segunda el aire ya lleva alta velocidad y se denomina fase diluida.

La tercera muestra la disposición con mayor rendimiento conocida como lecho fluidizado circulante. El elevado arrastre obliga a la recirculación para reponer el lecho.

Ventajas del horno de lecho fluidizado:

- La mezcla lograda con la fluidización del lecho mejora la reactividad y combustión, con lo que la fracción de quemados es pequeña $< 0,5\%$, dotando además al lecho de gran isothermicidad, buen control de la temperatura y alto coeficiente global de transferencia de calor.
- No son necesarias temperaturas muy altas (rondan los 850°C) y esto evita que fundan las cenizas.
- Permite menor tiempo de residencia de los sólidos (unos minutos).
- Permite la desulfuración añadiendo al lecho CaCO_3 de pequeño tamaño de partícula para que no se pasive cuando el CaO formado reaccione con SO_2 y

forme CaSO_4 .

- No requiere grandes excesos de aire.
- Sistema flexible que abarca amplio intervalo de capacidad de tratamiento.
- Menor emisión de NO_x al proceder sólo del N orgánico por las bajas temperaturas y además trabajar con pequeños excesos de aire.

Desventajas del incinerador de lecho fluidizado

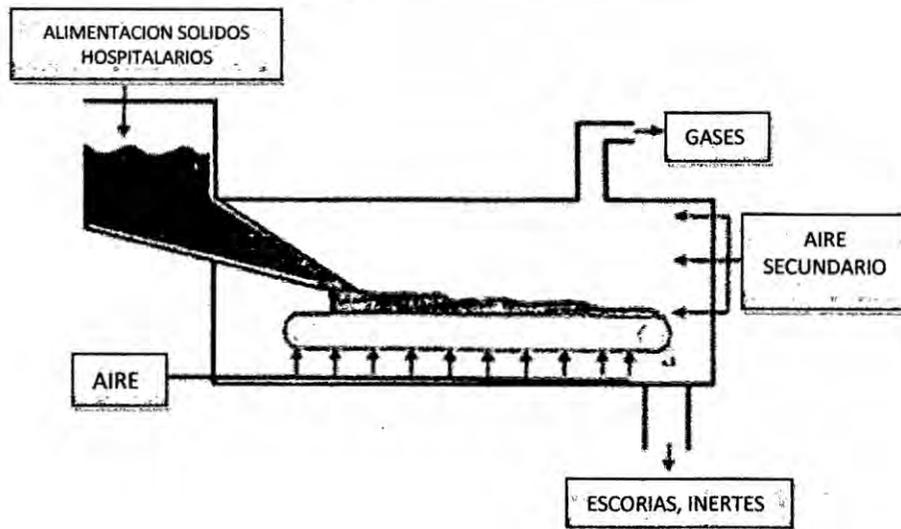
- Abrasión del equipo.
- Necesidad de un ciclón por la cantidad de partículas arrastradas con la corriente gaseosa.
- Pre tratamiento del residuo para lograr fluidización (0,3-1,5mm).
- Difícil limpieza de lecho.
- Altos costes energéticos de los sopladores de aire.

Para destruir residuos peligrosos hay que introducirlos en una zona concreta del lecho en la que se dé una mezcla violenta con el inerte y el aire de combustión. En esta zona se dará la combustión inicial (entre 760°C y 870°C) y en la zona que no ocupa el lecho se dará un nuevo aporte de aire de combustión con lo que se obtendrá la post-combustión (entre 980°C y 1400°C).

Tecnología 4. Uso de Incinerador de parrilla móvil.- Se aplica en instalaciones de gran tamaño y su mayor uso es la incineración de RSU. En este tipo de incinerador el residuo sólido se mueve sobre una cinta transportadora por lo que admite un buen intervalo de tamaño de sólidos. Con la velocidad de la cinta se controla el tiempo de residencia del sólido.

Tiene una primera zona de combustión, sobre la cinta, para la cual se alimenta aire desde debajo de ésta, y una segunda zona de combustión para la cual exista otra entrada de aire, como se aprecia en el siguiente diagrama básico:

**Diagrama N° 3. Diagrama básico de flujo de la tecnología 3.
Incinerador lecho Fluidizado**



Fuente: Geenpeace, 2001

3.3 Selección de Tecnología

Si bien es cierto en este caso la tecnología de incineración es una sola, existen muchas variantes o tecnologías en cuanto al equipo incinerador.

- a) **Método comparativo.-** Las cuatro tecnologías descritas se diferencian en el incinerador empleado para este proceso, el cual presentamos en siguiente cuadro:

CUADRO N° 6. Comparativo de los tipos de incineradores en función al residuo A tratar.

TIPO DE RESIDUOS	INCINERADOR ROTATORIO	INCINERADOR LECHO FIJO	INCINERADOR LECHO FLUIDIZADO	INCINERADOR PARRILLA MÓVIL
SÓLIDOS				
Granular homogéneo	♦	♦	♦	♦
Irregular	♦	♦		♦
bajo punto de fusión	♦	♦	♦	♦
Compuestos Orgánicos	♦	♦	♦	♦
Materiales Voluminosos	♦	♦		
LÍQUIDOS				
Acuosos de alta carga orgánica.	♦	♦	♦	
Orgánicos	♦	♦	♦	
SÓLIDOS/LIQUIDOS				
Con compuestos Orgánicos halogenados	♦	♦		
Lodos orgánicos Acuosos	♦		♦	

Fuente: Elaboración propia.

- b) **Método semi-cuantitativo de ponderación.-** Aplicaremos el método de calificación según la funcionabilidad y ventajas de los incineradores usados en el proceso de incineración, así como mostramos en el cuadro N° 7.

Cuadro N° 7. Método cuantitativo de ponderación

PUNTAJE	PONDERACION	CALIFICACION
8-10	80-100	EXCELENTE
6-8	60-80	MUY BUENO
3-6	30-60	REGULAR
0-3	0-30	INADECUADO

Fuente: Copias diseño de plantas del Ing° L. Machaca G.

Cuadro N° 8. Análisis de los incineradores según el aspecto técnico

TIPO DE INCINERADOR	PONDERACION SEGÚN TIPO DE RESIDUO A TRATAR	CALIFICACION
ROTATORIO	90	EXCELENTE
LECHO FIJO	75	MUY BUENO
LECHO FLUIDIZADO	55	REGULAR
PARRILLA MOVIL	20	INADECUADO

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, ahora analizamos los diferentes tipos filtros que se utiliza en el proceso de incineración.

Los filtros maga son diseñados con largas bolsas hechas con tejido resistente al calor que capturan partículas finas. El polvo y las partículas son recolectados y dispuestos.

Los precipitadores electrostáticos tratan las emisiones con la aplicación de un voltaje en las partículas que entran, cargándolas negativamente. Las partículas, entonces, son quitadas en placas cargadas positivamente. Usan campos electrostáticos múltiples para recolectar el máximo de material particulado.

Los lavadores Venturi utilizan grandes volúmenes de agua en forma de gotitas que impactan la corriente gaseosa de manera de capturar las partículas, que en este caso son enviadas a una estación de tratamiento de efluentes líquidos.

Cuadro N° 9. Equipos para la retención de material particulado efluentes del proceso de incineración.

	FILTRO MANGAS	PRECIPITADOR ELECTROSTAICOS	LAVADOR VENTURI
VENTAJAS	<ul style="list-style-type: none"> - Baja pérdida de carga. - Recolección de partículas resistivas 	<ul style="list-style-type: none"> - Alta eficiencia para partículas menores. - Bajo costo de operación 	<ul style="list-style-type: none"> - Bajo costo inicial. - Operación simple - Puede recolectar gases
DESVENTAJAS	<ul style="list-style-type: none"> - Exige enfriamiento cerca de 250°C. - No puede ser usados en corrientes húmedos 	<ul style="list-style-type: none"> - Alto costo inicial - No es flexible 	<ul style="list-style-type: none"> - Alta pérdida de carga. - Genera efluentes líquidos. - Alto costo operacional. - Poco eficiente para partículas menores que 0,5 μm

Fuente: Elaboración propia

En el siguiente cuadro presentamos las etapas del proceso de incineración y sus equipos respectivos.

Cuadro N° 10. Etapas y equipos del proceso de incineración.

PRETRATAMIENTO	ALIMENTACION	INCINERACION	ACONDICIONAMIENTO DE GASES	TRATAMIENTO DE GASES
<ul style="list-style-type: none"> • Molienda • Secado • Compostaje • Embolsado 	<ul style="list-style-type: none"> • Manual • Correa de rodillos • Correa rodantes • Puente rodante con cuatro gajos 	<ul style="list-style-type: none"> • Cámaras múltiples • Aire acondicionado • Incinerador rotatorio • Parrillas móviles 	<ul style="list-style-type: none"> Enfriamiento con agua Intercambiador de calor 	<ul style="list-style-type: none"> • Precipitador electrostático • Filtro mangas • Lavadores Venturi

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, del análisis de los cuadros mostrados seleccionamos a la tecnología N° 1 para el proyecto de instalación de planta de incineración de residuos sólidos hospitalarios. En este caso el equipo incinerador de mayor ponderación es el rotatorio ya que es capaz de tratar una amplia gama de residuos, como sabemos los residuos

hospitalarios son muy diversos y composición variable. Asimismo, para el tratamiento de gases es el filtro mangas.

3.4 Diseño del proceso de la tecnología seleccionada.-

El proceso diseñado para la incineración de los residuos sólidos hospitalarios consta de cuatro fases principales:

- Pre-tratamiento
- Alimentación
- Incineración
- Control de contaminación (Acondicionamiento y tratamiento de gases)

1. Pre-tratamiento.-

Los residuos propios son almacenados en una serie de silos para ser conducidos a una tolva de homogenización.

Los lugares destinados al almacenamiento de residuos hospitalarios y similares quedaran aislados de salas de hospitalización, cirugía, laboratorios, toma de muestras, bancos de sangre, preparación de alimentos y en general lugares que requieran completa asepsia, minimizando de esta manera una posible contaminación cruzada con microorganismos patógenos.

Para el almacenamiento interno de residuos hospitalarios debe contarse como mínimo con dos sitios de uso exclusivo; uno intermedio y otro central. Los intermedios se justifican cuando la institución o establecimiento presenta áreas grandes de servicios o éstos se ubican en diferentes pisos de la edificación. Los generadores que produzcan menos de 65 kg. /día pueden obviar el almacenamiento intermedio y llevar los residuos desde los puntos de generación directamente al almacenamiento central.

2. Alimentación.-

Los residuos externos llegan en camiones. A su llegada son pesados en la báscula del control de entrada a la planta.

Los residuos se transfieren para la incineración por medio de un cucharón de cuatro gajos que se desplaza sobre puentes rodantes, son introducidos al interior del incinerador por medio de un empujador para la introducción de la carga

3. Incineración.-

Consiste en combustionar un compuesto o una mezcla de ellos que tengan una mayor estabilidad térmica que las sustancias con que operará normalmente el incinerador. Los parámetros que se determinan son: Eficiencia de destrucción y remoción (DRE Values), Productos de Combustión Incompleta (PIC). En el caso de los valores DRE éstos deben ser superiores al 99,99% , según las normas de la EPA, y en cuanto a los segundos, deben estar por debajo de los límites establecidos para contaminación atmosférica o de suelos.

Para cumplir con los patrones de control de emisiones atmosféricas, la incineración debe constar de dos fases: combustión primaria y combustión secundaria.

a) Combustión primaria

En esta fase, que dura de 30 a 120 minutos a una temperatura de 500 a 800°C, ocurren el secado, el calentamiento, la liberación de sustancias volátiles y la transformación del residuo remanente en cenizas, con una conversión del 90%. Allí se genera el material particulado, que es básicamente la humareda oscura producida en una quema no controlada. Las partículas menores son las más perjudiciales al ser humano.

Para esta fase es importante suministrar aire de combustión en cantidad suficiente y de manera homogénea, exponiendo totalmente el residuo al calor.

Al final, la masa de cenizas ya no se reduce más, quedando: carbono no quemado, compuestos minerales de alto punto de vaporización y la mayoría de los metales.

b) Combustión secundaria.-

Los gases, vapores y material particulado, liberados en la combustión primaria, son sopladas o succionados hacia la cámara de combustión secundaria o post-combustión, hacia donde permanecen alrededor de dos segundos expuestos a 1000°C o más. En estas condiciones ocurre la destrucción de las sustancias volátiles y parte de las partículas, con una conversión del 99,99%.

Los principales factores que influyen en la destrucción de los residuos en esta fase son:

1. **Temperatura.-** En la incineración, el objetivo es suministrar energía suficiente para que ocurra la ruptura de los enlaces entre los átomos del residuo, y luego, la recombinación que permite formar principalmente CO₂ y agua, sustancias bastante estables. La necesidad de mantener la temperatura correcta de incineración exige un control automático de la temperatura en las dos cámaras, generalmente con alarma para la temperatura baja y el bloqueo automático del suministro de residuos.
2. **Tiempo.-** La absorción de la energía suministrada al residuo por la quema del combustible es rápida, pero no instantánea. El tiempo de reacción es de 0,8 a 2 segundos, exigido como tiempo de residencia de los gases, es necesario para que ocurran las reacciones químicas de destrucción de los compuestos tóxicos conformados por furanos y dioxinas.

Las variaciones en la cantidad de residuos alimentados o en la presión en el interior del incinerador, pueden provocar la reducción del tiempo de permanencia, perjudicando la incineración, lo cual es controlado.

- 3. Turbulencia.-** Es necesario que todo el material, al pasar por la cámara de combustión, permanezca expuesto a la temperatura de incineración durante la misma cantidad de tiempo.

Ninguna porción deberá pasar «más rápido», ya que el tiempo de residencia debe ser mantenido. Por lo que, la cámara secundaria se dimensiona con el objetivo de que permita el paso turbulento de los gases, garantizando una mezcla adecuada.

- 4. Exceso de aire.-** La combustión completa de un residuo exige la presencia de oxígeno (O_2) en cantidad adecuada. Al saber la composición de este residuo, se calcula la cantidad teórica de O_2 que se debe suministrar. En la práctica, sin embargo, es necesario proveer un exceso de aire, porque la mezcla residuo- O_2 no es perfecta.

Normalmente, el exceso de aire y la concentración de CO (monóxido de carbono) son medidos continuamente en la chimenea de un incinerador. Si la cantidad de aire suministrada es suficiente, la concentración de CO en la chimenea es cero, e indica que todos los compuestos orgánicos están siendo adecuadamente destruidos. Cuando el exceso de aire cae debajo de 1 a 1,5%, la combustión pasa a ser incompleta, lo cual se delata por la presencia de CO en la chimenea.

- 5. Recuperación de energía.-** Los gases, a la salida de la cámara de postcombustión, se introducen en un intercambiador de calor de radiación. En él los gases de combustión circulan por su interior mientras que el aire ambiente lo hace por un tubo concéntrico al anterior. El resultado es que los gases de combustión se enfrían hasta la temperatura que es preciso para entrar en la línea de lavado de gases y el aire ambiente se calienta.

Cualquier corriente de gas de escape a temperaturas superiores a $250^{\circ}F/121^{\circ}C$ tiene un gran potencial en recuperación de calor residual. Los consumidores de

energía térmica residual es el precalentamiento del agua de alimentación de las calderas y la calefacción de edificios. Además de ahorrar en el consumo diario de combustible, son usados en las mismas instalaciones de las unidades de planta.

6. Tratamiento de gases efluentes y control de contaminación.-

En la incineración de residuos se emiten sustancias nocivas a través del gas de combustión, que deben depurarse antes de que lleguen al medio ambiente. En las depuradoras de gases se eliminan gases de escape como el dióxido de azufre.

El control de las emisiones se puede hacer a través de:

- a) **Control de combustión.-** Condiciones apropiadas de combustión limitan especialmente la formación de dioxinas y furanos. El monitoreo y el control continuos, tanto computarizados, como manuales, son sumamente importantes como «buenas prácticas de combustión». El entrenamiento de los operadores es considerado básico para prevenir la contaminación.

Las dioxinas y furanos también se forman después de la salida de la cámara de combustión.

El enfriamiento brusco de los gases de combustión es el método de control que limita con éxito esta formación secundaria.

- b) **Control de material particulado.-** Los filtros de tejido, llamados filtros manga fue seleccionado para el proyecto para controlar la emisión de partículas.

Los filtros manga son diseñados con largas bolsas hechas con tejido resistente al calor que capturan partículas finas. El polvo y las partículas son recolectados y dispuestos.

- c) **Control del gas ácido.-** Las unidades de control de gas ácido más comunes son las llamadas scrubbers. Los scrubbers de cal seguidos por filtros manga es considerado la mejor tecnología de control de gas ácido. Un lodo de cal que

reacciona con los gases ácidos es atomizado en el scrubber. El agua del lodo evapora enfriando el gas. El particulado y los productos de la reacción anterior son retenidos por un filtro manga. Este tipo de sistema es usado para controlar las emisiones de dióxido de azufre (SO₂), ácido clorhídrico (HCl), partículas, metales y dioxinas y furanos.

Los óxidos de nitrógeno no son eliminados por este proceso. Se debe minimizar su generación mediante el control de las condiciones de incineración, con quemadores adecuados en la segunda cámara.

Los materiales que pueden contribuir con emisiones perjudiciales son:

- Piezas soldadas con plomo, como recipientes de hojalata;
- Pilas domésticas o de uso médico, que contienen metales pesados, como mercurio y cadmio;
- Ciertos plásticos, como PVC, que pueden ser precursores de la formación de dioxinas; etc.

d) Residuos secundarios.- La planta genera cierta cantidad de residuos secundarios:

- Escorias, como consecuencia de los impropios presentes en los residuos (Esencialmente material no combustible, metales y vidrios).
- Cenizas, procedente de la depuración de los gases. Las cenizas procedentes del filtro de mangas se transportan hacia una ensacadora donde se cierran para ser conducidas a vertedero.

3.4.1. Balance de materia y energía.-

El balance de materia y energía para el tratamiento de residuos sólidos hospitalarios se efectuado en base a la tecnología seleccionada, y el incinerador es el reactor rotatorio de lecho móvil, donde el residuo sólido que va a ser incinerado no requiere ningún tratamiento previo para lo cual consideramos las siguientes

características, según los trabajos de investigación realizados por la Organización Mundial de la Salud (OMS):

- Poder calorífico inferior, superior a las 3500 kcal/kg.
- Contenido de materia combustible superior al 60%.
- Contenido de humedad inferior al 30%.

Balance de Materia.-

Los datos que nos proporciona la Organización Mundial de la Salud nos han lleva a deducir que la conversión del proceso de combustión primaria es del 90%, y el proceso de combustión secundaria es del 99,999 %, con estos datos, y considerando que la capacidad óptima de la planta de tratamiento es de 112 Kg de residuo sólido hospitalario/ h., tenemos, que el material combustible sale del proceso con una eficiencia térmica de descomposición del 99,999%:

$112 \text{ Kg/h} \times 0,60 \times 0,999 = 67,20 \text{ Kg}$ de gases residuales de combustión completa

Material de sólidos inertes, cenizas, metales pesados, y escorias:

$112 \text{ Kg/h} \times 0,10 \times 0,999 = 11,2 \text{ Kg}$ de sólidos inertes, cenizas, metales pesados, y escorias.

Cantidad de humedad:

$112 \text{ Kg/h} \times 0,30 \times 0,999 = 33,60 \text{ Kg}$ de humedad (vapor de agua)

Cantidad de aire necesario (ver los cálculos en el apéndice N°1,2,3,4):

$112 \text{ Kg/h} \times 1,041 \times 0,999 \times 1,92 = 224,06 \text{ Kg}$ de aire

Balance de energía.-

La descomposición térmica en el proceso de incineración de residuos sólidos hospitalarios según los estudios realizados es de 3500 Kcal/Kg, entonces:

$112 \text{ Kg/h} \times 3500 \text{ Kcal/ Kg}$ de residuo sólido = 392 350 Kcal/ h.

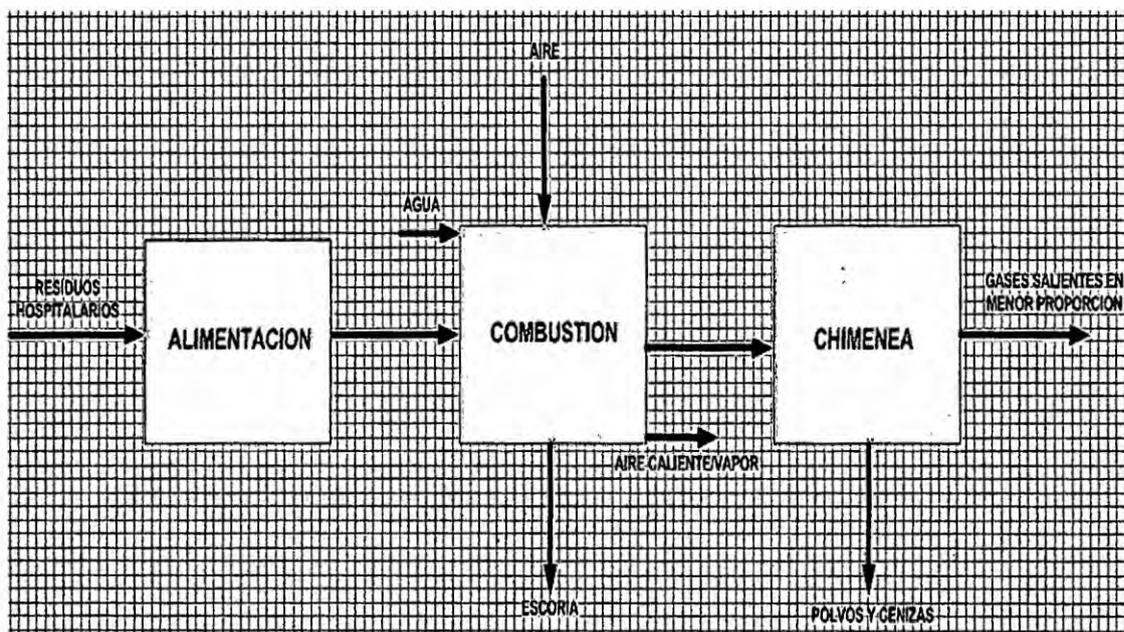
Cuadro N° 11. Balance de materia y energía.

ENTRADA	SALIDA
MATERIA PRIMA: Residuos sólidos hospitalarios	PRODUCTO
112 Kg/h	67,2 Kg de gases/ h
	11,2 Kg /h de sólidos, cenizas, metales
	33,60 Kg/h de vapor de agua
112 Kg/h	112 Kg/h
Aire: 224 Kg/h	Aire: 224 Kg/h
112 Kg/h x 3 500 Kcal/Kg	392 350 Kcal/ h.

Fuente: Elaboración propia

3.4.2. Diseño del diagrama de proceso.

Diagrama N° 4. Diagrama de proceso para la planta de incineración de residuos Sólidos hospitalarios.

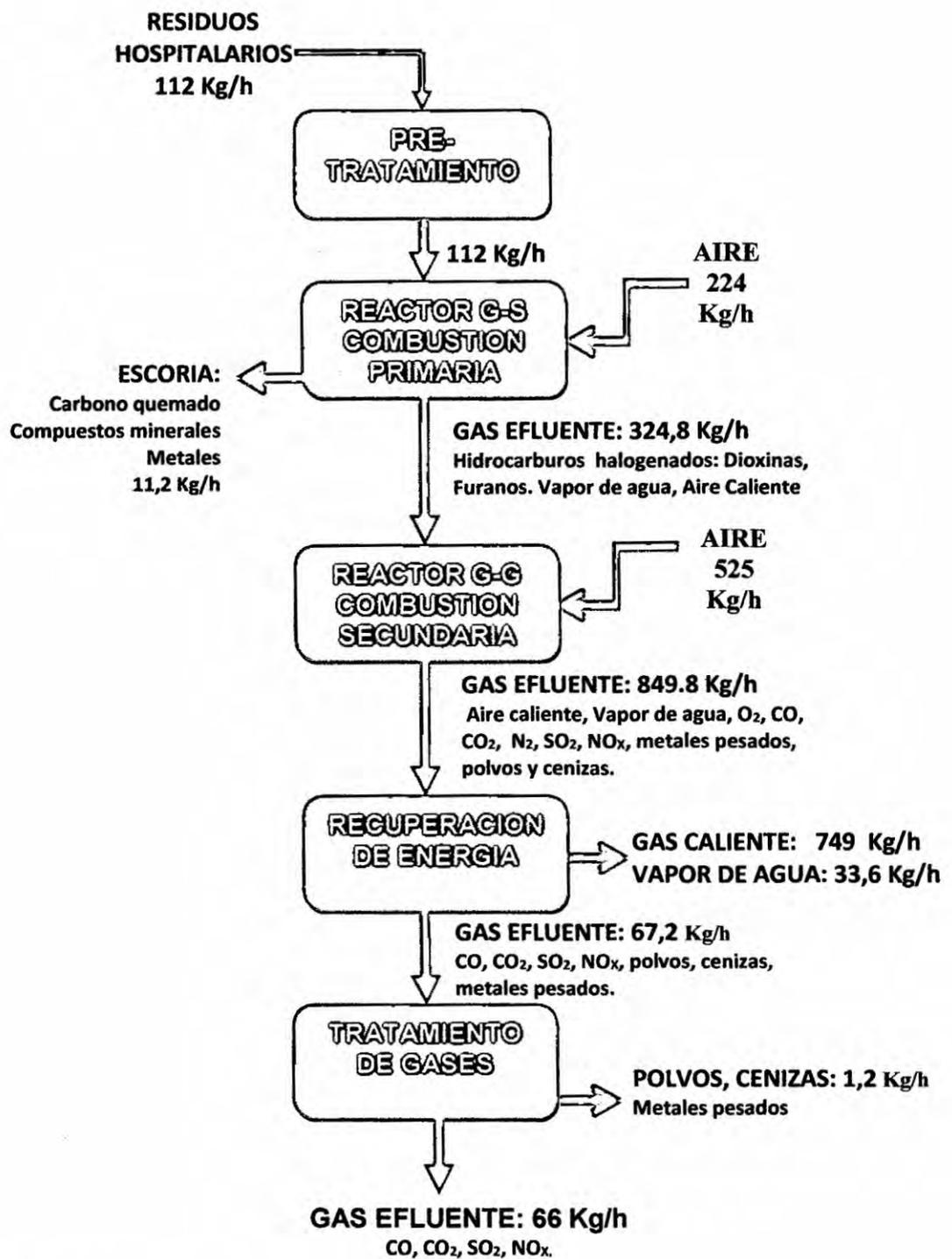


3.4.2.1. Diagrama de bloques.- El diagrama de bloques para el proyecto mostramos en el diagrama N° 5.

3.4.2.2. Diagrama de básico de flujo.- El diagrama de básico de flujo para el proyecto mostramos en el diagrama N° 6.

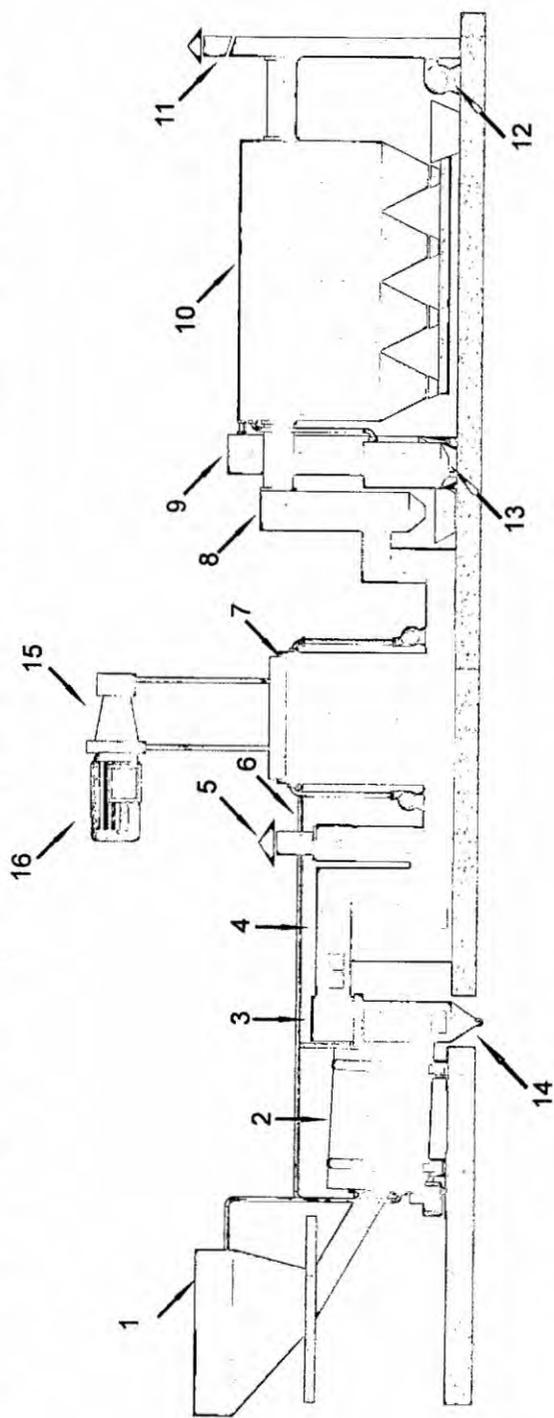
3.4.2.3. Diagrama de flujo codificado.- El diagrama de básico de flujo para el proyecto mostramos en el diagrama N° 7.

Diagrama N° 5. Diagrama de bloques para la planta de incineración de residuos Sólidos hospitalarios.



Fuente: Elaboración propia

Diagrama N° 6. Diagrama básico de flujo para la planta de incineración de residuos sólidos hospitalarios.

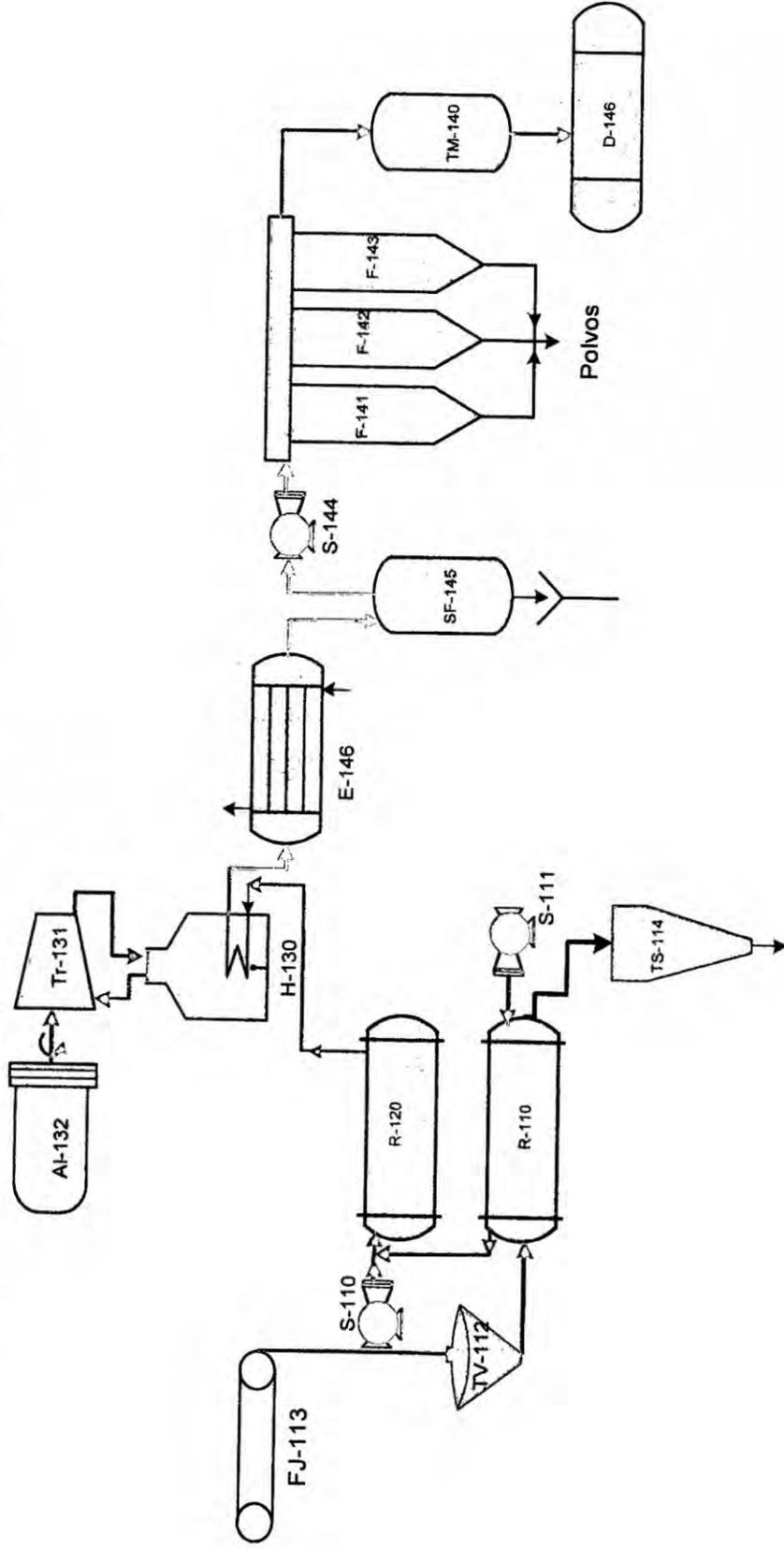


- 1 Tolva de alimentación
- 2 Incinerador rotatorio
- 3 Cámara de oxidación
- 4 Post-combustión
- 5 Chimenea de emergencia
- 6 Aire de combustión y post-combustión
- 7 Caldera de vapor
- 8 Reactor de neutralización

- 9 Depósito de neutralización alcalino
- 10 Filtros de mangas
- 11 Chimenea
- 12 Ventilador de tiro
- 13 Depósito de carbón activado
- 14 Cenicero
- 15 Turbina de vapor
- 16 Alternador

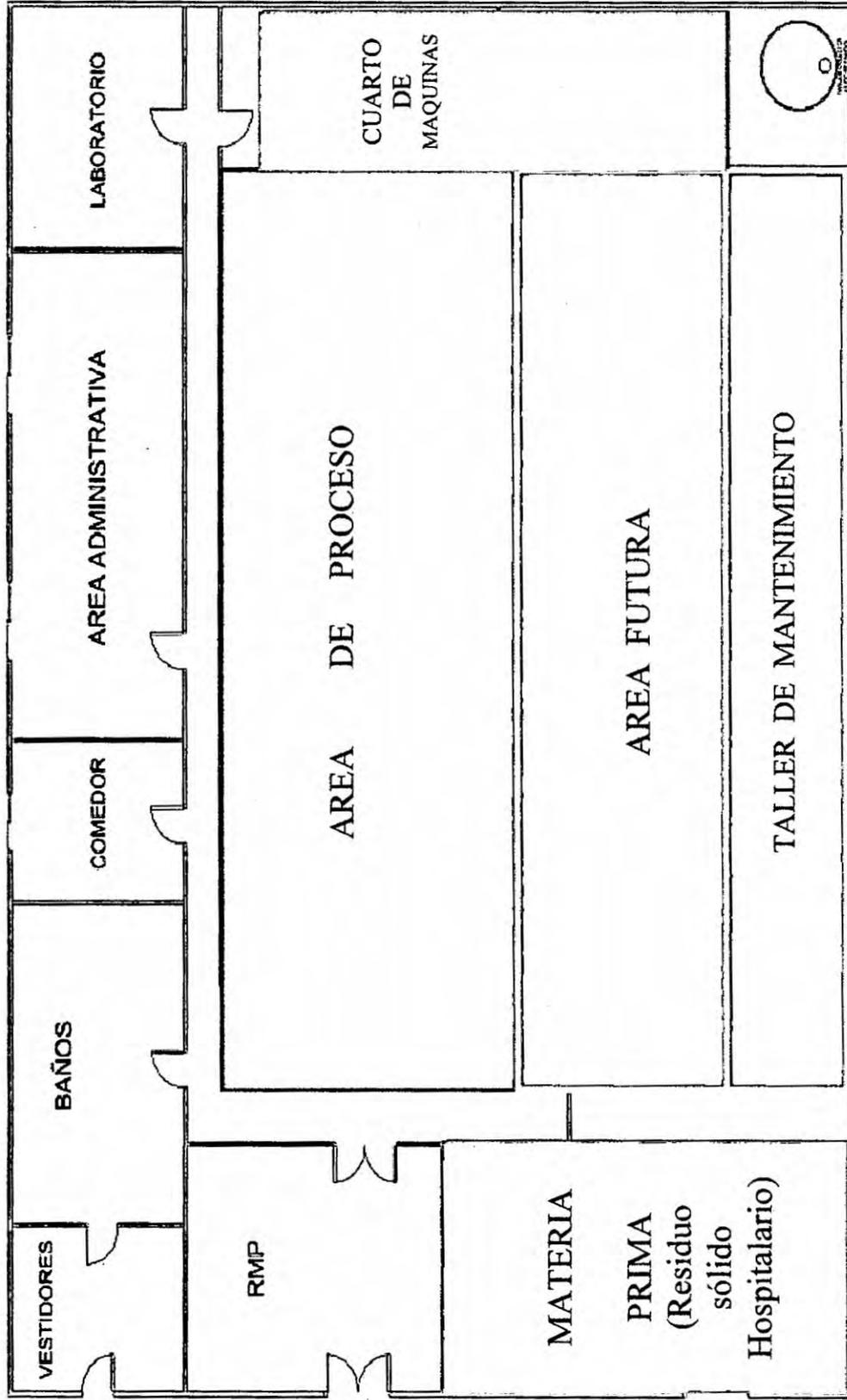
Fuente: Geenpeace, 2001

Diagrama N° 7. Diagrama flujo codificado de la planta de incineración de residuos sólidos hospitalarios.



Fuente: Elaboración propia

3.5. Plan Maestro.-



Fuente: Elaboración propia

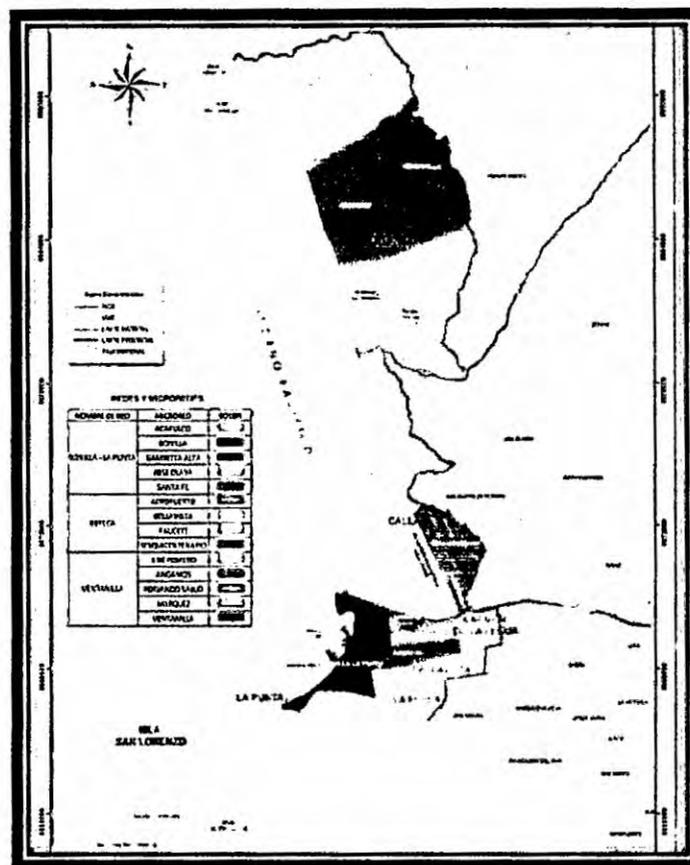
IV. LOCALIZACION Y TAMAÑO DE PLANTA.-

4.1. Localización de planta.-

La ubicación de la instalación de la planta para el tratamiento de residuos sólidos hospitalarios es la región Callao, por lo cual se han evaluado los distritos para dar con la ubicación adecuada de la planta.

Los distritos a evaluar son:

Fig. N° 5. Mapa de ubicación de distritos de la Región Callao



Fuente:

Región Callao

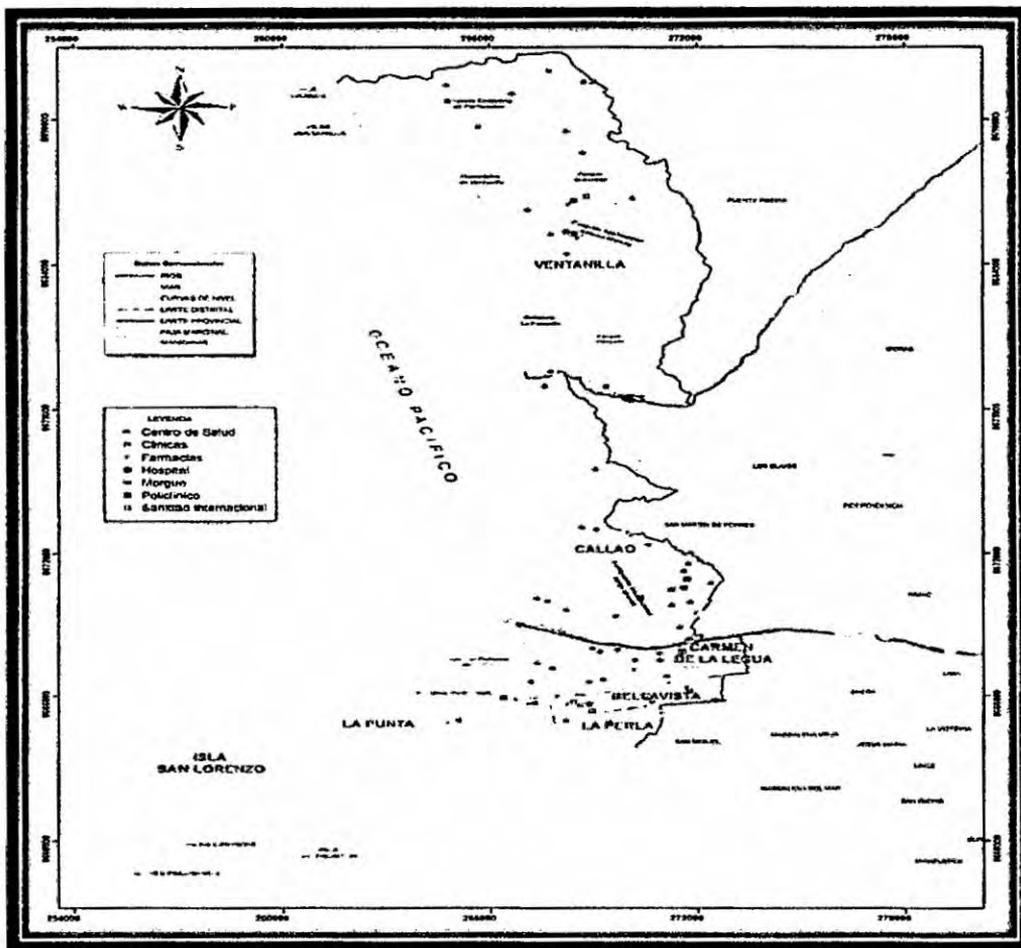
4.1.1. Análisis de los factores locacionales.-

a) Cercanía a la materia prima.-

Ya que la localización de nuestra planta se ubica en la región Callao debemos fijar el distrito en donde se llevará a cabo el proyecto.

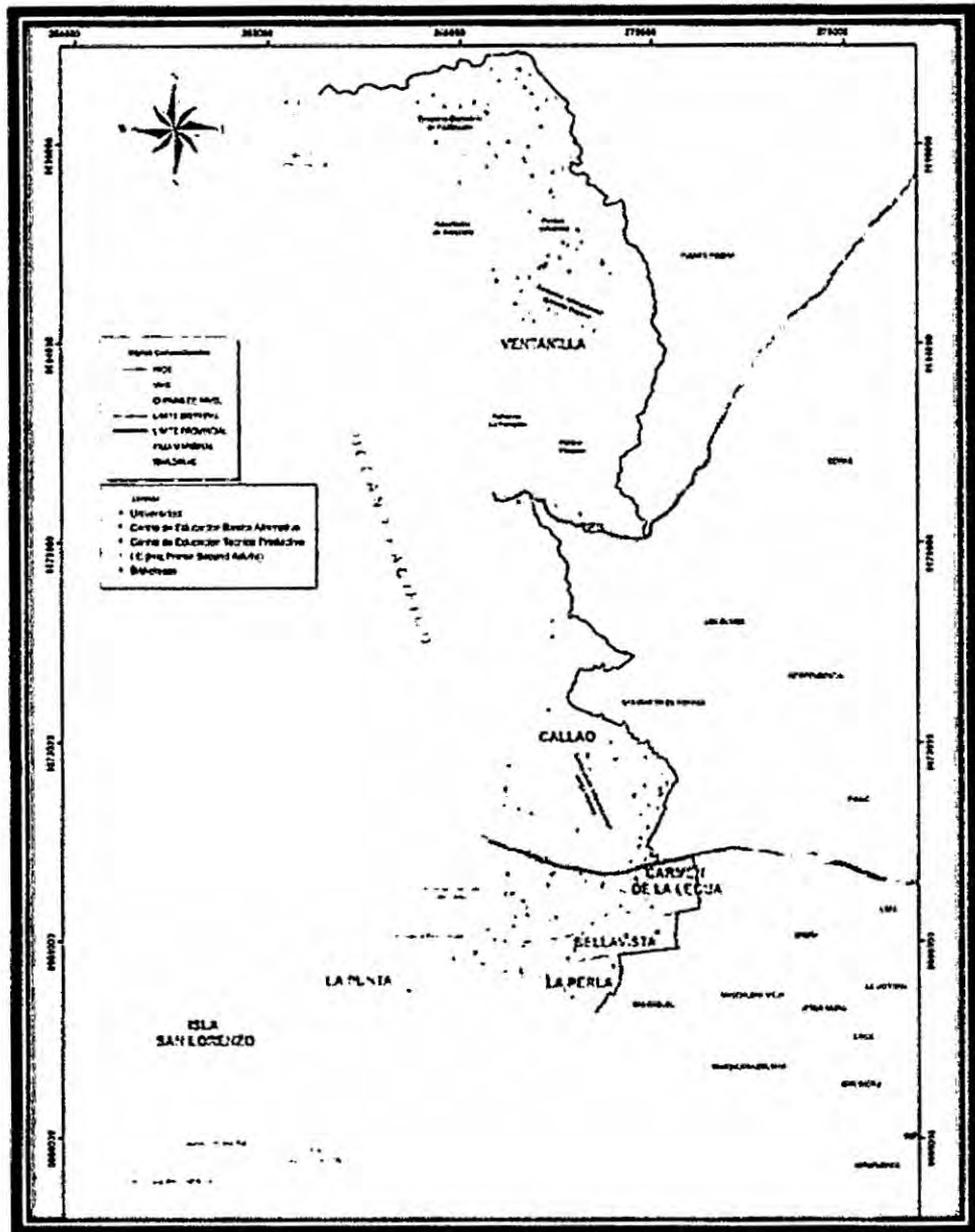
Como la materia prima son los residuos hospitalarios, nuestra planta debe ubicarse lo más cercano a las instituciones de salud pero teniendo como consideración que la planta no puede ubicarse cerca a zonas cercanas a colegios, mercados ni mucho menos cerca a zonas ecológicas debido a la magnitud de los residuos a tratar.

Fig. N°6. Mapa de la Región Callao indicando los centros de salud



Fuente: Región del Callao

Fig. N° 7. Mapa de la Región Callao indicando los centros escolares



Fuente: Región del Callao

b) Disponibilidad de mano de obra.-

De acuerdo a las estadísticas realizadas por el INEI se realiza un estudio de la población económicamente activa (PEA) en los sectores analizados.

Cuadro N° 12. Población económicamente activa.

LUGAR	CALLAO	BELLAVISTA	C. DE LA LEGUA-REYNOSO	LA PERLA	LA PUNTA	VENTANILLA	TOTAL REGION CALLAO
POBLACION	415 888	75 163	41 863	61 698	4 370	277 895	876 877
PET	319 471	59 827	32 034	49 840	909	193 109	655 190
Masculina	157 057	27 874	15 515	23 393	432	93 727	317 998
Femenina	162 414	31 953	16 519	26 447	477	99 382	337 192
Masculina %	49,16	46,59	48,43	46,94	47,52	48,54	48,53
Femenina %	50,84	53,41	51,57	53,06	52,48	51,46	51,46
PET(% Distrital)	48,8	9,1	4,9	7,6	0,1	29,5	100,00
PET por Distritos	76,82	79,6	76,52	80,78	20,8	69,49	74,72

Fuente: INEI

c) Disponibilidad de energía eléctrica.-

En la Prov. Callao se sitúa la planta de la Empresa Termoeléctrica de Ventanilla S.A.-ETEVENSA, que abastece el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional-SEIN, y además existen veintisiete empresas (27) generadoras de energía eléctrica para uso propio con autorizaciones vigentes. La Planta de Ventanilla tiene 2 Centrales Térmicas: Turbo Gas Natural Ventanilla 3 (GNCS) de 159,20 MW y Turbo Gas Natural Ventanilla 4 (GNCS) y 156,10 MW propiedad de Empresa de Generación Eléctrica de Lima-EDEGEL (empresa privada dedicada a la generación de energía eléctrica) la cual en Junio de 2006 se fusionó y absorbió a la empresa ETEVENSA. La empresa EDEGEL alcanzó, durante los últimos años, una participación de 28.8% en el mercado eléctrico peruano y se convierte en el principal generador privado de energía eléctrica del país.

d) Disponibilidad de agua.-

El abastecimiento de agua en la región callao es abastecido por SEDAPAL

e) Facilidad de transporte.-

Las carreteras se encuentran asfaltadas en su gran mayoría esto debido al boom exportador. Los camiones que llevan sus productos al puerto tienen que tener carreteras en buen estado.

f) Características del terreno.-

Para la evaluación del terreno requerimos del costo de terreno en cada una de las localidades analizadas por metro cuadrado.

El Callao consiste de rellenos superficiales que cubren una capa de materiales finos, tales como arenas, limos, arcillas y algunas veces turba. Por debajo del material fino se encuentra el conglomerado de Lima a profundidades variables.

Cuadro N° 13. Precio en dólares por metro cuadrado en Lima Metropolitana y Callao

Sectores	Precio \$/ m ²
13	854

Fuente: Región Callao

4.1.2. Evaluación y elección de localización de Plantas.-

Para evaluar las alternativas propuestas se comenzará con la ponderación de los distintos factores de localización.

Cuadro N° 14. Puntaje para el método semicuantitativo

PUNTAJE	PONDERACION	CALIFICACION
8-10	80-100	EXCELENTE
6-7	60-80	MUY BUENO
3-6	30-60	REGULAR

Fuente: Copias diseño de plantas del Ing° L. Machaca G

**Cuadro N° 15. Análisis semicuantitativo para la localización en
Función a la materia prima**

DISTRITO	MATERIA PRIMA	PEA	PUNTAJE TOTAL
Callao	70	90	160
Bellavista	50	60	110
Carmen de la Legua y Reynoso	40	40	80
La punta	40	10	50
La perla	40	50	90
Ventanilla	60	70	130

Fuente: Elaboración propia

Viendo las consideraciones ya expuestas la planta para el tratamiento de residuos sólidos hospitalarios se instalara en la localidad de Ventanilla ya que cuentan con más área libre y se encuentra cercano a los centros de salud de la Región y a loa materia prima.

4.2. Tamaño de Planta.-

4.2.1. Determinación de Tamaño de Planta.-

Para determinar el tamaño de planta óptimo, analizamos la relación del tamaño de planta máximo, tamaño de planta intermedio, tamaño mínimo, así tenemos:

a) TAMAÑO DE PLANTA- MAXIMO

Ya que nuestra planta es para un servicio y no obtenemos ningún producto que se pueda comercializar, por lo tanto no hallamos tamaño de planta máximo.

b) TAMAÑO DE PLANTA-INTERMEDIO

b.1. Tamaño de planta - Materia Prima

A partir de los datos de la demanda histórica de nuestro producto en los últimos diez años se realizara la demanda proyectada.

Cuadro N° 16. Datos históricos de la demanda de Residuos sólidos hospitalarios

AÑO	DEMANDA HISTORICA (TM)
2004	851,93
2005	894,91
2006	896,25
2007	900,05
2008	937,52
2009	980,14
2010	995,48
2011	1013,91
2012	1029,74
2013	1046,17
2014	1062,77

FUENTE: INRESA

Con los datos obtenidos analizamos el modelo econométrico para determinar la proyección de la demanda de la cantidad materia prima.

Cuadro N° 17. Cálculos para la proyección

N=X	Año	y=Residuos hospitalarios (TM)	1/X	1/Y	LN(X)	LN(Y)
1	2004	851,93	1,00000	0,00117	0,00000	6,74750
2	2005	894,91	0,50000	0,00112	0,69315	6,79672
3	2006	896,25	0,33333	0,00112	1,09861	6,79822
4	2007	900,05	0,25000	0,00111	1,38629	6,80245
5	2008	937,52	0,20000	0,00107	1,60944	6,84324
6	2009	980,14	0,16667	0,00102	1,79176	6,88770
7	2010	995,48	0,14286	0,00100	1,94591	6,90323
8	2011	1013,91	0,12500	0,00099	2,07944	6,92157
9	2012	1029,74	0,11111	0,00097	2,19722	6,93706
10	2013	1046,17	0,10000	0,00096	2,30259	6,95289
11	2014	1062,77	0,09091	0,00094	2,39790	6,96863

Fuente: Elaboración propia

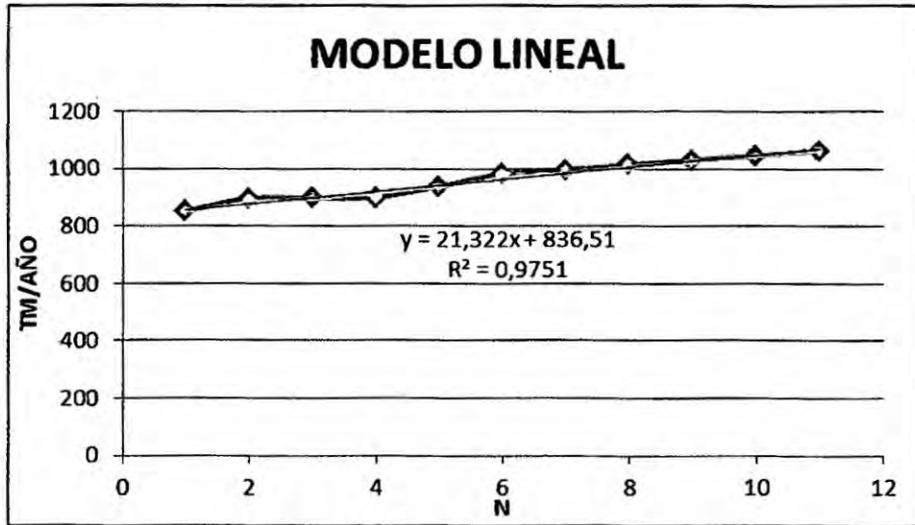
Proyectando la demanda con los siguientes modelos econométricos:

A. **MODELO LINEAL:** $Y = A * X + B$

Cuadro N° 18. Modelo lineal

N=X	Año	y=Residuos hospitalarios (TM)
1	2004	851,93
2	2005	894,91
3	2006	896,25
4	2007	900,05
5	2008	937,52
6	2009	980,14
7	2010	995,48
8	2011	1013,91
9	2012	1029,74
10	2013	1046,17
11	2014	1062,77

Fuente: Elaboración propia

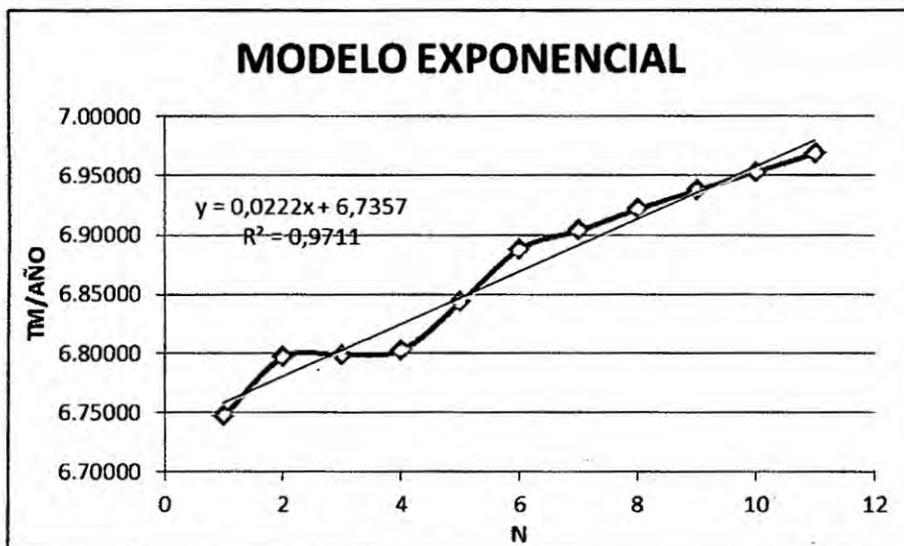


B. MODELO EXPONENCIAL: $Y = A * B^x$

Cuadro N° 19. Modelo exponencial

N=X	Año	Y ₁ =Residuos hospitalarios (TM)	Y=LN(Y ₁)
1	2004	851,93	6,74750
2	2005	894,91	6,79672
3	2006	896,25	6,79822
4	2007	900,05	6,80245
5	2008	937,52	6,84324
6	2009	980,14	6,88770
7	2010	995,48	6,90323
8	2011	1013,91	6,92157
9	2012	1029,74	6,93706
10	2013	1046,17	6,95289
11	2014	1062,77	6,96863

Fuente: Elaboración propia

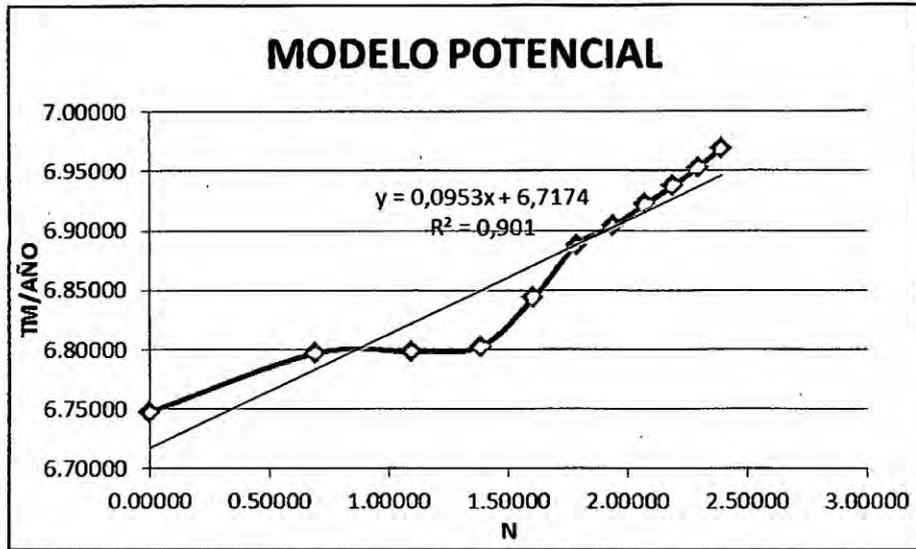


C. MODELO POTENCIAL: $Y = A * X^B$

Cuadro N° 20. Modelo potencial

N=X ₁	Año	Y ₁ =Residuos hospitalarios (TM)	X=LN(X ₁)	Y=LN(Y ₁)
1	2004	851,93	0,00000	6,74750
2	2005	894,91	0,69315	6,79672
3	2006	896,25	1,09861	6,79822
4	2007	900,05	1,38629	6,80245
5	2008	937,52	1,60944	6,84324
6	2009	980,14	1,79176	6,88770
7	2010	995,48	1,94591	6,90323
8	2011	1013,91	2,07944	6,92157
9	2012	1029,74	2,19722	6,93706
10	2013	1046,17	2,30259	6,95289
11	2014	1062,77	2,39790	6,96863

Fuente: Elaboración propia

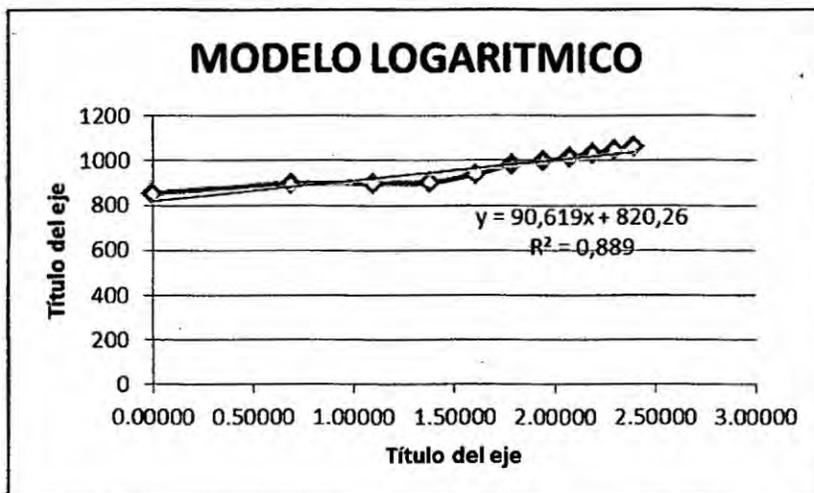


D. MODELO LOGARITMICO: $Y = A + B * \ln X$

Cuadro N° 21. Modelo logarítmico

N=X ₁	Año	Y=Residuos hospitalarios: (TM)	LN(X)
1	2004	851,93	0,00000
2	2005	894,91	0,69315
3	2006	896,25	1,09861
4	2007	900,05	1,38629
5	2008	937,52	1,60944
6	2009	980,14	1,79176
7	2010	995,48	1,94591
8	2011	1013,91	2,07944
9	2012	1029,74	2,19722
10	2013	1046,17	2,30259
11	2014	1062,77	2,39790

Fuente: Elaboración propia

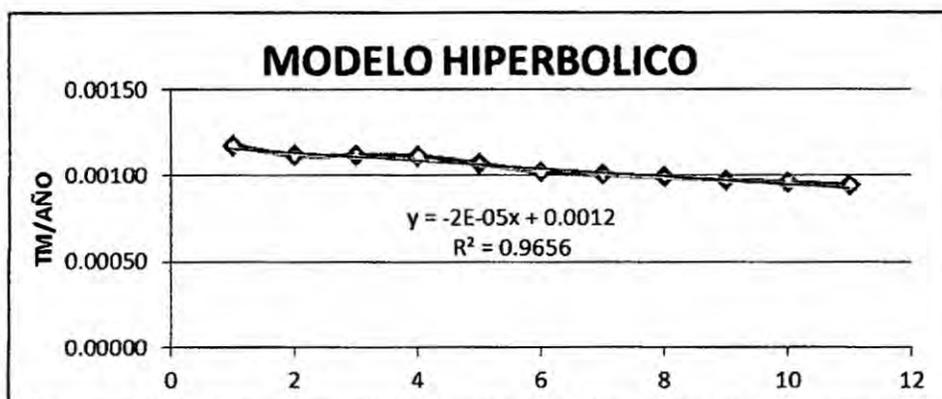


E. **MODELO HIPERBOLICO:** $Y = \frac{1}{A+Bx}$

Cuadro N° 22. Modelo Hiperbólico

N=X	Año	y=Residuos hospitalarios (TM)	Y ¹ =1/Y
1	2004	851,93	0,00117
2	2005	894,91	0,00112
3	2006	896,25	0,00112
4	2007	900,05	0,00111
5	2008	937,52	0,00107
6	2009	980,14	0,00102
7	2010	995,48	0,00100
8	2011	1013,91	0,00099
9	2012	1029,74	0,00097
10	2013	1046,17	0,00096
11	2014	1062,77	0,00094

Fuente: Elaboración propia



Analizando los modelos econométricos según los coeficientes de correlación mostramos los resultados en el siguiente cuadro:

Cuadro N° 23. Resumen de los modelos econométricos

MODELO	R ²	A'	B'
LINEAL	0,9724	836,5124	21,3217
HIPERBÓLICO	0,9656	1,2E-03	-2,32E-05
LOGARITMICO	0,889	820,2564	90,6195
POTENCIAL	0,8900	6,7174	0,0953
EXPONENCIAL	0,9678	6,7357	0,0222

Fuente: Elaboración propia

El modelo que se ajusta más a nuestros datos es el modelo lineal debido a que r^2 es igual a 0.9724, realizando la proyección se obtiene la siguiente tabla:

$$y = 21,3217 x + 836,5124$$

Cuadro N° 24. Demanda proyectada total

AÑO	DEMANDA APARENTE(TM)
2013	1092,4
2014	1113,7
2015	1135,02
2016	1156,34
2017	1177,7
2018	1199,0
2019	1220,3
2020	1241,6
2021	1263,0
2022	1284,3

Fuente: Elaboración propia

Se pretende tomar el 60% del volumen, debido a que el 40% de los residuos hospitalarios son reciclables por lo tanto solo se tratara el 60%, entonces la demanda proyectada seria:

Cuadro N° 25. Demanda proyectada al 60% del total

AÑO	DEMANDA HISTORICA (TM)
2015	655,4
2016	668,22
2017	681,01
2018	693,8
2019	706,6
2020	719,4
2021	732,2
2022	745,0
2023	757,8
2024	770,6

Fuente: Elaboración propia

TASA DE CRECIMIENTO

Se determina la demanda para el proyecto en los próximos 10 años así como la

Tasa de crecimiento en el siguiente cuadro:

$$\bar{r} = \frac{D_2 - D_1}{D_1} \quad (1)$$

Cuadro N° 26. Tasa de crecimiento

AÑO	TASA DE CRECIMIENTO (r_i)	DEMANDA PARA EL PROYECTO (TM)
2015		655,4
2016	1.9518956	668,22
2017	1.91452605	681,01
2018	1.87856052	693,8
2019	1.84392134	706,6
2020	1.81053647	719,4
2021	1.77833899	732,2
2022	1.74726667	745,0
2023	1.71726153	757,8
2024	1.68826953	770,6
r (promedio)	1.63305767	

Fuente: Elaboración propia.

Para el cálculo del tamaño de planta intermedio – Materia prima, se usará la siguiente ecuación:

$$T = D_o(R)^n \quad (2)$$

Calculo de R:

$$R = 1 + \bar{r} = 1 + 0.01633058 = 1.01633058$$

Se tiene los siguientes datos:

α=	0.6
promedio =	0.01633058
R=	1.01633058
N=	10

Para determinar el tamaño intermedio:

$$\frac{1}{R^n} = \frac{1 - 2(1 - \alpha)(R - 1)(N - n)}{\alpha(R + 1)} \quad (3)$$

Calculando se obtiene: $\eta = 4,07905$

Reemplazando para el tamaño de planta se obtiene:

$$T = D_o(R)^{\eta} \quad (4)$$

$$T = 655.4244(1.01633058)^{4.0790508}$$

$$T = 700 \text{ TM/año}$$

b.2. Tamaño de planta - Inversión

Mediante el método de escalamiento, calculamos la inversión, se tiene la siguiente ecuación:

$$\frac{I_2}{I_1} = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\alpha} \quad \rightarrow \quad T_2 = T_1 \left(\frac{I_2}{I_1}\right)^{1/\alpha} \quad (5)$$

Teniendo como datos, la capacidad de inversión disponible y capacidad para una planta similar a la que se desea diseñar, determinamos el tamaño de planta - inversión:

$I_1 =$	53000000	\$
$T_1 =$	90000	TM/año
$I_2 =$	2 500 000	\$
$\alpha =$	0.6	

Reemplazando en la ecuación se tiene la Inversión para el tamaño de planta en función a la Materia prima:

$$T_2 = 90000 \left(\frac{53000000}{2500000}\right)^{1.666666667}$$

$T_2 = 554,2 \text{ TM/año}$

c) **TAMAÑO DE PLANTA- MINIMO**

En este caso no se toma en cuenta el tamaño de planta mínimo ya que la tecnología de tratamiento de residuos hospitalarios ya está fijado que consiste en su incineración pro lo cual no se consideró el cálculo de tamaño de planta-mínimo.

4.2.2. Determinación de Tamaño de Planta Óptimo.-

En este caso el tamaño de planta óptimo determinado es el tamaño de planta- materia prima ya que no existe tamaño de planta- mercado ni tamaño de planta-mínimo por lo ya expuesto anteriormente tenemos que el tamaño óptimo es:

$$T_{\text{óptimo}} = 700 \frac{\text{TM de residuos sólidos hospitalarios}}{\text{año}}$$

Considerando 65 feriados días calendarios, mantenimiento, limpieza de la planta y el 20 % de imprevistos que se pueden presentar durante el proceso, tenemos que la planta operara 260 días al año, es decir con un factor operacional del 71,23%.

Finalmente, los equipos y maquinarias que componen la planta de tratamiento de residuos sólidos hospitalarios son diseñados para una capacidad de 2,69 TM/día (112 kg/h).

V. INGENIERIA DE DISEÑO DE DETALLES.-

5.1. Diseño de equipos principales.-

5.1.1. Diseño del incinerador rotatorio. Procedimiento de diseño.-

El incinerador rotatorio anti polución que es diseñado, consta de dos cámaras, una ubicada encima de la otra, de forma cilíndrica horizontal, construido externamente con lámina de acero dulce e internamente recubierto con cemento refractario. La cámara inferior se denomina primaria o de combustión y es allí donde se depositan los residuos a incinerar. La cámara superior se denomina Secundaria o de postcombustión y es la encargada de la eliminación de los gases contaminados generados por los residuos quemados en la inferior.

Tabla N° 1. Niveles máximos de emisiones a la atmósfera de los equipos de incineración

	30,0
	50,0
	30,0
	100,0
	20,0
	1,0
	0,1
	0,5
	0,5
	1 ng/m ³ TEQ*

A. Diseño del incinerador primario o de combustión (cámara inferior).-

Procedimiento de diseño [17].-

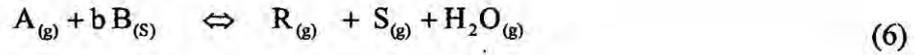
1. Bases de diseño.

- a) Alimentación: 112,1 kg/h de residuo sólido hospitalario
- b) Escala de producción: nivel industrial
- c) Tipo de Proceso: incineración, combustión (primaria), oxidación química y descomposición térmica.
- d) Tipo de reactor: Reactor de lecho móvil no catalítico Gas – Sólido
- e) Condiciones de operación:
 - Temperatura: 800°C
 - Presión : 1 atm
 - Conversión: 90%
- f) Composición de los residuos sólidos:
 - Material combustionable: 60%
 - Humedad: 30 %
 - Sólidos inertes residuales: 10 %
- g) Propiedades del Fluido sólido:
 - Densidad aparente: Suele ser de 400- 700 Kg/m³
 - Granulometría y Porosidad: El tamaño de las partículas tiene que ser mayor 25mm sobre el 90% del producto (imperativo legislativo)
 - Olor: Está relacionado con otros parámetro.

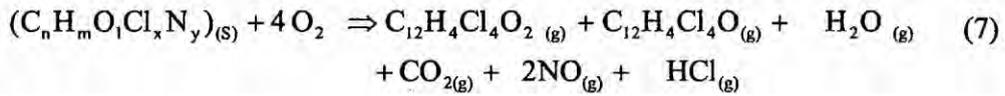
- Color: El color tiene que ser entre color marrón oscuro, casi negro. Depende del material original.

h) Cinética de las Reacciones Químicas:

- Reacción Química:

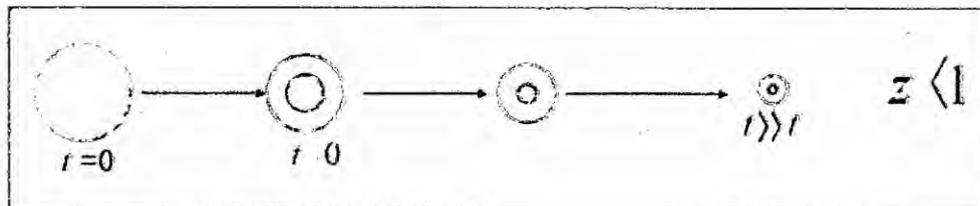
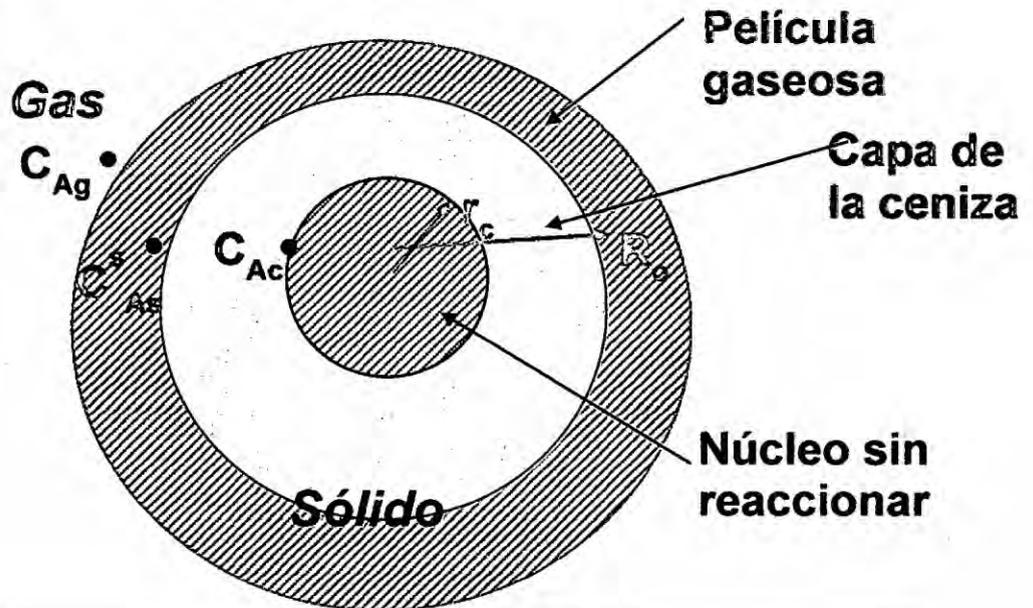


- Mecanismo de la Reacción Química:



- Expresión cinética: Modelo del núcleo sin reaccionar con tamaño de partícula variable.

Fig. N° 8. Etapas de la reacción gas-sólido



Fuente:[17]

- **Etapa controlante:** Reacción química en la superficie del núcleo sin reaccionar

[17].

Su ecuación de velocidad de reacción es:

$$-\frac{1}{S_{\text{ext}}} \frac{dn_A}{dt} = \frac{r_c^2}{R^2} b k_s C_{Ac} \quad (8)$$

Su ecuación integrada es:

Tiempo de reacción en función del radio de la partícula reaccionante:

$$t = \frac{C_{Bo}}{b C_{Ag} k_s} (R - r_c) \quad (9)$$

Tiempo de reacción en función de la conversión de la partícula reaccionante:

$$t = \frac{C_{Bo} R_o}{b C_{Ag} k_s} \left[1 - (1 - X_B)^{1/3} \right] \quad (10)$$

Tiempo para una reacción completa:

$$\tau_{\text{Rxn.Q.}} = \frac{C_{Bo} R_o}{b C_{Ag} k_s} \quad (11)$$

Para tiempo adimensional:

$$\frac{t}{\tau} = 1 - (1 - X_B)^{1/3} \quad (12)$$

Modelo de Diseño del reactor de lecho móvil no catalítico gas - sólido:

Tipo de flujo: Pistón en contracorriente para el sólido y la fase fluida

Flujo másico del sólido: $W = Q_s \varepsilon_p [\rho_c + (1 - X_B)(\rho_s - \rho_c)] \quad (13)$

Balance de materia:

$$\dot{F}_B dX_B = \pm \frac{b}{a} Q_g dC_{Ag} \quad (14)$$

$$\dot{F}_B = Q_s \varepsilon_p \dot{C}_B \quad (15)$$

Integrando la ecuación (14) para la etapa limitante: Reacción química en la superficie del núcleo sin reaccionar, tenemos el volumen de la mezcla reaccionante (V_{MR}):

$$V_{MR} = \frac{a R \dot{C}_B Q_s}{2 b k_s \varepsilon_p} \left[(1 - X_B)^{1/3} - 1 \right] \left[\frac{-2}{C_{Ags} + \frac{a \dot{F}_B}{b Q_g}} + \frac{2 \left(\frac{a \dot{F}_B}{b Q_g} \right)^2}{C_{Ags} + \frac{a \dot{F}_B}{b Q_g}} + \frac{a \dot{F}_B}{b Q_g} \right] \quad (16)$$

Calculo de la constante de velocidad de reacción (k_s):

De la ecuación (10), tenemos:

$$k_s = \frac{C_{Bo} R_o}{b C_{Ag} t} \left[1 - (1 - X_B)^{1/3} \right] \quad (17)$$

Reemplazando valores:

$$k_s = \frac{3,033 \text{ kmol/m}^3 \times 0,0125 \text{ m}}{2,385 \times 10^{-3} \text{ kmol/m}^3 \times 60 \text{ min}} \left[1 - (1 - 0,9)^{1/3} \right]$$

$$k_s = 0,123 \text{ m/min}$$

Termodinámica de la reacción:

$$\Delta G_{R \times NT} = - R_g T \ln K \quad (18)$$

$$\Delta H (T^\circ\text{C}) = - 4377,04 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta S (T^\circ\text{C}) = - 5578,27 \text{ J/mol}$$

$$\Delta G = - 5578,27 \text{ kJ/mol}, \text{ de la ecuación (18)}$$

$$K_{eq} = 3.65 \times 10^{86}$$

$$K_{eq} = \infty \text{ (Grande), reacción irreversible}$$

2. Calculo de Capacidad:

La ecuación de Diseño es: (19)

$$V_R = 1,3 V_{MR}$$

$$V_R = \frac{\pi}{4} D_i^2 * L \quad (20)$$

$$L = 12,7 D_i^{1,2} \quad [8] \quad (21)$$

$$D_i = \left(\frac{4xV_R}{\pi x 12,7} \right)^{0,3125} \quad (22)$$

En la ecuación (16):

$$V_{MR} = \frac{0,0125x3,033[(1-0,90)^{1/3} - 1]}{2x0,123} \left[\frac{-2}{2,385x10^3 + \frac{4,86x10^3}{8,46534}} + \frac{2 \left(\frac{4,86x10^3}{8,46534} \right)^2}{2,385x10^3 + \frac{4,86x10^3}{8,46534}} + \frac{4,86x10^3}{8,46534} \right]$$

$$V_{MR} = 1,54 \text{ m}^3$$

$$V_R = 1,54 \text{ m}^3 x 1,3 = 2,0 \text{ m}^3$$

En la ecuación (22):

$$D_i = \left(\frac{4x 2,0 \text{ m}^3}{\pi x 12,7} \right)^{0,3125}$$

$$D_i = 0,61 \text{ m}$$

En la ecuación (21):

$$L = 12,7 (0,61)^{1,2}$$

$$L_{Reactor} = 7,00 \text{ m}$$

3. Diseño de Detalles o dimensionamiento.-

Diseño del recipiente a presión [18]:

Cálculo de espesor del recipiente cilíndrico

$$t = \frac{P \times R}{SE - 0,6P} + C \quad (23)$$

t = espesor

P= presión de diseño

D = diámetro, in

S = esfuerzo permisible a la tensión acero inoxidable = 15 000 lb/in²

E = eficiencia de la junta = 1,00 recipiente sin costura

Presión de operación = 14,7 lb/ plg²

Presión de diseño = Máxima presión de operación + 15 Psig (P.O. < 250Psig)

Presión de diseño = 14,7 + 15 = 29,7 lb/ plg²

$$t = \frac{29,7 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2} \times 12 \text{ pulg}}{\frac{15000 \text{ lb}}{\text{pulg}^2} \times 1,0 - 0,6 \times 29,7 \text{ lb/pulg}^2} + 1/8 = 0,149 \text{ pulg} \cong \frac{3}{16} \text{ pulg}$$

Espesor del ladrillo refractario dentro de la cámara:

Calculo de la carga térmica dentro del reactor (Q_T)

$$Q_{T \text{ gas caliente}} = Q_{T \text{ efluente}} + Q_{T \text{ aire caliente}} \quad (24)$$

$$Q_{T \text{ efluente}} = 392 \ 350 \text{ Kcal/h.}$$

$$Q_{T \text{ aire caliente}} = m_{\text{aire}} \times C_{p \text{ aire}} (T_s - T_e) \quad (25)$$

$$Q_{T \text{ aire caliente}} = 224 \text{ Kg/h} \times 0,24 \text{ Kcal/ Kg } ^\circ\text{C} \times (800 - 20) ^\circ\text{C} = 41932,8 \text{ Kcal/h}$$

$$Q_{T \text{ gas caliente}} = 392\,350 \text{ Kcal/h} + 41\,932,8 \text{ Kcal/h} = 434\,283 \text{ Kcal/h}$$

Asumiendo el 6% de pérdida respecto a un secador adiabático del calor introducido es:

$$Q = 26057 \text{ Kcal/hr}$$

Ecuación para hallar el espesor:

$$Q = \frac{k_f \cdot A \cdot \Delta T}{X(\text{espesor del recipiente})} \quad (26)$$

Donde:

$$K = \text{conductividad térmica del acero 316} = 14,03 \text{ Kcal/ m h } ^\circ\text{C}$$

$$A = \text{Área lateral del cilindro (cámara)} = \pi DL = 13,42 \text{ m}^2$$

$$\Delta T = \text{Caída de temperatura} = 10 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$X = \text{Espesor de la cámara}$$

Despejado la ecuación anterior:

$$x = \frac{k_f \cdot 2\pi r h \cdot \Delta T}{Q}, \text{ reemplazando datos se tiene:}$$

$$X = \frac{14,03 \text{ Kcal/h} \cdot \text{m} \cdot ^\circ\text{C} \cdot \pi \cdot x \cdot 0,61\text{m} \cdot 7 \text{ m} \cdot 10 \text{ } ^\circ\text{C}}{26057 \text{ Kcal/h}}$$

$$26057 \text{ Kcal/h}$$

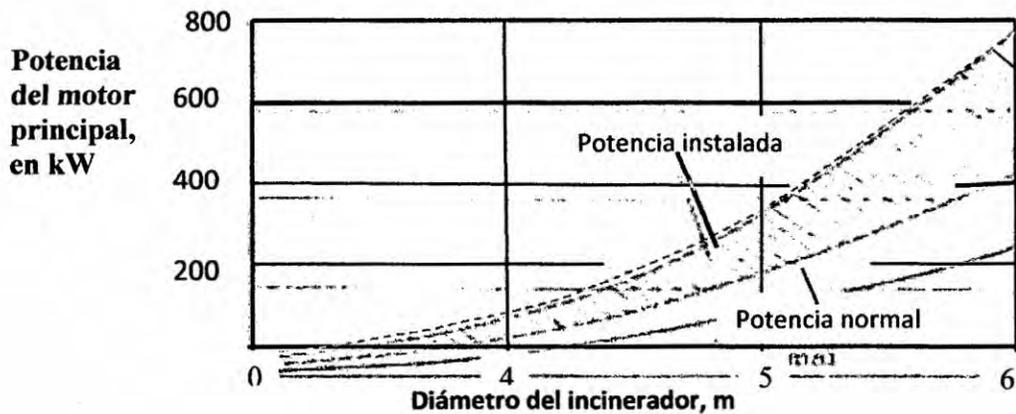
$$X = 7,23 \text{ cm} \approx 3 \text{ pulgadas}$$

Diseño del motor principal para accionar al reactor incinerador.

Para su determinación de la potencia de accionamiento del reactor incinerador de lecho móvil hemos usado la figura N° 9, obtenemos=

$$\text{Potencia} = 50 \text{ KW}$$

Figura N° 9 Potencia de accionamiento aproximada para los incineradores rotatorios provistos de pre calentador de ciclones



4. Especificaciones técnicas.-

- Estructura Exterior: Lamina de Acero H.R.
- Aislante: 1" de Vermiculite.
- Refractario. 3" Ladrillo refractario.
- Puerta de cargue: 24" x 24" apertura horizontal, sello de cordón de Asbesto.
- Puerta de remoción de Cenizas: 16" x 16" de apertura horizontal, sello de cordón de asbesto.
- Quemadores: Dos (2) para gas de 300 000 Btu/Hr. Por medio de arco eléctrico de transformador de ignición 120v/6000voltios.
- Control de llama: Electrónico por detección de foto celda.
- Control de temperatura: un control HONEYWELL, rango 0-1200°C tipo K.
- Ventiladores: Un ventilador de 3HP para los quemadores y uno de 1,5 HP para oxigenación de la cámara con válvula de accionamiento manual.
- Combustible: Gas.
- Temperatura de operación: 600-850°C.
- Voltaje de operación: 120-220 voltios (trifásico)

5. Datos de construcción.-

1. Diámetro de la cámara : 0,61 m
2. Longitud de la cámara : 7,0 m.
3. Espesor de la chapa del cilindro: 3/16 pulgadas.
4. Espesor del ladrillo refractario = 3 pulgadas
4. Reactor: Cilíndrico concéntricos con quemador de potencia: 19,70 Hp.
5. 15 aletas dentro del cilindro.
6. Velocidad de rotación de la cámara del reactor: 6 RPM
7. Ventilador: Para los quemadores
 - Velocidad: 1825 RPM
 - Velocidad de entrada del aire: 20 m/s
 - Cabeza estática: 40 m.m.c.a.
 - Potencia de motor: 3 hp.
8. Ventilador de 1,5 HP para oxigenación de la cámara con válvula de accionamiento manual.

B. Diseño del incinerador secundario o de post combustión (cámara superior).-

Procedimiento de diseño [17,18].-

1. Bases de diseño.

a) Alimentación: 100,8 kg/h de gas (furanos, dioxinas, vapor de agua)

$$\text{Caudal del gas} = 30,55 \text{ m}^3/\text{min}$$

b) Escala de producción: nivel industrial

c) Tipo de Proceso: oxidación química y descomposición térmica. Post combustión

d) Condiciones de operación:

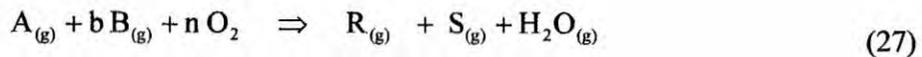
- Temperatura: 1000°C(1273,2 °K)
- Presión : 1 atm
- Conversión: 90%

e) Propiedades del Fluido gaseoso:

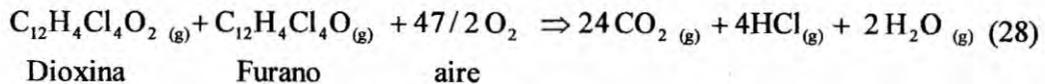
- Densidad del gas: 3,1 kg/m³
- Peso molecular del gas: 314 kg/ kmol
- Viscosidad del gas: 5,11x 10⁻⁵ kg/m.s.
- Composición del dioxina: 50%

f) Cinética de las Reacciones Químicas:

- Reacción Química:



- Mecanismo de la Reacción Química:



La reacción en la cámara superior, es de tercer orden global, siendo su ecuación de velocidad de reacción el siguiente:

$$-\frac{1}{V_{\text{mezcla reaccionante}}} \frac{dn_A}{dt} = k_v C_A C_B C_C \quad (28)$$

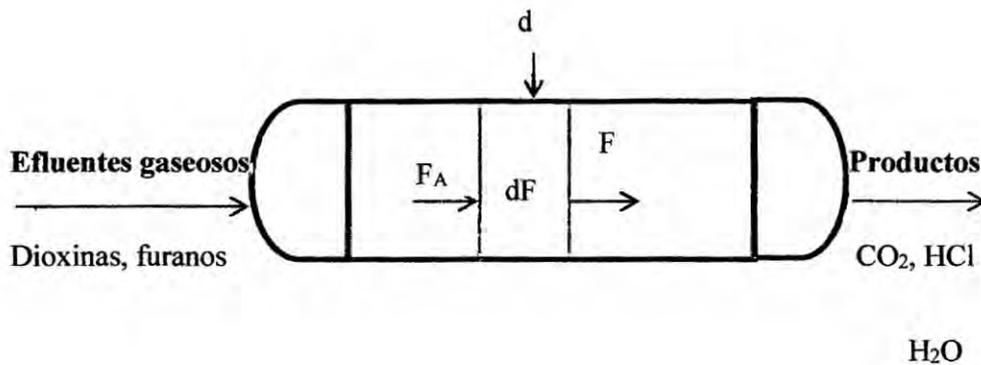
El tiempo de espacial de la reacción en la cámara superior es de 2 segundos (0,033 min)[].

f) Tipo de reactor: Reactor tubular no catalítico Gas – Gas

Modelo de Diseño:

Tipo de flujo: Pistón en cocorriente para el aire y la fase fluida

Balance de materia en el reactor tubular.



Por balance de Materia:

$$\left[\begin{array}{l} \text{El flujo de entrada} \\ \text{del reactante al sistema} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{l} \text{Velocidad de flujo} \\ \text{del reactante en} \\ \text{elementovolumen} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{l} \text{Velocidad de} \\ \text{desaparición} \\ \text{por Rxn} \\ \text{Química} \end{array} \right] \quad (29)$$

$$F_A = F_A + dF_A + (-r_A) dV \quad (30)$$

$$-\frac{dF_A}{dV} = (-r_A) \quad (31)$$

Ecuación diferencial de la velocidad de reacción a las condiciones de concentración, presión, y temperatura.

$$F_A = F_{A0} - F_{A0}X_A \quad (32)$$

$$F_A = F_{A0} (1 - X_A) \quad (33)$$

$$dF_A = -F_{A0}dX_A \quad (34)$$

F_{A0} = Flujo de alimentación inicial

$$\frac{F_{A0} dx_A}{dV} = (-r_A) \quad (35)$$

$$\frac{dV}{F_{A0}} = \frac{dx_A}{(-r_A)}$$

$$\int_0^V \frac{dV}{F_{A0}} = \int_0^{X_A} \frac{dx_A}{(-r_A)} \quad (36)$$

$$\tau = \frac{V}{Q_{A0}} = C_{A0} \int_0^{X_A} \frac{dx_A}{(-r_A)} \quad (37)$$

τ = tiempo espacial del reactor tubular de flujo pistón

2. Calculo de Capacidad:

La ecuación de Diseño es:

$$V_R = 1,2 V_{\text{mezcla reaccionante}} \quad (38)$$

$$V_{\text{mezcla reaccionante}} = \tau Q_{\text{gas}} \quad (39)$$

$$V_R = \frac{\pi}{4} D_i^2 * L \quad (40)$$

Caudal del gas que ingresa al reactor (calculo apéndice N° 4):

$$Q_{V \text{ gas}} = Q_{V \text{ gas efluente}} + Q_{V \text{ vapor agua}} + Q_{V \text{ aire}} \quad (41)$$

$$Q_{V \text{ gas}} = 46,6 \text{ m}^3/\text{min}$$

En la ecuación (39)

$$V_{\text{mezcla reaccionante}} = 46,6 \text{ m}^3/\text{min} \times 0,0333 \text{ min.} = 1,55 \text{ m}^3$$

$$V_R = 1,55 \text{ m}^3 \times 1,2 = 1,86 \text{ m}^3$$

$$V_R = 1,86 \text{ m}^3$$

La caída de presión en reactores tubulares según Ergun es:

$$\frac{\Delta p}{\rho_f} = \frac{2 f^* \Delta L \langle v^2 \rangle}{g_c D} \quad (42)$$

Factor de fricción para tubos de 2 pulgadas es 0,0050

Factor de fricción para tubos de 4 a 6 pulgadas es 0,0044

$$\text{Velocidad inicial: } V_0 = 4 Q_{\text{gas}} / \pi D^2 = 59,33 \text{ m}^3 / D^2$$

$$\text{Sabemos que: } V = V_0 (1 + \epsilon_A X_A) T / T_0 \times P_0 / P \quad (43)$$

$$\text{En la ecuación (43): } V = \frac{59,33}{D^2} \times \frac{1 \text{ atm}}{1073,2} (1 + 0,33 X_A) \frac{T}{P}$$

En la ecuación (42):

$$\Delta P = \frac{\rho_f \times 2 f^* \times \Delta L \left(\frac{5,52 \times 10^{-2}}{D^2} (1 + 0,33 X_A) \frac{T}{P} \right)^2}{D} \quad (44)$$

En la ecuación (44), reemplazando valores y por utilizando el método de prueba y error,

se tiene: $\Delta P = 0,95 \text{ atm}$,

$$D_{\text{Reactor}} = 0,582 \text{ m}$$

$$L_{\text{Reactor}} = 7,00 \text{ m}$$

3. Diseño de Detalles o dimensionamiento.-

Diseño del recipiente a presión:

Cálculo de espesor del recipiente cilíndrico

$$t = \frac{P \times R}{SE - 0,6P} + C \quad (45)$$

$$SE = 0,6P$$

t = espesor

P = presión de diseño

D = diámetro, in

S = esfuerzo permisible a la tensión acero inoxidable = 15 000 lb/in²

E = eficiencia de la junta = 1,00 recipiente sin costura

Presión de operación = 14,7 lb/ plg²

Presión de diseño = Máxima presión de operación + 15 Psig (P.O. < 250Psig)

Presión de diseño = 14,7 + 15 = 29,7 lb/ plg²

$$t = \frac{29,7 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2} \times 11,45 \text{ pulg}}{\frac{15000 \text{ lb}}{\text{pulg}^2} \times 1,0 - 0,6 \times 29,7 \text{ lb/pulg}^2} + 1/8 = 0,148 \text{ pulg} \cong \frac{3}{16} \text{ pulg}$$

Espesor del aislante de la cámara superior:

Calculo de la carga térmica dentro del reactor

$$Q_T \text{ gas caliente} = Q_T \text{ efluente} + Q_T \text{ aire caliente} \quad (46)$$

$$Q_T \text{ efluente} = 434 283 \text{ Kcal/h.}$$

$$Q_T \text{ aire caliente} = m_{\text{aire}} \times C_{p\text{aire}} (T_s - T_e) \quad (47)$$

$$Q_{T \text{ aire caliente}} = 525 \text{ Kg/h} \times 0,24 \text{ Kcal/ Kg } ^\circ\text{C} \times (1000 - 20) ^\circ\text{C} = 123\,480 \text{ Kcal/h}$$

$$Q_{T \text{ gas caliente}} = 434\,283 \text{ Kcal/h} + 123\,480 \text{ Kcal/h} = 557\,263 \text{ Kcal/h}$$

Asumiendo el 6% de pérdida respecto a un secador adiabático del calor introducido es:

$$Q = 33466 \text{ Kcal/hr}$$

Ecuación para hallar el espesor:

$$Q = \frac{k_f \approx A \approx \Delta T}{X(\text{espesor del aislante})} \quad (48)$$

Donde:

K = conductividad térmica del acero 316 = 14,03 Kcal/ m h °C

A = Área lateral del cilindro (cámara) = $\pi DL = 12,80 \text{ m}^2$

ΔT = Caída de temperatura = 10 °C

X = Espesor de la cámara

Despejado la ecuación anterior:

$$X = \frac{k_f \approx 2\pi r h \approx \Delta T}{Q}, \text{ reemplazando datos se tiene:}$$

$$X = \frac{14,03 \text{ Kcal/h -m - } ^\circ\text{C} \times \pi \times 0,582 \text{ m} \times 7 \text{ m} \times 10 ^\circ\text{C}}$$

$$33466 \text{ Kcal/h}$$

$$X = 5,37 \text{ cm} \approx 2 \text{ pulgada}$$

4. Especificaciones técnicas.-

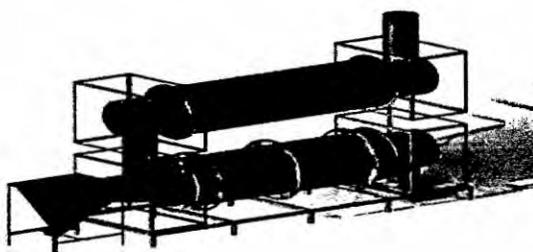
1. Estructura: Lamina de Acero H.R.
2. Aislante: 2" de vermiculite
3. Refractario: 4 ½" ladrillo refractario

4. Quemador: Quemador para gas 2 000 000 Btu/Hr.
5. Control de llama: Electrónico por detección de fotocelda
6. Control de temperatura: Un control PARTLOW MIC 2000, rango 0-1200°C tipo “K”.
7. Ventiladores: De 3 HP para el quemador y uno 819 de 1,5 HP para la oxigenación de la cámara con válvula de accionamiento manual.
8. Combustible: Gas
9. Temperatura de operación: 1000 – 1200°C

5. Datos de construcción.-

1. Diámetro de la cámara : 0,582 m
2. Longitud de la cámara : 7,0 m.
3. Espesor de la chapa del cilindro: 3/16 pulgadas.
4. Espesor del aislante = 2 pulgadas
5. Reactor: Cilíndrico concéntricos con quemador de potencia: 19,70 Hp.
6. Ventilador: Para los quemadores
 - Velocidad: 1825 RPM
 - Velocidad de entrada del aire: 20 m/s
 - Cabeza estática: 40 m.m.c.a.
 - Potencia de motor: 3 hp.
7. Ventilador de 1,5 HP para oxigenación del reactor con válvula modulada.

6. Esquema del reactor de Incineración de residuos sólidos hospitalarios.-



5.1.2. Diseño de la tolva de alimentacion. Procedimiento de diseño.-

1. Bases de diseño.

- a) Alimentación: 112,1 kg/h de residuo sólido hospitalario
- b) Tipo de operación: alimentación al reactor de incineración, combustión (primaria), almacenar en periodo corto de tiempo y cargar la materia en forma continua.
- c) Tipo de geometría: cilindro con fondo cónico equilátero.
- d) Propiedades del Fluido solido:
 - Densidad aparente: 400- 700 Kg/m³
 - Granulometría y Porosidad: El tamaño de las partículas tiene que ser mayor 25mm sobre el 90% del producto (imperativo legislativo)

2. Cálculo de la capacidad

Volumen que ocupa los residuos sólidos hospitalarios:

$$V = m/\rho \quad (49)$$

Donde:

V: volumen del sólidos (m³)

m: masa del residuos sólidos de granulometría inadecuada (Kg)

ρ : densidad del grano (Kg/m³)

$$V = 112,1 \text{ Kg} \times \text{m}^3 / 600 \text{ Kg} = 0,19 \text{ m}^3$$

Consideramos un factor de diseño de $f = 1.2$

$$V_t = 0,19 \times 1.2 \text{ m}^3 = 0,2242 \text{ m}^3$$

3. Dimensionamiento.-

El volumen de la tolva balanza está dado por:

$$V_t = V_c + V_{cl} \quad (50)$$

Donde:

V_c : volumen de la parte cónica (m^3)

V_{cl} : volumen de la parte cilíndrica (m^3)

Consideramos: $V_c = 40\% V_t$ y $V_{cl} = 60\% V_t$

→ $V_c = 0,09 m^3$ y $V_{cl} = 0,1345 m^3$

$0,09 = \pi \cdot r^2 \cdot h/3 = \text{tag}(30) = 0.5777$

→ $h = 0,57 m$; $r = 0,3 m$

$V_{cl} = 0,1345 = \pi \cdot r^2 \cdot H \rightarrow H = 0,48 m$

Altura total que ocupa este equipo = $h + H = 0,57 + 0,48 = 1,05 m$

5.1.3. Diseño de la caldera. Procedimiento de diseño.-

Procedimiento de diseño.-

1. Bases de diseño.

La caldera es diseñada para optimizar el calor que emiten los gases efluentes provenientes de los reactores.

a) Alimentación: $46,6 m^3/\text{min}$ de gas caliente efluentes de los dos reactores de incineración fluyen por el interior de los tubos y el agua circula externamente a los tubos.

b) Potencia de trabajo: mediana presión de 30 a 300 Psia ($2,11$ a $21,9 \text{ kgf/cm}^2$)

c) Tipo de caldero: Piro-tubular.

d) Posición de los tubos: horizontales

e) Condiciones de diseño:

- Temperatura: 1000°C ($1273,2^\circ\text{K}$)
- Presión de diseño : 18 Kgf/cm^2

f) Propiedades del Fluido gaseoso:

- Densidad del gas: $3,1 \text{ kg/m}^3$
- Peso molecular del gas: 314 kg/kmol
- Viscosidad del gas: $5,11 \times 10^{-5} \text{ kg/m.s.}$

2. Calculo de Capacidad:

Calculo de la carga térmica total (Q_T):

$$Q_T = Q_{T \text{ efluente}} + Q_{T \text{ aire}} \quad (51)$$

$$Q_{T \text{ aire}} = m_{\text{aire}} C_{p \text{ aire}} (T_s - T_e) \quad (52)$$

$$Q_{T \text{ aire}} = 849,8 \text{ kg/h} \times 0,24 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C} (1000 - 20) ^\circ\text{C} = 199\,873 \text{ kcal/h}$$

$$Q_{T \text{ aire}} = 199\,873 \text{ kcal/h}$$

$$Q_{T \text{ efluente}} = 392\,350 \text{ kcal/h}$$

$$Q_T = 199\,873 \text{ kcal/h} + 392\,350 \text{ kcal/h} = 592\,223 \text{ kcal/h}$$

$$Q_T = 592\,223 \text{ kcal/h} = 2\,348\,600 \text{ BTU/h}$$

Esta carga térmica nos genera una caldera con una potencia de trabajo de:

$$P_{\text{trabajo}} = 2\,348\,600 \text{ BTU/h} \times 1 \text{ BHp} / 33500 \text{ BTU/h} = 70,10 \text{ BHp}$$

$$P_{\text{trabajo}} = 70,10 \text{ BHp}$$

1 BHp produce $34,5 \text{ lb vapor/h m}$, entonces:

$$m_v = 70,10 \text{ BHp} \times 34,5 \text{ lb vapor / BHp} = 2419 \text{ lb/h de vapor} = 1097,1 \text{ kg/h vapor}$$

Estas calderas de $70,10$ generan vapor desde 120 psi hasta un máximo de 150 psi ($8,44 \text{ kgf/cm}^2$ a $10,5 \text{ kgf/cm}^2$), asimismo que estas calderas de mediana presión pueden generar vapor con una presión de trabajo desde $6,8,10, 13,16,18,20,22, 25 \text{ bar}$ para turbinas de vapor generadoras de electricidad desde 1 Hp hasta $2\,000\,000 \text{ Hp}$ [Siemens AG, 2009].

Los datos termodinámicos del vapor generado para estas condiciones son:

Condiciones de entrada:

$$P = 1 \text{ kgf/cm}^2$$

$$T = 70 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$C_{p\text{agua}} = 1 \text{ kcal/kg }^\circ\text{C}$$

h_{salida} = entalpia del líquido subenfriado

$$\int_0^1 dh = \int_0^{70} C_p dT$$

(53)

Entonces: $h_{\text{entrada}} = 1 \text{ kcal/kg }^\circ\text{C} (70 - 0)^\circ\text{C} = 70 \text{ kcal/kg}$

$$h_{\text{entrada}} = 70 \text{ kcal/kg}$$

Condiciones de salida del vapor:

$$P = 8,44 \text{ kgf/cm}^2.$$

$$T = 204^\circ\text{C} \text{ (vapor recalentado),}$$

$$h_{\text{salida}} = 680,3 \text{ kcal/kg (tablas)}$$

$$h_{fg} = 597,85 \text{ kcal/kg (a } 100 \text{ }^\circ\text{C, tablas)}$$

Calculo de la potencia de la caldera

$$\text{BHp} = \frac{m_v (h_{\text{salida}} - h_{\text{entrada}})}{h_{fg} \times 15,44} \quad (54)$$

Reemplazando en la ecuación (51), tenemos:

$$\text{BHp} = \frac{1097,1 \text{ kg/h} (680,3 - 70) \text{ kcal/kg}}{597,27 \text{ kcal/kg} \times 15,44}$$

$$\text{BHp} = 72,61 \text{ BHp}$$

La potencia de diseño ($P_{\text{diseño}}$) es superior a la potencia de trabajo por consiguiente se añade un 20 % más de la potencia de trabajo.

$$P_{\text{diseño}} = 72,61 \times 1,2 = 87,13 \text{ BHp} \approx 87,2 \text{ BHp}$$

$$P_{\text{diseño}} = 87 \text{ BHp}$$

Con la potencia de diseño se calcula el flujo másico del vapor de diseño que proporciona este caldero, se construye con esta potencia para prever cualquier inconveniente en a la unidad de producción, entonces:

$$m_v = \frac{BH_p h_{fg} \times 15.44}{(h_{salida} - h_{entrada})} \quad (55)$$

$$m_v = \frac{87 BH_p \times 597.2 \text{ kcal/h} \times 15.44}{(680.3 - 70) \text{ kcal/kg}}$$

$$m_v = 1315 \text{ kg/h} = 2898 \text{ lb/h}$$

3. Diseño de detalles o dimensionamiento.-

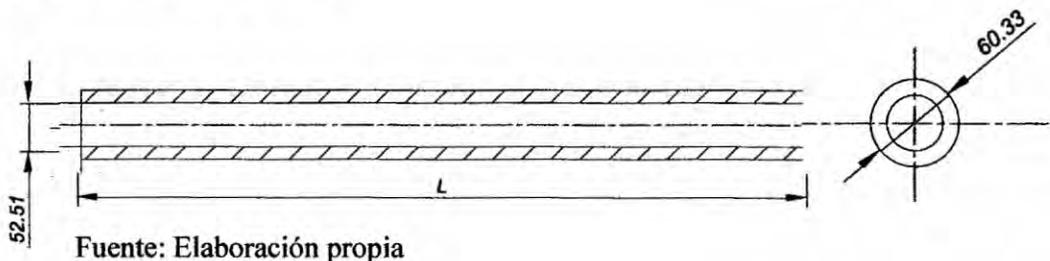
Diseño de la carcasa o cuerpo de la caldera [15,16]:

La carcasa está conformado por: Coraza, 2 espejos, 2 carretes, 2 tapas, tubos, hogar.

Diseño de los tubos:

Calculo del diámetro:

Para calderas de potencias relativamente bajas los fabricantes recomiendan tubos sin costura [Guía técnica de operación y mantenimiento de calderas, Normatec, 2003], con las siguientes características:



Tubos de diámetro nominal NPS, ASTM A-312 $\varnothing = 2''$ (anexo A1).

Presión interna de trabajo = 2180 Psi (153Kg/cm²)

ASTM A-312

$D_0 = 60,33$ mm (diámetro externo)

$D_i = 52,51$ mm (diámetro interno)

$e = 3,91$ mm (espesor)

Calculo de la longitud del tubo:

La longitud de los tubos se da por modelos experimentales en los que cada una de ellas es una función de la potencia [Guía técnica de operación y mantenimiento de calderas, Normatec, 2003], así, tenemos.

$$L = (0,048 \times \text{BHp} + 0,3) \quad (56)$$

$$L = 0,048 \times 87 \text{ BHp} + 0,3 = 4,476$$

$$L_{\text{tubo}} = 4,476 \text{ m}$$

Calculo del área de cada tubo:

$$A_t = \pi \times D \times L \quad (57)$$

$$A_t = \pi \times 0,06033 \text{ m} \times 4,476 \text{ m} = 0,89 \approx 0,9 \text{ m}^2$$

$$A_t = 0,9 \text{ m}^2$$

Calculo del área de calefacción:

$$\text{Área de calefacción} = 0,465 \times \text{BHp} - 0,004 \quad (58)$$

$$\text{Área de calefacción} = 0,465 \times 87 \text{ BHp} - 0,004 = 40,45 \text{ m}^2$$

Calculo de número de tubos:

$$\text{Numero de tubos} = \frac{\text{Área de calefacción}}{\text{Área exterior del los tubos}} \quad (59)$$

$$\text{Numero de tubos} = \frac{40,45 \text{ m}^2}{\pi \times 0,0633 \times 4,476} = 45,44 \approx 46 \text{ tubos}$$

Calculo del peso total de los tubos

$$V = a \times L \times e \quad (60)$$

$$V = \pi \times 0,0633 \times 4,476 \times 3,91 \times 10^{-3} = 3,48 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

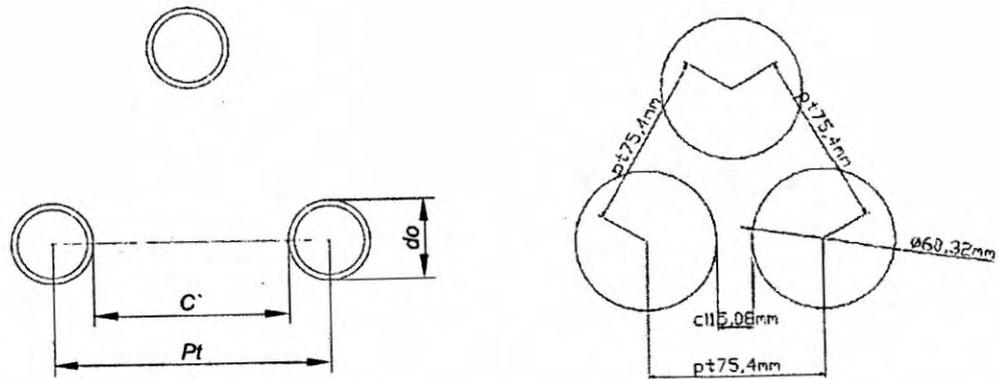
$$\text{Peso} = V \times \rho \quad (61)$$

$$\text{Peso} = 3,48 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \times 7200 \text{ kg/m}^3 = 25,06 \text{ kg/tubo}$$

$$\text{Peso total de tubos} = 25,06 \text{ kg/tubo} \times 46 \text{ tubos}$$

$$\text{Peso total de tubos} = 1153 \text{ kg}$$

Distribución de los tubos en el espejo:



Calculo de P_t :

$$P_t = 2 \text{ radios} \times d_o \quad (62)$$

$$P_t = 1,25 \times 60,33 = 75,4 \text{ mm}$$

Calculo de C' :

$$C' = 0,25 \times d_0 \quad (63)$$

$$C' = 0,25 \times 60,33 = 15,08 \text{ mm}$$

Calculo del diámetro del espejo.

Los fabricantes de calderas recomiendan que el diámetro del espejo sea de 1,06m para calderos con una potencia de hasta 100 BHP y 10 mm de espesor mínimo, por lo tanto:

$$D_{\text{espejo}} = 1,06 \text{ m}$$

Calculo del diámetro del hogar:

El hogar es un tubo cuyo diámetro debe de estar en el 40% y 45% del diámetro del espejo.

$$D_{\text{hogar}} = 42,5\% \times \text{diámetro del espejo} \quad (64)$$

$$D_{\text{hogar}} = 0,425 \times 1,06 = 0,451 \text{ m}$$

$$D_{\text{hogar}} = 0,451 \text{ m}$$

Diseño del área para acumulación del vapor:

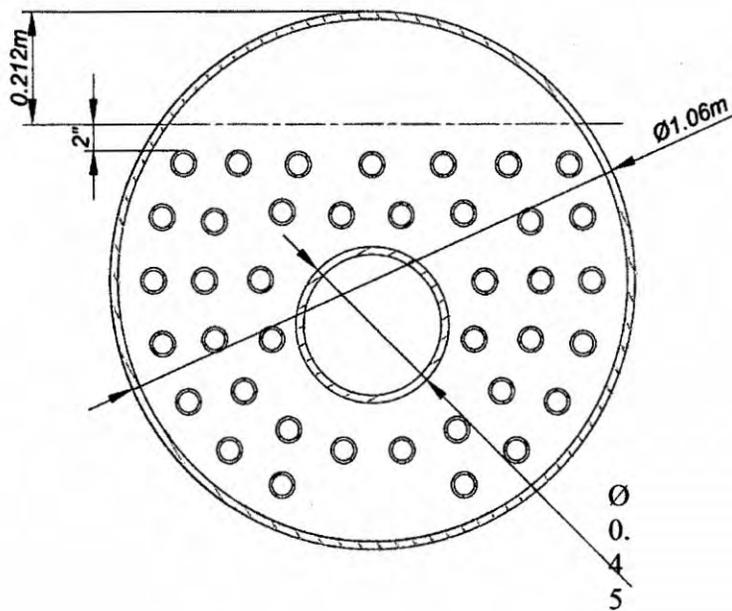
El área de acumulación de vapor se encuentra en la parte superior del espejo, está a la altura entre el agua y el domo, y es de un 20% del diámetro del espejo.

Altura de acumulador de vapor (H_a) = 20% del diámetro del espejo.

$$H_a = 0,2 \times D_{\text{espejo}} \quad (65)$$

$$H_a = 0,2 \times 1,06 \text{ m} = 0,212 \text{ m}$$

$$H_a = 0,212 \text{ m}$$



Área de acumulación de vapor

Diseño del sistema de agua de alimentación a la caldera.

El sistema de agua de alimentación a la caldera incluye dos subsistemas:

1. Sistema de alimentación de agua desde el tanque hacia la caldera.
2. Sistema de alimentación de agua de la cisterna hacia el tanque de alimentación que repone las pérdidas.

Para los dos subsistemas el procedimiento de diseño es como sigue:

a) Capacidad de evaporación de la caldera.

Se obtiene considerando que por cada BHP de capacidad de la caldera se necesita suministrar 0,069 GPM, [Guía técnica de operación y mantenimiento de calderas, Normatec, 2003], es decir:

$$87 \text{ BHP} \times \frac{0.069 \text{ GPM}}{1 \text{ BHP}} = 6,0 \text{ GPM}$$

b) Diseño del tanque de alimentación de agua.

El tanque de alimentación de agua a la caldera debe de entregar un caudal constante durante 30 minutos (Q_{agua}), debe llenarse hasta un máximo del 70%. La caldera requiere un suministro de agua 1,104 GPM, entonces:

El volumen necesario para suministrar 30 minutos

$$V = Q_{\text{agua}} \times t \tag{66}$$

$$V = 6,0 \text{ GPM} \times 30 \text{ min} / 0,7 = 257 \text{ galones}$$

$$V_{\text{tanque}} = 257 \text{ galones} =$$

Dimensiones:

$$V_{\text{tanque}} = \pi/4 D^2 \times L \tag{67}$$

$$L/D = 3 \tag{16}$$

$$D_{\text{tanque}} = \sqrt[3]{\frac{4 \times V_T}{3\pi}} \tag{68}$$

$$D_{\text{tanque}} = \sqrt[3]{\frac{4 \times 0,1893}{3\pi}} = 0,432 \text{ m}$$

$$D_{\text{tanque}} = 0,432 \text{ m}$$

$$L_{\text{tanque}} = 3 \times 0,432 = 1,296 \text{ m}$$

c) Diseño del sistema de tuberías [15,24].

Tipo de operación: Intermitente para caldera de mediana presión, así como para la alimentación y reposición a la caldera.

Temperatura a la succión:

Para el caso del sistema de reposición, la temperatura de succión es 21 °C, puesto que toma el agua de la cisterna y se encuentra a temperatura ambiente.

Para el caso del sistema de alimentación a la caldera, la temperatura de succión es 90 °C, Puesto que toma el agua del retorno del condensado.

d) Caudal o capacidad que debe transportar.

Consumo de agua: 6,0 GPM

Caudal de diseño:

$Q_{\text{diseño}} = Q_{\text{operacion}} [(1,5 \text{ a } 2,0) \text{ veces de la capacidad de evaporación de la caldera}]$ (66)

$$Q_{\text{diseño}} = 6,0 \times 2 = 12,0 \text{ GPM}$$

Para el sistema de reposición se considera reponer el 40% del consumo de agua de la caldera debido a purgas y pérdidas de vapor flash en el retorno del condensado.

$$Q_{\text{diseño}} = 0,4 \times 6,0 = 2,4 \text{ GPM}$$

$Q_{\text{diseño}} = 2,4 \text{ GPM}$

e) Presión de descarga [11,16].

Para sistema de reposición: Se emplea tubería $\frac{3}{4}$ pulgada con una pérdida de 7,27 m por cada 100 m.

Para sistema de alimentación a la caldera: Se emplea tubería 1 pulgada con una pérdida de 9,50 m por cada 100 m.

En la siguiente tabla se muestra:

Tabla N°2. Pérdidas de carga en el sistema de agua de alimentación.

	Reposición, m	Alimentación a la caldera, m
Altura	9,50	2,50
Longitud	12,00	14,50
Pérdidas por fricción	0,87	1,38
Pérdidas menores	0,45	0,92
Pérdidas totales	1,32	2,29

Fuente: Spirax Sarco "Design of fluid systems" 1991.

Calculo de la carga total de la bomba, (HEAD, H_T)

Aplicamos la primera ley de la termodinámica expresada por medio de la ecuación de energía mecánica aplicada a un fluido incompresible[21,24].

$$H_T = \left(\frac{P_2 - P_1}{\rho g / \epsilon_c} \right) + (Z_2 - Z_1) + h_{L1-2} + \Delta P_{\text{Adicional}} \quad (69)$$

Datos: $\rho_{\text{agua}} = 1000 \text{ kg/m}^3$, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$, , $g_c = 9,81 \text{ km} \cdot \text{m} / \text{kgf} \cdot \text{s}^2$

Capacidad de la bomba para agua de reposición:

Punto 1: Es el cisterna, $P_1 =$ Presión atmosférica = 101,32 kPa.

Punto 2: Recipiente de condensado, $P_2 = 620,53$ kPa.

Los valores de $Z_2 - Z_1 = 9,5$ m (tabla N°2.)

Los valores de $h_{L1-2} = 1,32$ m. (tabla N°2.)

$\Delta P_{\text{adicional}} = 8,44$ m (tabla N°2.)

En la ecuación (69):

$$H_T = \frac{(620,53 - 101,32) \text{ kPa}}{1000 \text{ kg/m}^3} + 9,5 \text{ m} + 1,32 \text{ m} + 8,44 \text{ m} = 72,2 \text{ m} \approx 73 \text{ m}$$

$H_T = 73$ m.

$Q_B = 0,138$ L/s

La potencia del bomba.

$$P_B = \frac{Q_B \times H_T}{76 \eta} \quad (70)$$

$$P_B = \frac{0,138 \text{ L/s} \times 73 \text{ m}}{76 \times 0,6} = 0,221 \times 1,5 = 0,332 \text{ HP} \approx \frac{1}{2} \text{ HP}$$

Los fabricantes recomiendan electro bomba de $\frac{3}{4}$ HP, 3450 RPM y una capacidad de 5 GPM.

Capacidad de la bomba para la alimentación de agua a la caldera:

Punto 1: Recipiente de condensado, $P_1 = 620,53$ kPa = 63 262,52 Kg/m².

Punto 2: Caldera, $P_2 = 10,5 \text{ kgf/cm}^2$ mas 172,37 kPa según recomendación de fabricantes[24].

Entonces: $P_2 = 122 \text{ 573 kgf/m}^2$

Los valores de $Z_2 - Z_1 = 2,5 \text{ m}$ (tabla N°)

Los valores de $h_{L1-2} = 2,2 \text{ m}$. (tabla N°)

$\Delta P_{\text{adicional}} = 8,44 \text{ m}$ (tabla N°)

En la ecuación (67):

$$H_T = \frac{(122 \text{ 573} - 63 \text{ 262,52}) \text{ lbf/m}^2}{1000 \text{ kg/m}^2} + 2,50 \text{ m} + 2,29 \text{ m} = 64,10 \text{ m} \approx 65 \text{ m}$$

$H_T = 65 \text{ m}$.

$Q_B = 0,138 \text{ L/s}$

La potencia del bomba.

$$P_B = \frac{Q_B \times H_T}{76 \eta} \quad (71)$$

$$P_B = \frac{0,138 \text{ L/s} \times 65 \text{ m}}{76 \times 0,6} = 0,1976 \times 1,5 = 0,30 \text{ HP} \approx \frac{1}{2} \text{ HP}$$

Los fabricantes recomiendan electro bomba de $\frac{3}{4}$ HP, 3450 RPM y una capacidad de 5 GPM.

4. Especificaciones técnicas.-

1. Estructura: Lamina de Acero 312.

2. Aislante: 1" de vermiculite

3. Posición de tubos horizontal
4. Quemador: Quemador para gas 2 000 000 Btu/Hr.
5. Operación: automática
6. Control de temperatura: Un control PARTLOW MIC 2000, rango 0-1200°C tipo “K”.
7. Configuración del flue horizontal según código ASME PFT-15, cilindro liso.
8. Cámara de fuego, casco y placa debe ser de material SA.515, planchas de acero al carbono para presión media y alta temperatura.
9. Las tuberías de la caldera y tubos de fuego deben de ser de material ASTM A312.
10. Temperatura de operación: 20 – 250°C
11. Los gases de calefacción fluyen por el interior del tubo
12. El baffle o filtro de vapor debe ser instalada internamente al acople de la salida del vapor.
13. La alimentación del agua al caldero debe ser controlada automáticamente por medio de una válvula de ¾ pulgadas y alimentada por una electrobomba.
14. El sistema de seguridad mecánico debe instalarse una o varias válvulas de seguridad.
15. Debe llevar un cople para la purga de los sedimentos – caliche por el fondo de la caldera

5. Datos de construcción.-

1. Potencia : 87 BHp
2. Operación : Automática
3. Producción de vapor : 1315 kg/h (2898 lb/h)
4. Superficie de calefacción: 40,45 m²
5. Presión de diseño : 150 Psi (10,5 kgf/ cm²)
6. Presión de trabajo : 120 Psi (8,44 kgf/ cm²)
7. Diámetro del casco : 42 pulgadas (1,067 m)
8. Longitud de la casco : 1,282 m.
9. Diámetro del espejo : 1,06 m
10. Espesor de la chapa del cilindro: 1/2 pulgadas.
11. Espesor del aislante = 1 pulgadas
12. Área total de los Tubos: 0,2 m².
13. Número de tubos : 38 tubos
14. Diámetro externo del tubo : 60,33 m.m
15. Diámetro interno del tubo : 52,51 m.m
16. Espesor del tubo : 3,91 m.m
17. Longitud del tubo : 4,476 m

18. Distribución de los tubos : triangular con $P_t = 75,4 \text{ m.m}$ y $C' = 15,08 \text{ m.m}$

19. Diámetro del hogar : 0,451 m

20. Altura de acumulador de vapor: 0,212 m

21. Tanque para la alimentación de agua:

- Volumen del tanque: $0,097 \text{ m}^3$ (26 galones)
- Diámetro : 0,345 m
- Longitud : 1,035m.

22. Bomba de alimentación de agua al tanque (reposición) .

- Caudal : 6,0 GPM
- Diámetro tubería : $\frac{3}{4}$ pulgada
- Velocidad de entrada : 20 m/s
- Cabeza estática : 73 m.
- Potencia de bomba : $\frac{1}{2}$ hp.

23. Bomba de alimentación de agua a la caldera.

- Caudal : 12,0 GPM
- Diámetro tubería : 1 pulgada
- Velocidad de entrada : 20 m/s
- Cabeza estática : 65 m.
- Potencia de bomba : $\frac{1}{2}$ hp.

5.2. Diseño de equipos de uso genérico.-

5.2.1. Diseño de la turbina generador de electricidad [14].

Procedimiento de diseño.-

a) Bases de diseño:

Tipo de turbina: Turbina de condensación.

Presión de vapor: 10,5 Kgf /cm² (150 Psi)

Temperatura de entrada del vapor: 204 °C

Consumo teórico de vapor: 1315 kg de vapor /h, es el caudal de vapor en kg/h que debe circular por la turbina para producir la misma potencia.

1 BHP = 33 475 BTU/h (BHP es la cantidad de calor necesaria que se debe suministrar para evaporar 34,5 lb de agua por hora desde 212 °F a 210 °F).

b) Calculo de capacidad.

La turbina extrae a la caldera la siguiente potencia:

$$P_{\text{extraída}} = 72,1 \text{ BHP} \times \frac{33\,500 \text{ BTU/h}}{1 \text{ BHP}} \times \frac{1 \text{ HP}}{2545 \text{ BTU/h}} = 949 \text{ HP}$$

$$P_{\text{extraída}} = 949 \text{ HP}$$

$$P_{\text{disponible turbina}} = 949 \text{ HP} \times \frac{0,746 \text{ KW-h}}{1 \text{ HP}} = 708 \text{ kw-h}$$

Ahora definimos:

Potencia a la entrada del generador de electricidad (P_{eg})

$$(P_{eg}) = P_{\text{disponible turbina}} = 949 \text{ kw-h.}$$

Potencia disponible del eje de transmisión (P_{eje})

$$(P_{eje}) = P_{\text{disponible turbina}} \times C_p \quad (72)$$

C_p = coeficiente de potencia del rotor de la turbina $0 \leq C_p \leq 0,592$

$$(P_{eje}) = 949 \text{ kw-h} \times 0,592 = 562 \text{ kw-h.}$$

Potencia de salida del generador de electricidad (P_{sg})

$$(P_{sg}) = P_{eje} \times \eta_{tr} \quad (73)$$

η_{tr} = Eficiencia de la transmisión = 0,98

$$(P_{sg}) = 562 \text{ kw-h.} \times 0,98 = 550,6 \text{ kw-h}$$

Calculo de la cantidad de corriente que produce el generador

$$P_{sg} = \text{Voltaje} \times I \text{ (Cantidad de corriente)} \quad (74)$$

$$\text{Cantidad de corriente (Amper)} = \frac{P_{sg}}{\text{Voltaje}} \quad (75)$$

$$\text{Cantidad de corriente (Amper)} = \frac{550600 \text{ w}}{220 \text{ voltios}} = 2503 \text{ amperios por hora}$$

c) Especificaciones.

1. Turbina de condensación para la producción de energía eléctrica local de una potencia de 562 kw-h.
2. Rendimiento del generador 98%
3. Vapor debe fluir axialmente por los alabes

4. La turbina debe tener las siguientes dimensiones:

Largo: 1m

Ancho: 1m

Altura: 1,5 m

5.2.2. Diseño de la faja transportadora de residuos sólidos hospitalarios al reactor de incineración [18].

Procedimiento de diseño.-

a) Bases de diseño:

Material a transportar : Residuos sólidos hospitalarios

Capacidad requerida : 112,1 Kg/h

Granulometría del material : 4,41 cm

Gravedad específica (S) : 1,5 kg/h

Longitud horizontal de transporte: 4 m

Rodillos de soporte y ángulo de concavado: 35° grados de inclinación de rodillo

Angulo de inclinación de la cinta: 18° (tablas).

Coefficiente de corrección por inclinación de cinta 18°: 0,85

Velocidad de la cinta : 0,5 m/s

b) Calculo de la capacidad.-

Capacidad teórica =
$$\frac{\text{Capacidad real}}{\text{coeficiente de correccion de concavado y descarga x coef.inclinacion}}$$

Capacidad teórica =
$$\frac{112,1 \text{ kg/h}}{0,85} = 131,9 \text{ kg/h}$$

$$1,303 * 0,85$$

Con esta capacidad teórica, para una velocidad 0,5 m/s le corresponde un ancho de la faja transportadora de 900 mm (tabla, Industrias Pirelli)

Calculo de la potencia efectiva, P [Diseño de transportadores, según John Perry 4^o edición]:

$$P = \frac{P_t}{\eta_1 * \eta_2} \quad (76)$$

Donde:

P_t = Potencia teórica en hp

Q = peso de la carga en Kg/m = 124,6 Kg/m

η_1 = rendimiento de transporte de polea = 0,8

η_2 = rendimiento del reductor = 0,98

q_1 = peso de la parte móvil del tramo superior = 6,6 kg/m

q_2 = peso de la parte móvil del tramo inferior = 0,7 kg/m

f = coeficiente de fricción producida por Q = 0,33 Kg/m

f_1 = coeficiente de fricción producida por q_1 = 0,33 Kg/m

f_2 = coeficiente de fricción producida por q_2 = 0,05 Kg/m

F_t = Fuerza total de tracción, Kg.

L = longitud de transporte del material = 4 m

$$F_t = Q * f * L + L(q_1 f_1 + q_2 f_2) \quad (77)$$

$$F_t = 124,6 \text{ Kg/m} * 0,33 * 4\text{m} + 4\text{m}(6,6 * 0,33 + 0,7 * 0,05)\text{Kg/m}$$

$$F_t = 173,33 \text{ kg}$$

Ahora.

$$P_t = \frac{F_t * v}{75} \quad (78)$$

$$P_t = \frac{173.33 \text{ Kg} \cdot 0,5 \text{ m/s}}{75}$$

$$P_t = 1,2 \text{ hp}$$

En la ecuación 76, tenemos:

$$P_t = \frac{1,2}{0,8 \cdot 0,98}$$

$$P_t = 1,45 \text{ hp} \approx 1,5 \text{ hp}$$

5.2.3. Diseño del molino cortador de martillo. Procedimiento de diseño.-

Potencia consumida por el molino Kw h/TM.

$$P = w_i \left(\frac{100}{\text{prod}} \right)^{1/2} * \left(\frac{\sqrt{r}-1}{\sqrt{r}} \right) \quad (79)$$

W_i = Índice de trabajo (Tabla de Perry) = 6

$$\sqrt{r} = \left(\frac{F}{P} \right)^{1/2} \quad (80)$$

F = Tamaño de partícula alimentada = 4,41 cm

P = Tamaño de partícula del producto que es a 2,5 cm

Reemplazando en la ecuación 78:

$$\sqrt{r} = \left(\frac{4,41}{2,5} \right)^{1/2} = 1,33$$

$$P = 6 * \left(\frac{100}{2,5} \right)^{1/2} * \left(\frac{1,33 - 1}{1,33} \right) = 9,42 \text{ Kw h/TM}$$

$$\frac{9,42 \text{ Kw h}}{\text{TM}} * \frac{1,34 \text{ hp h}}{\text{Kw h}} * \frac{0,1121 \text{ TM}}{\text{h}} = 1,42 \text{ hp} \approx 1,5 \text{ hp}$$

5.3. Listado de los equipos y maquinarias de la planta industrial.-

Cuadro N°44. Lista de equipos y maquinarias

Especificaciones	Capacidad m ³	Unidad	Potencia hp
Reactor- incinerador gas solido	2,0	1	
Reactor- postcombustión	1,33	1	
Caldero pirotubular	242 kg vapor/ h, 150 Psi	1	16 BHP
Bombas	2,2 GPM	2	1/2
Turbina		1	211
Generador de electricidad	450 amperios	1	200 kw-h
Faja transportadora	125 kg/m	1	1,5
Sopladores		3	1/2
Tolva de alimentación		1	
Molino cortador de martillo		1	1,5
Tanque de agua de alimentación a la caldera	0,190 (50 galones)	1	
Enfriador de gases		1	

Fuente: Elaboración propia

5.4. Disposición de Planta (Plan Layout)

Para la distribución de la planta para el tratamiento de residuos sólidos hospitalarios se ha tomado las siguientes áreas:

SS (Superficie Estática)

SG (Superficie Gravitacional)

SE (Superficie Evolutiva)

Determinación de la Superficie Estática y gravitacional de los equipos:

Molino:

$$SS = 0,6m \times 1m = 0,6m^2$$

$$Sg = SS \times 4 = 2,4m^2$$

Reactor- incinerador:

$$SS = 0,61 \text{ m} \times 7 \text{ m} = 4,3 \text{ m}^2$$

$$Sg = 2 * SS = 8,54 \text{ m}^2$$

Reactor- postcombustión:

$$SS = 0,492 \text{ m} \times 7 \text{ m} = 3,45 \text{ m}^2$$

$$Sg = 2 * SS = 6,9 \text{ m}^2$$

Faja transportadora:

$$SS = 1 \text{ m} \times 4 \text{ m} = 4,0 \text{ m}^2$$

$$Sg = 2 * SS = 8,0 \text{ m}^2$$

Caldero:

$$SS = 1,068 \text{ m} \times 1,6 \text{ m} = 2,60 \text{ m}^2$$

$$Sg = 2 * SS = 5,2 \text{ m}^2$$

Bombas:

$$SS = 0,6 \text{ m} \times 0,6 \text{ m} = 0,36 \text{ m}^2$$

$$Sg = 4 * SS = 1,44 \text{ m}^2$$

Tanque de alimentacion de agua a la caldera:

$$SS = 0,432 \text{ m} \times 1,296 \text{ m} = 0,56 \text{ m}^2$$

$$Sg = 4 * SS = 1,12 \text{ m}^2$$

Turbina y generador de electricidad: La turbo maquinaria y electro maquinaria, son ubicadas por encima de la caldera.

Tanque de agua:

Estos tanques estarán ubicados por encima de los reactores, para disminuir el área de proceso y por ende los costos.

Para determinar la Superficie evolutiva se empleara la siguiente expresión:

$$SE = k \times (SG + SS) \quad (81)$$

Donde: $K= 0.6$ (Para industrias químicas)

Con las ecuaciones mostradas anteriormente podemos resumir nuestros cálculos en el cuadro N°44, y el área total de la planta se ha evaluado teniendo en cuenta el área del proceso, área futura y el área administrativa.

Cuadro N°45. Área del proceso.

EQUIPO	Unidades	SS	SG	SE	Área total(m ²)
Reactor-incinerador	1	4,3	8,54	7,704	20,54
Reactor- postcombustión	1	3,45	6,9	6,21	16,6
Caldero pirotubular	1	2,60	6,9	5,7	15,2
Bombas	2	0,36	1,44	1,08	5,8
Turbina	1	1,12	2,3	2,05	5,47
Generador de electricidad	1	0,36	1,44	1,08	2,88
Faja transportadora	1	4,0	8,0	7,2	19,2
Sopladores	2	0,538	2,154	1,62	8,62
Tolva de alimentación	1	0,25	1,00	0,75	2,00
Molino cortador de martillo	1	0,6	2,4	1,8	4,8
Tanque de agua de alimentación a la caldera	1	0,56	1,12	1,01	2,7
Reserva					31,14
Total					135

Fuente: Elaboración propia

Calculamos el área administrativa teniendo en cuenta las siguientes áreas:

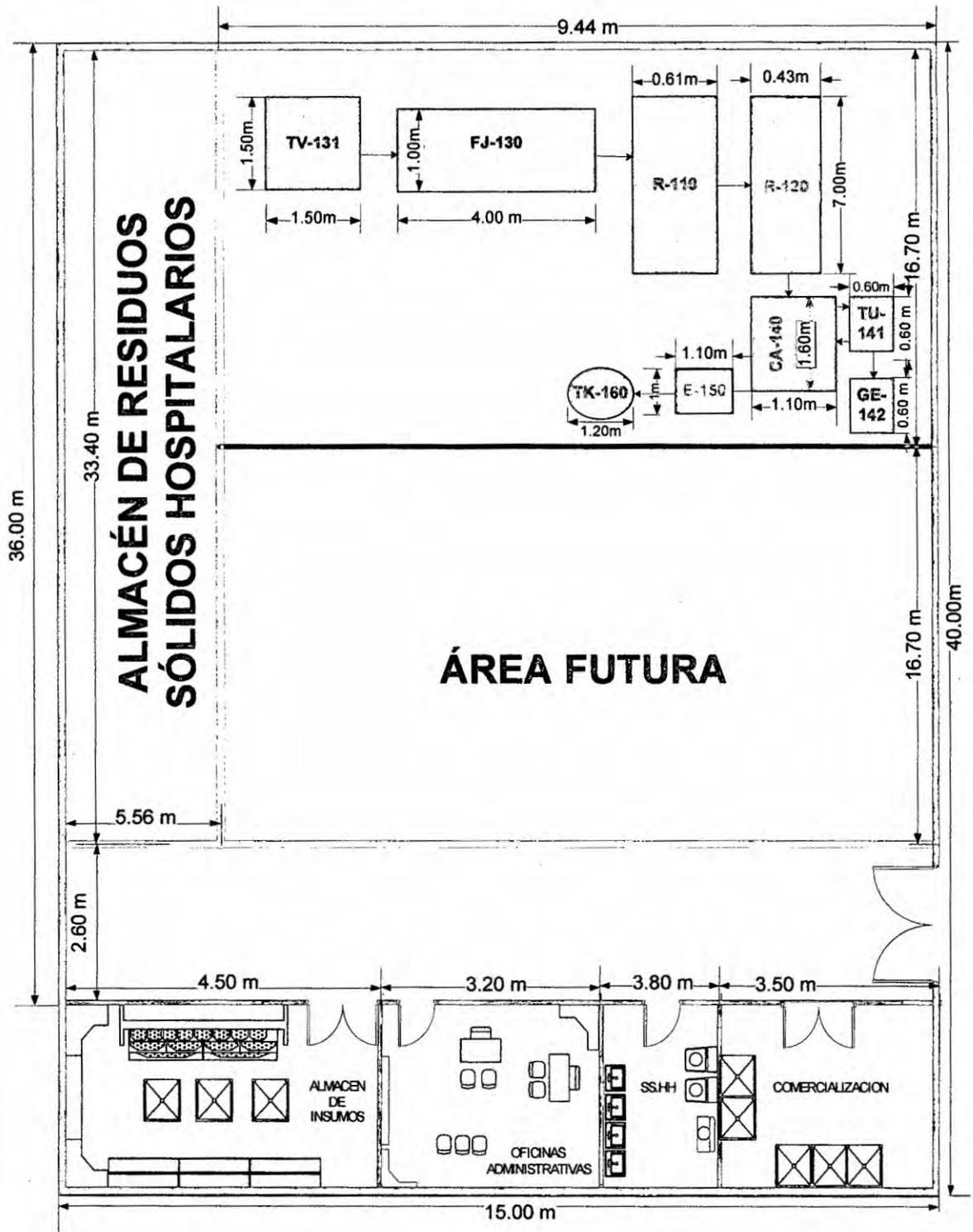
Cuadro N°46. Área administrativa [18].

AREAS	Dimensiones	Area Total (m ²)
Area de administración: Oficina para dos escritorios	4,00 x 3,20	12,80
SS.HH. Consideramos 2 inodoros, 1 urinario y 4 lavamanos para 15 personas.	4,00 x 3,80	15,20
Comercialización: Tomando en cuenta el movimiento de la producción.	4,00 x 3,5	14,00
Almacén de insumos: Considerando el nivel de producción	4,00 x 4,50	18,00
Almacén de materia prima	20 x 10	200
Total		260,00

Fuente: Elaboración propia

$$\text{Área total} = 135 \text{ m}^2 + 135 \text{ m}^2 + 260 \text{ m}^2 = 530 \text{ m}^2 \approx 600 \text{ m}^2.$$

Fig. N° 10. Distribución de planta (Plan layout).-



VI. EVALUACION ECONOMICA.-

6.1. Estimación del costo total de producción.-

El costo total de producción para este caso es el costo total de incineración (CTI), que evalúa el aspecto económico relacionando el balance de materia con el tamaño de planta óptima, así:

$$\text{CTI} = \text{COSTO DE OPERACION} + \text{COSTOS GENERALES}$$

$$\text{COSTO DE OPERACIÓN} = \text{Costos Directos de Operación} + \text{Costos Fijos} + \text{Costos Generales de Planta}$$

a) Costos directos de operación:

	Costos directos de operación
Materia prima	Por el balance
Mano de obra	$0,15 \cdot \text{CTI}$
Supervisión de operación	$0,15 \cdot 0,15 \cdot \text{CTI}$
Servicios auxiliares	$0,15 \cdot \text{CTI}$
Mantenimiento y reparación	$0,10 \cdot \text{ICF}$
Suministro de operación	$0,01 \cdot \text{ICF}$
Costos de laboratorio	$0,15 \cdot 0,15 \cdot \text{CTI}$
Regalías y patentes	$0,04 \cdot \text{CTI}$

Fuente: [18]

b) Costos Fijos:

	Costos fijo
Depreciación	$0,05 \cdot \text{ICF}$
Impuestos Locales	$0,02 \cdot \text{ICF}$
Seguros	$0,01 \cdot \text{ICF}$
Alquileres	$0,07 \cdot \text{ICF}$

Fuente: [18]

Costos fijos = $0,15 \cdot \text{ICF}$

c) **Costos generales de planta:** $0,10 \cdot CTI$

COSTOS GENERALES: Costos de Administración+ Costos de Distribución y Comercialización + Costos de Investigación y Desarrollo.

	Costo parcial
Costos de administración	$0,03 \cdot CTI$
Costo de distribución	$0,10 \cdot CTI$
Costo de investigación	$0,05 \cdot CTI$

Por lo tanto:

$$CTI = \text{COSTOS DE OPERACIÓN} + \text{COSTOS GENERALES}$$

- La variable a determinarse es la ICF:

$$ICF = \text{COSTOS DIRECTOS} + \text{COSTOS INDIRECTOS}$$

COSTOS DIRECTOS= costo de equipo + instrumentación + tuberías y cañerías instaladas + instalación eléctrica o equipo eléctrico + aislamiento+ pintura + obras civiles + instalación de servicios y mejoras del terreno + costo del terreno.

Para la evaluación del costo directo hemos usado el porcentaje mostrado en la tabla

	Costo parcial
costo de equipo adquirido	0,40 ICF
Instalación+aislamiento+pintura	0,40 Costo total adquirido
Instrumentación y controles	0,10 Costo del equipo adquirido
Instalación o equipo elect.	0,08 Costo del equipo adquirido
Tuberías y cañerías instaladas	0,10 Costo del equipo adquirido
Obras civiles	0,265 Costo del equipo adquirido
Instalación de servicios y mejora del terreno	0,10 Costo del equipo adquirido
Costo del terreno	0,08 ICF

COSTOS INDIRECTOS = Costos de ingeniería + Costos de construcción y honorarios de contratistas y eventuales.

	Costo parcial
Costos de ingeniería	0,04355*CD
Costos de const. Y honorarios	0,0741*CD
Eventuales	0,05*ICF

Para determinar el costo total de incineración, hemos considerado todos los costos que están asociados al proceso de incineración de residuos sólidos hospitalarios, para lo cual planteamos:

CTI = costo de operación + costos generales

Costo de operación = Materia Prima+ Mano de obra de operación + costo de supervisión de operación + servicios auxiliares y potencia + mantenimiento y reparación + suministros para operarios + costos de laboratorios + regalías y patentes + catalizadores y solventes + costos fijos + costos generales de planta + costos de administración + costos distribución y comercialización + costos e investigación y desarrollo.

- **Costos de operación:**

Costos de Operación = Materia Prima + 0,15CTI + 0,2 (0,15CTI) + 0,15CTI + 0,06 ICF + 0,0075 ICF + 0,15 (0,15CTI) + 0,04CTI + 0,0005CTI

- **Costos fijos:**

CF=0,15 CTI

- **Costos generales de planta:**

Costos generales de planta = 0,10CTI

- **Costos generales:**

Costos generales = 0,035CTI + 0,11CTI + 0,05CTI

CTI= Materia Prima + 0,15CTI + 0,2 (0,15CTI) + 0,15CTI +0,06CFI + 0,0075CFI +
0,15 (0,15CTI) + 0,04CTI + 0,0005CTI + 0,15CTI +0,10CTI + 0,035CTI + 0,11CTI +
0,05CTIP

Entonces:

CTI = 0,838CTI + 0,0675CFI + Materia Prima

- Costo de la materia prima: Costo de recolección por compactadora: 47 \$/TM

Residuo sólido hospitalario:

$$700 \frac{\text{TM}}{\text{año}} \times 47 \frac{\$}{\text{TM}} = 32\,900 \frac{\$}{\text{año}} \quad (\text{Costo de materia prima anual})$$

- Hallando el CFI:

El procedimiento de cálculo de la inversión total se muestra, en el punto 6.2.

Estimación de la inversión total, donde la inversión para el tamaño de planta óptimo de 700 TM/año es de 4 610 084 \$/año.

Además se sabe que ICF es el 80% de la inversión total.

$$\text{ICF} = 0,8 I_2$$

$$\text{ICF} = 3\,688\,067 \frac{\$}{\text{año}}$$

ENTONCES:

$$\text{CTI} = 0,838 \text{ CTI} + 0,0675 \text{ CFI} + \text{Materia Prima}$$

$$0,162 \text{ CTI} = 0,0675 (3\,688\,067) + 32\,900$$

$$0,162 \text{ CTI} = 281\,845 \frac{\$}{\text{año}}$$

$$CTI = 1\,739\,781 \frac{\$}{\text{año}}$$

$$CTI = 1,74 \frac{\text{MM\$}}{\text{año}}$$

- Dividiendo entre la capacidad de planta:

$$\widehat{CTI} = \frac{1\,739\,781 \frac{\$}{\text{año}}}{700 \frac{\text{TM}}{\text{año}}} = 2485,4 \frac{\$}{\text{TM}}$$

$$\widehat{CTI} = 2485,4 \frac{\$}{\text{TM}} \times \frac{\text{TM}}{1000\text{Kg}} = 2,46 \frac{\$}{\text{Kg}}$$

$$\widehat{CTI} = 2,46 \frac{\$}{\text{Kg}}$$

Costo fijo: $0,15 \text{ CTI} = 0,15(1\,739\,781) = 260\,967 \text{ \$/año}$

Costo de operación:

Costos directos de operación (60% C.T.I) = \$ 1 043 869

Costos fijos (15 % C.T.I) = \$ 260 967

Costo general de planta (10 % C.T.I) = \$ 173 978,1

Costos generales

Costos de administración (3 % C.T.I) = \$ 52 193,4

Costos de distribución y comercialización (12 % C.T.I) = \$ 208 774

6.2. Estimación de la inversión total.-

La Inversión total requerida para la instalación de la planta de incineración de residuos sólidos hospitalarios se ha tomado como punto de referencia la instalación de una de

incineración centralizada en Londres, Inglaterra (LWRA 1989), para una capacidad de 330 TM/año han invertido 1,8 millones de dólares americanos.

Utilizamos el modelo de escalamiento:

$$\frac{I_2}{I_1} = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^\alpha \quad (82)$$

$$I_2 = I_1 \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^\alpha \quad (83)$$

Para una capacidad de planta de $330 \frac{\text{TM}}{\text{año}}$ con una inversión de $1\,800\,000 \frac{\$}{\text{año}}$

- Hallando el CFI:

Para una capacidad de planta de $330 \frac{\text{TM}}{\text{año}}$ con una inversión de $1,8 \frac{\text{MMS}}{\text{año}}$ (planta de incineración centralizada el Londres, LWRA 1989)

Al año 1989 CEPCI = 355,4

Al año 2014 CEPCI = 579,7

$$I_1 = 1,8 \times \left(\frac{579,7}{355,4}\right) = 2,94 \frac{\text{MMS}}{\text{año}} \quad (\text{Inversión para } 330 \frac{\text{TM}}{\text{año}} \text{ al 2014})$$

- Por comparación con una capacidad de planta de $700 \frac{\text{TM}}{\text{año}}$ con una capacidad de planta de $330 \frac{\text{TM}}{\text{año}}$

$$\frac{I_2}{I_1} = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^\alpha$$

$$I_2 = I_1 \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^\alpha \quad \text{Para un proceso químico } \alpha = 0.6$$

$$I_2 = 2\,936\,016 \left(\frac{700}{330}\right)^{0.6} = 4\,610\,084 \frac{\$}{\text{año}}$$

$$I_2 = 4,61 \frac{\text{MMS}}{\text{año}} \quad \text{Para una capacidad de planta de } 700 \frac{\text{TM}}{\text{año}}$$

Para una capacidad de planta de $700 \frac{\text{TM}}{\text{año}}$ la inversión total es de $4\,610\,084 \frac{\$}{\text{año}}$

6.2.1. Inversión de capital fijo.- Además se sabe que ICF es el 80% de la inversión total, entonces [18].

CONCEPTO	%	MONTO US\$
INVERSION DE CAPITAL FIJO	CD+CI	3 688 067
Costos directos		
Costos de equipos adquiridos	40%	1 475 227
Costo de instalación, aislación y pinturas	40%	590 091
Costo de instrumentación y controles instalados	10%	147 523
Costo de tuberías y cañerías instaladas	10%	147 523
Costo de instalaciones eléctricas	8%	118 018
Costo del edificio y obras civiles para el proceso y equipos auxiliares.	26,5%	390 935
Costo de instalaciones de servicio y mejoras de terreno	10%	147 523
Costo del terreno	8%	118 018
TOTAL COSTOS DIRECTOS		3 134 858
Costos Indirectos		
Costos de ingeniería y supervisión	4,35 %	136 512
Costo de Construcción y honorarios de contrato	7,41%	232 293
Costos eventuales	5%	184 404
TOTAL COSTOS INDIRECTOS		553 209

Fuente: Elaboración propia

6.2.2. Capital de trabajo.-

El capital de trabajo para una planta industrial, viene a ser la cantidad de dinero necesario para hacerla funcionar la planta hasta que produzca y se auto abastezca. Para tal caso hemos estimado el capital de trabajo tomando como base un trimestre, y esto es el 20% de la inversión total.

CONCEPTO	%	MONTO US\$
INVERSION DE CAPITAL DE TRABAJO		
PRIMER TRIMESTRE		
Materia prima	30%	276 605
Costo de supervisión y mano de obra directa e indirecta	25%	230 504,3
Costo de mantenimiento y cargas fijas	20%	184 403,4
Imprevistos.	25%	230 504,3
TOTAL INVERSION DE CAPITAL DE TRABAJO		922 017

Entonces, Inversión total = \$ 3 688 067 + \$ 922 017 = \$ 4 610 084

Finalmente la inversión total para la incineración de 700 TM/año de residuos sólidos hospitalarios asciende a 4 610 084 \$/año

6.3. Estado de pérdidas y ganancias.-

Las ventas netas consideramos como las ventas de cada año que son cobrados en el mismo año, de esta manera tenemos los ingresos totales desde \$ 4 096 250 en el primer año hasta \$ 4 375 000 en el último año. El costo de producción y los otros factores económicos que mostramos en el cuadro N°47.

6.1 Criterio de Rentabilidad.

Empleamos el concepto del valor actual neto (VAN) y el TIR

Determinamos la TIR mínima.

$$I = \frac{F1}{(1+i)^1} + \frac{F2}{(1+i)^2} + \frac{F3}{(1+i)^3} + \frac{F4}{(1+i)^4} + \frac{F5}{(1+i)^5} + \frac{F6}{(1+i)^6} \quad (84)$$

Reemplazando datos obtenemos:

$$i = 54,263 \% \text{ anual (TIR)}$$

Nosotros hemos empleado un COKe de 17,10 % para nuestros cálculos del VAN:

$$VAN = -I + \frac{F1}{(1+i)^1} + \frac{F2}{(1+i)^2} + \frac{F3}{(1+i)^3} + \frac{F4}{(1+i)^4} + \frac{F5}{(1+i)^5} + \frac{F6}{(1+i)^6} \quad (85)$$

$$VAN = -4\,610\,084 + 11\,944\,360$$

$$VAN = \$7\,334\,276$$

VAN > 0 entonces Se acepta el Proyecto

Tasa de interés de retorno, TIRe = 54,263%

Cabe mencionar que este proyecto es de carácter social principalmente, El beneficio directo más importante del proyecto es el uso de los residuos sólidos hospitalarios que contaminan el medio ambiente.

Cuadro N°47. Estado de pérdidas y ganancias

AÑO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
INVERSION \$/AÑO	-4 610 084										
DEMANDA APARENTE DEL PROYECTO TM		655,40	668,22	681,01	693,80	706,60	719,40	732,20	745,00	757,80	770,60
CAPACIDAD DE PLANTA Qp (TM)		655,40	668,22	681,01	693,80	700	700	700	700	700	700
INGRESO POR VENTAS \$/AÑO		4 096 250	4 176 375	4 256 313	4 336 250	4 375 000	4 375 000	4 375 000	4 375 000	4 375 000	4 375 000
COSTO FIJO \$/AÑO		260 967	260 967	260 967	260 967	260 967	260 967	260 967	260 967	260 967	260 967
COSTO VARIABLE \$/AÑO		1 367 964,2	1 399 827	1 431 615,3	1 463 403,5	1 478 813	1 478 813	1 478 813	1 478 813	1 478 813	1 478 813
COSTO TOTAL \$/AÑO		1 628 931,2	1 660 794	1 692 582,3	1 724 370,5	1 739 780	1 739 780	1 739 780	1 739 780	1 739 780	1 739 780
FLUJO NETO TOTAL \$/AÑO		2 467 318,8	2 515 581	2 563 730,2	2 611 879,5	2 635 220	2 635 220	2 635 220	2 635 220	2 635 220	2 635 220
CVu (\$/TM)		2112,6									
Precio (\$/TM)		6250									
VAN(\$)		7 334									
TIR		276,12									
		54,26%									

Fuente: Elaboración propia

6.4. Financiamiento.-

El Financiamiento del Proyecto para la instalación de la planta de incineración de sólido hospitalarios requiere de una inversión de \$ 4 610 084 (dólares americanos), y cuyos desembolsos se efectuarán en partes iguales en los próximos dos años, a partir del 2016 hasta el 2017. El horizonte de planeamiento es de 1 año, a partir del segundo año (2017), el proyecto generará ingresos. Se estima que los ingresos anuales serán del orden de los \$ 4 375 000 dólares, que los costos fijos anuales es del orden de \$ 260 967, y el costo variable total del unitario de 1 478 813 \$/TM de los ingresos estimados.

La región Callao es un importante centro industrial del Perú, cuenta con 8 hospitales que generan 1062,77 TM/año de residuo sólido hospitalario registradas hasta el año 2013[20], ubicadas principalmente en los distritos del Callao y Ventanilla.

6.4. 1. Estructura de Financiamiento.-

La estructura de financiamiento será de 70,0% deuda y 30% aporte de los promotores del proyecto. La bondad del proyecto les permite tener acceso a un financiamiento en un plazo de 2 años, a un costo de 12% por año. Durante la fase de construcción el préstamo capitalizará los intereses, posteriormente a partir del 2016 el préstamo acumulado se pagará en cuotas iguales en un plazo de 2 años.

El esquema de financiamiento para nuestro proyecto es:

Capital financiado por banco de crédito	= \$ 3 227 059
Capital propio y de accionistas	= <u>\$ 1 383 025</u>
Inversión total	= \$ 4 610 084

Los créditos necesarios para el financiamiento de la inversión será otorgada por el banco de crédito la cantidad de \$ 3 227 059. La tasa de interés que le banco cobrara por el préstamo otorgado en dólares norteamericanos, a un interés de 12 % anual (3% mensual) al rebatir por todo concepto, incluyendo comisiones, intermediario, etc.

Cuadro N° 49. Cuadro de amortizaciones.

Cuadro de Amortizaciones					
1					
2					
3	Préstamo:	\$ 3,227,059.00			
4	Tasa	3%	CALCULAR		Nota: La tasa y los periodos deben de estar en la misma unidad de tiempo.
5	N° periodos:	20	BORRAR		
6	N° periodos de gracia:	1	TOTAL		
7	$CUOTA = PRESTAMO \left(\frac{(1 + TASA)^{PER-GRA} \cdot TASA}{(1 + TASA)^{PER-GRA} - 1} \right)$				
8					
9	Periodo	Saldo	Interés	Amortización	Cuota
10	1	\$3,227,059.00	\$96,811.77	\$0.00	\$96,811.77
11	2	\$3,227,059.00	\$96,811.77	\$128,481.74	\$225,293.51
12	3	\$3,098,577.26	\$92,957.32	\$132,336.19	\$225,293.51
13	4	\$2,966,241.06	\$88,987.23	\$136,306.28	\$225,293.51
14	Total:	\$12,518,936.32	\$375,568.09	\$397,124.22	\$772,692.30
15	5	\$2,829,934.78	\$84,898.04	\$140,395.47	\$225,293.51
16	6	\$2,689,539.32	\$80,686.18	\$144,607.33	\$225,293.51
17	7	\$2,544,931.98	\$76,347.96	\$148,945.55	\$225,293.51
18	8	\$2,395,986.43	\$71,879.59	\$153,413.92	\$225,293.51
19	Total:	\$10,460,392.52	\$313,811.78	\$587,362.27	\$901,174.05
20	9	\$2,242,572.51	\$67,277.18	\$158,016.34	\$225,293.51
21	10	\$2,084,556.18	\$62,536.69	\$162,756.83	\$225,293.51
22	11	\$1,921,799.35	\$57,653.98	\$167,639.53	\$225,293.51
23	12	\$1,754,159.82	\$52,624.79	\$172,668.72	\$225,293.51
24	Total:	\$8,003,087.86	\$240,092.64	\$661,081.41	\$901,174.05
25	13	\$1,581,491.10	\$47,444.73	\$177,848.78	\$225,293.51
26	14	\$1,403,642.33	\$42,109.27	\$183,184.24	\$225,293.51
27	15	\$1,220,458.08	\$36,613.74	\$188,679.77	\$225,293.51
30	17	\$837,438.15	\$25,123.14	\$200,170.37	\$225,293.51
31	18	\$637,267.79	\$19,118.03	\$206,175.48	\$225,293.51
32	19	\$431,092.31	\$12,932.77	\$212,360.74	\$225,293.51
33	20	\$218,731.56	\$6,561.95	\$218,731.56	\$225,293.51
34	Total:	\$2,124,529.81	\$63,735.89	\$837,438.15	\$901,174.05

Fuente: Elaboración propia

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:

7.1. Conclusiones.-

- Se logró el objetivo de la determinación de tamaño de planta óptimo para la elaboración del plano de disposición de planta del proyecto para la incineración de residuos sólidos hospitalarios mediante el análisis y el estudio del mercado.
- La ubicación de la planta se ha establecido en la región del Callao, en el distrito de Ventanilla, tomando como factor determinante que se encuentra cerca la materia prima y los beneficios de los otros factores locacionales evaluados, lográndose el objetivo trazado.
- Se ha analizado y seleccionado la tecnología de incineración usando dos reactores, un reactor de incineración gas-sólido, y otro reactor gas-gas de post combustión.
- Se ha realizado el diseño y selección de los equipos principales y de uso genérico que componen la unidad de incineración de residuos sólidos hospitalarios, mediante los fundamentos y procedimiento de diseño de equipos principales y de uso genérico, elaborándose el plano de disposición de planta con sus dimensiones respectivas.
- La propuesta de diseño mostrada en este trabajo es la mejor opción entre varias alternativas planteadas; durante su desarrollo se demuestra el uso de equipos sencillos industriales, los bajos consumos de energía y los cuidados que se deben tener durante el tratamiento. Los costos asociados a la instalación de la planta son moderados, y de igual manera los costos de operación, ya que se necesita una mínima cantidad de trabajadores, se utilizan materia prima

inservible y contaminante al medio ambiente, la naturaleza de los residuos facilita su tratamiento, entre otros. Un costo medio de US\$ 2,46/Kg indica que esta alternativa es muy adecuada para suplir la necesidad que el estudio de mercadeo determinó.

- Se logró el objetivo de la evaluación económica y financiera con un VAN de \$ 7 334 276 y que los costos de producción demuestran que esta alternativa económica es rentable. Desde estos dos puntos vista se puede afirmar que el proyecto es un proceso con una gran potencia, y es necesario ampliar su investigación.

7.2. Recomendaciones.-

- El margen de ganancia que se obtienen es alto, y por lo tanto se recomienda su aplicación e implementación de la planta de incineración de residuos sólidos hospitalarios.
- 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, de esta manera evitar la contaminación ambiental por estos materiales peligrosos.
- De acuerdo a los parámetros establecidos durante la fase de diseño, este estudio garantiza su instalación de la planta para la incineración de residuos sólidos hospitalarios en la localidad de ventanilla.

- La tecnología que existe para mejorar cada etapa del proceso es diversa y queda a criterio de los productores industriales implementar sus unidades progresivamente con los equipos e instrumentos recomendado.
- Antes de construir la planta de tratamiento de residuos sólidos hospitalarios debería de tomarse en cuenta la situación actual y las posibilidades del municipio en cuestión.
- Hacer un estudio de factibilidad que consta de los siguientes puntos; desechos sólidos hospitalarios, lugar previsto para la planta, clima local, operación de la planta y final mente la tecnología seleccionada.
- Tener en cuenta el tipo de basura y la composición ya que esta varía según el poder adquisitivo.
- Todos las industrias deben preocuparse por tener una empresa formalizada y que el estado a través de los distintos organismos como el INDECOPI y PRODUCE deberán apoyarlos mediante campañas de capacitación continua

VIII. REFERENCIAS.

- [1] Barceló, J., "Diccionario tecnológico de química". 2º Edición, 1982
- [2] Bermúdez, G. "Turbinas de vapor Slide" revista técnica de Maquinas Hidráulicas, Lima- Perú, 2005.
- [3] Centro Interamericano de Estudios de Seguridad Social, División de Salud en el Trabajo. Seminario: "Salud y Seguridad en el tratamiento y disposición final de Residuos Hospitalarios y/o peligrosos", del 19 al 23 de junio. México, D.F.: Centro Interamericano de Estudios de Seguridad Social, 1995.
- [4] CEPIS - OPS, Desechos Peligrosos y Salud en América Latina y el Caribe. Lima, Perú: CEPIS, 1994
- [5] CEPIS/OPS: "Manejo de residuos hospitalarios". Lima, 1994.
- [6]. Cimino JA. Health and safety in the solid waste industry. Am J Public Health. 1975 Jan;65(1):38-46.
- [7] Coad, Manejo de Desechos Médicos en Países en Desarrollo, OMS, Ginebra, 1992.
- [8] Composición de Residuos Sólidos a Nivel Nacional. Porcentajes anuales (datos preliminares) Fuente: Directorio Induambiente 1999/2000. Guía de Descontaminación Industrial y Recursos Energéticos. Santiago. Chile. 1999. P.230.
- [9] Daschner FD, Dettenkofer M., Protecting the patient and the environment new aspects and challenges in hospital infection control. Journal Hosp Infect., 1997, May; 36(1):7-15.
- [10] Decreto N° 201/01 del 27/04/2001 del Ministerio de Salud, D.OF. 05.07.01
- [11] Dennys, "Diseño de Calderas Industriales de vapor" revista técnica, Lima- Perú, 2013.

- [12] EPA (Environmental Protection Agency). Incineración de Desechos Médicos Institucionales. Regulación, Manejo, Tecnología, Emisiones y Operaciones. Cincinnati, EUA: EPA, 1991.
- [13] Froment, G and Bischoff, K., Chemical Reactor Analysis and Design, 2^o Edition; Ed. J. Wiley & Sons, Inc. New York, 1990.
- [14] Gill, P., “Generadores eléctricos”, editorial Centurius GmbH, Hamburgo 2002
- [15] Guía técnica de operación y mantenimiento de calderas, Normatec, México, 2003.
- [16] León Pico, J.G. y Báez V., D., J., “Operaciones de calderas” Editorial Untitted Prezi, 2012
- [17] Machaca, G., L., F., “Ingeniería de las Reacciones Químicas II (Catalíticas y No catalíticas)” trabajo de investigación (informe final). Facultad de Ingeniería Química Universidad Nacional del Callao, Callao- Perú, 2011.
- [18] Machaca, G. L. F., “Diseño de Plantas Químicas (Volumen I)”, trabajo de investigación (informe final). Facultad de Ingeniería Química Universidad Nacional del Callao, Callao- Perú, 2013.
- [19] Miguel, M. Empresa de Servicios Municipales de Limpieza de Lima. Residuos Sólidos Hospitalarios. Octubre, 1987, Lima, Perú.
- [20] Ministerio de Salud. Diagnóstico situacional del manejo de los residuos sólidos de hospitales administrados por el Ministerio de Salud. Lima.
- [21] Ministerio de Salud, 1998. Norma General Técnica N°25 “Manipulación de Medicamentos Antineoplásicos” Cáp. VII “Normas para el tratamiento de desechos de fármacos antineoplásicos y de residuos contaminados”.

[22] Narváez Troncoso, I. Proyecto de Asesoría Técnica en Incineradores de Desechos Hospitalarios. REPAMAR CEPIS, Ecuador 1998.

[23] Spirax Sarco, "Design of fluid systems", spirax sarco Inc, décima edición, Estados Unidos de Norteamérica, 1991.

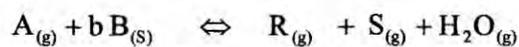
[24] Son Bruce, M. y Donald, Y., "Fundamentos de mecánica de fluidos" Editorial Limusa Wiley, México DF, 2003

[25]. Rutala W, Mayhall CG. Medical Waste – SHEA Position Paper. Infection Control and Hospital Epidemiology. 1992;13(1):38-48

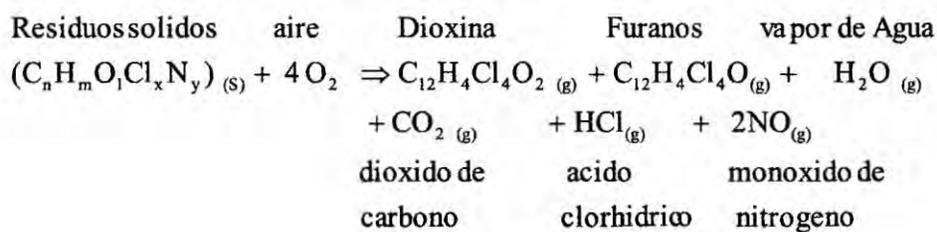
APENDICE

APENDICE N° 1 CINÉTICA DE LAS REACCIONES QUÍMICAS EN EL REACTOR INCINERADOR

- **Reacción Química:**



- **Mecanismo de la Reacción Química:**



APENDICE Nº 2

CALCULO DE LA CANTIDAD DE OXIGENO TEORICO DENTRO DE LA CÁMARA REACCION DE LA COMBUSTION PRIMARIA

Calculo de la cantidad de aire teórico dentro del reactor

Peso molecular promedio del sólido = 530 kg/kmol

$$112,1 \frac{\text{kgRSH}}{\text{h}} \times \frac{1 \text{ kmol RSH}}{530 \text{ kg RSH}} \times \frac{4 \text{ kmol O}_2}{1 \text{ kmol RSH}} \times \frac{1 \text{ kmol aire}}{0,21 \text{ kmol O}_2} \times \frac{28,97 \text{ kg aire}}{1 \text{ kmol aire}} \times 0,999$$

Según los estudios realizados recomiendan inyectar aire a la combustión primaria desde 50% hasta 100% más de exceso, nosotros hemos considerado 92% de exceso.

$$= 116,7 \text{ kg aire/h} \times 1,92 \text{ (exceso)} = 224,06 \text{ kg aire/h}$$

Balance estequiometrico:

Entrada de residuo sólido hospitalario y aire al reactor:

Residuos sólidos hospitalarios	= 0,212 kmol
Cantidad de oxígeno teórico necesario	= 1,6243 kmol
Cantidad de nitrógeno teórico	= 6,1067 kmol de N ₂
Total	= 7,943 kmol

Salida del gas efluente del reactor.

Dioxina	= 0,212 kmol
Furanos	= 0,212 kmol
Dióxido de carbono (CO ₂)	= 0,212 kmol
Ácido clorhídrico (HCl)	= 0,212 kmol
Vapor de agua (H ₂ O)	= 0,212 kmol
Óxido nítrico (NO)	= 0,423 Kmol
Nitrógeno	= 6,1067 kmol
Cantidad de inertes, escorias	= 0,353 kmol
Total	= 7,943 kmol

APENDICE N° 3

CALCULO DEL ESPESOR DEL LADRILLO REFRACTARIO DENTRO DE LA CÁMARA REACCION DE LA COMBUSTION PRIMARIA

Calculo de la carga térmica dentro del reactor

$$Q_{T \text{ gas caliente}} = Q_{T \text{ efluente}} + Q_{T \text{ aire caliente}}$$

$$Q_{T \text{ efluente}} = 3500 \text{ Kcal/h} \times 112.1 \text{ kg/h} = 392 \ 350 \text{ Kcal/h}$$

$$Q_{T \text{ aire caliente}} = m_{\text{aire}} \times C_{p \text{ aire}} (T_s - T_e)$$

$$Q_{T \text{ aire caliente}} = 224 \text{ Kg/h} \times 0,24 \text{ Kcal/ Kg } ^\circ\text{C} \times (800 - 20) ^\circ\text{C} = 41932,8 \text{ Kcal/h}$$

$$Q_{T \text{ gas caliente}} = 392 \ 350 \text{ Kcal/h} + 41932,8 \text{ Kcal/h} = 434 \ 283 \text{ Kcal/h}$$

Asumiendo el 6% de pérdida respecto a un secador adiabático del calor introducido es: $Q_p = 26 \ 057 \text{ Kcal/hr}$

Ecuación para hallar el espesor:

$$Q_p = \frac{k_f \times A \times \Delta T}{x(\text{espesor del recipiente})}$$

Donde:

K = conductividad térmica del acero 316 = 14,03 Kcal/ m h °C

A = Área lateral del cilindro (cámara) = $\pi DL = 13,42 \text{ m}^2$

ΔT = Caída de temperatura = 10 °C

X = Espesor de la cámara

Despejado la ecuación anterior:

$$x = \frac{k_f \times A \times \Delta T}{Q_p}$$

Reemplazando datos se tiene:

$$x = \frac{14,03 \text{ kcal/h} \cdot \text{m} \cdot ^\circ\text{C} \times \pi \times 0,61 \text{ m} \times 7,0 \text{ m} \times 10 ^\circ\text{C}}{26057 \text{ kcal/h}}$$

$X = 7,22 \text{ cm} \approx 3 \text{ pulgadas}$

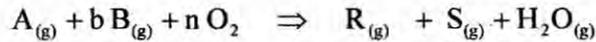
APENDICE N° 4

CALCULO DEL CAUDAL DEL GAS DE ENTRADA AL REACTOR

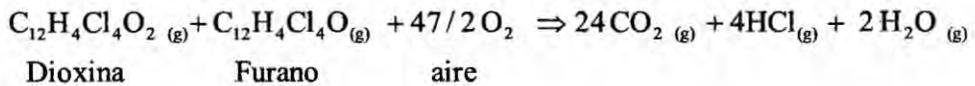
TUBULAR POST COMBUSTION

Cinética de las Reacciones Químicas:

Reacción Química:



Mecanismo de la Reacción Química:



Calculo de cantidad de gas efluente del reactor incinerador

112,1 kg/h de RSH x 0,6 x 0,9999 = 67,26 kg/h de gas (dioxinas y furanos)

112,1 kg/h de RSH x 0,3 x 0,9999 = 33,63 kg/h de vapor de agua

Total = 100,9 kg/h que ingresa al reactor postcombustión

Calculo del caudal del gas que ingresa al reactor postcombustión

$$QV_{\text{gas ingresa}} = QV_{\text{gas efluente}} + QV_{\text{vapor agua}} + QV_{\text{aire}}$$

$$QV_{\text{gas efluente}} = 67,26 \text{ kg/h} \times 1 \text{ m}^3/3,01 \text{ kg} \times 1 \text{ h}/60 \text{ min.} = 0,3724 \text{ m}^3/\text{min.}$$

$$QV_{\text{vapor agua}} = 33,63 \text{ kg/h} \times 1 \text{ m}^3/0,1725 \text{ kg} \times 1 \text{ h}/60 \text{ min.} = 3,25 \text{ m}^3/\text{min.}$$

$$QV_{\text{aire}} = 11,4 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$QV_{\text{gas ingresa}} = 0,3724 \text{ m}^3/\text{min} + 3,25 \text{ m}^3/\text{min} + 11,4 \text{ m}^3/\text{min}$$

Cantidad de gas proveniente del reactor de incineración

$$QV_{\text{gas efluente ingresa}} = 15,022 \text{ m}^3/\text{min}$$

Caudal del gas que ingresa al reactor:

$$QV_{\text{gas ingresa}} = QV_{\text{gas efluente}} + QV_{\text{aire}}$$

Calculo de cantidad de aire necesario para la post combustión:

Dioxina:

$$33,63 \frac{\text{kg dioxina}}{\text{h}} \times \frac{1 \text{ kmol dioxina}}{332 \text{ kg dioxina}} \times \frac{11 \text{ kmol O}_2}{1 \text{ kmol dioxina}} \times \frac{1 \text{ kmol aire}}{0,21 \text{ kmol O}_2} \times \frac{28,97 \text{ kg aire}}{1 \text{ kmol aire}} \times 0,999$$

$$= 153,7 \text{ kg aire/h}$$

Furano:

$$33,63 \frac{\text{kg furano}}{\text{h}} \times \frac{1 \text{ kmol furano}}{305,93 \text{ kg furano}} \times \frac{11,5 \text{ kmol O}_2}{1 \text{ kmol furano}} \times \frac{1 \text{ kmol aire}}{0,21 \text{ kmol O}_2} \times \frac{28,97 \text{ kg aire}}{1 \text{ kmol aire}} \times 0,999$$

$$= 174,4 \text{ kg aire/h}$$

Cantidad total de aire necesario para la postcombustión:

Según los estudios realizados recomiendan inyectar aire a la post combustión desde 50% hasta 70 % más de exceso, nosotros hemos considerado 60% de exceso.

$$m_{\text{aire}} = 153,7 + 174,4 = 328,1 \text{ kg aire/h} \times 1,6 = 525 \text{ kg aire/h}$$

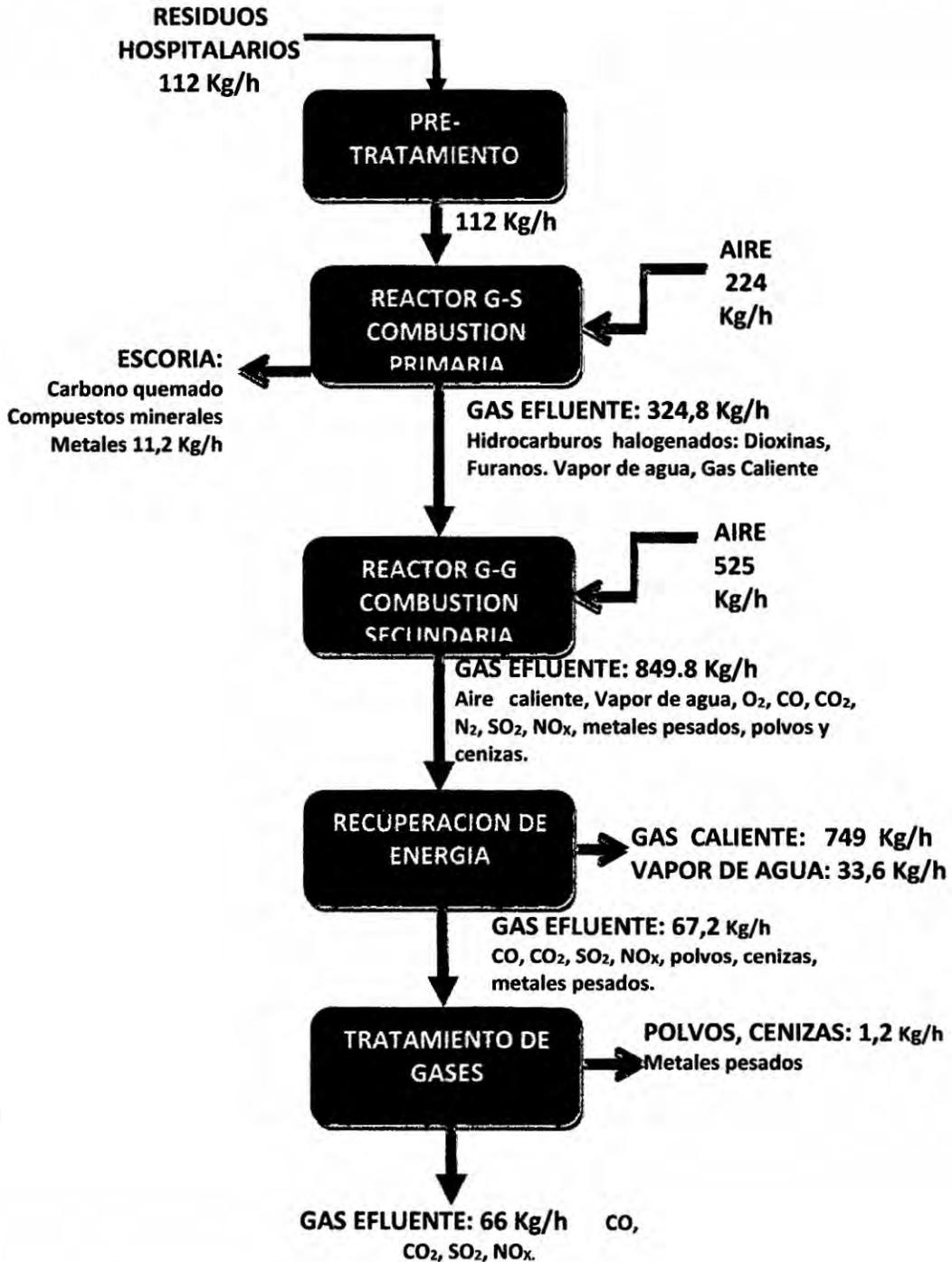
$$Q_{V \text{ aire}} = 525 \text{ kg/h} \times 1 \text{ m}^3/0,2773 \text{ kg} \times 1 \text{ h}/60 \text{ min.} = 31,55 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$Q_{V \text{ gas ingresa}} = 15,022 \text{ m}^3/\text{min} + 31,55 \text{ m}^3/\text{min} = 46,6 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$Q_{V \text{ gas ingresa}} = 46,6 \text{ m}^3/\text{min}$$

APENDICE N° 5

DIAGRAMA DE BLOQUES PARA LA PLANTA DE INCINERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS HOSPITALARIOS.



Fuente: Elaboración propia

APENDICE N° 6

CALCULO DEL ESPESOR DEL LADRILLO REFRACTARIO

DENTRO DE LA CÁMARA REACCION DE LA POST COMBUSTION

Calculo de la carga térmica dentro del reactor (Q_T)

$$Q_{T \text{ gas caliente}} = Q_{T \text{ efluente}} + Q_{T \text{ aire caliente}}$$

$$Q_{T \text{ efluente}} = 434\,283 \text{ Kcal/h}$$

$$Q_{T \text{ aire caliente}} = m_{\text{aire}} \times C_{p\text{aire}} (T_s - T_e)$$

$$Q_{T \text{ aire caliente}} = 525 \text{ Kg/h} \times 0,24 \text{ Kcal/ Kg } ^\circ\text{C} \times (1000 - 20) ^\circ\text{C} = 123\,480 \text{ Kcal/h}$$

$$Q_{T \text{ gas caliente}} = 434\,283 \text{ Kcal/h} + 123\,480 \text{ Kcal/h} = 557\,263 \text{ Kcal/h}$$

Asumiendo el 6% de pérdida respecto a un secador adiabático del calor introducido es: $Q = 33466 \text{ Kcal/hr}$

Ecuación para hallar el espesor:

$$Q_p = \frac{k_f \times A \times \Delta T}{x(\text{espesor del recipiente})}$$

Donde:

K = conductividad térmica del acero 316 = $14,03 \text{ Kcal/ m h } ^\circ\text{C}$

A = Área lateral del cilindro (cámara) = $\pi DL = 12,58 \text{ m}^2$

ΔT = Caída de temperatura = $10 ^\circ\text{C}$

X = Espesor de la cámara

Despejado la ecuación anterior:

$$x = \frac{k_f \times A \times \Delta T}{Q_p}$$

Reemplazando datos se tiene:

$$x = \frac{14,03 \text{ kcal/h} \cdot \text{m} \cdot ^\circ\text{C} \times \pi \times 0,582 \text{ m} \times 7,0 \text{ m} \times 10 ^\circ\text{C}}{33466 \text{ kcal/h}}$$

$X = 5,37 \text{ cm} \approx 2 \text{ pulgadas}$

APENDICE N° 7

CALCULO DE LA CAPACIDAD DEL CALDERO

Calculo de Capacidad:

Calculo de la carga térmica total (Q_T):

$$Q_T = Q_{T \text{ efluente}} + Q_{T \text{ aire}}$$

$$Q_{T \text{ aire}} = m_{\text{aire}} C_{p \text{ aire}} (T_s - T_e)$$

$$Q_{T \text{ aire}} = 849,8 \text{ kg/h} \times 0,24 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C} (1000 - 20) ^\circ\text{C} = 199\ 873 \text{ kcal/h}$$

$$Q_{T \text{ aire}} = 199\ 873 \text{ kcal/h}$$

$$Q_{T \text{ efluente}} = 392\ 350 \text{ kcal/h}$$

$$Q_T = 199\ 873 \text{ kcal/h} + 392\ 350 \text{ kcal/h} = 592\ 223 \text{ kcal/h}$$

$$Q_T = 592\ 223 \text{ kcal/h} = 2\ 348\ 600 \text{ BTU/h}$$

Esta carga térmica nos genera una caldera con una potencia de trabajo de (P_{trabajo}):

$$P_{\text{trabajo}} = 2\ 348\ 600 \text{ BTU/h} \times 1 \text{ BHp} / 33500 \text{ BTU/h} = 70,10 \text{ BHp}$$

$$P_{\text{trabajo}} = 70,10 \text{ BHp}$$

1 BHp produce 34,5 lb vapor/h m, entonces:

$$m_v = 70,10 \text{ BHp} \times 34,5 \text{ lb vapor} / \text{BHp} = 2419 \text{ lb/h de vapor} = 1097,1 \text{ kg/h vapor}$$

Estas calderas de 70,10 generan vapor desde 120 psi hasta un máximo de 150 psi (8,44 kgf/cm² a 10,5 kgf/cm²), asimismo que estas calderas de mediana presión pueden generar vapor con una presión de trabajo desde 6,8,10, 13,16,18,20,22, 25 bar para turbinas de vapor generadoras de electricidad desde 1 Hp hasta 2 000 000 Hp [Siemens AG, 2009].

Los datos termodinámicos del vapor generado para estas condiciones son:

Condiciones de entrada:

$$P = 1 \text{ kgf/cm}^2$$

$$T = 70 ^\circ\text{C}$$

$$C_{p \text{ agua}} = 1 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}$$

h_{salida} = entalpia del líquido subenfriado

$$\int_0^1 dh = \int_0^{70} C_p dT$$

Entonces: $h_{\text{entrada}} = 1 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C} (70 - 0)^\circ\text{C} = 70 \text{ kcal/kg}$

$h_{\text{entrada}} = 70 \text{ kcal/kg}$

Condiciones de salida del vapor:

$P = 8,44 \text{ kgf/cm}^2$.

$T = 204^\circ\text{C}$ (vapor recalentado),

$h_{\text{salida}} = 680,3 \text{ kcal/kg}$ (tablas)

$h_{fg} = 597,85 \text{ kcal/kg}$ (a 100°C , tablas)

Calculo de la potencia de la caldera

$$\text{BHp} = \frac{m_v (h_{\text{salida}} - h_{\text{entrada}})}{h_{fg} \times 15,44}$$

Reemplazando en la ecuación (51), tenemos:

$$\text{BHp} = \frac{1097,1 \text{ kg/h} (680,3 - 70) \text{ kcal/kg}}{597,27 \text{ kcal/kg} \times 15,44}$$

$\text{BHp} = 72,61 \text{ BHp}$

La potencia de diseño ($P_{\text{diseño}}$) es superior a la potencia de trabajo por consiguiente se añade un 20 % más de la potencia de trabajo.

$P_{\text{diseño}} = 72,61 \times 1,2 = 87,13 \text{ BHp} \approx 87,2 \text{ BHp}$

$P_{\text{diseño}} = 87 \text{ BHp}$

Con la potencia de diseño se calcula el flujo másico del vapor de diseño que

proporciona este caldero, se construye con esta potencia para prever cualquier

inconveniente en a la unidad de producción, entonces:

$$m_v = \frac{\text{BHp} h_{fg} \times 15,44}{(h_{\text{salida}} - h_{\text{entrada}})}$$

$$m_v = \frac{87 \text{ BHp} \times 597,2 \text{ kcal/h} \times 15,44}{(680,3 - 70) \text{ kcal/kg}}$$

$m_v = 1315 \text{ kg/h} = 2898 \text{ lb/h}$

APENDICE N° 8

CUADRO DE AMORTIZACIONES

Cuadro de Amortizaciones					
1					
2					
3	Préstamo:	\$ 3,227,059.00			
4	Tasa	3%	CALCULAR	Nota: La tasa y los periodos deben de estar en la misma unidad de tiempo.	
5	N° periodos:	20	BORRAR		
6	N° periodos de gracia:	1	TOTAL		
7	$CUOTA = PRESTAMO \left(\frac{(1 + TASA)^{PER-GRA} + TASA}{(1 + TASA)^{PER-GRA} - 1} \right)$				
8					
9	Periodo	Saldo	Interés	Amortización	Cuota
10	1	\$3,227,059.00	\$96,811.77	\$0.00	\$96,811.77
11	2	\$3,227,059.00	\$96,811.77	\$128,481.74	\$225,293.51
12	3	\$3,098,577.26	\$92,957.32	\$132,336.19	\$225,293.51
13	4	\$2,966,241.06	\$88,987.23	\$136,306.28	\$225,293.51
14	Total:	\$12,518,936.32	\$375,568.09	\$397,124.22	\$772,692.30
15	5	\$2,829,934.78	\$84,898.04	\$140,395.47	\$225,293.51
16	6	\$2,689,539.32	\$80,686.18	\$144,607.33	\$225,293.51
17	7	\$2,544,931.98	\$76,347.96	\$148,945.55	\$225,293.51
18	8	\$2,395,986.43	\$71,879.59	\$153,413.92	\$225,293.51
19	Total:	\$10,460,392.52	\$313,811.78	\$587,362.27	\$901,174.05
20	9	\$2,242,572.51	\$67,277.18	\$158,016.34	\$225,293.51
21	10	\$2,084,556.18	\$62,536.69	\$162,756.83	\$225,293.51
22	11	\$1,921,799.35	\$57,653.98	\$167,639.53	\$225,293.51
23	12	\$1,754,159.82	\$52,624.79	\$172,668.72	\$225,293.51
24	Total:	\$8,003,087.86	\$240,092.64	\$661,081.41	\$901,174.05
25	13	\$1,581,491.10	\$47,444.73	\$177,848.78	\$225,293.51
26	14	\$1,403,642.33	\$42,109.27	\$183,184.24	\$225,293.51
27	15	\$1,220,458.08	\$36,613.74	\$188,679.77	\$225,293.51
28	16	\$1,031,778.31	\$30,953.35	\$194,340.16	\$225,293.51
29	Total:	\$5,237,369.83	\$157,121.09	\$744,052.95	\$901,174.05
30	17	\$837,438.15	\$25,123.14	\$200,170.37	\$225,293.51
31	18	\$637,267.79	\$19,118.03	\$206,175.48	\$225,293.51
32	19	\$431,092.31	\$12,932.77	\$212,360.74	\$225,293.51
33	20	\$218,731.56	\$6,561.95	\$218,731.56	\$225,293.51
34	Total:	\$2,124,529.81	\$63,735.89	\$837,438.15	\$901,174.05

APENDICE N° 9
CUADRO DE FLUJOS NETOS PROYECTADOS

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	FLUJOS NETOS PROYECTADOS									
3. INVERSIÓN \$/AÑO	\$4.610.084,00									
4. DEMANDA APARENTE (TM/AÑO)		\$655,40	\$668,22	\$681,01	\$693,80	\$706,60	\$719,40	\$732,20	\$745,00	\$757,80
5. CAPACIDAD DE PLANTA Qp (TM/año)		\$655,40	\$668,22	\$681,01	\$693,80	\$706,60	\$719,40	\$732,20	\$745,00	\$757,80
6. INGRESO POR VENTAS \$/AÑO		\$4.096.250,00	\$4.176.375,00	\$4.256.312,50	\$4.336.250,00	\$4.375.000,00	\$4.375.000,00	\$4.375.000,00	\$4.375.000,00	\$4.375.000,00
7. COSTO FIJO \$/AÑO		\$260.967,00	\$260.967,00	\$260.967,00	\$260.967,00	\$260.967,00	\$260.967,00	\$260.967,00	\$260.967,00	\$260.967,00
8. COSTO VARIABLE \$/AÑO		\$1.367.964,20	\$1.399.827,00	\$1.431.615,30	\$1.463.403,52	\$1.478.813,00	\$1.478.813,00	\$1.478.813,00	\$1.478.813,00	\$1.478.813,00
9. COSTO TOTAL \$/AÑO		\$1.628.931,20	\$1.660.794,00	\$1.724.370,52	\$1.724.370,52	\$1.739.780,00	\$1.739.780,00	\$1.739.780,00	\$1.739.780,00	\$1.739.780,00
10. FLUJO NETO		\$2.467.318,80	\$2.515.581,00	\$2.563.730,20	\$2.611.879,48	\$2.635.220,00	\$2.635.220,00	\$2.635.220,00	\$2.635.220,00	\$2.635.220,00
11. PRESTAMO (\$) (S)										
12. INTERESES (\$) (S)		\$375.568,09	\$313.811,78	\$240.092,64	\$157.121,09	\$63.735,89	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00
13. AMORTIZACION		\$397.124,22	\$587.362,27	\$661.081,41	\$744.052,95	\$837.438,15	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00
14. FLUJO NETO FINANCIERO		\$1.383.025,00	\$1.614.406,95	\$1.662.556,15	\$1.710.705,44	\$1.734.045,96	\$2.635.220,00	\$2.635.220,00	\$2.635.220,00	\$2.635.220,00
15. APORTE PROPIO		\$1.383.025,00								
16. COKE		17,10%	VANE:	\$7.334.276,12	TIRE:	54,26%				
17. COKF		14,75%	VANF:	\$8.744.705,20	TIRF:	122,15%				

ANEXOS

ANEXO N° 1

CUADRO N° 1
DIMENSIONES Y PRESIONES DE TRABAJO DE TUBERIAS DE CEDULA
(PIPE) ASTM A312

Diámetro nominal NPS	Diam. Ext.		Cedula 40					
	pg	mm	Grosor Pared		Presión Int. Trab.		Peso Aprox.	
			pg	mm	PSI	Kg/m	Lb/pie	Kg.m
1/8	.405	10.29	.068	1.73	6170	434	.25	.37
1/4	.540	13.72	.088	2.24	5970	420	.43	.63
3/8	.675	17.15	.091	2.31	4810	338	.57	.85
1/2	.840	21.34	.109	2.77	4610	324	.85	1.27
3/4	1.050	26.67	.113	2.87	3750	264	1.13	1.69
1	1.315	33.40	.133	3.38	3510	247	1.68	2.50
1 1/4	1.660	42.16	.140	3.56	2880	202	2.27	3.39
1 1/2	1.900	48.26	.145	3.68	2590	182	2.72	4.05
2	2.375	60.33	.154	3.91	2180	153	3.65	5.45
2 1/2	2.875	73.03	.203	5.16	2390	168	5.79	8.64
3	3.500	88.90	.216	5.49	2070	146	7.58	11.30
3 1/2	4.000	101.60	.226	5.76	1890	133	9.11	13.58
4	4.500	114.30	.237	6.02	1750	123	10.79	16.09
6	6.625	168.28	.280	7.11	1395	98	18.97	28.28
8	8.625	219.08	.322	8.18	1227	86	28.55	45.57
10	10.750	273.05	.365	9.27	1113	78	40.48	60.36

Fuente: Dennys, "Diseño de Calderas Industriales de vapor" Lima- Perú, 2013.

ANEXO N° 2

En esta sección anexamos un extracto del diseño de calderas de la tesis de grado de Ingeniero Mecánico de Nick Lee Quiñones Cercado de la Escuela Superior Politécnica del Litoral- Guayaquil Ecuador 2008.

2.1 DEFINICIÓN DE CALDERA

Caldera, dispositivo utilizado para calentar agua o generar vapor a una presión superior a la atmosférica mediante un proceso de transferencia térmica. Las calderas se componen de un compartimiento donde se consume el combustible y otro donde el agua se convierte en vapor.¹

Una caldera es una máquina o instalación, diseñada y construida para producir vapor de agua a elevada presión y temperatura, las hay, desde pequeñas instalaciones locales para la producción de vapor para cocción de alimentos, planchado en serie de ropa, tratamientos sépticos de instrumentales y labores similares, con vapor de relativa baja temperatura y presión, hasta enormes instalaciones industriales, utilizadas para la

¹"Caldera ", *Enciclopedia Microsoft® Encarta® 05* © 1999-2005Microsoft Corporation.

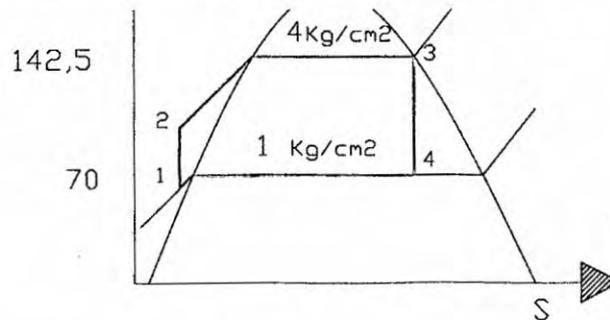
2.8.2.1 Estudio de la potencia del caldero:

$$HP_B = \frac{\dot{W}_s (h_{salida} - h_{entrada})}{15,44 \times h_{fg}@0^\circ C}$$

$\dot{W}_s = \text{Caudal. Masico. Steam}$
 $h_{fg}@0^\circ C = \text{valor. de. tablas} = 597,27$
 $\dot{W}_s = 650 \text{ Kg/h}$

Resolución:

Se realiza el diagrama termodinámico para identificar los estados



Propiedades termodinámicas en el punto entrada

$$\left\{ \begin{array}{l} P = 1 \text{ kg/cm}^2 \\ T = 70 \text{ C} \\ C_{p_{\text{agua}}} = 1 \text{ kcal/kg K} \\ h_{\text{entr}} = ? \end{array} \right.$$

$$\int_0^T dh = \int_0^T c_p \cdot dt = \left\{ h = 70 \text{ kcal/kg} \right.$$

Propiedades termodinámicas en el punto salida

$$\left\{ \begin{array}{l} P = 4 \text{ kg/cm}^2 \\ T = \\ C_{p_{\text{agua}}} = 1 \text{ kcal/kg K} \\ h_{\text{sal}} = 653,72 \text{ kcal/kg} \longrightarrow \text{ver tabla} \end{array} \right.$$

$$\begin{array}{l} h_{\text{salida}} \\ P = 4 \text{ kg/cm}^2 \\ x = 1 \end{array}$$

$$h_g = 653.9 \text{ kcal/kg}$$

$$HP_B = \frac{650 \frac{\text{Kg}}{h} \times \left(653.9 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}} - 70 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}} \right)}{15.44 \times 597.27 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}}$$

$$HP_B = 41.156 HP_B$$

La potencia de diseño tiene que ser superior a la potencia de trabajo por lo tanto se toma un 20% mas aproximadamente. ²

$$Pot \text{ diseño} \approx 50 HP_B$$

ANEXO N° 3. MATRIZ DE CONSISTENCIA

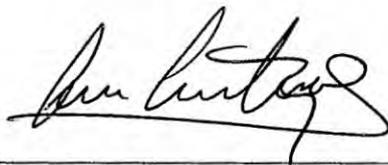
TEMA DE TESIS: " DISEÑO DE UNA PLANTA PARA EL TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS HOSPITALARIOS"

<p>PROBLEMA GENERAL: ¿Cómo se logrará diseñar una planta para el tratamiento de residuos sólidos hospitalarios?</p>	<p>OBJETIVO GENERAL: Diseñar una planta para el tratamiento de residuos sólidos hospitalarios.</p>	<p>HIPOTESIS GENERAL: Con los fundamentos y los procedimientos de la ingeniería de diseño se logrará diseñar la planta para el tratamiento de residuos sólidos hospitalarios.</p>
<p>SUB PROBLEMA: ¿Cuáles son las informaciones o fuentes disponibles que se analizará para diseñar una planta para el tratamiento de residuos sólidos hospitalarios? ¿Cuál será el tamaño de planta óptimo para el tratamiento de residuos sólidos hospitalarios? ¿Dónde se localizará la planta para el tratamiento de residuos sólidos hospitalarios? ¿Cuáles son los fundamentos y procedimientos de diseño que se analizará para diseñar la planta para el tratamiento de residuos sólidos hospitalarios? ¿Cómo se diseñaran los equipos principales y de uso genérico que componen la planta para el tratamiento de residuos sólidos hospitalarios? Y ¿Cómo se elaborara el plano de distribución de planta?</p>	<p>OBJETIVOS ESPECIFICOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Analizar y determinar la localización y tamaño de planta óptimo. • Analizar y seleccionar la tecnología adecuada para el tratamiento de residuos sólidos hospitalarios. • Diseñar los equipos principales y de uso genérico para elaborar el plano de disposición de planta. 	<p>HIPOTESIS ESPECIFICA:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los fundamentos y los criterios de localización y tamaño de planta permiten evaluar y determinar la localización y tamaño óptimo de la planta para el tratamiento de los residuos sólidos hospitalarios. • Los fundamentos de diseño de ingeniería de detalles nos permitirán diseñar detalladamente la planta de tratamiento de residuos sólidos por el proceso de incineración.

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE LA TESIS

RICARDO CRISTOBAL QUISPE, bachiller de la Facultad de Ingeniería Química con código N° 052751-H, DNI N° 43588472, teléfono N° 987781279, correo electrónico cristobalricardo@hotmail.com y con dirección en Calle Cesar Vallejo, Mz C Lt 2 Urb. El Pinar – Los Olivos, **AUTORIZO** la publicación en forma parcial y/o total del Informe titulado “DISEÑO DE UNA PLANTA PARA EL TRATAMIENTO DE RESIDUOS SOLIDOS HOSPITALARIOS”

Bellavista, 09 Agosto de 2016

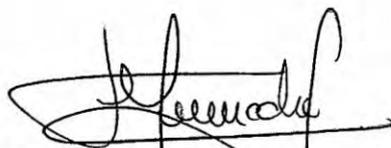


CRISTOBAL QUISPE, RICARDO
DNI N° 43588472

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE LA TESIS

JOSE FABIAN MENACHO ZAPATA, bachiller de la Facultad de Ingeniería Química con código N° 060733-E, DNI N° 44110690, teléfono N° 994170365, correo electrónico jfmenacho@hotmail.com y con dirección en AAHH. San Antonio de Padua Mz S Lt 13 -San Juan de Miraflores, **AUTORIZO** la publicación en forma parcial y/o total del Informe titulado “DISEÑO DE UNA PLANTA PARA EL TRATAMIENTO DE RESIDUOS SOLIDOS HOSPITALARIOS”

Bellavista, 09 Agosto de 2016



MENACHO ZAPATA, JOSE FABIAN
DNI N° 44110690