

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA



**DISEÑO ENERGÉTICO DE UN INCINERADOR DE RESIDUOS
SÓLIDOS HOSPITALARIOS DE 1000 KG PARA REDUCIR EL
IMPACTO AMBIENTAL EN EL HOSPITAL REGIONAL DOCENTE
LAS MERCEDES**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO**

AUTOR

FRANCISCO FABIAN BARTUREN PANTOJA

ASESOR

LUCIO ANTONIO LLONTOP MENDOZA

<https://orcid.org/0000-0002-2561-0126>

Chiclayo, 2019

**DISEÑO ENERGÉTICO DE UN INCINERADOR DE
RESIDUOS SÓLIDOS HOSPITALARIOS DE 1000 KG PARA
REDUCIR EL IMPACTO AMBIENTAL EN EL HOSPITAL
REGIONAL DOCENTE LAS MERCEDES**

PRESENTADO POR:

FRANCISCO FABIAN BARTUREN PANTOJA

A la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
para optar el título de

INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO

APROBADO POR:

Amado Aguinaga Paz
PRESIDENTE

Elmer Rolando Polo Briceño
SECRETARIO

Lucio Antonio Llontop Mendoza
VOCAL

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a dios por su bendición, a mi familia que han sabido darme su ejemplo de trabajo y honradez

También quiero agradecer al Hospital Regional Docente Las Mercedes por el apoyo incondicional que me dio para mi presenta investigación y a los docentes de la Universidad Católica Santo de Mogrovejo por la ayuda necesaria.

DEDICATORIA

Está presente investigación va dedicada a mi madre Rosario por el esfuerzo que hizo para que yo sea una persona de bien y brindarme una excelente educación, a mis hermanos Guillermo y Karen por apoyarme en mi vida universitaria, a mi asesor que contribuyo para que esta investigación sea veraz y a Dios por guiarme en el camino correcto.

Índice

RESUMEN.....	9
ABSTRACT	10
I. INTRODUCCIÓN	11
II. MARCO TEÓRICO	13
2.1 Estado del arte	13
2.2.1. Incineración.....	14
2.2.2. Residuos sólidos hospitalarios	17
2.2.3. Transferencia de calor.....	20
2.2.4. Combustión	21
III. DISEÑO	22
3.1. Tratamiento de residuos.....	22
3.1.1. Proceso de incineración	24
3.1.2. Clasificación de residuos del Ministerio de Salud del Perú.....	27
3.1.3. Cenizas en los residuos	29
3.1.4. Modo de operación	30
3.1.5. Limpieza de gases	30
3.1.6. Eficiencia en la combustión	31
3.1.7. Temperaturas de las cámaras	31
3.1.8. Tiempo de residencia	32
3.1.9. Caída de presión en el incinerador.....	33
3.1.10. Selección de combustible.....	33
3.1.11. Composición y porcentaje de los residuos sólidos hospitalarios	37
3.1.12. Cantidad de valor de calentamiento	38
3.1.13. Humedad en los residuos	39
3.1.14. Cenizas en los residuos	40
3.2. Diseño conceptual de elementos.....	41
3.2.1. Análisis de la cámara primaria.....	41
3.2.2. Análisis de la cámara secundaria	57
3.2.3. Calculo de la cantidad necesaria de combustible por mes	62
3.2.4. Dimensionamiento de la superficie de quemado, refractario y aislamiento	63
3.2.5. Diseño de ducto de comunicación	68

3.2.6. Diseño de las tapas	73
3.2.7. Diseño de la chimenea	74
3.3. Selección conceptual de equipos	77
3.3.1. Selección de ventiladores.....	77
3.3.2. Selección de quemadores	85
IV. Estimación de costos en relación al diseño energético	86
4.1. Elementos a considerar en los costos	86
4.2. Cálculos de costos relacionados al diseño	86
V. RESULTADOS	91
VI. DIAGNÓSTICO DE IMPACTO AMBIENTAL	92
6.1. Características del proyecto.....	92
6.2. Infraestructura de servicios.....	93
6.2.1. Vías de acceso.....	95
6.2.2. Materias primas e insumos.....	95
6.2.3. Servicios para el desarrollo del proyecto	97
6.3. Efluentes	98
6.3.1. Características químicas y físicas	98
6.3.2. Residuos sólidos.....	98
6.3.3. Manejo de sustancias peligrosas	99
VII. CONCLUSIONES	104
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	105
IX. ANEXOS	107

Lista de Tablas

Tabla 1 Sistemas térmicos par el tratamientos de residuos.....	22
Tabla 2 Procedimiento general para desinfección de residuos hospitalarios peligrosos.....	23
Tabla 3 Componentes de un incinerador de hogar rotativo	27
Tabla 4 ventajas y desventajas de los incineradores	28
Tabla 5 Categorías de residuos infecciosos.....	29
Tabla 6 Porcentajes que intervienen en la combustión	36
Tabla 7 Composición y porcentaje de los residuos sólidos hospitalarios	37
Tabla 8 Porcentaje de los elementos que conforman los gases.....	37
Tabla 9 Valor de calentamiento y porcentajes de los residuos	39
Tabla 10 humedad y cenizas de los residuos.....	40
Tabla 11 Cuadro de resumen de cálculos de masa para la primera cámara.....	45
Tabla 12 Calor perdido por la radiación.....	48
Tabla 13 Resumen de balance energía, temperatura y flujo de GLP	53
Tabla 14 Resultados del diseño energético de la segunda cámara.....	69
Tabla 15 Resultados del diseño energético del ducto	72
Tabla 16 Resultados del diseño energético de las tapas de la segunda cámara	75
Tabla 17 Resultados del diseño energético de la chimenea	76
Tabla 18 Cambio de temperatura en la primera cámara.....	77
Tabla 19 Cambio de temperatura en la segunda cámara.....	77
Tabla 20 Cambio de temperatura en el ducto de comunicación	77
Tabla 21 Características del primer ventilador	82
Tabla 22 Características del segundo ventilador.....	85
Tabla 23 Primera cámara la potencia requerida es de $9,38kW$	85
Tabla 24 Segunda cámara la potencia requerida es de $380kW$	85
Tabla 25 Elementos para el diseño energético del incinerador.....	86
Tabla 26 Costo energético de la primera cámara	87
Tabla 27 Costo energético de la segunda cámara	87
Tabla 28 Costo energético de la primera tapa.....	87
Tabla 29 Costo energético de la segunda tapa	88
Tabla 30 Costo energético del ducto de comunicación.....	88
Tabla 31 Costo energético de la chimenea.....	88
Tabla 32 Costo de selección de equipos en el diseño energético.....	89
Tabla 33 Costo total de las piezas y equipos de selección	89
Tabla 34 Infraestructura de los servicios.....	94
Tabla 35 Tipo de recursos naturales.....	95
Tabla 36 Cuadro de procesos	96
Tabla 37 Servicio de desarrollo.....	97
Tabla 38 Cuadro de efluentes.....	99
Tabla 39 Elementos que constituyen los gases de la combustión, vapor y cenizas	99
Tabla 40 Listado de actividades y aspectos en la fase de construcción y operación	100
Tabla 41 Cuadro de descripción de los impactos ambientales.....	101
Tabla 42 Medida de prevención, mitigación y/o corrección de impactos.....	102

Lista de Figuras

Figura 1 Incinerador de horno rotatorio	14
Figura 2 Incinerador de lecho fluidizado	15
Figura 3 Incinerador de desechos líquidos	16
Figura 4 Incinerador catalítico	16
Figura 5 Incinerador de oxidación húmeda.....	17
Figura 6 Depósito para residuos biocontaminados	18
Figura 7 Depósito para residuos especiales.....	19
Figura 8 Depósito para residuos peligrosos	20
Figura 9 Componentes principales de un sistema de incineración.....	24
Figura 10 Configuración típica de un incinerador de aire controlado.....	25
Figura 11 Configuración de un incinerador de hogar rotativo	26
Figura 12 Botadero de Reque.....	35
Figura 13 Cenizas de residuos.....	40
Figura 14 Volumen de control para el balance de masas de la primera cámara	46
Figura 15 Flujos de energía que atraviesan el volumen de control según Brunner	46
Figura 16 Volumen de control considerado en el cálculo de la temperatura	51
Figura 17 Flujo másico final a través de la primera cámara	55
Figura 18 Flujo de energía final a través de la primera cámara	56
Figura 19 Flujo másico a través de la segunda cámara	57
Figura 20 Flujo energético a través de la segunda cámara.....	58
Figura 21 Superficie de quemado.....	64
Figura 22 Radios y temperaturas en el cálculo del calor por conducción de la primera cámara	65
Figura 23 Resistencias de equivalencias en el análisis de transferencia de calor	65
Figura 24 Esquema de distribución de pérdidas por fricción en el incinerador.....	79
Figura 25 Mapa de ubicación del Hospital Regional Docente Las Mercedes	93

RESUMEN

En el presente trabajo se diseñó un incinerador de residuos sólidos hospitalarios, con la finalidad de reducir los volúmenes de desechos que el Hospital Regional Docente Las Mercedes de Chiclayo produce, y así disminuir el impacto ambiental que aquejan a profesionales, técnicos y personal calificado.

Para ello fue necesario contar con las propiedades y características de los residuos, tomando en cuenta la norma de incineración R.M. N°217-2004/MINSA como el tiempo de operación para esterilizar en su totalidad los residuos y la temperatura a la cual debe operar un incinerador

Primero se calculó las dimensiones de las piezas que conformaron el incinerador como la primera cámara, segunda cámara, ducto de comunicación, tapas de la cámara y la chimenea, así como los parámetros de los materiales que se utilizaron para el diseño energético como ladrillos refractario aislante, cemento refractario y manta de lana de roca

Segundo se calculó y seleccionó los equipos a intervenir en el diseño energético del incinerador como ventiladores y quemadores

Tercero se hizo diagnóstico de impacto ambiental, posteriormente un análisis económico factible en el diseño energético del incinerador

Palabras claves: incinerador, residuos sólidos hospitalarios, impacto ambiental

ABSTRACT

In the present work an incinerator of hospital solid waste was designed, with the purpose of reducing the volumes of waste that the Regional Teaching Hospital Las Mercedes of Chiclayo produces, and thus diminish the environmental impact that afflicts professionals, technicians and qualified personal.

For this it was necessary to have the properties and characteristics of the waste, taking into account the incineration norm R.M. No. 217-2004 / MINSAs as the operating time to completely sterilize the waste and the temperature at which an incinerator must operate

First, the dimensions of the pieces that made up the incinerator were calculated, such as the first chamber, second chamber, communication duct, chamber and chimney caps, as well as the parameters of the materials used for the energetic design, such as insulating refractory bricks, refractory cement and rock wool blanket

Second, equipment was calculated and selected to intervene in the energy design of the incinerator as fans and burners

Third, a diagnosis of environmental impact was made, then a feasible economic analysis in the energy design of the incinerator

Keywords: incinerator, hospital solid waste, environmental impact

I. INTRODUCCIÓN

Situación problemática

Los residuos sólidos hospitalarios son un conjunto de desechos que genera un centro de atención de la salud, que se manifiesta como el deterioro del planeta y del mismo hombre. Estas acciones se originan por factores que no permiten tener un ecosistema en buen estado por lo tanto infieren directamente con el planeta. [1]

La organización mundial de la salud (OMS) estima que en los últimos años los residuos hospitalarios generan diversidades de causas, el número de inyecciones con agujas y jeringas contaminadas han disminuido en los países de bajos y medianos ingresos, para reducir la reutilización de dispositivos de inyección. Pese a los avances logrados, en el 2010 la administración de inyecciones en condiciones no seguras llegó a causar 33800 nuevas infecciones por VIH, 1,7 millones de infecciones por el virus de la hepatitis B y 315000 infecciones por el virus de la hepatitis C. En una persona que experimenta un pinchazo con una aguja previamente utilizada en un paciente, el riesgo de infección por el VHB, el VHC y el VIH es del 30%, el 1,8% y el 0,3%, respectivamente. [2] [1]

Asimismo, el MINSA en Perú registró el 90 % de los residuos hospitalarios termina en ríos o botaderos al aire libre, significando verdaderas bombas de tiempo infecciosas, específicamente en el Hospital Docente Regional Docente Las Mercedes de Chiclayo la población de pacientes aumento a un 50% lo cual hace que los residuos hospitalarios superen los 1000 kg mensualmente.

El presente trabajo tiene por objetivo diseñar un incinerador ecológico de residuos hospitalarios para la reducir los volúmenes de desechos que se genera en el Hospital Regional Docente Las Mercedes [2] [1]

Para hacer posible esta investigación se requiere tener en cuenta objetivos iniciando por diseñar el incinerador cuyas dimensiones estarían basadas en el espacio y la cantidad de residuos que genera el hospital, que aproximadamente sería de 1000 kg mensuales que diariamente son 45 kg, el primer paso del proceso consiste en introducir los desechos en el horno. Este se mantiene comúnmente a 980°C o más. Los componentes de los desechos que son convertidos en gas se bombean hacia el quemador posterior, y los materiales que permanecen sólidos son expulsados como ceniza a un recipiente separado para ser removidos y ser tratados. Los gases en la cámara de postcombustión están expuestos a 1200° C, este calor extremo los obliga a romper sus enlaces químicos y volverse más estables.

Se espera que los resultados obtenidos de esta investigación sea un aporte a los siguientes estudios y sobre todo reducir la contaminación ambiental que hoy en día es muy frecuente en Lambayeque.

Formulación del problema

¿Cómo se diseña energéticamente un incinerador de residuos sólidos hospitalarios para mitigar el impacto ambiental en el hospital regional docente Las Mercedes?

Objetivos

Objetivo General

Diseñar un incinerador de residuos sólidos hospitalarios para reducir el impacto ambiental

Objetivos Específicos

- Determinar y calcular las variables físicas/químicas y parámetros de operación para el cumplimiento de la norma técnica de la incineración de los residuos sólidos hospitalarios
- Calcular y seleccionar los equipos a intervenir, para así reducir los volúmenes de desechos que se genera en el hospital regional docente Las Mercedes.
- Realizar un diagnóstico de impacto ambiental para el diseño energético del incinerador en el hospital regional docente Las Mercedes.
- Desarrollar un análisis económico para la factibilidad del proyecto

Justificación

Este proyecto de investigación se inició debido al gran volumen de residuos sólidos hospitalarios que existe en el Hospital Regional Docente Las Mercedes, ya que por su acumulación perjudica directamente a los trabajadores del hospital como profesionales, técnicos, personal y pacientes.

Como se sabe en una persona que experimenta un pinchazo con una aguja previamente utilizada en un paciente, el riesgo de infección por el teniendo como consecuencia el aumento de riesgo de infección por el VHB, el VHC y el VIH es del 30%, el 1,8% y el 0,3%, respectivamente, debido al no incinerar los residuos hospitalarios.

Con esta investigación se pretende reducir los volúmenes de residuos sólidos hospitalarios, y así erradicar el uso de ríos, canales, etc. y en la gran mayoría de tiempo queda acumulado en el hospital.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Estado del arte

En el campo de tratamiento y valorización de residuos hospitalarios es muy amplio, ya que se emplean muchos métodos para reducir el volumen de desechos que se puede generar en un centro de salud el estudio "Desarrollo del Enfoque de las Tecnologías de

Tratamiento de Residuos Sólidos Hospitalarios" identifica las tecnologías de tratamiento disponibles en el ámbito mundial. Asimismo, se han analizado y discutido tanto técnica como económicamente las alternativas de tratamiento, basándose en las cualidades y capacidades de cada tecnología, así como sus costos de inversión, operación y de mantenimiento [3]

Por otro lado, se plantea el tratamiento de los residuos biocontaminados en la fuente de generación (tratamiento in situ) y se propone la tecnología disponible para ello. Se estableció la alternativa de un solo tratamiento global en el establecimiento de salud, para ciertos establecimientos de salud con capacidades y recursos limitados.

Igualmente se hace mención a la alternativa de tratamiento centralizado para establecimientos de salud, ubicados en una determinada área geográfica, tanto en su versión de unidad de tratamiento fija, como en la versión de unidad móvil. [3]

Las ventajas y desventajas de cada una son planteadas, incluyendo análisis de riesgos, requerimiento de recursos e impacto ambiental que implica cada operación

Para llevar a la práctica la propuesta de gestión integral del manejo de residuos sólidos hospitalarios, se plantea la implementación de un sistema de organización articulado con la actual organización del establecimiento de salud. Esta propuesta se realiza bajo el esquema moderno de participación de la empresa privada en apoyo a los servicios de salud. [4] [5]

Cabe mencionar que la propuesta planteada en el presente documento requiere el complemento de un marco legal apropiado, que propicie al interior de los establecimientos de salud la adopción de las tecnologías aquí, a fin de reducir los riesgos actuales asociados al manejo de los residuos sólidos hospitalarios. [6]

El objetivo es evaluar los sistemas de tratamiento de residuos sólidos de establecimientos de salud, considerando el aspecto sanitario, técnico - operativo, económico y organizacional, que garantice eficacia, seguridad y eficiencia para el mejor control de los riesgos de salud ocupacional, pública y ambiental que están asociados a éstos.

La finalidad es de identificar y caracterizar las metodologías y técnicas de tratamiento de los residuos sólidos hospitalarios, evaluando la viabilidad técnica, operativa, organizacional y económica de ellas, el contexto de la red de los establecimientos de salud administrados por el Ministerio de Salud. [6] [7]

2.2 Bases Teórico Científicas

2.2.1. Incineración

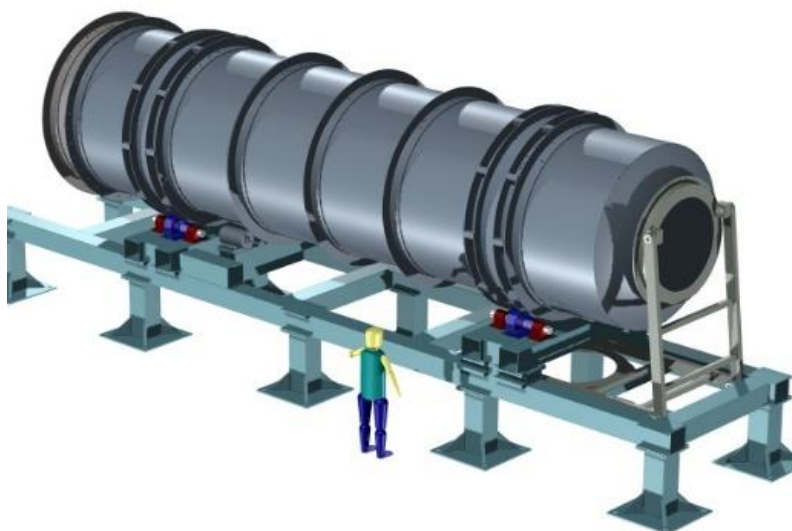
La incineración se define como un proceso térmico que conduce a la reducción en peso y volumen de los residuos sólidos mediante la combustión controlada en presencia de oxígeno. El objetivo de la incineración es reducir el volumen de los residuos sólidos transformándolos en materiales sólidos, gaseosos y líquidos, que pueden ser más manejables para su disposición final. Durante el proceso de incineración los residuos sólidos reciben un tratamiento térmico en presencia de aire transformándose en constituyentes gaseosos, los cuales se liberan a la atmósfera y en un residuo sólido. Durante la combustión de los residuos en un incinerador se genera calor, lo que se conoce como “calor de combustión”, el cual puede ser aprovechado como fuente de energía para el mismo proceso o para otros como el calentamiento de agua o la generación de vapor. [3] [4]

2.2.1.1. Incinerador de horno rotatorio

Consiste en un cilindro metálico recubierto interiormente con ladrillo refractario, cuya rotación permite tiempos de residencia variables, de minutos a horas. Es para temperatura de 1600°C. [4] [5]

Son especialmente efectivos cuando el tamaño y naturaleza de los desechos no permite el uso de otros tipos de hornos. Si se equipan con quemadores de boquillas sirven además para sólidos, líquidos y vapores orgánicos. [4] [5]

Figura 1 Incinerador de horno rotatorio



Fuente: www.ATC.com

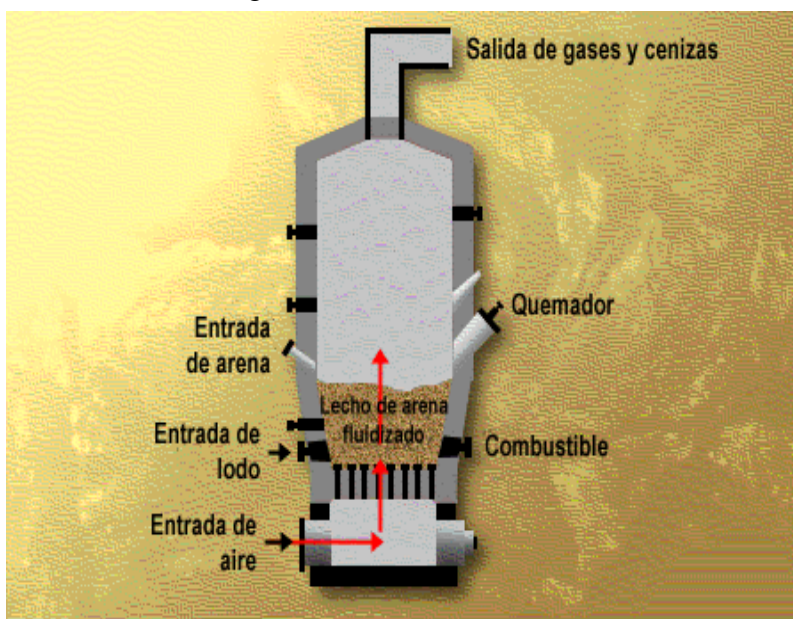
2.2.1.2 Incinerador de lecho fluidizado

Los gases de combustión se mezclan con el líquido de desecho en pequeños gotas (rocío), alimentado por una corriente de aire. [3]

Si se mezcla con sólidos inertes, por ejemplo arena de río, estarán más o menos suspendidos y permiten una combustión mejorada. [3]

Estos incinerador son para líquidos, sólidos con bajo punto de fusión y lodos, no así para sólidos con alto punto de fusión [4]

Figura 2 Incinerador de lecho fluidizado



Fuente: www.Untitled.com

2.2.1.3. Incinerador de sales fundidas

El funcionamiento para esta máquina térmica es con un baño de sales a una temperatura alrededor de 900°C, que atrapa metales peligrosos, opera con líquidos y sólidos previamente molidos. [4] [6]

2.1.2.4. Incinerador de desechos líquidos

Para cualquier material que pueda manejarse con bomba hidráulica y sólido de bajo punto de fusión. [4] [6]

Requiere que la alimentación sea homogénea, con valor energético razonablemente constante. [4]

Figura 3 Incinerador de desechos líquidos



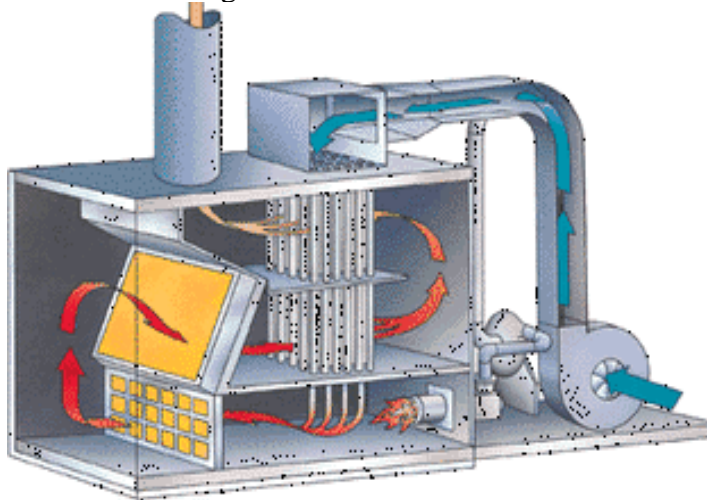
Fuente: Incineradores Mega

2.1.2.5. Incinerador catalítico

Para gases, humos y corrientes de aire ricas en alguna sustancia peligrosa en forma de vapor o líquido en pequeñas gotas. [3]

La corriente gaseosa se pasa por un lecho de catalizador, usualmente alúmina, que acelera la combustión. Está limitada a 500°C, para preservar al catalizador [4]

Figura 4 Incinerador catalítico

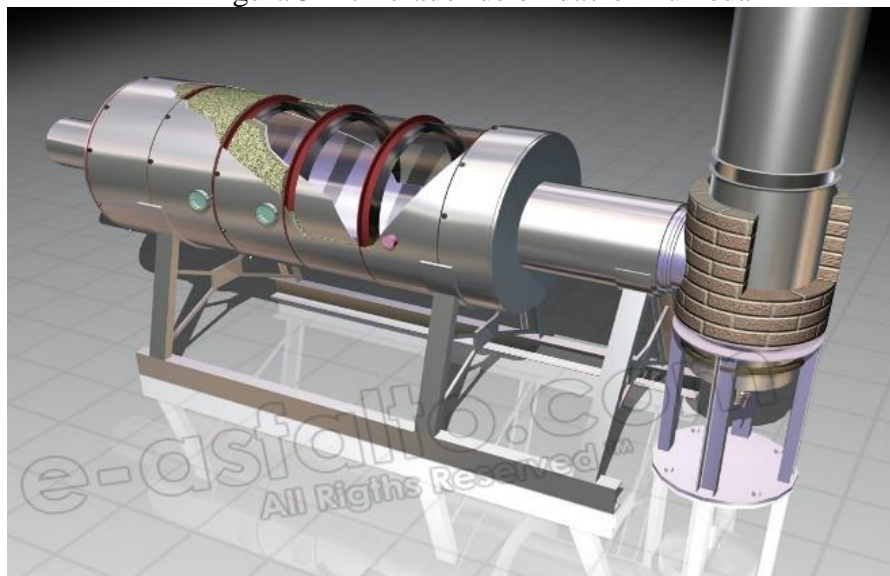


Fuente: Emaze Magazine

2.1.2.6. Incinerador de oxidación húmeda

Este proceso funciona con alta presión 10 MPa, moderada temperatura de 300°C, es efectivo para líquidos orgánicos peligrosos, con un nivel de combustión entre 60% - 100%, no maneja sólidos ni lodos, normalmente es un paso previo al tratamiento biológico. [7]

Figura 5 Incinerador de oxidación húmeda



Fuente: E- asfalto Company

2.1.2.7. Incinerador de horno múltiple

Normalmente con un mínimo de 6 hogares, los materiales ingresan por la parte superior y un mecanismo las lleva hacia la temperatura creciente, estos hornos se usan principalmente para sólidos y lodosos de origen biológico y de industrias químicas, no son para líquidos y gases. [6]

2.1.2.8. Incinerador de cámara múltiple

Los gases de la combustión se cambian de dirección y pasa por varias cámaras con mezcla y combustión secundarias, son esencialmente para sólidos de resinas sintéticas, no manejan líquidos ni lodos. [3] [7]

Se ha encontrado que su capacidad efectiva no pasa de los 500 kg/h de desecho, más allá de lo cual la combustión no es completa. [6]

2.2.2. Residuos sólidos hospitalarios

Desechos sólidos hospitalarios son desechos que provienen del uso de la medicina, también conocidos como residuos clínicos. Se refiere normalmente a los productos de desecho que no pueden considerarse residuos en general, producidos a partir de la atención sanitaria en locales, tales como los hospitales. [1]

La eliminación de estos residuos es de una gran preocupación por parte del medio ambiente. [1] [2]

2.2.2.1. Clase A: residuo biocontaminado

Son aquellos residuos peligrosos generados en el proceso de la atención e investigación médica que están contaminados con agentes infecciosos, o que pueden contener altas concentraciones de microorganismos que son de potencial riesgo para la persona que entre en contacto con dichos residuos. [1]

Figura 6 Depósito para residuos biocontaminados



Fuente: www.Minsa.gob.pe

Tipo A.1

Biológico Compuesto por cultivos, inóculos, mezcla de microorganismos y medios de cultivo inoculados provenientes del laboratorio clínico o de investigación, vacunas vencidas o inutilizadas, filtro de gases aspiradores de áreas contaminadas por agentes infecciosos y cualquier residuo contaminado por estos materiales. [2]

Tipo A.2

Bolsas conteniendo sangre humana y hemoderivados. Este grupo está constituido por materiales o bolsas con contenido de sangre humana de pacientes, con plazo de utilización vencida, serología positiva, muestras de sangre para análisis, suero, plasma y otros subproductos u hemoderivado. [2]

Tipo A.3

Residuos Quirúrgicos y Anátomo-Patológicos Compuesto por tejidos, órganos, piezas anatómicas y residuos sólidos contaminados con sangre resultantes de una cirugía, autopsia u otros. [2]

Tipo A.4

Punzo cortantes Compuestos por elementos punzo cortantes que estuvieron en contacto con pacientes o agentes infecciosos, incluyen agujas hipodérmicas, jeringas, pipetas, bisturís, placas de cultivo, agujas de sutura, catéteres con aguja y otros objetos de vidrio enteros o rotos u objetos corto punzantes desechados. [2]

Tipo A.5

Animales contaminados Se incluyen aquí los cadáveres o partes de animales inoculados, expuestos a microorganismos patógenos o portadores de enfermedades infectocontagiosas; así como sus lechos o residuos que hayan tenido contacto con éste. [2]

Tipo A.6

Atención al Paciente Residuos sólidos contaminados con secreciones, excreciones y demás líquidos orgánicos provenientes de la atención de pacientes, incluyéndose los restos de alimentos. [2]

2.2.2.2. Clase B: residuos especiales

Son aquellos residuos peligrosos generados en los hospitales, con características físicas y químicas de potencial peligro por lo corrosivo, inflamable, tóxico, explosivo y reactivo para la persona expuesta. [1]

Figura 7 Depósito para residuos especiales



Fuente: www.Minsa.gob.pe

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, entre otros. [2]

Tipo B.2

Residuos Farmacéuticos Compuesto por medicamentos vencidos; contaminados, desactualizados; no utilizados, provenientes de ensayos de investigación, entre otros. - 23 - Norma Técnica: Procedimientos para el Manejo de Residuos Sólidos Hospitalarios. [1]

Tipo B.3

Residuos radioactivos Compuesto por materiales radioactivos o contaminados con radioisótopos de baja actividad, provenientes de laboratorios de investigación química y biología; de laboratorios 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, heces, entre otros) [1]

2.2.2.3. Clase C: residuo común

Compuesto por todos los residuos que no se encuentran 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 los residuos generados en administración, aquellos provenientes de la limpieza de jardines, patios, áreas públicas, restos de la preparación de alimentos y en general todo material que no puede clasificar en las categorías A y B. [1]

Figura 8 Depósito para residuos peligrosos



Fuente: www.minsa.gob.pe

2.2.3. Transferencia de calor

2.2.3.1. Conducción

La transmisión de la energía térmica por conducción se experimenta cuando un cuerpo caliente está en contacto físico con otro cuerpo más frío. La energía se transmite siempre del cuerpo caliente al cuerpo frío. Si ambos cuerpos están a la misma temperatura no hay transferencia energética. [8]

2.2.3.2. Convección

Es la transmisión de calor por movimiento real de las moléculas de una sustancia. Este fenómeno sólo podrá producirse en fluidos mediante movimiento natural (diferencia de densidades) o circulación forzada (con la ayuda de ventiladores, bombas, etc.) puedan las partículas desplazarse. [8]

2.2.3.3. Radiación

Es la transmisión de calor entre dos cuerpos los cuales, en un instante dado, tienen temperaturas distintas, sin que entre ellos exista contacto ni conexión por otro sólido conductor. Es una forma de emisión de ondas electromagnéticas (asociaciones de campos eléctricos y magnéticos que se propagan a la velocidad de la luz) que emana todo cuerpo que esté a mayor temperatura que el cero absoluto. El ejemplo perfecto de este fenómeno es el planeta Tierra. Los rayos solares atraviesan la atmósfera sin calentarla y se transforman en calor en el momento en que entran en contacto con la tierra. [8]

2.2.4. Combustión

La combustión es la relación de oxidación de las sustancias combustibles. Como en la mayor parte de sus aplicaciones técnicas lo que se exige en estos procesos es la obtención del máximo calor posible, se desarrollara el planteo de las reacciones completas, que exigen cantidades más o menos importantes de aire en exceso. [7] [9]

Si bien esto permite evitar la existencia de inquemados y humos, el exceso de aire también implica mayores pérdidas de calor en los productos de la combustión. De ahí constituye uno de los parámetros importantes a controlar. [7] [9]

Aunque el tratamiento que se da al tema es el más sencillo posible, compatible con la precisión técnica adecuada, no debe ocultarse el hecho de que los mecanismos de reacción, además son realmente complejos, y que de los productos de la reacción, además de las sustancias completamente oxidadas que se indican, aparecerán trazas de otros componentes indeseados. [9]

2.2.4.1. Combustión completa

Es una combustión completa e ideal de combustible puro, es decir en la combustión completa del combustible con oxígeno sin reacciones secundarias indeseadas, se formaría solo agua y dióxido de carbono [9]

2.2.4.2. Combustión incompleta

Debido a las condiciones de combustión no ideales (gotas de combustibles no evaporadas o película líquida de combustible en la pared de la cámara de combustión), pero también debido a la composición del combustible, se generan, además de los productos principales de la combustión agua y dióxido de carbono algunos componentes indeseados como los hidrocarburos no quemados, hidrocarburos quemados parcialmente [9]

III. DISEÑO

3.1. Tratamiento de residuos

Debido al crecimiento poblacional en el departamento de Lambayeque, el manejo de los residuos se hace cada vez más importante. Frente a eso se han venido desarrollando diversos métodos para el tratamiento de desechos tales como el reciclaje el almacenamiento controlado en rellenos sanitarios. Sin embargo, surge un problema mayor cuando se trata de residuos que son considerados peligrosos, es decir, que tengan capacidad de afectar a las personas o al medio ambiente. [10] [11]

La presente tesis se enfoca en el diseño de un método para la eliminación de residuos peligrosos generados en hospitales, nos referimos a los residuos considerados infecciosos y patológicos. Es así que hallamos dos opciones viables de entre ellos los tratamientos térmicos para los residuos considerados peligrosos [1] [11]

Tabla 1 Sistemas térmicos par el tratamientos de residuos

Sistemas térmicos de tratamiento de residuos	corrosivos	Cianuros y derivados	Disolventes halogenados	Disolventes orgánicos	Compuestos orgánicos	Residuos orgánicos	Residuos oleosos	PCBs	Solución acuosa con metales	Solución acuosa con orgánicos	Suelos contaminados	Residuos infectopatológicos
Incinerador de líquidos			X	X	X	X	X					
Horno rotativo			X	X	X	X	X	X			X	X
Incinerador de lecho fluidizado			X	X	X	X	X	X			X	
Calderas			X	X	X	X						
Horno cementero			X	X	X	X	X	X				
Oxidación húmeda		X		X						X		
Pirólisis			X	X	X	X					X	
Incineración oceánica			X	X	X	X	X					
Incinerador de vidrio fundido			X	X	X	X	X			X		
Oxidación de eje profundo				X	X	X				X		
Oxidación de agua supercrítica			X	X	X					X		
Sistema por arco de plasma			X	X	X	X		X				
Incineración catalítica						X						
Quemado como combustible			X	X		X	X					
Incineración con aire controlado												X

Fuente: Standard Handbook of hazardous waste treatment and disposal

Fuente: Handbook of incineration system

Tipo de residuo	Procedimiento																					
	Almacenamiento			Transporte				Reducción de volumen	Técnicas de desinfección				Disposición final									
	Interno		Externo	Interno			Ext.		In-situ		Ex-situ		final									
	Bolsas rojas	Bolsas negras	Contenedores metálicos	Contenedor plástico	Compactador	Carros de transporte	Hidraulicos	Neumático	Ductos de transporte	Camiones	Incineración	Trituración	Trituración húmeda	Esterilización	Incineración	Desinfección por microondas	Desinfección química	Incineración	Esterilización	Relleno sanitario	Incineración	Reciclaje
Patológicos	X					X			X		X			X	X	X	X				X	
Infeciosos	X					X	X	X	X	X		X		X	X	X		X	X		X	
Administrativos		X		X	X	X	X	X	X	X	X	X								X	X	X
Cajas		X		X		X				X	X	X								X	X	X
Alimentos		X		X		X	X			X		X								X	X	
Latas				X	X	X				X		X								X		X
Botellas				X	X	X				X		X								X		X
Agujas y medicinas			X		X								X	X	X					X	X	

Tabla 2 Procedimiento general para desinfección de residuos hospitalarios peligrosos

Se encontró que existen otros métodos aptos para el tratamiento de residuos hospitalarios considerados peligrosos. En el siguiente anexo se puede apreciar las ventajas y desventajas presentes entre técnicas de desinfección mostrados, como consecuencia de la variedad de métodos, se expondrá las razones principales del por qué se elige el método de la incineración [11] [12]

El uso de un incinerador para el tratamiento de residuos sólidos hospitalarios ofrece dos ventajas principales las cuales son: reducción de volumen y peso (reducción de un 90% y 75% respectivamente) e inocuidad de productos de la incineración, es decir, productos resultantes 100% estériles. [11] [12]

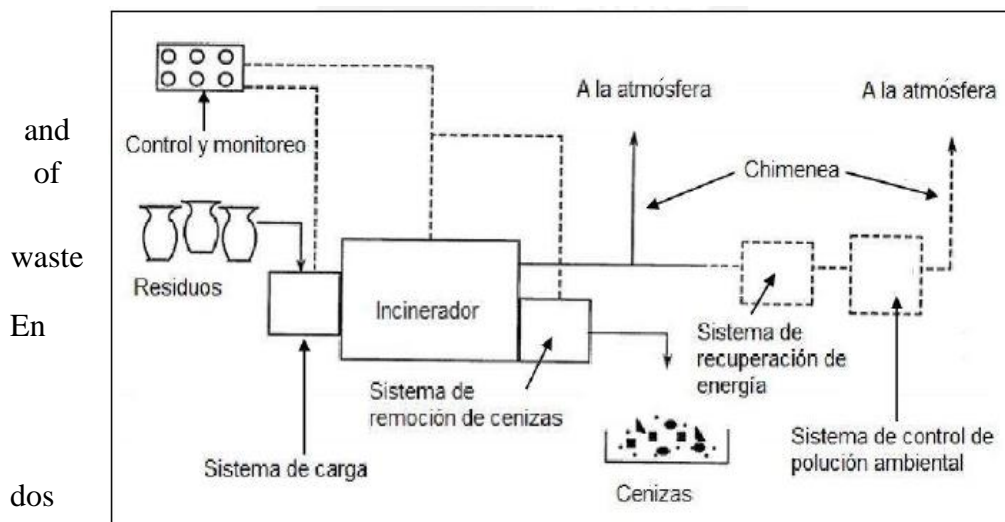
Si se sigue una adecuada limpieza de los gases residuales, la contaminación al medio ambiente se minimiza, obteniendo un sistema que es amigable con el medio ambiente y no tan costoso como otras tecnologías. [11] [13]

Dadas estas 3 razones, se escogió el método de la incineración como el adecuado para el desarrollo de este trabajo.

3.1.1. Proceso de incineración

Se conoce como equipo de incineración a un sistema en el cual se produce oxidación química de un elemento mediante la elevación de su temperatura y la presencia de un oxidante.

Figura 9 Componentes principales de un sistema de incineración



Fuente:
Operation
maintenance
hospital
medical
incinerators

los siguientes
párrafos de la
selección se
definirán los
procesos
térmicos

viabiles y se compararán sus ventajas y desventajas para finalmente elegir uno de los dos

3.1.1.1. Incinerador de aire controlado

Se trata de un dispositivo el cual suele contar con dos cámaras, la primera cámara es conocida como cámara de ignición y la segunda cámara es conocida como cámara de combustión. [11]

En la primera cámara se ingresa el residuo consiguiendo elevar su temperatura debido a la exposición frente uno o más quemadores. Sin embargo, este residuo necesita oxígeno extra para arder adecuadamente y es en esa situación donde se inyecta aire suplementario. Este elemento

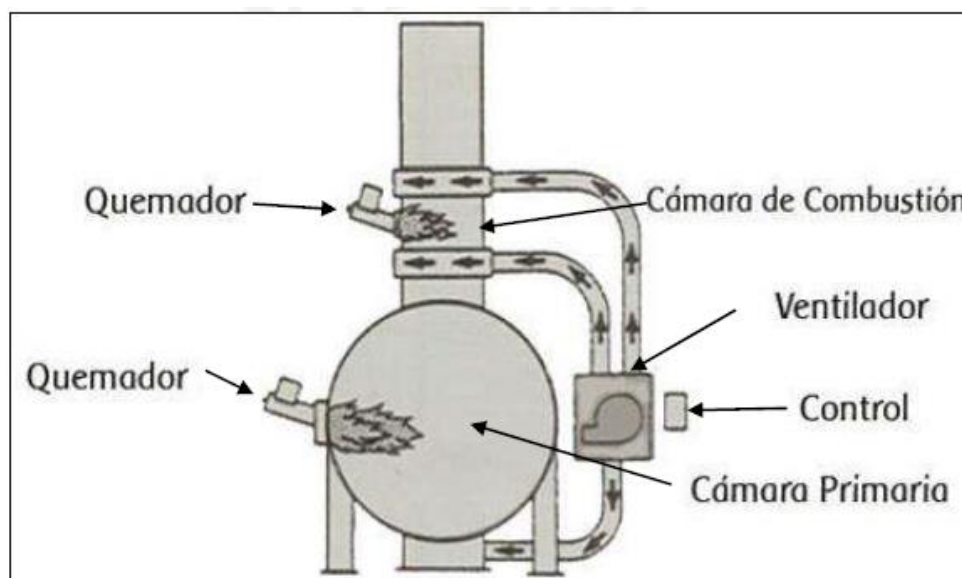
es el que se regula, entregándose entre 70% y 80% del aire estequiométrico que necesita el residuo para combustionar adecuadamente, la temperatura en esta cámara oscila entre 540°C y 980°C. [11]

Tres procesos principales ocurren en la primera cámara: el primero es la evaporación de la humedad contenida en los residuos; segundo la fracción volátil (se refiere a la parte del residuo que no es humedad ni tampoco en la que se dé la descomposición de los residuos es quemado). [11]

Posteriormente, los gases de combustión generados, los cuales están compuestos por la materia volátil y el agua en forma de vapor, viajan hacia la segunda cámara en donde se desarrolla un ambiente de gran turbulencia y ambiente en exceso de oxígeno (140% - 200%) en donde son quemados completamente. la temperatura en esta cámara oscila entre 980°C y 1200°C. [11] [12]

Luego, los gases generados son dirigidos hacia un intercambiador de calor en donde se aprovecha su alta temperatura. La energía recuperada suele ser usada en calderas o en turbinas especializadas para vapor saturado. Finalmente, antes de ser enviados a la atmosfera por medio de una chimenea, los gases pasan a través de un dispositivo de control de polución en donde se remueve el exceso de material particulado en los gases y se neutraliza cualquier elemento considerado toxico para el medio ambiente. Este sistema no puede colocarse antes del equipo de recuperación de energía porque las altas temperaturas a las que salen los gases del intercambiador tienden a afectar negativamente al dispositivo [11] [12]

Figura 10 Configuración típica de un incinerador de aire controlado



Fuente:
Handbook
of
incineration
system

3.1.1.2.

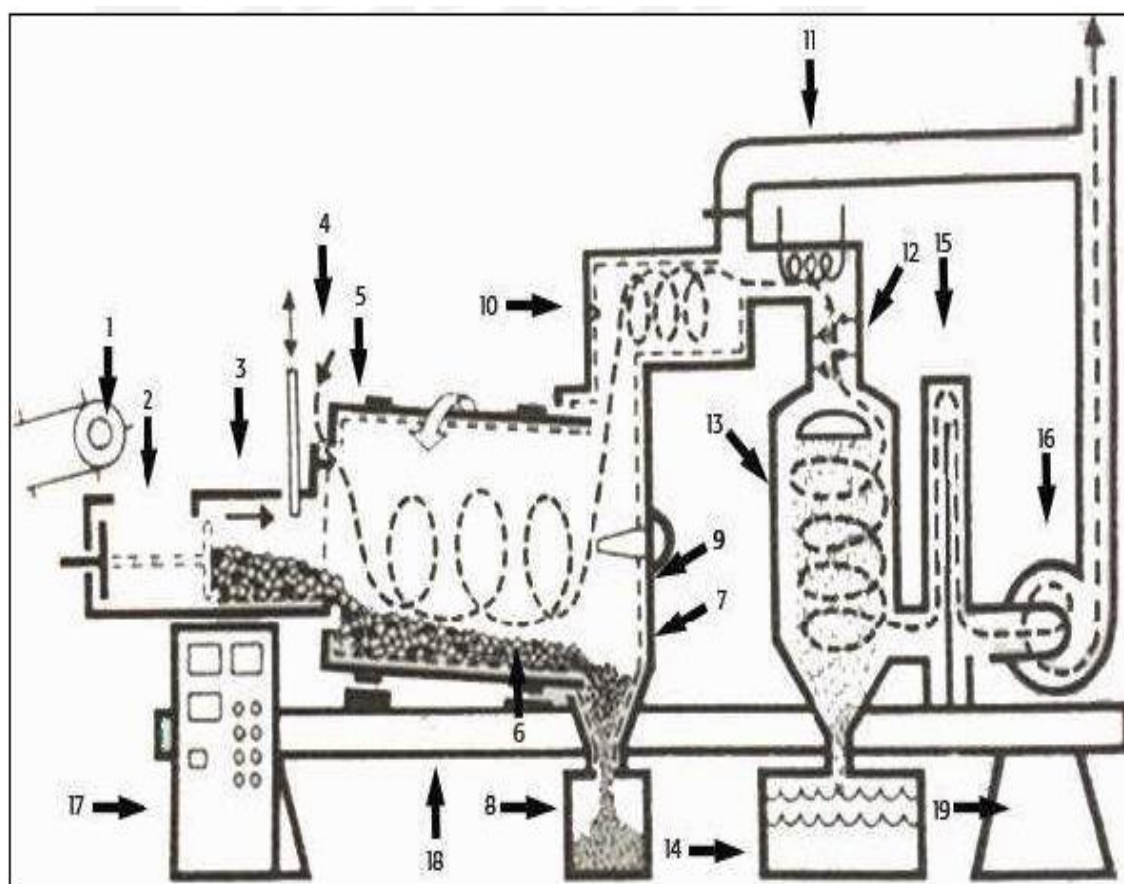
Incinerador de horno rotatorio

Así como el incinerador de aire controlado, este modelo también utiliza dos cámaras. La primera cámara es de forma cilíndrica y es rotativa. Está posicionada de manera inclinada verticalmente mientras que la segunda cámara también es de manera inclinada verticalmente mientras que la segunda cámara también es de forma cilíndrica pero su posicionamiento es horizontal. [11] [14]

Al inicio del proceso el residuo es ingresado en la primera cámara desde el extremo más largo, una vez adentro el residuo va avanzando hacia abajo mientras es expuesto a los gases de combustión del quemador. Es necesario agregar que el giro del hogar da la ventaja de una buena exposición al calor debido a la alta turbulencia, a ello se le suma el aspecto de la cantidad de aire en exceso con la se incineran los residuos. [11] [14]

Luego, los vapores de combustión ascienden a la segunda cámara en donde son quemados completamente utilizando un quemador. Este proceso siempre se da con exceso de aire. Después, los gases residuales se dirigen a través de un intercambiador de calor para luego ser lavados y finalmente expulsados tal como se hace con el otro sistema de incineración mencionado líneas atrás. [11] [14]

Figura 11 Configuración de un incinerador de hogar rotativo



Fuente: Handbook of incineration system

Tabla 3 Componentes de un incinerador de hogar rotativo

1. Sistema de transporte	11. Control
2. Sistema de alimentación	12. Soporte estructural
3. Entrada del incinerador	13. Soporte de apoyo
4. Aire auxiliar	14. Recipiente para cenizas
5. Hogar rotatorio	15. Quemador
6. Quemado turbulento	16. Cámara post-combustión
7. Cenizas incombustibles	17. Sistema de recuperación
8. Reciclamiento de agua	18. Enfriador
9. Columna de neutralización	19. Sistema de lavado de gases
10. Extractor	

Fuente: Propia

Debido a que ambos son métodos ampliamente usados para el propósito principal del presente trabajo, se presenta un cuadro comparativo entre las ventajas y desventajas principales de ambos mecanismos. [11]

Finalmente, considerando con la cantidad de masa a incinerar en la ciudad de Chiclayo se escogió el incinerador de aire controlado. Las ventajas significativas tomadas en cuenta son: el menor tamaño y menor coste de inversión y la baja emisión de material particulado. Esta última condición aún más puesto que evita la alta inversión en equipos para una exigente limpieza de gases residuales [11]

3.1.2. Clasificación de residuos del Ministerio de Salud del Perú

Como primer punto, se definió que son los residuos sólidos hospitalarios son una mezcla heterogénea de diferentes tipos de desechos entre los cuales podemos encontrar residuos comunes como papel y alimentos; desechos generados en laboratorios médicos como bolsas de sangre humana y cultivos de investigación; desechos quirúrgicos como tejidos y órganos; así como residuos farmacéuticos como lo son medicamentos vencidos, envases o recipientes contaminados por productos tóxicos entre otros. [10]

Se mostrará en un cuadro terminando este párrafo en donde se ve la clasificación de los residuos considerados como los infecciosos según U.S. Environmental Protection Agency

Por otro lado, la clasificación de los residuos sólidos hospitalarios según la norma técnica vigente se puede ver en la resolución ministerial: R.M. N°217-2004/MINSA. [10]

Tabla 4 ventajas y desventajas de los incineradores

VENTAJAS	DESVENTAJAS
INCINERADOR DE AIRE CONTROLADO	
Espacio reducido dado que segunda cámara suele estar encima de la primera	Podría incinerar ineficientemente las cenizas
Bajas emisiones de partículas (1.06 gr/m³) sin usar equipo para lavado de gases	Se suele operar por periodos (batch mode)
Bajo costo de inversión comparado con el incinerador de hogar rotatorio	En trabajo continuo podría tener problemas con materiales que se funden y se pegan a las paredes del refractario
INCINERADOR DE HOGAR ROTATORIO	
Extremadamente bueno en la quema de material carbonoso remanente en la ceniza	Requiere gran espacio
Buen funcionamiento en operación continua	Las emisiones de material particulado tienden a ser mayor que las del incinerador de aire controlado; esto se debe a la alta turbulencia que existe en las cámaras la cual arrastra los materiales volátiles
Tiempo de residencia puede ser ajustado por la velocidad de giro del hogar	Alto costo de inversión comparado con el otro modelo de incineración
Incinerar algunos materiales haciéndolos pasar por una transición entre sólido y líquido, es decir. Los derrite parcialmente	Puede presentar alto ruido y vibraciones
Los rangos de sus parámetros de funcionamiento son bastante amplio	Se suele tener problemas en el mantenimiento del sellado en los extremos del hogar rotativo

Fuente: Diseño energético de un incinerador para 700kg de residuos sólidos hospitalarios usando GLP

Tabla 5 Categorías de residuos infecciosos

CATEGORIA DE RESIDUO INFECCIOSOS	EJEMPLO
Residuos aislados	Residuos de pacientes con enfermedades consideradas como contagiosas que requieren aislamiento
Cultivos y almacenamiento de agentes infecciosos	Especímenes de laboratorios médicos dedicados a la investigación, se consideran los recipientes y herramientas de trabajo que estén en contacto con los agentes infecciosos; desechos biológicos derivados de la producción de agentes; vacunas activas y vencidas
Sangre humana y productos derivados	Residuos de sangre, plasma, y productos derivados como por ejemplo: plaquetas y albumina
Residuos patológicos	Tejidos, orgánicos, partes humanas, fluidos corporales obtenidos en cirugía, autopsia y biopsias
Elementos cortantes contaminados	Agujas contaminadas de inyecciones/vacunas, hojas de escalpelo (bisturí), instrumentos laparoscópicos, entre otros que sean usados en intervenciones quirúrgicas
Restos de animales contaminados	Restos corporales así mismo como los elementos con los que tuvo contacto

Fuente: Diseño energético de un incinerador para 700kg de residuos sólidos hospitalarios usando GLP

Como se puede deducir, el flujo másico de residuos, al no ser homogéneos, no presentara un poder calorífico constante; sin embargo para el presente trabajo se consideran como tal. [14]

3.1.3. Cenizas en los residuos

Se conoce como cenizas a la parte incombustible del elemento incinerado. Su composición depende del elemento a incinerar, por ejemplo, para piezas anatómicas, las cenizas tendrán en su composición sodio y fosfato de calcio.

Se le considera en el análisis dado que representa una masa seca que al finalizar el proceso tendrá energía almacenada. En donde las cenizas se encontraran a una temperatura alta

(temperatura de reacción) la cual junto al inherente valor de calentamiento, representa una parte de la energía que se libera en la incineración. [12]

Esta energía se considera como parte de la energía perdida porque se suele dejar enfriar en el hogar del incinerador o en un área especializada para su almacenamiento hasta que sea manipulable y luego expulsable. [11]

3.1.4. Modo de operación

Este parámetro indica la forma en cómo se ingresan los residuos desde la perspectiva manual o mecánico y si se alimenta el hogar una vez o varias veces durante un proceso completo de incineración. También relaciona la forma en como son retiradas las cenizas [11]

Desde esos puntos, los incineradores se clasifican en tres grupos. Funcionamiento por periodos (batch), funcionamiento intermitente y funcionamiento continuo. [11]

3.1.4.1. Funcionamiento por periodos (batch)

Se realiza de una sola alimentación por periodo de trabajo. Luego del quemado, el equipo es enfriado, se retiran las cenizas y el proceso se repite. Los rangos típicos de incineración para esta clasificación están entre 25kg/hr y 225kg/hr.

La alimentación puede ser manual o manera mecánica. Mientras que las cenizas son usualmente retiradas con un rastrillo o pala. [12]

3.1.4.2. Funcionamiento intermitente

Es este caso, se alimenta el hogar durante la operación del incinerador. El operador tiene la opción de abrir la puerta de acceso al hogar y alimentar manualmente el equipo o el control automático puede estar calibrado para permitir el ingreso cuando cierto peso es censado en el área de recepción de residuos. [11] [12]

Esta última configuración asegura una alimentación más homogénea, se suele usar en equipos que estén diseñados para procesar desde 25 kg/hr hasta 450 kg/hr por otro lado, se apaga el equipo cuando el área para almacenar cenizas se encuentra llena siendo este factor el limitante de la frecuencia de alimentación. [12]

3.1.4.3. Funcionamiento continuo

Para esta situación, se tienen las mismas opciones de alimentación que en el funcionamiento intermitente; sin embargo, la diferencia está en el método de remoción de cenizas. En el funcionamiento continuo se suele retirar con un sistema automático de manera que el área que las almacena nunca se llena dando así la posibilidad de trabajar constantemente, se suele usar para un rango de proceso de entre 225 kg/hr y 1350 kg/hr. [12]

3.1.5. Limpieza de gases

Se refiere al tratamiento que se le hace a las emisiones del incinerador con el fin de cumplir con la normativa de polución ambiental vigente.

La selección del equipo de limpieza de gases se hace considerando los siguientes elementos:

Composición del residuo

Frecuencia de alimentación

Método de alimentación

Tipo del hogar (rotativo, estático, entre otros)

Diseño del hogar (esférico o cilíndrico)

Condiciones de combustión (se tratará más adelante)

Cantidad de aire en exceso que se utiliza

Los contaminantes más comunes a tomar en cuenta son el material particulado, la forma más común de aprovechar esta energía remante es mediante el calentamiento de agua hasta la producción de vapor. Como se mencionó anteriormente, los diseños usualmente dirigen los gases de combustión que ya han atravesado por el periodo de combustión completa a través de un intercambiador de calor donde elevan la temperatura del flujo de agua. Las dos formas más utilizadas son para la producción de agua caliente y generación de vapor, el diseño del sistema de limpieza de gases y/o el sistema de recuperación de energía. [14]

3.1.6. Eficiencia en la combustión

Este parámetro, junto al poder calorífico son los aspectos más importantes de la incineración puesto que si el proceso se da correctamente esto influirá directamente en que si conviene o no utilizar este método y no los otros ya presentados anteriormente, la eficiencia de la combustión engloba 4 aspectos fundamentales explicados a continuación.

3.1.7. Temperaturas de las cámaras

Mantener la temperatura adecuada en ambas cámaras es vital para la eliminación de los elementos infectocontagiosos en los residuos. Sin embargo, dado que cada cámara cumple un rol diferente, las temperaturas también son diferentes. [10]

Los rangos típicos de operación para la cámara de ignición se encuentran entre 400°C y 980°C especifica EPA mientras que el MINSA en PERU define como rango óptimo a las temperaturas entre 600°C y 800°C. Sin embargo, a tan baja temperatura no se obtiene un buen quemado del carbón presente en los residuos obteniéndose así, residuos no estériles. [10]

EPA también menciona que la mínima temperatura recomendada en que se esterilizan los residuos sólidos remanentes en la cámara de ignición es 760°C. mientras que , por otro lado, aclara que la máxima temperatura permisible debe estar entre 930°C y 980°C a fin de proteger el material refractario con el que fue diseñada la primera cámara, no necesariamente del calor sino del posible derretimiento de algunos componentes presentes en los residuos. [13]

En esta investigación se asumirá que la temperatura correcta estará entre 760°C y 800 °C.

En cuanto a la cámara de combustión, se desea que ahí se termine de quemar por completo todos los gases volátiles que fueron levantados por el aire de la combustión de la primera cámara en 980°C mientras que el MINSA define que la temperatura mínima sea 1200°C.

Se debe evitar temperaturas muy altas dado que eso reduce el tiempo de residencia, aspecto que se evaluará más adelante. Por estas razones se concluye que la temperatura deseada en la segunda cámara sea de 1200°C. [10]

3.1.7.1. Turbulencia en las cámaras

Teniendo cubierta la parte de la temperatura, la eficiencia del quemado de los residuos radica en que tanta área de residuo este expuesto al calor puesto que, si tenemos grandes grupos de residuos apilados, los elementos que estén más al centro tendrán menos temperatura y por ende la esterilización menos eficiente. Por lo tanto, se desea una correcta exposición de los residuos y eso se logra a alta turbulencia., sin embargo, como se mencionó antes, alta turbulencia provoca levantamiento de partículas por lo que básicamente se deseara baja turbulencia en la primera cámara y alta turbulencia en la segunda con el fin de asegurar una adecuada combustión. [11]

3.1.8. Tiempo de residencia

La combustión no ocurre de manera instantánea. Es necesario para ello una correcta exposición al calor y cierta cantidad del tiempo para que inicie.

Este aspecto está dominado por la temperatura de la cámara, el grado turbulencia y el tamaño de las partículas a quemar, dado que en la primera cámara, los elementos a quemar son grandes, se espera un tiempo de residencia considerable, del orden 2 a horas para completar la incineración, sin embargo, en donde se necesita una retención controlada es en la segunda cámara. Se desea que las partículas se queden en la cámara de combustión por, lo menos 1 segundo. [11] [13]

3.1.8.1. Porcentaje de aire suplementario

De la misma manera que los parámetros anteriores, este aspecto difiere en cada cámara, para la primera, se suele reducir la cantidad de aire suplementario para que haya un quemado del residuo por debajo del estequiométrico con el fin de crear un ambiente con menor turbulencia y obtener menor carga de partículas en la segunda cámara. El rango adecuado es de 70% al 80% del aire estequiométrico necesario. Para la cámara secundaria, se desea una alta turbulencia por lo que el rango de aire en exceso que será inyectado por los sopladores es de 140% hasta 200% del aire estequiométrico. [12] [14]

El método usado para el balance de masa y energía que será expuesto en el siguiente capítulo calcula la cantidad de aire que necesita el residuo para arder completamente (condición estequiométrica) y en base a ese valor se hacen las correcciones según convenga. Cabe mencionar que el incinerador de aire controlado, como su nombre lo dice, usualmente controla su temperatura, tanto en la primera cámara como en la segunda mediante la regulación de la cantidad de aire suplementario que ingresa en cada compartimiento. [12] [14]

3.1.8.2. Altura de operación, humedad y temperatura ambiente

El equipo será diseñado para la ciudad de Chiclayo por lo tanto se considerará su altura sobre el nivel del mar (35 msnm). Para esta ubicación corresponde un valor de presión atmosférica de 1004,40 hPa. Así mismo, a pesar de que la humedad (humedad relativa) puede variar 15% y

22% y la temperatura ambiental puede variar entre 15°C y 35°C, se considera como condiciones de operación. [11] [14]

3.1.8.3. Flujo de combustible

La función del combustible en el incinerador es la de aportar la energía necesaria para la ignición del residuo. Una vez que el residuo comienza a arder se presente tres situaciones:

Los residuos alcanzan la temperatura deseada y se mantienen en el rango permitido, en este caso cesa el flujo de combustible y el aire de combustión, se mantiene el flujo de aire hasta completar el periodo de quemado [11]

Los residuos no alcanzan la temperatura deseada, de ser así se incrementa el flujo de combustible y de aire de combustión para proporcionar más calor y sostener la combustión. [12]

Los residuos superan el rango permitido para la temperatura deseada, en este momento, se procede como en el punto 1 pero además se reduce el aire se reduce el aire suplementario hasta que el equipo de control indique que la cámara se encuentra entre los rangos permitidos. Otra forma de proceder es incrementar el flujo de aire suplementario con el fin de enfriar el ambiente [14]

3.1.9. Caída de presión en el incinerador

En los incineradores de aire controlado se suele tener como diferencia de presión entre el ambiente y las cámaras un valor dentro (-12,45 Pa; -24,9 Pa). Un mayor valor no sería el indicado porque causaría arrastre extra de material particulado hacia la segunda cámara y por consecuencia hacia el exterior. [14]

3.1.10. Selección de combustible

El siguiente aspecto a considerar en el desarrollo del incinerador es el combustible a usar

Según PETROPEU y REPSOL YPF COMERCIAL DEL PERU S.A. los principales combustibles en el mercado son:

- Gas Licuado de petróleo (GLP): es una mezcla de hidrocarburos ligeros que se han obtenido a partir de la extracción del gas natural y petróleo del subsuelo y también n de la refinación del petróleo. Debido a que tiene un considerable poder calorífico (98 000 BTU/gal), una alta eficiencia energética y bajas emisiones tóxicas su uso se está extendiendo en donde se desee evitar la contaminación y reducir costos.
En Perú, según OSINERGMIN, en donde más se ve el uso de este combustible es en: Residencias, Comercios (restaurantes y hoteles), Industrias pesquera, agropecuaria, de alimentos, en procesos de calentamiento y en transporte. Para efectos de la presente tesis se utilizará GLP (70/30) por su mayor disponibilidad en el mercado peruano.
- Gasolina: es una mezcla de hidrocarburos no aromáticos obtenidos de la destilación fraccionada del petróleo bruto. Su utilización principal se da en los motores de explosión [15]
- Gasohol: Producto de la combustión de gasolina con alcohol el cual puede ser metílico o etílico. Su uso principalmente es para motores de combustión. Su beneficio principal es aumentar el octanaje del combustible logrando así anular la necesidad de utilizar

elementos aditivos como el Eter-Metil-Terbutilico (MTBE) y el Tricarbonilo Metilciclopentadienilo de Manganeso (MMT) que son altamente contaminantes con el ambiente [15]

- Diésel 2: Combustible obtenido de la destilación fraccionada de petróleo la cual s de mayor capacidad calorífica que el Diésel común o Diésel 1. Es utilizado mayormente en motores de combustión interna. Los factores más importantes es su distribución comercial son el nivel de los niveles de azufre. [15]
- Petróleo Industrial 500: Se trata de un combustible ampliamente usado en calderas y hornos el cual se prepara a partir de la mezcla de hidrocarburos residuales de distintos procesos en la refinería con destilados ligeros, obteniendo una viscosidad final menores o iguales a 500 SSF a 50°C. [15]
- Petróleo Industrial Residual 6: Combustible preparado a parir de fracciones pesadas de petróleo al cual luego se le mezcla con destilados ligeros para cumplir la norma técnica peruana: NPT 321-002. Se diferencia del Residual 500 porque a este último se le ha agregado un 5% de petróleo Diésel 2. [15]
- Gas Natural: Mezcla de gases ligeros principalmente por metano (CH_4) y etano (C_2H_6), es obtenido principalmente en los yacimientos de petróleo, sin embargo, también puede ser obtenido mediante la descomposición de restos orgánicos. Por otro lado, tiene un poder calorífico de aproximadamente 22 450 BTU/lb. [15]

No se considera en este análisis puesto que provee mayores riesgos de inflamabilidad e intoxicación que el GLP teniendo en cuenta que el sitio destinado del incinerador va a ser un hospital, una vez conocidos los diferentes combustibles. [15]

3.1.10.1. Capacidad calorífica

En este primer aspecto, se mostró cuál de los combustibles ofrece mayor capacidad calorífica por galón. En ese sentido, se encontró que el “Petróleo Industrial Residual #6” es el más efectivo con su poder calorífico de 151 000 BTU/galón mientras que el que menos poder calorífico tiene es el GLP (98 000 BTU/galón) [11]

3.1.10.2. Contaminación

En esta medida se evaluó las emisiones al ambiente que se producen al utilizar los combustibles mencionados. Las emisiones más importantes son: SO_x (Óxidos de azufre) CO (Monóxido de carbono), NO_x (Óxido de nitrógeno) y CO_2 (Dióxido de carbono) [16]

En este aspecto, el combustible que se seleccionó es el GLP debido a que es el menor emisor de todos estos componentes tóxicos de los combustibles examinados en el análisis, del siguiente cuadro se encontró que el GLP es el combustible que tiene menor cantidad de azufre (0.02% en masa), 82 veces menor que el Diésel 2. Este detalle es importante porque, a causa de la intervención del azufre en sistemas de combustión se generan óxidos de azufre, los cuales reaccionan con el vapor generado en la combustión, constituyendo un ácido el cual daña las partes internas del incinerador. [16] [11]

Figura 12 Botadero de Reque



Fuente: Diario Lambayeque actual

Tabla 6 Porcentajes que intervienen en la combustión

ELEMENTO	GLP	Diésel 2	Residual 500	Residual 6
Azufre Total, % masa	0,02	0,29	1,61	1,64
Cenizas, % masa	Trazas	0,001	0,05	0,06
Carbón Conradson, % masa	Trazas	0,009	14,60	15,00
Poder Calorífico BTU/Galón	98 000	132 000	151 400	151 000
Eficiencia de Combustión	98%	88%	87%	87%

Fuente: Propia

La producción de NO_2 (Dióxido de nitrógeno) para el GLP es menor en comparación a los combustibles líquidos (derivados del petróleo) asimismo, la emisión de materia particulada es prácticamente nula en gramos por cada Giga Joule (GJ) para este mismo combustible. Por último como la combustión de GLP es la menor fuente de CO_2 supera de manera considerable al Diésel 2 y los petróleos residuales, en definición, se encontró que a pesar de ser un combustibles con menor valor de calentamiento, la ventaja mayor reside en su característica contaminante lo cual lo acerca más a cumplir las especificaciones dadas por el MINSa, además la elección de este combustible afectara positivamente en el diseño del lavados de gases dado a que no estará expuesto a un trabajo tan intenso como si fuera el caso en donde se utilice el Diésel 2 o petróleos residuales. [11] [15] [16]

3.1.11. Composición y porcentaje de los residuos sólidos hospitalarios

Tabla 7 Composición y porcentaje de los residuos sólidos hospitalarios

RESIDUO	PORCENTAJE REPRESENTATIVO (%)	PESO(kg)
Papel y cartón	38,46	384,6
Plástico	11,51	115,1
Restos de alimentos	25,32	253,2
Textiles(trapos)	3,23	32,3
Gasas y algodones	15,15	151,5
Piezas quirúrgicas	1,27	12,7
Restos de microbiología	0,28	2,8
Otros	4,78	47,8
Total	100	1000

Fuente: Propia

Tabla 8 Porcentaje de los elementos que conforman los gases

ELEMENTO	PORCENTAJE (%)
Carbono	22,12
Hidrogeno	4,48
Oxigeno	7,68
Nitrógeno	0,45
Cloro	0,18
Azufre	0,2
Cenizas	14,76
Agua	50,13

Fuente: Propia

3.1.12. Cantidad de valor de calentamiento

Dado que por condiciones ambientales no se puede alcanzar una temperatura de los gases de 0 °C, donde se aprovecharía el calor de cambio de estado del agua, el valor de calentamiento inferior tiene un significado mayor para el cálculo del potencial energético de los residuos. [17]

Existen dos formas para el cálculo del valor de calentamiento inferior: el método analítico y el método práctico. El analítico consiste en sumar los poderes calóricos de los elementos principales que forman la muestra de basura, ponderados por su fracción en peso, descontando de la cantidad de hidrógeno total la que se encuentra ya combinada con el oxígeno. Para ello se utilizan los datos provistos por el análisis último. Por ejemplo, si se tiene la composición de un combustible en base seca, el pci se puede calcular de la siguiente manera [17]

$$PCI \left[\frac{kJ}{kg} \right] = 8,140 * C + 29,000 * \left(H - \frac{O}{8} \right) + 2,220 * S - 600 * H_2O$$

El método práctico consiste en calcular el pci a partir del valor del pcs hallado mediante el ensayo de poder calórico. Para poder hallar el pci basta con restarle el calor de cambio de estado del agua. Para ello se precisa conocer la cantidad de H del combustible (se obtiene del análisis último) y la humedad (análisis próximo). La ecuación resultante es la siguiente [17]

$$PCI \left[\frac{kJ}{kg} \right] = PCS \left[\frac{kJ}{kg} \right] - 597 * (9 * H + H_2O)$$

3.1.12.1. Valor de calentamiento inferior y superior

Dentro del poder calorífico existen dos clasificaciones: Poder calorífico superior (PCS) y poder calorífico inferior (PCI), ambos conceptos están relacionados con los productos de combustión que se generan al oxidarse un elemento. El poder calorífico inferior (PCI) considera que el vapor contenido en los gases de combustión no condensa por lo que no hay aporte adicional de calor por parte del agua al cambiar de estado. Bajo esta condición el único elemento de aporta calor de oxidación es el combustible. [17]

En el otro caso el poder calorífico superior, de manera contraria al PCI, ya no es solo el combustible el que aporta calor liberado por todo el vapor al condensarse completamente. El vapor presente en los presente en los productos de combustión proviene de la humedad inherente al combustible con las moléculas de oxidante al momento de la reacción, conociendo esto, cabe recordar que la porción orgánica de los residuos contiene carbono, hidrogeno y oxigeno los cuales son los que proporcionan el mayor aporte de energía en la incineración. También se tendrán moléculas de nitrógeno, azufre y cloro los cuales a pesar de no ser muy importantes en la liberación de energía, son los más importantes en el tema de control de polución ambiental. [17]

3.1.12.2. Cálculo de valor de calentamiento

En este trabajo se obtuvo dos partes, la primera parte es el balance de energía del cual se consideró que los gases de combustión se obtienen vapor y la segunda parte se le consideró como gas seco, la cual se asumió como aire. [11]

Tabla 9 Valor de calentamiento y porcentajes de los residuos

RESIDUO	PORCENTAJES (%)	VALOR DE CALENTAMIENTO INDIVIDUAL (kJ/kg)	kJ/kg según %
Papel y cartón	38,46	16514	6351,28
Plástico	11,51	32564	3748,11
Restos de alimentos	25,32	4652	1177,88
Textiles(trapos)	3,23	17445	563,47
Gasas y algodones	15,15	18600	2817,90
Piezas quirúrgicas	1,27	2324	29,51
Restos de microbiología	0,28	32564	91,17
Otros	4,78	5815	277,95
Total	100%	1304778	15057,27

Fuente: Propia

3.1.13. Humedad en los residuos

Se conoce como humedad a la cantidad de agua que retiene un elemento. Este parámetro es muy importante dado que si se tiene desechos con mayor humedad, se requirió mayor combustible en el proceso de incineración, esta agua contenida primero tiene que evaporarse. [11]

Un elemento con un porcentaje de humedad de mayor al 95% respecto a su peso es considerado un elemento no incinerable

En síntesis, el contenido en humedad de los residuos depende del lugar de procedencia también del sistema de recogida utilizada. Aproximadamente la cantidad de agua que contiene oscila alrededor del 40% en peso, pudiendo variar entre 25% y 60%. La máxima aportación de humedad la proporciona la fracción orgánica que ronda entre el 75% y 85%. Resulta evidente por lo tanto, que la existencia de sistemas de reciclaje y recuperación de la fracción orgánica van a ser determinantes en el contenido en agua de los residuos, ya que la humedad será menor, cuanto menor sea la aportación de fracción orgánica a la bolsa de basura [11]

La humedad del residuo se debe tener en cuenta en los procesos de tratamiento de incineración y recuperación de energía además de la separación de residuos en planta de reciclaje. En la recogida selectiva de la fracción orgánica se ha de tener en cuenta el elevado contenido en humedad que puede presentar la fracción orgánica. [11]

3.1.14. Cenizas en los residuos

Se conoce cenizas a la parte incombustible del elemento incinerado. Su composición depende del elemento a incinerar, por ejemplo, piezas anatómicas, las cenizas tendrán en su composición sodio y fosfato de calcio.

Se consideró un análisis en la que representa una masa seca, que al finalizar el proceso tendrá energía almacenada. Este se deduce recordando que las cenizas se encontraran una alta temperatura (temperatura de reacción) la cual junto a su inherente poder calorífico, representara una fracción de la energía liberada en la incineración. Esta energía se considera como parte de la energía perdida porque se le suele dejar enfriar en el hogar del incinerador o en un área especializada para su almacenamiento hasta que sea manipulable y posteriormente expulsable [11]

Figura 13 Cenizas de residuos



Fuente: Catalogo de residuos utilizables

3.1.14.1. Cálculo de cenizas de los residuos

A continuación se colocara los porcentajes con respeto a la humedad y cenizas por cada elemento del flujo másico

Las cenizas actualmente son requeridas en el ámbito de la agricultura, ya que son utilizadas como fertilizantes, en otros casos son mezcladas con compuestos para así ser más activas como fertilizantes. [11]

Tabla 10 humedad y cenizas de los residuos

Fuente: Propia

RESIDUO	% DE HUMEDAD POR COMPONENTE	MASA DE HUMEDAD (kg)	%CENIZAS POR COMPONENTE	MASA DE CENIZA (kg)
Papel y cartón	0,06	21,91	0,10	43,18
Plástico	0,02	2,6	0,08	10,33
Restos de alimentos	0,70	188,94	0,03	8,52
Textiles (trapos)	0,10	3,64	0,20	7,31
Gasas y algodones	0,30	51,04	0,02	3,38
Piezas quirúrgicas	0,85	12,11	0,05	18,09
Restos de microbiología	0,02	0,06	0,04	0,12
Otros	0,70	37,55	0,05	2,68
TOTAL	2,75	317,85	0,57	93,61

3.2. Diseño conceptual de elementos

3.2.1. Análisis de la cámara primaria

Como dato de diseño tenemos que la masa de residuo a incinerar es de 1000kg. Luego de ver extraemos el porcentaje de la fracción de humedad (28,3%), después se obtuvo 283kg de agua en los residuos, dado que tenemos la masa de la humedad, a partir de ello se pudo calcular la masa de residuos secos extrayendo la cantidad de agua presente. La masa de residuos secos es 717kg. [11] [20] [21]

A su vez el porcentaje de las cenizas en los residuos es 8,34%. Este valor es la cantidad no incinerable de la masa seca, por lo tanto, se calcula a partir de la masa de residuos secos. La masa de cenizas equivale a 83kg. [11] [20] [21]

Por otro lado, se denota como masa volátil al residuo que se considera incinerable. Esta parte posteriormente se transformará en gases residuales y junto al vapor generado ingresará a la segunda cámara en cual se realizara su combustión completa. Se define como la masa seca menos la masa de cenizas 634kg. [11] [20] [21]

Como se anteriormente, al quemar los residuos se generan gases residuales, al mismo tiempo, se genera vapor producto de la reacción de los hidrógenos liberados con oxígeno en la cámara, Brunner recomienda considerar ciertos factores que relacionan la energía liberada por el residuo con la liberación de kilogramos de gas seco y kilogramos de vapor. Para el cálculo de dichas masas primero se hallara la energía liberada. [11] [20] [21]

$$Q_{\text{liberado}} = P_{\text{cal}} \times M_{\text{res}}$$

Donde:

$$Q_{\text{liberado}}: \text{Calor liberado tras la combustion} = 15,05\text{GJ}$$

$$P_{\text{cal}}: \text{Poder Calorifico del residuo} = 15057,27 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$M_{\text{res}}: \text{Masa del residuo} = 1000\text{kg}$$

Luego, las masas de gas y de agua liberada tras la combustión

$$M_{\text{gas}} = f_{\text{gas}} \times Q_{\text{liberado}}$$

Donde:

$$M_{\text{gas}}: \text{Masa de gas liberada} = 1505\text{kg}$$

$$f_{\text{gas}}: \text{Factor de emision de gas} = 0,1 \frac{\text{kg}}{\text{MJ}}$$

$$M_{\text{agua}} = f_{\text{agua}} \times Q_{\text{liberado}}$$

Donde:

$$M_{\text{agua}}: \text{Masa de agua liberada} = 3010\text{kg}$$

$$f_{\text{agua}}: \text{Factor de emision de agua} = 0,2 \frac{\text{kg}}{\text{MJ}}$$

Posteriormente, los productos de la combustión del residuo equivalen a la suma de ambos fluidos 4515kg.

Se especificó que la cantidad de aire que requiere el residuo para arder de manera estequiométrica es igual a la diferencia entre la masa de los productos de combustión del desecho y la masa de los volátiles. [14] [20] [11]

$$M_{\text{ae}} = M_{\text{prod}} - M_{\text{volati}}$$

Donde:

M_{ae} : Masa de aire para combustion estequiometrica = 3881kg

M_{prod} : Masa de productos de la combustion = 4515kg

M_{volati} : Masa volátil = 634kg

Se consideró un factor de 60% para obtener la condición de ambiente con oxígenos empobrecido, se obtiene que la masa de aire para la combustión con defecto de aire es igual a 2328,6kg. [11] [20]

Se tomó en cuenta que la fracción de aire ingresante es un dato variable a controlar con el fin de mantener la temperatura del hogar alrededor del rango, dicho aire ingresante está compuesto por vapor de agua y aire seco. Para el cálculo del agua como humedad del aire suplementario se considerarán los siguientes:

- Las fases liquidas no contienen gases disueltos
- La fase gaseosa puede considerarse como una mezcla de gases ideales
- El equilibrio entre la fase de condensación y la fase de vapor es independiente de la mezcla gaseosa

Primero se definió la presión atmosférica y la humedad relativa de la ciudad de Chiclayo (Presión atmosférica es 95,2kPa y la humedad relativa es 40%) [11]

Luego ya teniendo la temperatura ambiental (20°C) y usando las tablas de propiedades termodinámicas del agua, se calcula la presión para el vapor saturado es 2,33kPa [8]

En cuanto a la humedad relativa, se obtuvo la presión de vapor a la temperatura de la mezcla:

$$p_v = p_{v \text{ sat}} \times \emptyset$$

Donde:

p_v : Presion de vapor = 0,932kPa

$p_{v \text{ sat}}$: Presion de saturacion del vapor a la presion atmosferica = 2,33kPa

\emptyset : Humedad relativa = 40%

Se consideró que la presión total es la suma de las presiones parciales de los componentes en la mezcla para un mismo volumen y temperatura (ley Dalton para las presiones parciales) se obtuvo que la presión atmosférica equivale a la suma de la presión del vapor y la presión del aire seco, por lo que la presión del aire seco se puede calcular mediante diferencia. [11] [8] [22]

$$p_{as} = p_{atm} - p_v$$

Donde:

p_{as} : Presion de aire seco = 94,303kPa

p_{atm} : Presion atmosferica = 95,235kPa

La humedad absoluta se calculará así:

$$X = 0.622 * \left(\frac{p_{v \text{ sat}} \times \phi}{p_{as}} \right)$$

$$X = 0,006$$

Donde:

$$X = \text{Humedad absoluta} = 0,02 \left(\frac{\text{kg agua}}{\text{kg de aire seco}} \right)$$

Se señaló que para la deducción de la última formula se utilizó la ecuación de estado del gas ideal la cual solo es válida para describir el comportamiento de la mezcla de vapor de agua y aire como gas ideal a temperaturas menores a 65°C. Tomando las condiciones de diseño del incinerador, no se tendrá inconvenientes al hacer el funcionamiento. [23]

Y para finalizar, la masa de aire seco que entra y la masa de humedad aportada por este aire entrante será:

$$M_{\text{humedad aire}} + M_{\text{aire seco}} = M_{\text{aire in 1}}$$

$$M_{\text{aire seco}} \times X + M_{\text{aire seco}} = M_{\text{aire in 1}}$$

$$M_{\text{aire seco}} = \frac{M_{\text{aire in 1}}}{X + 1}$$

$$M_{\text{humedad aire}} = M_{\text{aire seco}} \times X$$

Donde:

$M_{\text{aire in 1}}$: Masa de aire total = 2328,6kg

$M_{\text{aire seco}}$: Masa aire seco entrante = 2314,6kg

$M_{\text{humedad aire}}$: Masa de humedad entrante mediante el aire total = 14kg

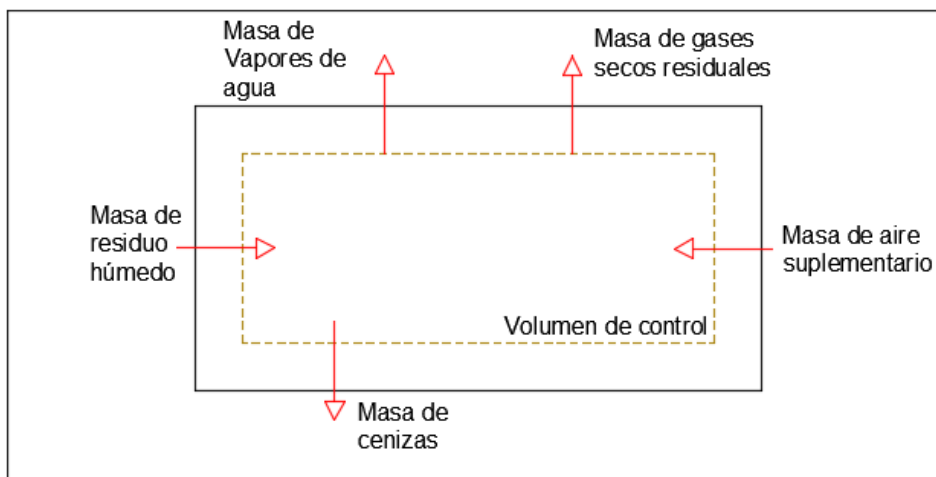
En los siguientes párrafos se presenta el volumen de control que se tomó en cuenta para el análisis del balance de masas de la primera cámara, por otro lado , en la página siguiente se presenta un cuadro en el cual se logra visualizar un resumen respecto al balance de masa para la primera cámara [11] [23] [24]

Tabla 11 Cuadro de resumen de cálculos de masa para la primera cámara

CONCEPTO	UNIDAD	VALOR
Masa de residuos húmedos	<i>kg</i>	1000
Porcentaje de humedad	%	28,3
Masa de humedad	<i>kg</i>	283
Masa seca	<i>kg</i>	804,45
Porcentaje de cenizas	%	8,34
Masa de cenizas	<i>g</i>	83,4
Masa volátil	<i>g</i>	634
Valor de calentamiento del residuo	$\frac{kJ}{kg}$	15057,27
Energía liberada en la combustión del residuo	<i>GJ</i>	15,05
Factor de emisión de gas seco	$\frac{kg}{MJ}$	0,1
Factor de emisión de agua en la combustión	$\frac{kg}{MJ}$	0,2
Gas seco emitido	<i>kg</i>	1505
Agua generada en la combustión	<i>kg</i>	3010
Productos de combustión	<i>kg</i>	4515
Masa de aire estequiométrico	<i>kg</i>	3881
Fracción de aire	%	60
Masa de aire subestequiométrico	<i>kg</i>	2328,6
Masa de aire seco ingresante por aire suplementario	<i>kg</i>	2314,6
Masa de agua ingresante por el aire suplementario	<i>kg</i>	14

Fuente propia

Figura 14 Volumen de control para el balance de masas de la primera cámara



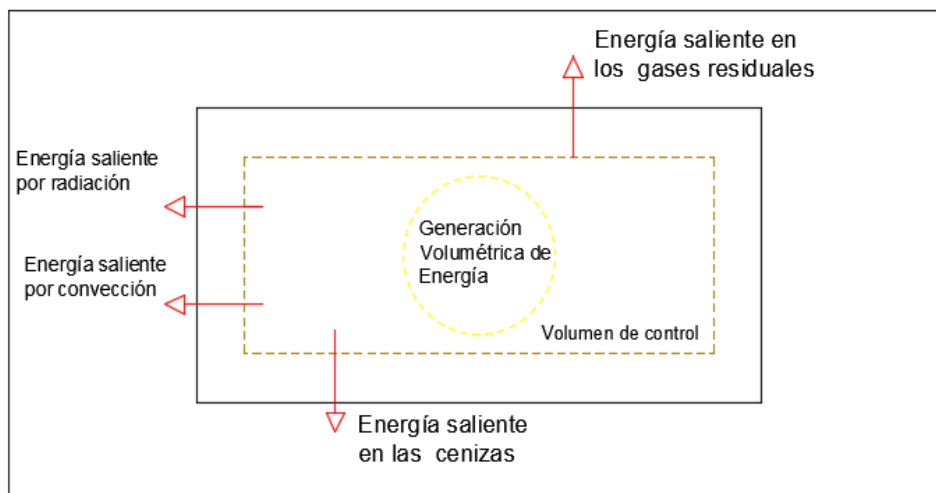
Fuente:

Diseño energético de un incinerador para 700kg de residuos sólidos hospitalarios usando GLP

3.2.1.1. Balance de energía

Para el cálculo de la energía en el incinerador se seguirá el método propuesto por Brunner en el cual para la primera cámara solo se considerará los tres mecanismos principales de transferencia de calor a la radiación, así se comenzara analizando la energía que interviene en el volumen de control. [11] [23] [24]

Figura 15 Flujos de energía que atraviesan el volumen de control según Brunner

Fuente:
Diseño

energético de un incinerador para 700kg de residuos sólidos hospitalarios usando GLP

Como primera idea se pensó definir como calor a la energía que atraviesa el sistema debido a una diferencia de temperaturas.

Desde esa definición el calor liberado por los residuos y el combustible será absorbida por los gases de combustión y por las cenizas, también existirá flujo de calor hacia el exterior el cual se propagara mediante los tres mecanismos principales de transferencia de calor, para fines del

cálculo , solo se recomienda considerar el flujo de calor por radiación, sin embargo, para el cálculo del material refractario y el aislamiento se hará el cálculo para los otros mecanismos de transferencia lo cual se denotará más adelante. [23]

En el balance de masa se puede concluir que se basa en un proceso de estado estable y de flujo estable ya que no existe acumulación de masa. Todo residuo que entre al incinerador es quemado y es sacado en sus tres formas. [11] [23] [24]

Posteriormente aplicó la primera ley de la termodinámica y consideró nulo el trabajo sobre el sistema y si además se asumió que el cambio de la energía cinética y cambio de la energía potencial son iguales a cero, tenemos:

$$\dot{q}_{vc} = \sum \dot{m}_s - h_s - \sum \dot{m}_I \times h_I$$

Donde:

\dot{q}_{vc} : Flujo de calor que atraviesa el volumen de control

\dot{m}_s : Masa de elementos que salen del V. C.

h_s : Entalpia de los elementos que salen V. C.

\dot{m}_I : Masa de elementos que ingresan V. C.

h_I : Entalpia de los elemntos que ingresan V. C.

Entonces, debemos calcular la energía en las cenizas, la radiación y el calor absorbido por el agua expulsada en forma de vapor el cual va a incluir a la humedad del aire suplementario. Para finalizar aplicamos la primera ley para calcular cuánto calor se va en los residuos de combustión hacia la segunda cámara. [11] [22] [23]

La energía que se encuentra en las cenizas se requiere el valor de su poder calorífico que ya lo tenemos y lo brindaremos a continuación:

$$Q_{cenizas} = P_{cal\ cenizas} \times M_{cenizas}$$

Donde:

$Q_{cenizas}$: Calor en las cenizas = 25,18 kJ

$P_{cal\ cenizas}$: Poder calorifico de las cenizas = $302 \frac{kJ}{kg}$

$M_{cenizas}$: Masa de las cenizas = 83,4kg

La energía cedida por radiación se obtuvo mediante una estimación basada en porcentajes elaborada por Brunner, se debe tomar en cuenta el tiempo que dura el quemado, para el flujo de energía liberada durante 6 horas de quemado por residuo corresponde el 3%. [14]

$$\dot{q}_{\text{res}} = \frac{Q_{\text{liberado}}}{t_{\text{op}}}$$

Donde:

\dot{q}_{res} : Flujo de calor liberado por el residuo = 696,75kW

Q_{liberado} : Calor liberado tras la combustión = 1505GJ

t_{op} : Tiempo de operacion = 6hr

Tabla 12 Calor perdido por la radiación

KW liberados por el residuo	Porcentaje de pérdida por radiación (%)
$\leq 2930,71$	3
4396,07	2,75
5861,42	2,5
7326,78	2
8792,13	1,75
$\geq 10257,49$	1,5

Fuente: Handbook of incineration system

$$Q_{\text{rad}} = (3\%) \times Q_{\text{liberado}}$$

Donde:

Q_{rad} : Calor perdido por radiacion = 451,5MJ

Se debió conocer la cantidad de masa de agua total a intervenir. El vapor de agua que saldrá hacia la segunda cámara es la suma de vapores provenientes de tres fuentes: humedad del residuo, aire suplementario y humedad generada en el proceso de combustión del residuo. [11] [22] [23]

Del balance de masas se obtuvo la humedad 317,85kg; el agua generada en la combustión del residuo es 14kg; y el agua agregada por el aire suplementario 3010kg. Estos valores en total hacen una suma de 3327,85kg. [11]

Como segundo punto ya obtenido la masa de agua total, se debió calcular cuánto calor absorbe durante el proceso. También se debe mencionar que el agua que ingresa por medio del aire suplementario interviene en el proceso en forma de vapor, es decir ya alcanzo su fase de vapor pero ingresa a 20°C, sin embargo los demás componentes del agua total ingresan al incinerador en fase líquida y alcanzan su vaporización debido a la energía liberada durante la combustión, es decir ya no requerirán energía extra para llegar a la temperatura de operación pues al darse la combustión, éstas ya llegaron a dicha temperatura. [11] [22] [23]

En un plan de reducción de cálculos se consideró que la cantidad de energía necesaria utilizada en agua para llevarla a la temperatura de operación se halla utilizando la entalpía de vaporización del agua a la temperatura de ingreso al aire. [14] [11]

$$Q_{\text{cal agua}} = M_{\text{humedad aire}} \times h_{\text{vap}}$$

Donde:

$Q_{\text{cal agua}}$: Energía utilizada en calentar la humedad del aire = 35,53MJ

h_{vap} : Entalpía de vaporización del agua a 20°C = 2538kJ/kg

Cuando se refiere al volumen de control se puede ver que la energía que sale está compuesta por la energía de radiación y la energía almacenada en el gas seco, el vapor y las cenizas. [11] [14]

$$Q_{\text{SAL}} = Q_{\text{gas seco}} + Q_{\text{vapor}} + Q_{\text{rad}} + Q_{\text{cenizas}}$$

Donde:

Q_{SAL} : Calor a la salida V. C.

$Q_{\text{gas seco}}$: Calor en la masa seca que combustionó

Q_{vapor} : Calor en todo el vapor de agua que sale V. C.

Luego para la primera ley

$$Q_{\text{IN}} = Q_{\text{SAL}}$$

$$Q_{\text{IN}} = Q_{\text{gas seco}} + Q_{\text{vapor}} + Q_{\text{rad}} + Q_{\text{cenizas}}$$

$$Q_{\text{gas seco}} + Q_{\text{vapor}} = Q_{\text{IN}} - (Q_{\text{rad}} + Q_{\text{cenizas}})$$

Donde:

$$Q_{IN} = Q_{liberado} : \text{Calor liberado tras la combustion} = 15,05\text{GJ}$$

Se consideró la energía en las cenizas y en las radiaciones como perdidas y la energía en el gas seco junto a la energía del vapor como energía saliente útil se obtiene:

$$Q_{perdida} = Q_{rad} + Q_{cenizas}$$

$$Q_{útil} = Q_{IN} - (Q_{rad} + Q_{cenizas})$$

Donde:

$$Q_{perdida} : \text{Energía pérdida por cenizas y radiaciones} = 547,2 \text{ MJ}$$

$$Q_{útil} : \text{Energía útil a la salida V. C.} = 16,8 \text{ GJ}$$

3.2.1.2. Cálculo de temperatura de la reacción

De la relación entre la entalpía de los productos y su temperatura, se puede hallar la temperatura de la reacción.

Se consideró como volumen de control al espacio fijo que está a la salida de la primera cámara , entonces de manera certera que se trata de un sistema de una sola entrada y una sola salida en donde toda la masa que entra es igual a la que sale es decir un sistema FEES. [11] [25]

Entonces se aplicó la primera ley de la termodinámica y se asumió un proceso adiabático así como cambio de energía potencial y cambio de energía cinética igual a cero, donde se obtiene que la energía que atraviesa el sistema es igual a la energía interna almacenada sumada a la energía de flujo. [8] [25]

$$Q_{útil} = M_{gas} \times \Delta h_{gas} + M_{agua \text{ total}} \times \Delta h_{agua}$$

Donde:

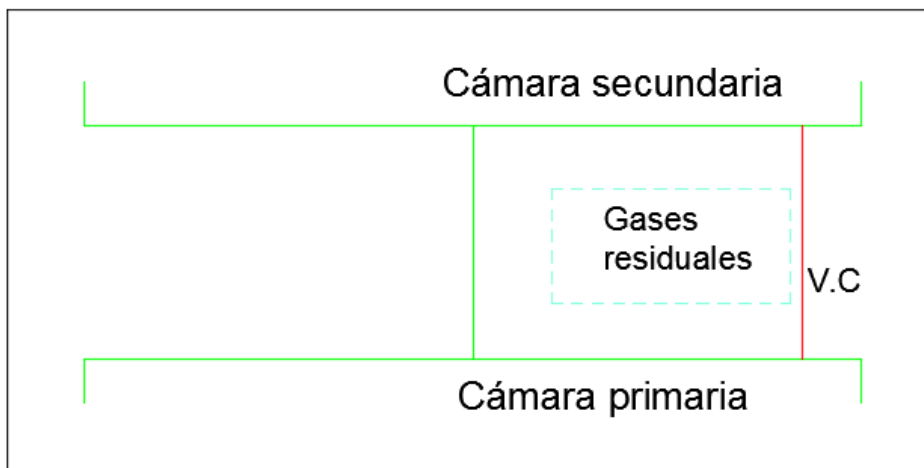
$$M_{gas} : \text{Masa de gas liberado} = 1734\text{kg}$$

$$M_{agua \text{ total}} : \text{Masa de agua total de la primera camara} = 3801,92\text{kg}$$

$$\Delta h_{gas} : \text{Cambio de entalpía del gas}$$

$$\Delta h_{agua} : \text{Cambio de entalpía del agua}$$

Figura 16 Volumen de control considerado en el cálculo de la temperatura



Fuente:
Diseño

energético de un incinerador para 700kg de residuos sólidos hospitalarios usando GLP

Para el cálculo se tomó en cuenta que los productos de la combustión solo están compuestos por vapores de agua y aire seco. Resaltando con respecto a la masa de aire seco, solo se tomó el gas emitido tras la combustión pues se asumió que el aire ingresante suplementario se consume en el proceso como oxidante y ya está incluido al considerar el factor de emisión de gas seco. [11] [25]

El proceso a seguir iterativo, se probara con varias entalpías para aire seco vapor sobrecalentado a presión atmosférica para diferentes temperaturas con el fin de alcanzar el valor de la energía que sale en el balance de ellas. [11]

Se asumió una temperatura de 742,6°C

$$\Delta h_{\text{gas}} : \text{Cambio de entalpia del gas} = 769,7 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\Delta h_{\text{agua}} : \text{Cambio de entalpía del agua} = 3936,8 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

3.2.1.3. Cálculo de flujo de combustible en la primera cámara

Para esto la combustión se auto sostiene en aproximadamente 742,6°C, si este fuese el objetivo en el momento en que se llegue a esta temperatura, los quemadores se apagan, dado que eso no es suficiente para la esterilización de los residuos sólidos, la energía faltante para llegar a la temperatura dada será suministrada por los quemadores a lo largo de todo el proceso. [11] [26]

Se debió considerar necesario la heterogeneidad de los residuos. Posteriormente la temperatura de reacción no siempre será de 742,6°C por lo que el flujo de combustible necesario puede variar o hasta incluso ser nulo para algunas cargas de residuos [11] [26] [27]

La energía de 760°C es de 9,29MJ.

$$Q_F = Q_{\text{op}} - Q_{\text{útil}}$$

Donde:

Q_F : Calor faltante para llegar a $760^\circ\text{C} = 202,64\text{MJ}$

Q_{op} : Calor de operacion a $760^\circ\text{C} = 9,29\text{MJ}$

Posteriormente, el volumen a consumir del combustible:

$$V_{\text{comb}} = \frac{Q_F}{P_{\text{cal comb}}}$$

Donde:

V_{comb} : Volumen de combustible a consumir = 2148,24L

$P_{\text{cal comb}}$: Poder calorífico del combustible = $94,33 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}$

Si se consideró el tiempo de incineración de 6 horas para expresar la falta de energía como potencia se tiene 9,38kW, de la manera tenemos un flujo de combustible de 358L/hr. [11]

3.2.1.4. Calculo de masas a la salida de la primera cámara

En este caso se utilizó GLP, el cual necesita un oxidante para poder reaccionar a la combustión y ceder la energía. Para el diseño se utilizara quemadores de aire-combustible, como reacción de ello a la masa total de gas seco y agua ya hallados se le debe el gas seco generado y el vapor producido por la quema del combustible. [11] [26] [27]

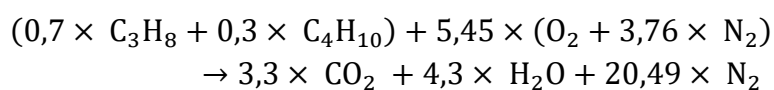
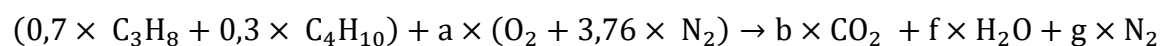
Para calculo, el aire requerido durante dicha combustión se debió tomar en cuenta la ecuación estequiométrica y elegir un valor apropiado de exceso de aire para la mezcla de aire/combustible. [11]

Tabla 13 Resumen de balance energía, temperatura y flujo de GLP

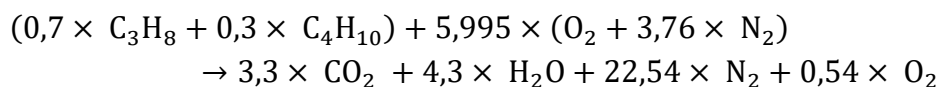
CONCEPTO	UNIDADES	VALOR
Poder calorífico de las cenizas	$\frac{kJ}{kg}$	302
Porcentaje de radiación	%	3
Calor liberado en la radiación	MJ	520,2
Factor de corrección	$\frac{kJ}{kg}$	2538
Masa de gas total(s/combustible)	kg	1734
Masa de agua total(s/combustible)	kg	3801,92
Calor absorbido por el agua total	MJ	40,7
Temperatura de reacción (s/combustible)	°C	742,60
Entalpia del gas	$\frac{kJ}{kg}$	769,69
Entalpia del agua	$\frac{kJ}{kg}$	3936,81
Temperatura objetivo	°C	760
Energía faltante	MJ	202,64
PCI(GLP)	kJ/m^3	94328,69
Flujo de combustible(gas)	$\frac{l}{hr}$	358,04

Fuente: Propia

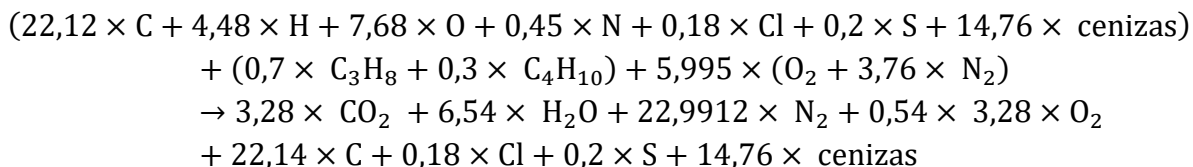
A continuación, la ecuación que se desarrolló representa la base para el balance químico de la combustión estequiométrica del GLP (70/30)



Se consideró 10% de exceso de aire:



Balance de masa de la combustión con los residuos



De la relación se cumple:

a) Kilogramos de aire consumido por metro cubico de combustible:

$$A = 34,87 \frac{kg}{m^3}$$

b) Kilogramos de gas seco liberado por metro cubico de combustible:

$$B = 33,63 \frac{kg}{m^3}$$

c) Kilogramos de vapor de agua liberados por metro cubico de combustible

Para el GLP, el aire requerido para la combustión:

$$A_{req\ GLP} = A \times V_{comb}$$

Donde:

$$A_{req\ GLP} : \text{Aire requerido para la combustion en los quemadores de la 1° camara} \\ = 74,8kg$$

Gas seco producido durante la combustión:

$$Gas_{seco\ GLP} = B \times V_{comb}$$

Donde:

$$Gas_{seco\ GLP} : \text{Gas seco producido por los quemadores de la 1° camara} = 72,25kg$$

Agua producida en la combustión:

$$Agua_{comb} = C \times V_{comb}$$

Donde:

$Agua_{comb}$: agua producido por los quemadores de la 1° camara = 7,07kg

A la salida de la cámara primaria tenemos:

$$Gas_{seco\ 1} = Gas_{seco\ GLP} + M_{gas}$$

$$Agua_{Tot\ 1} = Agua_{comb} + M_{agua}$$

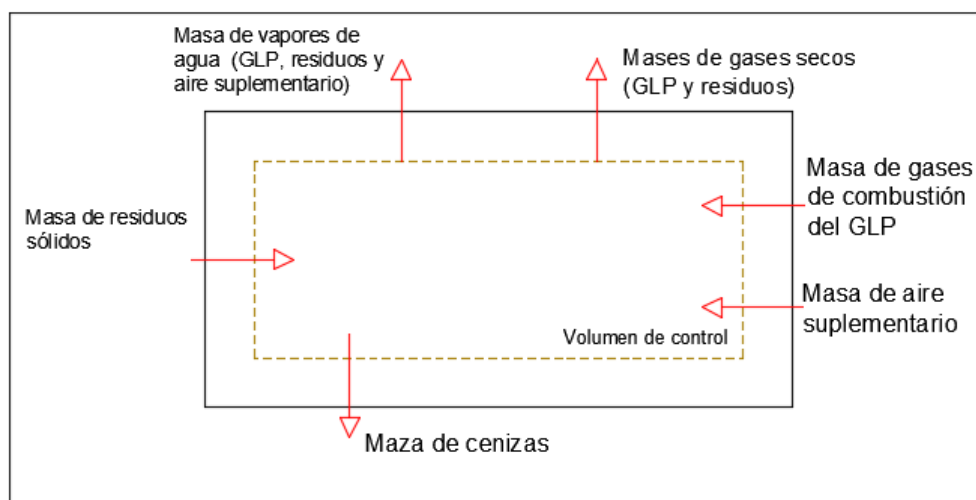
Donde:

$Gas_{seco\ 1}$: Masa de gas seco total a la salida de la 1° cámara = 1010,5kg

$Agua_{Tot\ 1}$: Masa de agua a la sal. de la 1° cam. incluye agua de comb. = 2130,42kg

En las siguientes imágenes se puede visualizar los flujos másicos y energéticos finales, incluyendo el efecto de la combustión:

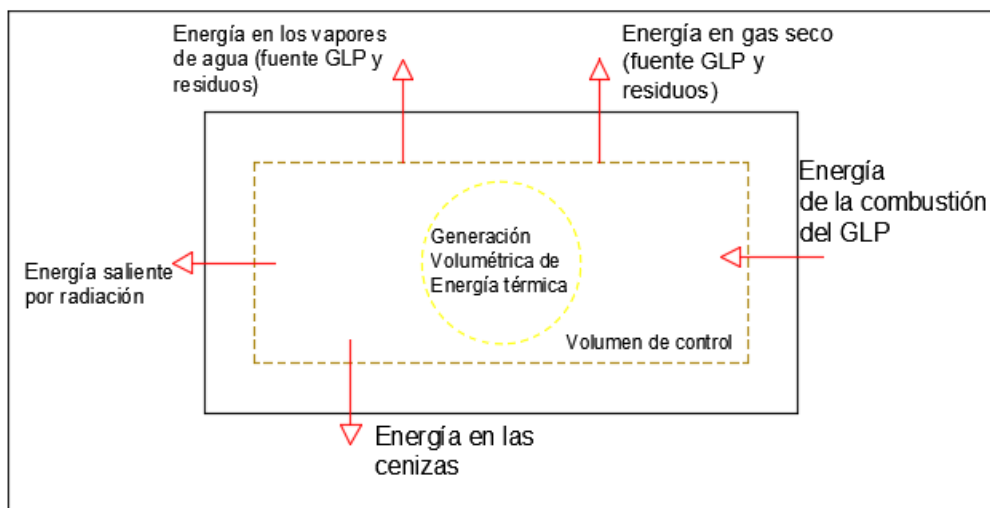
Figura 17 Flujo másico final a través de la primera cámara



Fuente:
Diseño
energético
de un

incinerador para 700kg de residuos sólidos hospitalarios usando GLP

Figura 18 Flujo de energía final a través de la primera cámara

Fuente:
Diseño

energético de un incinerador para 700kg de residuos sólidos hospitalarios usando GLP

3.2.1.5. Dimensionamiento de la primera cámara

En condiciones estándares una cámara de incineración solo puede aceptar $931\,474\text{kJ}/\text{m}^3$ con esta suposición se calcula el volumen de la primera cámara. [4] [24]

Como primer punto se debe definir la forma que tendrá el equipo es decir si será rectangular, cuadrada, esférica o cilíndrica (las demás formas no son consideradas por presentar mayor dificultad en su construcción). [24]

La forma esférica queda descartada porque a pesar de tener mejor desempeño a altas temperaturas su costo es elevado por el método de fabricación y se hace innecesario puesto que el incinerador no está sometido internamente a altas presiones positivas. [11] [24]

Ajiboye argumenta que las estructuras cilíndricas son más efectivas en la transmisión de calor comparándolo con la estructura rectangular puesto que se da una respuesta más rápida a la distribución de temperaturas. Esto se debe a que la configuración cilíndrica favorece a la circulación de gases de combustión mientras que la configuración rectangular presenta mayor posibilidades de tener puntos de estancamiento durante su operación. [24]

Como segundo punto se calculará el valor mínimo aceptable para el volumen:

$$V_{\min} = \frac{Q_{\text{op}}}{\text{Coef L}}$$

Donde:

V_{\min} : Volúmen mínimo que puede tener la 1° cámara = $9,97\text{ m}^3$

Coef L : Coeficiente limitante de diseño = $931474 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^3}$

Como último punto para un diámetro de 2.5m y una longitud 3.2m da como resultado un volumen de $15,70\text{m}^3$

3.3.2. Análisis de la cámara secundaria

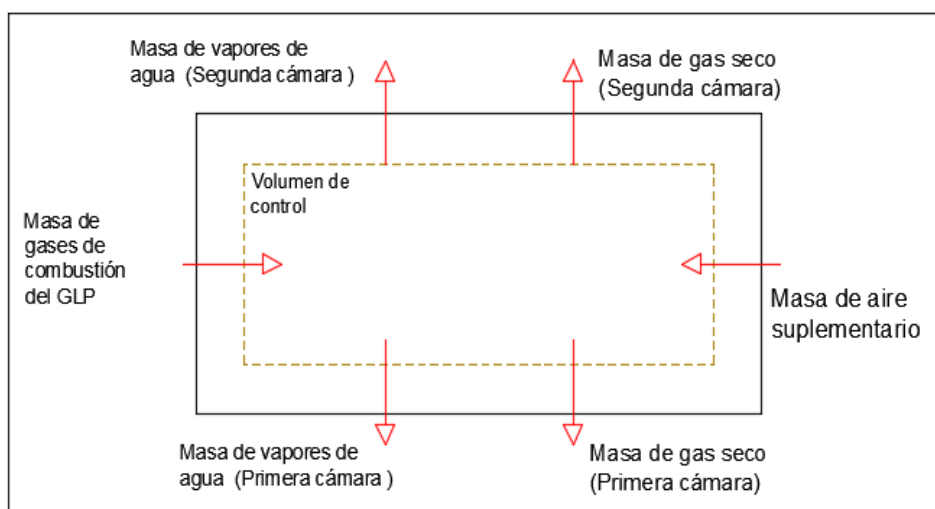
Se mencionó en líneas atrás que el objetivo de la cámara secundaria es la de obtener una completa combustión de los gases expulsados de la primera cámara. Esto se logra alcanzando una temperatura mínima de 1200°C y un tiempo de residencia de al menos 1 segundo. [11]

Para la segunda cámara se considerará un flujo de aire suplementario en exceso el cual será suministrado mediante un soplador al igual que la primera cámara, se asume 150% del requerimiento estequiométrico de los gases a quemar [11] [14]

3.2.2.1. Balance de energía

En esta sección se procederá con un acercamiento distinto para el cálculo de las masas y la energía que intervienen en la cámara de combustión en el cual no se considerará ni radiación ni convección por ser valores de orden menor. [11] [25] Para el balance de masas de la cámara secundaria consideramos el siguiente volumen de control:

Figura 19 Flujo másico a través de la segunda cámara



Fuente:
Diseño

energético de un incinerador para 700kg de residuos sólidos hospitalarios usando GLP

En los párrafos anteriores se mencionó los valores correspondientes, en los que obtuvimos más aire ingresado por medio de un soplador y masa de gases de combustión (estos de encargaran de llevar a los productos de la cámara de ignición desde 760°C hasta 1200°C) [11] [23]

Los flujos másicos que se encuentran saliendo del $V.C.$ serán:

- Masa de gas seco: Compuesto por la suma de la masa de gas seco de la primera cámara, la parte seca de los gases de combustión de GLP y la parte seca del aire suplementario. [11] [19]
- Masa de vapor de agua : Compuesto por la suma de la masa de vapor de la primera cámara, la masa de vapor contenida en los gases de combustión del GLP y la fracción de agua contenida en el aire suplementario como humedad. [11] [19]

Para el cálculo de aire suplementario requerido para la combustión completa tomaremos como referencia el valor del aire estequiométrico necesario de la primera cámara. [11]

Se recomienda que la masa de aire necesaria para alcanzar el nivel de 150% de cantidad estequiometria se halla a partir de la masa estequiométrica de aire utilizada en la primera cámara. [11]

$$M_{\text{aire in } 2} = 1,5 \times M_{\text{ae}}$$

Donde:

$M_{\text{aire in } 2}$: masa de aire ingresante a la segunda cámara = 6736,74 kg

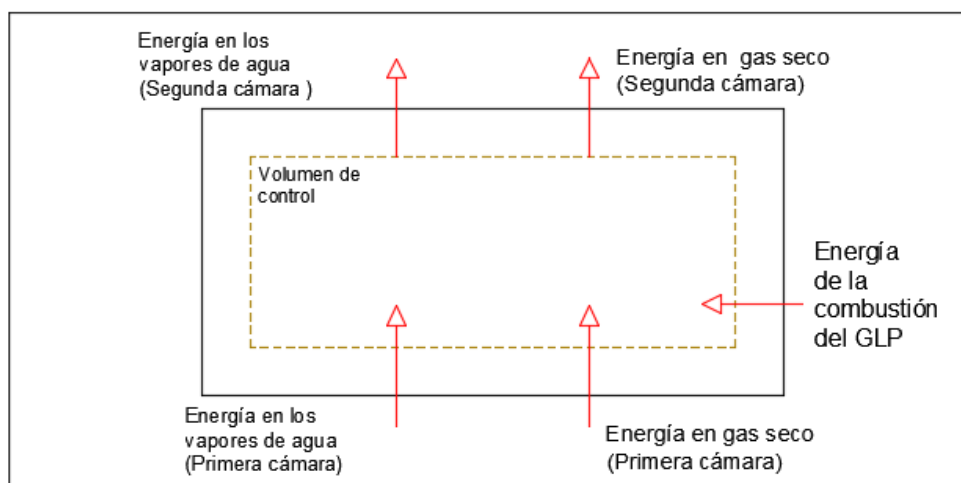
Para el cálculo del agua ingresada por humedad en el aire suplementario tenemos:

$$M_{\text{aire seco } 2} = \frac{M_{\text{aire in } 2}}{X + 1}$$

$$M_{\text{aire seco } 2} = M_{\text{aire in } 2} \times X$$

El calor necesario, se halló en base al siguiente esquema de flujo de energías en el V. C. [11]

Figura 20 Flujo energético a través de la segunda cámara



Fuente:

Diseño energético de un incinerador para 700kg de residuos sólidos hospitalarios usando GLP

De la imagen se puede deducir lo siguiente:

- El aire ingresante será calentado a 20°C hasta los 1200°C, la energía que necesita para realizar este proceso es tomada de la energía de combustión brindada por GLP. [11]
- La primera cámara tiene productos que son calentados desde 760°C hasta los 1200°C tomando energía de la misma fuente que el punto anterior. [11]

Como se sabe los gases de la combustión del GLP ingresan a la cámara secundaria a una temperatura mayor a 1200°C, sin embargo se asume que los productos de esta reacción forman parte de los productos de la cámara secundaria a igual temperatura que estos, es decir 1200°C. [11]

$$\Delta h_{\text{gas } 2} : \text{Cambio de entalpía del gas de la } 2^{\circ} \text{ camara} = 1602,73 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\Delta h_{\text{agua } 2} : \text{Cambio de entalpía del agua de la 2}^\circ \text{ camara} = 5147,6 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Para llevar los productos de combustión de la primera cámara a la nueva temperatura objetivo:

$$Q_{1^\circ \text{ cam}} = (\Delta h_{\text{gas } 2} - \Delta h_{\text{gas } 1}) \times \text{Gas}_{\text{seco } 1} + (\Delta h_{\text{agua } 2} - \Delta h_{\text{agua } 1}) \times \text{Agua}_{\text{Tot } 1}$$

Donde:

$$Q_{1^\circ \text{ cam}} : \text{Calor para llevar los fluidos de la 1}^\circ \text{ cámara de } 760^\circ\text{C a } 1200^\circ\text{C} = 3,42 \text{ GJ}$$

En el caso del aire suplementario:

$$Q_{\text{aire seco } 2} = (\Delta h_{\text{gas } 2} - \Delta h_{\text{aire seco amb}}) \times M_{\text{aire seco } 2}$$

Donde:

$$Q_{\text{aire seco } 2} : \text{Calor para llevar el aire supl. de la 2}^\circ \text{ cam de } 20^\circ\text{C a } 1200^\circ\text{C} = 4,63 \text{ MJ}$$

$$\Delta h_{\text{aire seco amb}} : \text{Entalpía de aire seco a temperatura ambiente} = 293,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Para la humedad ingresante con el aire suplementario:

$$Q_{\text{aire seco } 2} = (\Delta h_{\text{gas } 2} - \Delta h_{\text{agua amb}}) \times M_{\text{hum aire } 2}$$

Donde:

$$Q_{\text{hum aire } 2} : \text{Calor para llevar la hum. del aire de } 20^\circ\text{C a } 1200^\circ\text{C} = 140,21 \text{ MJ}$$

$$\Delta h_{\text{agua amb}} : \text{Entalpía del agua como vapor sat. a } 20^\circ\text{C} = 2538,1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Posteriormente la energía faltante es:

$$Q_{F2} = Q_{1^\circ \text{ cam}} + Q_{\text{aire seco } 2} + Q_{\text{hum aire } 2}$$

Donde:

$$Q_{F2} : \text{Energía faltante en la 2}^\circ \text{ cam. para llegar a } 1200^\circ\text{C} = 8,19 \text{ GJ}$$

Finalizando, de la segunda cámara los productos serán:

$$M_{\text{Gas salida}} = 4544,7 \text{ kg}$$

$$M_{\text{Agua salida}} = 2184,2 \text{ kg}$$

3.2.2.2. Cálculo del flujo de combustible en la segunda cámara

Se obtuvo la energía faltante y se conoció el poder calorífico del GLP (combustible), en lo se puede calcular la cantidad de litros de combustible que han sido quemados es su estado gaseoso durante el proceso. [11]

$$V_{\text{comb } 2} = \frac{Q_{F 2}}{P_{\text{cal comb}}}$$

Donde:

$$V_{\text{comb } 2} = 86821,6 \text{ L}$$

Si lo se tomó como potencia será (6 horas de combustión), 380kW

3.2.2.3. Tiempo de residencia

A diferencia del procedimiento desarrollado para la primera cámara, para la segunda cámara se dimensionó a partir del tiempo de residencia deseado por ser un factor crítico en el proceso de esterilización de residuos como se explicó. [11]

Luego se debe hallar primero, el flujo másico de gases a través de la segunda cámara:

$$M_{\text{gas seco}} = \frac{M_{\text{Gas salida}}}{t_{\text{op}}}$$

$$M_{\text{agua Tot}} = \frac{M_{\text{Agua salida}}}{t_{\text{op}}}$$

Donde:

$$M_{\text{gas seco}} : \text{Flujo másico de gas seco a través de la 2º cam.} = 0,21 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$M_{\text{agua Tot}} : \text{Flujo másico de agua a través de la 2º cam.} = 0,101 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

El caudal se calcula a partir de la dimensiones de cada elemento, consideremos la parte seca del gas expulsado como aire seco. Se calcula su densidad aplicando la ecuación de estado para el gas ideal a las siguientes condiciones:

$$\rho_{\text{aire}} = \frac{\rho_{\text{atm}}}{R \times T_2}$$

Donde:

$$\rho_{\text{aire}} : \text{Densidad del aire para} = 0,161 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$R : \text{Constante de los gases ideales} = 0,287 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \times \text{K}}$$

T_2 : Temperatura de operacion de la 2° cámara = 1200°C

Para las mismas condiciones de temperatura y presión atmosférica. De la tabla de vapor sobrecalentado para el agua:

$$\rho_{\text{agua}} = \text{Densidad del agua para } 1473\text{K y } 68,36 \text{ kPa} = 0,09 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Luego, los respectivos caudales son:

$$\text{Caudal}_{\text{aire seco}} = \frac{M_{\text{gas seco}}}{\rho_{\text{aire}}}$$

$$\text{Caudal}_{\text{agua Tot}} = \frac{M_{\text{agua Tot}}}{\rho_{\text{agua}}}$$

Donde:

$$\text{Caudal}_{\text{aire seco}} : \text{Caudal total de aire seco en la } 2^{\circ} \text{ camara} = 1,31 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$\text{Caudal}_{\text{agua tot}} : \text{Caudal total de agua en la } 2^{\circ} \text{ cámara} = 1,12 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Entonces:

$$\text{Caudal}_{\text{tot } 2 \text{ cam}} = \frac{V_{2 \text{ cam}}}{t_{\text{res}}}$$

Donde:

$$\text{Caudal}_{\text{tot } 2 \text{ cam}} : \text{Caudal tot. del agua y gas seco a través de la } 2^{\circ} \text{ cam.} = 2,43 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Tiempo de residencia es de 1,9 segundos, se obtiene:

$$V_{2 \text{ cam}} : \text{Volumen de la } 2^{\circ} \text{ cam.} = 4,62 \text{ m}^3$$

Para este factor se cumple lo especificado por el Ministerio de Salud (tiempo de residencia mínimo de 1 segundo).

3.2.2.4. Dimensionamiento de la segunda cámara

El volumen calculado en el apartado anterior se obtiene mediante una configuración de un diámetro de 1,6 metros y una longitud de 3,2 metros.

Como dedición se amplió el tiempo de residencia 1,9 segundos para así tener un factor de seguridad en el cual se asegure la correcta esterilización de todos los residuos en caso el caudal total aumente [11] [14]

Como se mencionó párrafos anteriores el desarrollo del presente trabajo está en base al poder calorífico de los residuos y su contenido de humedad, sin embargo estos son variables y en el caso más crítico, el contenido de humedad puede aumentar mientras que el poder calorífico puede disminuir. [11] [14]

Entonces, para esto se requirió más potencia por parte de los quemadores para alcanzar las temperaturas objetivo, eso se entiende como mayor flujo de gases, mayor caudal total, ya que el volumen es fijo, un caudal total mayor implicaría un tiempo de residencia menor, así para este incinerador y según los requerimientos del Ministerio de Salud solo puede llegar a 4,62m³. [1]

3.2.3. Calculo de la cantidad necesaria de combustible por mes

La combustión del GLP se realizó en estado gaseoso sin embrago, su distribución se da en estado líquido, posteriormente para hallar el volumen de gas se debe obtener la equivalencia en galones de GLP líquido. [26]

Primero la masa necesaria:

$$M_{\text{GLP}} = V_{\text{com Tot}} \times \rho_{\text{GLP gas}}$$

Donde:

M_{GLP} : Masa del combustible a usar = 293,54 kg

$V_{\text{com Tot}}$: Volumen total de combustible a usar = 143,7 m³

$\rho_{\text{GLP gas}}$: Densidad del GLP en estado gaseoso = 2,0429 $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

Se asumió la conservación de la masa en el cambio de estado y pérdidas nulas, entonces se tiene en estado líquido la misma masa de combustible, posterior en volumen para estado líquido:

$$V_{\text{GLP Liq}} = \frac{M_{\text{GLP}}}{\rho_{\text{GLP Liq}}}$$

Donde:

$V_{\text{GLP Liq}}$: Volumen de GLP liq. a utilizar por 6 h de incineración = 146,2 gal

$\rho_{\text{GLP Liq}}$: Densidad del GLP en estado liq. = 2,009 $\frac{\text{gal}}{\text{kg}}$

Se consumirán 147 galones por mes de GLP, se sabe que el incinerador trabaja una vez por mes.

3.2.4. Dimensionamiento de la superficie de quemado, refractario y aislamiento

Para diseño del incinerador, se especificó 3 partes importantes:

- 1- Superficie de quemado, esta parte se encarga de recibir los residuos a su ingreso del incinerador, se busca que ofrezca una buena distribución a los residuos para y tener mayor área expuesta al calor y así la combustión sea más uniforme. [11] [10]
- 2- Aislante/Refractario, el incinerador será de forma cilíndrica con revestimiento interno de ladrillo aislante refractario el cual estará en contacto con los gases de la combustión, cuya función será de dar la forma al equipo sin resquebrajarse ni ablandarse por las altas temperaturas. El ladrillo será unido mediante cemento refractario y se apoyará en una cubierta de acero. [24] [11] [14]
- 3- Aislante, el acero será cubierto por un elemento aislante, en la cual su función principal será de reducir el flujo de calor transferido por conducción desde el interior de la cámara hacia el ambiente. [13] [11]

Posteriormente, se debió cubrir la estructura, se requirió utilizar una bobina de acero laminado en caliente a la que se le protegió con una capa de pintura anticorrosiva, sin embargo se decide proteger al incinerador con planchas de acero inoxidable AISI 304 de 0,6mm de espesor dado que este respondería mejor si el incinerador se decidiera instalar a la intemperie. [11] [14] [20]

3.2.4.1. Dimensionamiento de la superficie de quemado

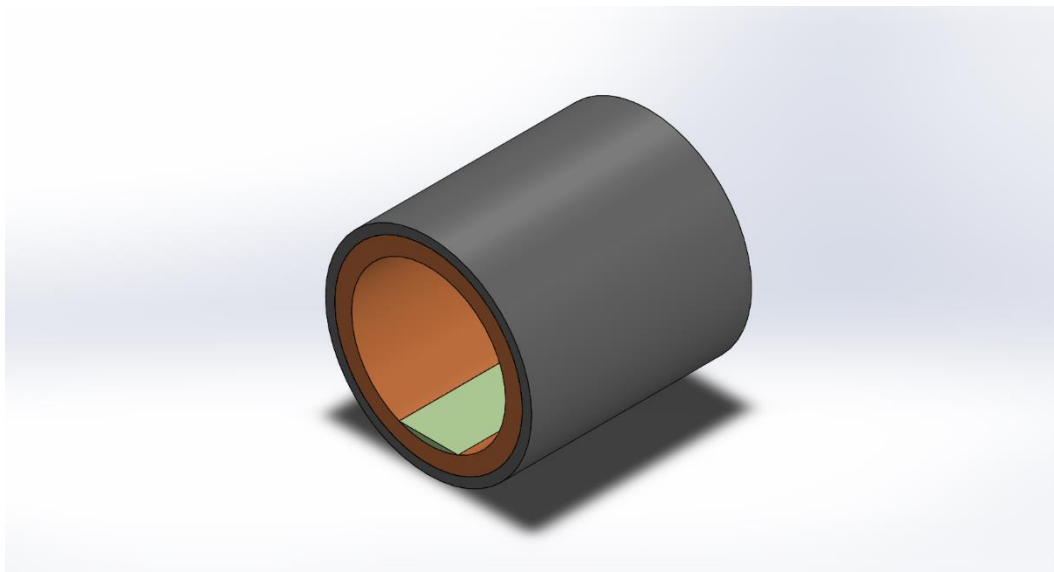
En el diseño de calderas donde se quema combustible sólido, se considera la instalación de una superficie en la cual se producirá la combustión esta superficie se le conoce como hogar. [11] [13]

En el diseño del presente tamaño también se quema combustible sólido y se libera energía a partir de este se deberá necesitar de una estructura en la cual se ubiquen los residuos, ya que luego se mezcla con oxígeno y temperaturas altas y así se pueda dar la combustión. [14] [11] [10]

Hay muchos tipos de hogares entre ellos destaca el que tiene parrilla, este consiste en un conjunto de barras en serie, ubicadas para el combustible sólido

Las cenizas generadas durante la operación filtran a través de los espacios hacia el cenicero del incinerador.

Figura 21 Superficie de quemado



Fuente: Propia

El hogar será a lo largo de toda la cámara de combustión es decir tendrá 3,2 metros de largo, para alcanzar el área calculada se necesita 95cm de ancho. Por último, dado ese ancho, para una cámara circular, le corresponde una altura de hogar de 10cm.

3.2.4.2. Calculo del refractario y aislamiento en la primera cámara

El elemento estará expuesto por uno de sus lados a unas temperaturas de 760°C y 800°C por lo que se seleccionó el ladrillo refractario aislante K-23, marca NITRON tipo recto de 228,6mm x 114,3mm x 63,5mm.

Su conductividad térmica a 815°C es: $k_{12} = 0,2 \frac{W}{m \times K}$

Radio interno: $r_{1 \text{ cam1}} = 1,25m$

Radio externo posterior a la instalación del ladrillo aislante: $r_{2 \text{ cam1}} = 1,4786m$

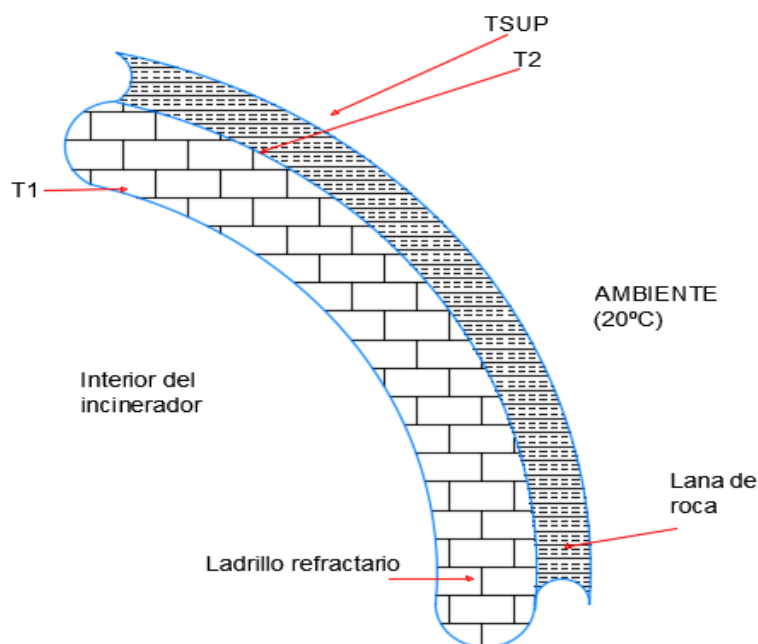
Luego se instaló aislante tipo manta de lana de roca con densidad igual a 100 kg/m³ con la condición de llevar la temperatura superficial del incinerador a un valor por debajo de 70°C

Se utilizó mantas de pulgadas de espesor mientras que los cálculos se desarrolló para una temperatura de 800°C en el interior por ser este caso el más crítico.

Su conductividad térmica a 815°C es: $k_{23} = 0,04 \frac{W}{m \times K}$

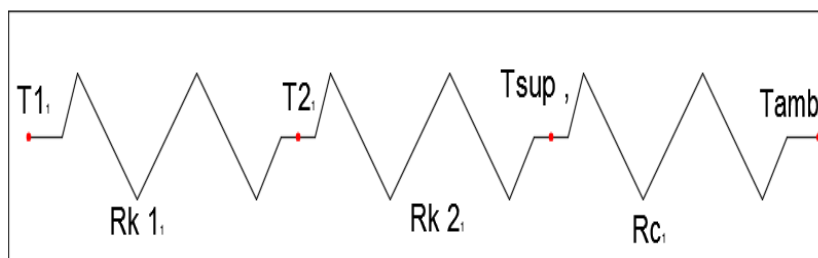
Radio exterior: $r_{3 \text{ cam1}} = 1,6056m$

Figura 22 Radios y temperaturas en el cálculo del calor por conducción de la primera cámara



Fuente: Diseño energético de un incinerador para 700kg de residuos sólidos hospitalarios usando GLP

Figura 23 Resistencias de equivalencias en el análisis de transferencia de calor



Fuente: Diseño energético de un incinerador para 700kg de residuos sólidos hospitalarios usando GLP

Largo de la cámara : $L_{cam} = 3.2m$

Área exterior de la 1° cámara : $A_{ext\ cam1} = 33,19 m^2$

Para el cálculo, se tomó en cuenta la temperatura de $800^\circ C$ en el interior del incinerador ya que es el límite superior permitido, la propuesta de diseño cumple con este valor nominal de operación ($760^\circ C$), el equipo operará sin problemas. [11]

A continuación, se calculó las resistencias térmicas, considerando la conductividad para un elemento cilíndrico. [11]

$$R_{k12 \text{ cam1}} = \frac{\ln\left(\frac{r_{2 \text{ cam1}}}{r_{1 \text{ cam1}}}\right)}{2 \times \pi \times k_{12} \times L_{\text{cam}}}$$

$$R_{k23 \text{ cam1}} = \frac{\ln\left(\frac{r_{3 \text{ cam1}}}{r_{2 \text{ cam1}}}\right)}{2 \times \pi \times k_{23} \times L_{\text{cam}}}$$

Donde:

$$R_{k12 \text{ cam1}} : \text{Resist. térm. para la conducción a través del ladrillo} = 0.04 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{k23 \text{ cam1}} : \text{Resist. térm. para la conducción a través del aislante} = 0.10 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

Se asumió un valor para el coeficiente convectivo exterior a fin de poder calcular la temperatura superficial del incinerador.

Con la temperatura calculada en la que se utilizó la teoría de convección libre, se obtuvo un nuevo coeficiente.

Si lo calculado es correcto, el valor del coeficiente hallado mediante la teoría para la convección libre debe ser igual al valor que se asumió al inicio del cálculo de otra forma se tendrá que iterar.

$$\text{Asumimos coeficiente convectivo exterior } h_{\text{ext cam1}} = 3,47 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \times \text{K}}$$

$$R_{\text{c cam1}} = \frac{1}{h_{\text{ext cam1}} \times A_{\text{ext cam1}}}$$

Se obtuvo:

$$\dot{q}_{\text{cam1}} = \left(\frac{T_1 - T_{\text{amb}}}{R_{k12 \text{ cam1}} + R_{k23 \text{ cam1}} + R_{\text{c cam1}}} \right)$$

$$T_{\text{sup cam1}} = \frac{\dot{q}_{\text{cam1}}}{h_{\text{ext cam1}} \times A_{\text{ext cam1}}} + T_{\text{amb}}$$

Donde:

$$R_{\text{c cam1}} : \text{Resist. term. para la convección exterior} = 0,008 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$\dot{q}_{\text{cam1}} : \text{Flujo de calor a través de la 1° cám.} = 4,17 \text{ kW}$$

$$T_{\text{sup cam1}} : \text{Temp. superficial de la 1° camara} = 65,25^\circ\text{C}$$

Posteriormente para la temperatura superficial igual $65,25^\circ\text{C}$ le corresponde esto:

Número de Rayleigh

$$Ra_{cam1} = 3,349 \times 10^{10}$$

Número de Prandtl:

$$Pr_{cam1} = 7,036 \times 10^{-1}$$

Para el número de Nussel se utilizó la correlación para convección libre en superficies externas de forma cilíndricas

$$Nu_D = \left\{ 0,6 + \frac{0,387 \times Ra_{D^{\frac{1}{6}}}}{\left[1 + \left(\frac{0,0559}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2$$

Al momento que se reemplazó Ra_{cam1} y por Pr_{cam1} se obtiene el número de Nussel equivalente a 354,5.

$$h_{ext\ cam1} = \frac{k_{ext\ cam1} \times Nu}{(2 \times r_{3\ cam1})}$$

Donde:

$$h_{ext\ cam1} : \text{Coef. convectivo ext. calculado para } T_{sup\ cam1} = 3,47 \frac{W}{m^2 \times K}$$

$$Nu_{ext\ cam1} : \text{Número de Nussel calculado para } T_{sup\ cam1} = 354,5$$

$$k_{ext\ cam1} : \text{Conductividad térm. ext. para } T_{sup\ cam1} = 0,033 \frac{W}{m \times K}$$

Si hay una diferencia se asumió como error de las aproximaciones realizadas, el proceso completo del cálculo de los números de Rayleigh y Prandtl.

Selección de cubierta para la primera cámara

El principal objetivo es brindar la protección a la primera cámara, se recubrió con bobinas de acero inoxidable de calidad AISI 304 con un espesor de 0,6mm.

3.2.4.3. Cálculo del refractario y aislamiento en la segunda cámara

Al igual que la cámara de ignición, se utilizó ladrillos refractarios aislante lana de roca, el objetivo es reducir la temperatura superficial exterior hasta un máximo de 100°C, tomando en cuenta que la temperatura del interior de esta cámara es 1200°C. [11] [14]

Tendremos 3 niveles de ladrillos aislantes y un espesor de aislante de 5 pulgadas para la segunda cámara, el método de cálculo es el mismo que para la primera cámara por lo que se presentara un cuadro de resumen de los valores obtenidos. [11] [12] [14]

3.2.5. Diseño de ducto de comunicación

Se supo que el flujo de gases de la combustión con material particulado genera erosión sobre las superficies internas del incinerador, esto hace que el ladrillo refractario se desgaste por lo que hay que tener en consideración este efecto. [11] [14]

El área superficial interior que está sometida a la mayor erosión debido a los gases de combustión es el ducto de comunicación entre las cámaras, debido a esto se desea que el flujo sea lo más laminar posible, como consecuencia de obtener esta condijo la velocidad del fluido en las paredes del ducto será cero y no habrá arrastre de material particulado sobre el refractario. [11] [12] [14]

Tabla 14 Resultados del diseño energético de la segunda cámara

CONCEPTO	SÍMBOLO	VALOR
Radio interno	$r_{1 \text{ cam2}}$	0,8m
Radio exterior a los ladrillos	$r_{2 \text{ cam2}}$	1,143m
Radio exterior al aislamiento	$r_{3 \text{ cam2}}$	1,27m
Largo de cámara	l_{cam2}	3,2m
Área exterior de la segunda cámara	$A_{\text{ext cam2}}$	24,127m ²
Resistencia térmica de conducción a través del ladrillo	$R_{k12 \text{ cam2}}$	$0,88 \frac{\text{k}}{\text{W}}$
Resistencia térmica de conducción a través del aislamiento	$R_{k23 \text{ cam2}}$	$0,13 \frac{\text{k}}{\text{W}}$
Coefficiente de convección exterior asumido	$h_{\text{ext cam2}}$	$3,7 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \times \text{k}}$
Resistencia de convección exterior	$R_{\text{c cam2}}$	$0,01 \frac{\text{K}}{\text{W}}$
Flujo de calor	\dot{q}_{cam2}	1,14kW
Temperatura superficial exterior	$T_{\text{sup cam2}}$	63,1°C
Temperatura asumida para el coeficiente de convección exterior	$T''_{\text{sup cam2}}$	73°C
Número de Rayleigh	Ra_{cam2}	$1,04 \times 10^{10}$
Número de Prandtl	$Pr_{2 \text{ cam2}}$	$5,24 \times 10^{-1}$
Número de Nussel	$Nu_{\text{ext cam2}}$	243,52
Conductividad exterior	$k_{\text{ext cam2}}$	$0,278 \frac{\text{W}}{\text{m} \times \text{K}}$
Coefficiente convectivo para temperatura asumida	$h_{\text{ext cam2}}$	$3,67 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \times \text{K}}$

Fuente: Propia

Sin embargo, se sabe que en el flujo turbulento las pérdidas son superiores que el flujo laminar para evitar esto se llevaría a una mayor deposición de material particulado en el ducto. Lo fundamental es que el material particulado que sale de la primera cámara se incinerado en la segunda cámara, para luego quedarse en el lavado de gases. [11] [12]

En cuanto al dimensionamiento del ducto, se tomó como referencia el número de Reynolds con el diámetro del ducto. Se asumió la temperatura máxima posible para el flujo másico.

$$Re = \frac{\rho_{mezcla} \times V \times \phi_{ducto}}{\mu_{mezcla}}$$

Despejando obtenemos una relación:

$$\phi_{ducto} = \frac{\dot{m}_{ducto}}{\mu_{mezcla} \times \pi \times Re}$$

Donde:

$$\dot{m}_{ducto} = \text{Flujo másico total a través del ducto} = \left(\frac{\text{Gas}_{seco2} + \text{Agua}_{Tot1}}{t_{op}} \right) = 0,22 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\mu_{mezcla} = \text{Viscosidad dinámica de la mezclaa } 800^{\circ}\text{C} = 4,175 \times 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m} \times \text{s}}$$

Luego de haber calculado el flujo laminar y conocer la viscosidad dinámica se pudo conocer el número de Reynolds, eso nos indicará si el flujo será de tipo laminar o turbulento para $Re = 2000$.

$$\phi_{ducto} = 1\text{m}$$

Para este diámetro del ducto le corresponde un $Re_{ducto} = 4435$ por lo tanto es un flujo turbulento.

En cuanto a los parámetros de espesor de aislante y el material refractario se tomó en cuenta la transferencia de calor por el flujo interno, se usó las siguientes ecuaciones:

$$Nu_{ducto} = 0,032 \times \left(\frac{\phi_{ducto}}{l_{ducto}} \right)^{0,054} \times Re_{ducto} \times Pr_{ducto}^n$$

Donde:

$$Nu_{ducto} : \text{Número de Nussel para el ducto} = 145.68$$

$$l_{ducto} : \text{Largo del ducto} = 0,5\text{m}$$

$$Pr_{ducto} : \text{Número de Prandtl para el fluido en el ducto} = 1,091$$

$$n : \text{Coeficiente de correlación} = 0,3$$

De acuerdo al ambiente expuesto, el largo del ducto fue de 0,5m, se debió recordar que el ducto es mayor que la longitud ya que en este incluye la sección definida por los ladrillos y el aislante para las dos cámaras. [11].

En cuanto al coeficiente de correlación es de 0,3, ya que la temperatura superficial del ducto es menor que la temperatura del fluido que pasa a través de este.

$$h_{\text{ducto}} = \frac{k_{\text{ducto}} \times Nu_{\text{ducto}}}{\phi_{\text{ducto}}}$$

Donde:

$$h_{\text{ducto}}: \text{Coeficiente convectivo en el interior del ducto} = 11,51 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \times \text{K}}$$

$$k_{\text{ducto}} = \text{Conductividad térmica en el interior del ducto} = 0,079 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \times \text{K}}$$

Tabla 15 Resultados del diseño energético del ducto

CONCEPTO	SÍMBOLO	VALOR
Temperatura interior del ducto	$T_{\text{int ducto}}$	800°C
Radio interno	$r_{1 \text{ ducto}}$	0,5m
Radio exterior a los ladrillos	$r_{2 \text{ ducto}}$	0,73m
Radio exterior al aislamiento	$r_{3 \text{ ducto}}$	0,78m
Largo de la cámara	l_{ducto}	0,5m
Área interior del ducto	$A_{\text{int ducto}}$	3,14m ²
Área exterior del ducto	$A_{\text{ext ducto}}$	4,9m ²
Resistencia térmica de convección interior	$R_{c \text{ int ducto}}$	0,03 $\frac{\text{K}}{\text{W}}$
Resistencia térmica de conducción a través del ladrillo	$R_{k12 \text{ ducto}}$	0,3 $\frac{\text{K}}{\text{W}}$
Resistencia térmica de conducción a través del aislamiento	$R_{k23 \text{ ducto}}$	0,27 $\frac{\text{K}}{\text{W}}$
Coefficiente de convección exterior asumido	$h_{\text{ext ducto}}$	3,9 $\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \times \text{K}}$
Resistencia de convección exterior	$R_{c \text{ ext ducto}}$	0,05 $\frac{\text{K}}{\text{W}}$
Flujo de calor	\dot{q}_{ducto}	1,23kW
Temperatura superficial exterior	$T_{\text{sup ducto}}$	84,3°C
Temperatura asumida para coef de convección ext.	$T''_{\text{sup ducto}}$	84°C
Número de Rayleigh	Ra_{ducto}	$7,16 \times 10^9$
Número de Prandtl	Pr_{ducto}	$7,006 \times 10^{-1}$
Número de Nussel	Nu_{ducto}	215,82
Conductividad exterior	$k_{\text{ext ducto}}$	0,028 $\frac{\text{W}}{\text{m} \times \text{K}}$
Coefficiente convectivo para temperatura asumida	$h_{\text{ext ducto}}$	3,9 $\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \times \text{K}}$

Fuente: Propia

3.2.6. Diseño de las tapas

En el diseño de las tapas se tomó en cuenta el flujo de calor a través de la pared plana. Para el diseño de las ambas tapas de la primera cámara se colocó dos niveles de ladrillo refractario aislante de modo de obtener 228.6mm de espesor. [11]

También se colocó una manta de lana de roca de 127mm de espesor.

$$A_{\text{tapa1}} = r_{1 \text{ cam1}}^2 \times \pi$$

Donde:

$$A_{\text{tapa1}}: \text{Área de tapa a intervenir en el cálculo} = 4,91\text{m}^2$$

Luego se conoció las resistencias térmicas que intervienen en el cálculo del flujo de calor que atraviesa las tapas de la primera cámara.

$$R_{k12 \text{ tapa1}} = \frac{\text{esp}_{\text{ladrillo1}}}{k_{12} \times A_{\text{tapa1}}}$$

$$R_{k23 \text{ tapa1}} = \frac{\text{esp}_{\text{aislam1}}}{k_{23} \times A_{\text{tapa1}}}$$

$$R_{c \text{ ext tapa1}} = \frac{1}{A_{\text{tapa1}} \times h_{\text{ext tapa1}}}$$

Donde:

$$R_{k12 \text{ tapa1}}: \text{Resistencia de conducción para el ladrillo de la tapa} = 0,23 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{k23 \text{ tapa1}}: \text{Resistencia de conducción para el aislante de la tapa} = 0,65 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{c \text{ ext tapa1}}: \text{Resistencia de convección exterior para la tapa} = 0,06 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$h_{\text{ext tapa1}}: \text{Coeficiente de convección exterior asumido} = 3,7 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \times \text{K}}$$

Luego

$$\dot{q}_{\text{tapa1}} = \frac{T_{\text{int tapa1}} - T_{\text{amb}}}{R_{k12 \text{ tapa1}} + R_{k23 \text{ tapa1}} + R_{c \text{ ext tapa1}}}$$

$$T_{\text{sup tapa1}} = \frac{\dot{q}_{\text{tapa1}}}{h_{\text{ext tapa1}} \times A_{\text{ext tapa1}}} + T_{\text{amb}}$$

Donde:

\dot{q}_{tapa1} : Flujo de calor a través de las tapas de la primera cámara = 0,83kW

$T_{\text{sup tapa1}}$: Temperatura superficial de las tapas de la primera cámara = 65°C

Para las superficies planas se utilizará la ecuación siguiente que verifica el coeficiente convectivo asumido mediante las correlaciones de convección libre.

$$\text{Nu}_L = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 \times \text{Ra}_L^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{\text{Pr}} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2$$

Entonces se utilizó una temperatura superficial de 65,25°C para los siguientes valores:

$$\text{Ra}_{\text{tapa 1}} = 1,413 \times 10^{10}$$

$$\text{Pr}_{\text{tapa 1}} = 7,036 \times 10^{-1}$$

$$\text{Nu}_{\text{tapa 1}} = 281,09$$

Coeficiente Convectivo

$$h_{\text{tapa 1}} = \frac{k_{\text{tapa 1}} \times \text{Nu}_{\text{tapa 1}}}{2 \times r_{1 \text{ cam1}}}$$

$$h_{\text{tapa 1}}: \text{Coeficiente de conductividad exterior (65,25°C)} = 3,67 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \times \text{K}}$$

$$k_{\text{tapa 1}}: \text{Conductividad térmica exterior de la tapa} = 0,032 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \times \text{K}}$$

En la segunda cámara se colocó de 3 niveles de ladrillos refractarios aislantes instalados para que brinden 13,5 pulgadas de espesor.

Posteriormente se colocó una manta de lana de roca de 127mmde espesor, anteriormente se obtuvo los cálculos.

3.2.7. Diseño de la chimenea

Para aprovechar el incremento de entalpia de los gases de salida o escape, se colocará a continuación del incinerador un intercambiador de calor, en tanto se reducirá el diámetro del ducto de comunicación este dará como resultado el incremento de velocidad y turbulencia.

Para el diseño de la chimenea se asumió un diámetro de 0,5 metros.

Para ello se colocó 3 niveles de ladrillo refractario aislante con la finalidad de obtener una temperatura superficial indicada para la manta aislante, para ello tendremos un espesor de 177.8mm de lana de roca. [11]

Tabla 16 Resultados del diseño energético de las tapas de la segunda cámara

CONCEPTO	SÍMBOLO	VALOR
Temperatura interior de la tapa	$T_{\text{int tapa2}}$	1200°C
Espesor de ladrillos	$\text{esp}_{\text{ladrillo2}}$	0,243 m
Espesor de aislante	$\text{esp}_{\text{aislam2}}$	0,127m
Radio de tapa	$r_{1 \text{ cam2}}$	0,8m
Área de la tapa	A_{tapa2}	2,01m ²
Resistencia térmica de conducción a través del ladrillo	$R_{k12 \text{ tapa2}}$	$0,85 \frac{\text{K}}{\text{W}}$
Resistencia térmica de conducción a través del aislamiento	$R_{k23 \text{ tapa2}}$	$1,6 \frac{\text{K}}{\text{W}}$
Coefficiente de convección exterior asumido	$h_{\text{ext tapa2}}$	$4,03 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \times \text{K}}$
Resistencia de convección exterior	$R_{c \text{ ext tapa2}}$	$0,12 \frac{\text{K}}{\text{W}}$
Flujo de calor	\dot{q}_{tapa2}	0,46kW
Temperatura superficial exterior	$T_{\text{sup tapa2}}$	76,8°C
Temperatura asumida para coeficiente de convección exterior	$T''_{\text{sup tapa2}}$	79°C
Número de Rayleigh	$Ra_{\text{tapa 2}}$	$4,935 \times 10^9$
Número de Prandtl	$Pr_{\text{tapa 2}}$	$7,01 \times 10^{-1}$
Número de Nussel	$Nu_{\text{tapa 2}}$	201,55
Conductividad exterior	$k_{\text{ext tapa 2}}$	$0,031 \frac{\text{W}}{\text{m} \times \text{K}}$
Coefficiente convectivo para temperatura asumida	$h_{\text{ext tapa 2}}$	$4,03 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \times \text{K}}$

Fuente: Propia

Tabla 17 Resultados del diseño energético de la chimenea

CONCEPTO	SÍMBOLO	VALOR
Temperatura interior de la chimenea	$T_{\text{int chim}}$	1200°C
Radio interno	$r_{1 \text{ chim}}$	0,25m
Radio exterior a los ladrillos	$r_{2 \text{ chim}}$	0,593m
Radio exterior al aislamiento	$r_{3 \text{ chim}}$	0,77m
Largo de chimenea	L_{chim}	0,3m
Área exterior de la chimenea	$A_{\text{ext chim}}$	1,45m ²
Resistencia térmica de conducción a través del ladrillo	$R_{k12 \text{ chim}}$	$2,29 \frac{\text{K}}{\text{W}}$
Resistencia térmica de conducción a través del aislamiento	$R_{k23 \text{ chim}}$	$3,48 \frac{\text{K}}{\text{W}}$
Coefficiente de convección exterior asumido	$R_{c \text{ ext chim}}$	$3,47 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \times \text{K}}$
Flujo de calor	\dot{q}_{chim}	$0,2 \frac{\text{K}}{\text{W}}$
Temperatura superficial exterior	$T_{\text{sup chim}}$	59,4°C
Temperatura asumida para coeficiente de convección ext.	$T''_{\text{sup chim}}$	61,5°C
Número de Rayleigh	Ra_{chim}	$5,28 \times 10^9$
Número de Prandtl	Pr_{chim}	$7,038 \times 10^{-1}$
Número de Nussel	Nu_{chim}	195,88
Conductividad exterior	$k_{\text{ext chim}}$	$0,0273 \frac{\text{W}}{\text{m} \times \text{K}}$
Coefficiente convectivo para temperatura asumida	$h_{\text{ext chim}}$	$3,47 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \times \text{K}}$

Fuente: Propia

En las siguientes tablas se mostrarán como es el cambio de temperatura a través de la primera cámara, segunda cámara y ducto

Tabla 18 Cambio de temperatura en la primera cámara

Ubicación física	Radio de la 1° cámara(mm)	Temperatura(°C)
Centro de la cámara	0	800
Interior del ladrillo K-23	1250	800
Exterior del ladrillo K-23	1478	580
Superficie exterior del aislamiento	1598	65

Fuente: Propia

Tabla 19 Cambio de temperatura en la segunda cámara

Ubicación física	Radio de la 1° cámara(mm)	Temperatura(°C)
Centro de la cámara	0	1200
Interior del ladrillo K-23	800	1200
Exterior del ladrillo K-23	1143	750
Superficie exterior del aislamiento	1270	70

Fuente: Propia

Tabla 20 Cambio de temperatura en el ducto de comunicación

Ubicación física	Radio de la 1° cámara(mm)	Temperatura(°C)
Centro de la cámara	0	800
Interior del ladrillo K-23	500	800
Exterior del ladrillo K-23	729	425
Superficie exterior del aislamiento	779	85

Fuente: Propia

3.3. Selección conceptual de equipos

3.3.1. Selección de ventiladores

Se tomó 2 parámetros para seleccionar el ventilador adecuado:

- La curva característica del ventilador:

Para esta, se obtendrá de catálogos, el cual sea el adecuado para un mayor rendimiento del equipo

- La curva de operación del sistema:

Para esta, se tuvo como respuesta las suma de las alturas estática y dinámicas del flujo y la variación del caudal. [11] [27]

$$h_{\text{sis}} = h_{\text{estática}} + h_{\text{dinámica}}$$

3.3.1.1. Altura estática

$$h_{\text{estática}} = \frac{(p_{\text{descarga}} - p_{\text{succión}})}{g \times \rho} + (Z_{\text{descarga}} - Z_{\text{succión}})$$

p_{descarga} : Presión de fluido a la descarga

$p_{\text{succión}}$: Presión del fluido a la succión

3.4.1.2. Altura dinámica

$$h_{\text{dinámica}} = \frac{(V_{\text{descarga}}^2 - V_{\text{succión}}^2)}{2 \times g} - h_{\text{fricción}}$$

Se calculó las pérdidas por fricción que toma el flujo de aire que pasa por medio del incinerador de un modo que estuviera operando y solo estuvieran prendidos los ventiladores. [11] [27]

Nos lo es vaticinar los valores exactos o reales para la descarga, ya que habrá otros equipos que serán instalados posteriormente al incinerador, cabe recordar que tras la quema de los residuos se obtendrán variaciones reales dadas por los gases. [11] [27]

Se asumió un flujo de tipo turbulenta debido a que las pérdidas por fricción se dan a lo largo de las dos cámaras, a lo que incluyó la expansión y contracción del fluido, para el régimen de tipo turbulento se estará vinculado con el esfuerzo cortante, si se supuso un flujo permanente, uniforme e incompresible, estos esfuerzos dependen de la rugosidad. [20] [27]

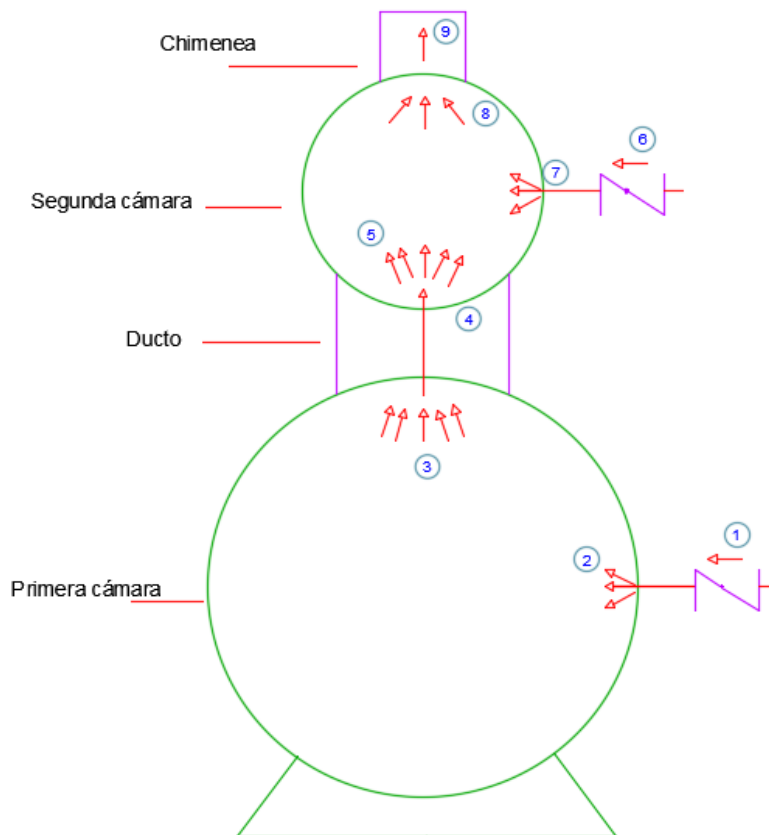
$$\tau_0 = \frac{f}{4} \times \frac{\rho}{2} \times V^2$$

f: Factor de fricción

$$h_{\text{fricción}} = f \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2 \times g}$$

Posteriormente para calcular el factor de fricción se utilizó el diagrama de Moody como herramienta importante, en donde se asumió que las tuberías que conectan los ventiladores con el equipo son de acero comercial y si se consideró a la superficie interna del incinerador que está hecha de concreto, esto haría una representación del concreto refractario que cubre y da soporte a los ladrillos k-23. [11]

Figura 24 Esquema de distribución de pérdidas por fricción en el incinerador



Fuente: Diseño energético de un incinerador para 700kg de residuos sólidos hospitalarios usando GLP

En cuanto a las pérdidas en la conexión del ventilador y la primera cámara tomaremos un flujo de $20 \frac{m}{s}$ una vez calculado, obtendremos el diámetro de la tubería. [11]

$$Q_{\text{aire cam1}} = \frac{M_{\text{aire 1}}}{t_{\text{op}} \times \rho_{\text{aire amb}}}$$

$$A_{\text{tub 1}} = \pi \frac{\phi_{\text{tub 1}}^2}{4} = \frac{Q_{\text{aire cam1}}}{V_{\text{tub 1}}}$$

Donde:

$Q_{\text{aire cam1}}$: Caudal de aire ingresante en la primera cámara = $398,26 \frac{m^3}{hr}$

$\rho_{\text{aire amb}}$: Densidad del aire ambiental de Chiclayo = $1,1274 \frac{kg}{m^3}$

$\emptyset_{\text{tub } 1}$: Diámetro de tubería requerida = 0,083m

Para la regulación del caudal será por medio de una válvula mariposa. La caída de presión sería:

$$h_{\text{fricción } 1} = \frac{k_{f1} \times V_{\text{tub } 1}^2}{2 \times g}$$

$$k_{f1} = 45 \times f_{t1}$$

$$f_{t1} = \frac{0,25}{\left(\log\left(\frac{\text{RugRel}_1}{3,7}\right)\right)^2}$$

$$\text{RugRel}_1 = \frac{\varepsilon_{\text{tub } 1}}{\emptyset_{\text{tub } 1}}$$

Donde:

$h_{\text{fricción } 1}$: Pérdidas de altura debido a la fricción en la válvula mariposa = 15,5m

k_{f1} : Coeficiente de la válvula mariposa = 0,76

f_{t1} : Coeficiente de fricción = 0,017

RugRel_1 : Rugosidad relativa = $5,50 \times 10^{-4}$

$\varepsilon_{\text{tub } 1}$: Rugosidad de la tubería de acero comercial = $4,572 \times 10^{-5}$ m

Ya que existe una expansión desde la tubería hacia el recipiente grande, se denomina pérdidas de altura por expansión súbita de tubería a embalse. [11] [20]

$$h_{\text{fricción } 2} = \frac{V_{\text{tub } 1}^2}{2 \times g}$$

$h_{\text{fricción } 2}$: Pérdidas de altura por expansión súbita = 20,4m

En la contracción de la cámara hacia el ducto también se dan pérdidas por fricción

$$h_{\text{fricción } 3} = 0,5 \times \frac{V_{\text{aire ducto}}^2}{2 \times g}$$

$$V_{\text{aire ducto}} = \frac{Q_{\text{aire cam } 1}}{A_{\text{int ducto}}}$$

Donde:

$h_{\text{fricción } 3}$: Pérdidas de altura en la entrada al ducto = $2,34 \times 10^{-4}$

$Q_{\text{aire cam } 1}$: Caudal total a través del ducto = $271,35 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}}$

$V_{\text{aire ducto}}$: Velocidad del fluido a través del ducto = $0,096 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Para la pérdida de altura, se consideró los gases que están en contacto con el cemento refractario, que permitirá unir a los a los ladrillos y darles soporte [11]

$$h_{\text{fricción } 4} = f_{\text{ducto}} \times \frac{l_{\text{ducto}}}{\phi_{\text{ducto}}} \times \frac{V_{\text{aire ducto}}^2}{2 \times g}$$

Donde:

$h_{\text{fricción } 4}$: Pérdida de altura por fricción en el ducto = $9,16 \times 10^{-6} \text{m}$

Con el diagrama de Moody se halló el factor de fricción, con un número de Reynolds de 5022 y se consideró el valor promedio de altura de rugosidad. [11]

f_{ducto} : Factor de fricción = 0,039

$$\text{RugRel}_{\text{ducto}} = \frac{\epsilon_{\text{ducto}}}{\phi_{\text{ducto}}}$$

Donde

$\text{RugRel}_{\text{ducto}}$: Rugosidad relativa = $1,65 \times 10^{-3} \text{m}$

ϵ_{ducto} : Altura promedio de la rugosidad del concreto = $1,65 \times 10^{-3} \text{m}$

El fluido tiene una expansión

$$h_{\text{fricción } 5} = \frac{V_{\text{ducto}}^2}{2 \times g}$$

Donde:

$h_{\text{fricción } 5}$: Pérdida de altura en la expansión luego del ducto = $4,7 \times 10^{-4} \text{m}$

Luego se contrae e ingresa a la chimenea

$$h_{\text{fricción } 8.1} = 0,5 \times \frac{V_{\text{chim } 1}^2}{2 \times g}$$

$$h_{\text{fricción } 9.1} = f_{\text{chim } 1} \times \frac{l_{\text{chim}}}{\phi_{\text{chim}}} \times \frac{V_{\text{chim } 1}^2}{2 \times g}$$

$$V_{\text{chim}} = \frac{Q_{\text{aire cam } 1}}{A_{\text{int chim}}}$$

Donde:

$h_{\text{fricción } 6}$: Pérdida de altura por contracción súbita en la chimenea = $3,8 \times 10^{-3} \text{m}$

$h_{\text{fricción } 7}$: Pérdida de altura por fricción a través de la chimenea = $1,67 \times 10^{-4} \text{m}$

V_{chim} : Velocidad del fluido a través de la chimenea = $0,385 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

$A_{\text{int chim}}$: Área transversal interna de la chimenea = $0,196 \text{m}^2$

f_{chim} : Factor de fricción en la chimenea = $0,037$

Se utilizó el diagrama de Moody se podrá hallar el factor de fricción de la chimenea, y se consideró la rugosidad igual al ducto. [11]

$$\text{Re}_{\text{chim}} = 10070$$

$$\text{RugRel}_{\text{chim}} = 3,3 \times 10^{-3}$$

$$\varepsilon_{\text{ducto}} = 1,65 \times 10^{-3} \text{m}$$

Para hallar las pérdidas de altura total se realizó una sumatoria de los valores calculados:

$$h_{\text{f aire } 1} = 36,4 \text{m}$$

$$\Delta p_{\text{f aire } 1} = 315 \text{Pa}$$

El ventilador operará a una caída de presión de 315Pa , si solo existieran las pérdidas calculadas para la primera cámara. [11]

Para la selección de ventilador se calculó los siguientes parámetros:

$$\Delta p_{\text{f aire } 1} = 315 \text{Pa}$$

$$Q_{\text{aire } 1 \text{ sel}} = 200 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}}$$

$\Delta p_{\text{f aire } 1}$: Caída de presión a la que opera el ventilador

$Q_{\text{aire } 1 \text{ sel}}$: Caudal referenciado a 0 msnm para la selección del ventilador = $200 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}}$

Tabla 21 Características del primer ventilador

VENTILADOR CENTRIFUGO	
Modelo	2GRE15 133/49R
Caudal	$255 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}}$
Presión máxima	330Pa

Fuente: Propia

Para la segunda cámara se debió incluir las pérdidas del aire que ingresa a esta, se consideró una regulación de flujo antes del ingreso de la cámara por medio de una válvula mariposa, que es igual a la velocidad del aire a través de la válvula $V_{\text{tub } 2} = 20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. [11] [20]

$$h_{\text{fricción } 6} = \frac{k_{f6} \times V_{\text{tub } 2}^2}{2 \times g}$$

$$k_{f2} = 45 \times f_{t2}$$

$$f_{t2} = \frac{0,25}{\left(\log\left(\frac{\text{RugRel}_2}{3,7}\right)\right)^2}$$

$$\text{RugRel}_2 = \frac{\varepsilon_{\text{tub } 2}}{\varnothing_{\text{tub } 2}}$$

$$Q_{\text{aire cam}2} = \frac{M_{\text{aire } 2}}{t_{\text{op}} \times \rho_{\text{aire amb}}}$$

$$A_{\text{tub } 2} = \pi \frac{\varnothing_{\text{tub } 2}^2}{4} = \frac{Q_{\text{aire cam}2}}{V_{\text{tub } 2}}$$

$h_{\text{fricción } 6}$: Pérdidas de altura por fricción en la válvula mariposa = 14,28m

k_{f2} : Coeficiente de la válvula mariposa = 0,70

f_{t2} : Coeficiente de fricción = 0.015

RugRel_2 : Rugosidad relativa = $3,51 \times 10^{-4}$

$\varepsilon_{\text{tub } 2}$: Rugosidad de la tubería de acero comercial = $4,572 \times 10^{-5}\text{m}$

$Q_{\text{aire cam}2}$: Caudal de aire ingresante en la primera cámara = $996 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}}$

$\varnothing_{\text{tub } 2}$: Diámetro de tubería requerida = 0,13m

El fluido tiene una expansión súbita en la segunda cámara

$$h_{\text{fricción } 7} = \frac{V_{\text{tub } 2}^2}{2 \times g}$$

Donde:

$h_{\text{fricción } 7}$: Pérdida de altura en la expansión súbita = 20,40m

Luego el fluido recorre e ingresa a la chimenea:

$$h_{\text{fricción } 8.2} = 0,5 \times \frac{V_{\text{chim } 2}^2}{2 \times g}$$

$$h_{\text{fricción } 9.2} = f_{\text{chim } 2} \times \frac{l_{\text{chim}}}{\varnothing_{\text{chim}}} \times \frac{V_{\text{chim } 2}^2}{2 \times g}$$

$$V_{\text{chim } 2} = \frac{Q_{\text{aire cam } 2}}{A_{\text{int chim}}}$$

Donde:

$h_{\text{fricción } 8.1}$: Pérdida de altura por contracción súbita en la chimenea = 0,05m

$h_{\text{fricción } 9.2}$: Pérdida de altura por fricción en la chimenea = 1.92×10^{-3} m

$V_{\text{chim } 2}$: Velocidad del fluido a través de la chimenea = $1,4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

$A_{\text{int chim}}$: Área transversal interna de la chimenea = $0,196\text{m}^2$

$f_{\text{chim } 2}$: Factor de fricción en la chimenea = 0,032

Se utilizó el diagrama de Moody se pudo hallar el factor de fricción de la chimenea, y se consideró la rugosidad igual al ducto. [11]

$$Re_{\text{chim } 2} = 25110,$$

$$RugRel_{\text{chim } 2} = 3,3 \times 10^{-3}$$

$$\varepsilon_{\text{ducto}} = 1,65 \times 10^{-3}\text{m}$$

Para hallar las pérdidas de altura total se realizó una sumatoria de los valores ya calculados:

$$h_{\text{f aire } 1} = 35\text{m}$$

$$\Delta p_{\text{f aire } 2} = 330,4\text{Pa}$$

$\Delta p_{\text{f aire } 2}$: Caída de presión a la que opera el ventilador

$$Q_{\text{aire } 2 \text{ sel}}: \text{Caudal a } 0 \text{ msnm para la selección del ventilador} = 500 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}}$$

Tabla 22 Características del segundo ventilador

VENTILADOR CENTRIFUGO	
Modelo	2GRE20 140/59R
Caudal	$515 \frac{m^3}{hr}$
Presión máxima	450Pa

Fuente: Propia

3.3.2. Selección de quemadores

Para los quemadores solo se seleccionó de acuerdo a las potencias de las dos cámaras

Tabla 23 Primera cámara la potencia requerida es de 9,38kW

QUEMADOR	
Marca	<i>EQA</i>
Modelo	76
Potencia mínima	14,65kW
Potencia máxima	34kW
Característica	Con cabeza de acero inoxidable AISI 304

Fuente: Propia

Tabla 24 Segunda cámara la potencia requerida es de 380kW

QUEMADOR	
Marca	<i>EQA</i>
Modelo	76
Potencia mínima	100kW
Potencia máxima	523kW
Característica	Con cabeza de acero inoxidable AISI 316

Fuente: Propia

IV. Estimación de costos en relación al diseño energético

4.1. Elementos a considerar en los costos

Tabla 25 Elementos para el diseño energético del incinerador

ELEMENTO	CARACTERÍSTICA
Ladrillo refractario aislante K-23	228, mm × 114,3mm × 63,5mm
Manta de lana de vidrio	- Densidad de 100 kg/m^3
Quemador (primera cámara)	- Potencia máxima de 34 kW - Potencia mínima de 14,65 kW
Quemador (segunda cámara)	- Potencia máxima de 523 kW - Potencia mínima de 100 kW
Ventilador (primera cámara)	- Caudal de 250 m^3/hr - Presión máxima de 330 Pa
Ventilador (segunda cámara)	- Caudal de 515 m^3/hr - Presión máxima de 450 Pa

Fuente: Propia

4.2. Cálculos de costos relacionados al diseño

Se basó en las cantidades que se requieren para el diseño energético, posteriormente se agregó el costo del combustible (GLP).

Tabla 26 Costo energético de la primera cámara

ELEMENTOS	CANTIDAD	PRECIO (soles)	SUBTOTAL (soles)
Ladrillo refractario aislante	1224	S/9,50	S/11628
Cemento refractario (bolsa de 5 kg)	9	S/18,60	S/167,4
Manta de lana de roca de 2 pul	12	S/110,50	S/1326
Manta de lana de roca de 3 pul	11	S/50	S/1700
		Total	S/14821,40

Fuente: Propia

Tabla 27 Costo energético de la segunda cámara

ELEMENTOS	CANTIDAD	PRECIO (soles)	SUBTOTAL (soles)
Ladrillo refractario aislante	2694	S/9,50	S/25593
Cemento refractario (5 kg)	20	S/18,60	S/372
Manta de lana de roca de 2 pul	10	S/110,50	S/1105
Manta de lana de roca de 3 pul	10	S/50	s/500
		Total	S/27570

Fuente: Propia

Tabla 28 Costo energético de la primera tapa

ELEMENTOS	CANTIDAD	PRECIO (soles)	SUBTOTAL (soles)
Ladrillo refractario aislante	705	S/9,50	S/6697,50
Cemento refractario (5 kg)	6	S/18,60	S/111,60
Manta de lana de roca de 2 pul	4	S/110,50	S/442
Manta de lana de roca de 3 pul	4	S/50	s/200
		Total	S/7451,10

Fuente: Propia

Tabla 29 Costo energético de la segunda tapa

ELEMENTOS	CANTIDAD	PRECIO (soles)	SUBTOTAL (soles)
Ladrillo refractario aislante	305	S/9,50	S/2897,5
Cemento refractario (5 kg)	5	S/18,60	S/93
Manta de lana de roca de 2 pul	6	S/110,50	S/663
Manta de lana de roca de 3 pul	4	S/50	s/200
		Total	S/3853,5

Fuente: Propia

Tabla 30 Costo energético del ducto de comunicación

ELEMENTOS	CANTIDAD	PRECIO (soles)	SUBTOTAL (soles)
Ladrillo refractario aislante	102	S/9,50	S/996
Cemento refractario (5 kg)	3	S/18,60	S/55,80
Manta de lana de roca de 2 pul	2	S/110,50	S/221
Manta de lana de roca de 3 pul	2	S/50	S/100
		Total	S/1372,80

Fuente: Propia

Tabla 31 Costo energético de la chimenea

ELEMENTOS	CANTIDAD	PRECIO (soles)	SUBTOTAL (soles)
Ladrillo refractario aislante	120	S/9,50	S/1140
Cemento refractario (5 kg)	5	S/18,60	S/93
Manta de lana de roca de 2 pul	3	S/110,50	S/331,50
Manta de lana de roca de 3 pul	3	S/50	S/150
		Total	S/1714,50

Fuente: Propia

Tabla 32 Costo de selección de equipos en el diseño energético

ELEMENTOS	MODELO	PRECIO (soles)
Quemador	EQA mod. 76 de 1”	S/15300
	EQA mod. 76 de 2½”	S/28900
Ventilador	2GRE15 133/49R	S/578
	2GRE25 140/59R	S/680
	Total	S/45458

Fuente: Propia

Tabla 33 Costo total de las piezas y equipos de selección

PIEZA/EQUIPO	SUBTOTAL (soles)	
Costo energético de la primera cámara	S/14821,40	
Costo energético de la segunda cámara	S/27570	
Costo energético de la primera tapa	S/7451,10	
Costo energético de la segunda tapa	S/3853,50	
Costo energético del ducto de comunicación	S/1372,80	
Costo energético de la chimenea	S/1714,50	
Equipos para el diseño energético	S/45458	
	TOTAL	S/102241.30

Fuente: Propia

El costo en relación al diseño energético (piezas y equipos) es de 102241,30 nuevos soles peruanos.

Para el cálculo del combustible se tuvo en cuenta en cuenta la cantidad y precio

$$\text{Costo por Mes}_{\text{GLP}} = M_{\text{GLP}} \times \text{Costo Kg}_{\text{GLP}}$$

Donde:

$$\text{CostoKg}_{\text{GLP}}: \text{Costo en soles por kg de GLP} = 1,368 \frac{\text{S/}}{\text{kg}}$$

$$\text{CostoporMes}_{\text{GLP}} = \text{Costo mensual de GLP} = \text{S}/401,60$$

Para la factibilidad del proyecto se requiere hacer un VAN y un TIR, haciendo esto se pudo identificar que luego de 7 años recuperaremos lo invertido en el proyecto

Con una inversión de 102241,30 soles y un interés del 18% (anexo14) hoja de calculo

V. RESULTADOS

Los resultados de la presente investigación se realizaron comparando con otros incineradores que existen en el mercado, esta tesis sigue los pasos de una metodología confiable para el adecuado diseño energético de incineradores.

Para la primera cámara las temperaturas más convenientes serían desde los 760°C hasta los 800°C, esta investigación se llevó a cabo bajo la normativa técnica NT-MINSA/DGSP, donde esta menciona que las temperaturas para incinerar deben estar desde los 600°C a 850°C para haya una esterilización completa.

Para este incinerador de 1000kg/mes se obtuvo una humedad del 28,3%, un poder calorífico de 15450kJ/kg, ya que este incinerador operara durante un rango de 6 horas.

En la primera cámara y con el ducto de comunicación se requirieron los espesores de ladrillo refractario aislante k-23.

La segunda cámara se hizo de una forma cilíndrica, en la cual la dimensionamos con 1,6m de diámetro y 3,2m de longitud, se obtuvo un tiempo de residencia de 1,9 segundos y esta hace cumplir con la norma técnica requerida NT-MINSA/DGSP, en el cual dice que el tiempo de residencia es de 1 segundo.

Para el diseño energético interior del incinerador se contó con un ladrillo refractario aislante k-23 de 230mm y un espesor de aislante tipo lana de roca de 130mm, para la segunda cámara se requirió ladrillo refractario aislante k-23 de 345mm.

Para las tapas de la primera cámara se requirió ladrillo refractario aislante k-23 de 230mm y lana de roca de espesor de 230mm, para la tapa de la segunda cámara los parámetros varían ya que este es más grande, se utilizó ladrillo refractario aislante de 345mm y lana de roca de 230mm.

Se seleccionó equipos como quemadores y ventiladores centrífugos, para seleccionar los quemadores se hizo en base a la potencia de cada una de las cámaras, para la selección de los ventiladores centrífugos se seleccionó en base a la caída de presión y caudal, estos equipos seleccionados cumplen con los objetivos para la adecuada incineración de residuos sólidos hospitalarios.

VI. DIAGNÓSTICO DE IMPACTO AMBIENTAL

6.1. Características del proyecto

- Se caracteriza por ser un proyecto beneficioso para el hospital, ya que se reducirá los volúmenes de desechos que aquejan a las personas que laboran en dicho.
- Se utilizó como materia prima los desechos que despoja el hospital para así reducir el volumen de desechos.

Etapa de diseño

- Oficina, planos

Etapa de planificación

- Despejar el espacio donde será colocado el incinerador para que no haya ningún obstáculo al momento de ejecutarlo.
- Retirar los objetos que rodean el área para que no haya ninguna dificultad al momento de la construcción
- Hacer una limpieza a todo el perímetro donde se hará la construcción del incinerador para facilitar aún más el proyecto.

Etapa de construcción

- Definición de una estrategia de gestión y calidad.
- Obtención de los permisos para realizar la obra.
- Redacción y aceptación de un contrato, en el cual se fijan plazos, costos y las relaciones entre dueño y contratista.
- Metodología de trabajo, en que se determinan métodos más eficientes y racionales para la construcción, dado los recursos disponibles.
- Planificación y Programación de la obra, en que se fijan plazos parciales. y totales, y se planifica el uso de los recursos disponibles a través de la construcción.
- Estudios de presupuestos.
- Contrato de la fuerza laboral necesaria para construir la obra.
- Adquisición de los materiales y arriendo o compra de la maquinaria necesaria para la materialización.
- Materialización física de la obra.
- Control, donde se confronta lo realizado COFl lo que se debería haber hecho de acuerdo a lo programado y especificado. Este control puede ser interno (o auto-control), externo (normalmente contratado por el mandante) o ambos.

Etapa de operación

- Se debe recopilar el material obtenido para la incineración, esto se obtendrá de diversas áreas que existen en el hospital
- Se tendrá que transportar el material, en este caso los residuos sólidos hospitalarios para en el inicio de la incineración
- Tener un control adecuado para cuando la incineración este en proceso, ya que esta hará combustión por un intervalo de tiempo

- Finalmente, el quemado o incineración de los residuos para así llegar al objetivo que es disminuir el volumen de estos desechos que acogen a la región.

Etapa de abandono o cierre

- El desmantelamiento de la infraestructura, que producirá residuos, fundamentalmente residuos inertes (básicamente, metal y hormigón).
- Estos serán trasladados a los almacenes centrales de ENATREL para su disposición como desecho o para su reutilización, cuando sus características y uso lo permitan.
- Traslado de los elementos desmantelados (apoyos, cableado, etc.) por los medios de transporte.
- Acopio de materiales en lugares autorizados para su recepción y disposición final.

6.2. Infraestructura de servicios

Figura 25 Mapa de ubicación del Hospital Regional Docente Las Mercedes



Fuente: Google Mapas

El proyecto se llevará a cabo dentro de las inmediaciones del hospital regional docente las mercedes, el proyecto cuenta con un área de $422m^2$ en la cual se construirá un incinerador de residuos sólidos hospitalarios.

Tabla 34 Infraestructura de los servicios

INFRAESTRUCTURA DE SERVICIOS	
SERVICIOS	DESCRIPCION
Red de agua potable	<p>La red de agua potable será abastecida por el hospital y así dar inicio a la ejecución del proyecto</p> <p>Se dispone de un sistema de almacenamiento de agua capaz de suministrar 60 litros/día, para no tener ninguna obstrucción.</p> <p>Para el proyecto se contará con tanques elevados y tanques subterráneos para la facilitación del proyecto</p>
Sistema de alcantarillado	<p>El hospital regional docente las Mercedes cuenta con sistema de alcantarillado por lo tanto el proyecto se verá beneficiado</p>
Red eléctrica	<p>El proyecto se energizará del mismo hospital ya que este cuenta con un buen suministro de red eléctrica</p> <p>Se contará con una buena red eléctrica para la conexión de equipos y máquinas eléctricas que son fundamentales en el proyecto</p> <p>El proyecto contará con tomacorrientes cercanos al área para una mayor facilitación</p>
Red de gas natural	<p>No cuenta</p>

Fuente: Propia

6.2.1. Vías de acceso

Las vías de acceso para llegar al área del proyecto es el centro de la ciudad de Chiclayo, tomando como vías la Avenida Luis Gonzáles y la Calle Manuel María Izaga

Hospital Las Mercedes, Avenida Luis Gonzáles 635, Chiclayo



Fuente: Google Mapas

Estas indicaciones se ofrecen sólo a fines de planificación. Es posible que las obras, el clima, el tráfico u otros factores hagan variar el estado de las carreteras respecto a los resultados del mapa, por lo que deberías tener en cuenta estos aspectos al planificar el recorrido. Debes respetar todas las señales y los avisos relacionados con la ruta.

6.2.2. Materias primas e insumos.

Tabla 35 Tipo de recursos naturales

Recurso Natural	Cantidad(día/semana/mes/año)	Unidad de medida (kg, T, l)
Agua	1 día	60 Litros
Fuentes secundarias	5 meses	550Kg

Fuente: Propia

Las personas que operaran el incinerador ingresaran los residuos con la respectiva protección:

- Velcro retardante al fuego para cierre hermético contra vapores
- Pantalones con sistema de ajuste tipo elástico en la parte posterior del pantalón ofreciendo un ajuste a la cadera
- Corte de manga que ofrece una movilidad perfecta
- Cuello de diseño único tipo escudo el cual permite la cobertura total del cuello en 360°
- Refuerzo de carnaza en mangas y tobillos

Tabla 36 Cuadro de procesos

Proceso/Subproceso	Materia prima		Energía	Agua
	Cantidad	Unidad de medida	kW/h	M ³ /seg
Diseño	0.1	kg	0,197 x 6 meses	752
Construcción	550	kg	118 x 6 meses	1080
Operación	1044	kg		0
Mantenimiento	15	l	18,3 = 2 semanas	0

Fuente: Propia

6.2.3. Servicios para el desarrollo del proyecto

Tabla 37 Servicio de desarrollo

SERVICIOS PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO	
Agua	<p>Consumo caudal es de $0,06 \frac{m^3}{s}$ diario.</p> <p>Fuente: Red de agua potable Superficial</p>
Electricidad	<p>El consumo total de la energía es $118,8kW/h$</p> <p>La potencia requerida el para el desarrollo del proyecto es $118,197kW$</p>
Personal	<p>Etapa de construcción 10 personas:</p> <p>3 técnicos</p> <p>1 ingenieros</p> <p>6 obreros</p> <p>Etapa de operaciones</p> <p>9 personas para operar en el desarrollo del proceso</p> <p>Etapa de mantenimiento</p> <p>Se requerirá 2 personas capacitadas para el mantenimiento de la máquina</p> <p>Personal de permanente:</p> <p>2 personas</p>
Turnos de trabajo	<p>En este caso se aprovechara la radiación de sol y también la luz artificial: día, tarde y noche</p> <p>El personal trabajara en áreas cimentadas sin problema a descampados</p>

Fuente: Propia

6.3. Efluentes

Las dioxinas y los furanos son compuestos tóxicos formados por anillos bencénicos en cuyos radicales se insertan oxígenos y cloros. Ellos dan lugar a un sinnúmero de isómeros de, los cuales unos pocos son extremadamente tóxicos

6.3.1. Características químicas y físicas

Son compuestos térmicamente estables hasta una temperatura aproximada de 600°C. Son liposolubles y muy pocos solubles en agua. Es debido a ello que son muy estables y de ahí su persistencia en el medio (se han encontrado dioxinas en muestras de fósiles). [24]

A nivel térmico que asegure una temperatura de 800°C durante un tiempo de residencia de al menos 2 segundos garantiza la destrucción de estos compuestos. [24]

Sin embargo, se da la paradoja de que la propia instalación térmica, en la zona de baja temperatura, puede ser la generadora de dioxinas y furanos. El principio general radica en la degradación térmica de agentes clorados en presencia de abundante exceso de aire.

Otra fuente de generación de dioxinas, es la llamada síntesis de Novo. Durante el enfriamiento de los gases se reforman las dioxinas entre 500 y 250 °C. [20]

Cuadro de toxicidad

TOXICIDAD DE LA SUSTANCIA	DOSIS TOXICA
Extrema	1 mg/kg o menos
Alta	1-50 mg/kg
Moderada	50 - 500 mg/kg
Leve	0.5 - 5 g/kg
Inocua	> 5 g/kg

Fuente: Introducción a la toxicología

6.3.2. Residuos sólidos

Las cenizas y las escorias, debido a su alto contenido de metales pesados como Pb, Cr, Mn, Ni, Cd, Hg y As son considerados como residuos peligrosos por lo que antes de su disposición final hay que inertizarla. Si la combustión ha sido la correcta estos materiales carecerán de material no combustionado, lo que las hace aptas para su posterior utilización. Generalmente se prepara un mortero con cemento a fin de inmovilizar estos metales, es decir no permitir que por medio de la lixiviación pasen al suelo o al agua. [14]

6.3.3. Manejo de sustancias peligrosas

Durante todo el proceso se utilizaran sustancias peligrosas como los gases de la combustión, el combustible que se utilizara en la etapa de operación en este caso ambos serian sustancias peligrosas de tipo inflamable. [6]

Tabla 38 Cuadro de efluentes

EFLUENTES		
GAS(kg)	VAPOR DE AGUA(kg)	CENIZAS(kg)
634	317,85	93,61

Fuente: Propia

6.3.3.1. Emisiones atmosféricas

Las emisiones que se obtuvo en este proyecto son los gases que se debido a la combustión que se genera en la incineración.

Tabla 39 Elementos que constituyen los gases de la combustión, vapor y cenizas

EMISIONES ATMOSFÉRICAS	
ELEMENTO	PORCENTAJE (%)
Carbono	22,12
Hidrogeno	4,48
Oxigeno	7,68
Nitrógeno	0,45
Cloro	0,18
Azufre	0,2
Cenizas	14,76
Agua	50,13

Fuente: Propia

IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS

Tabla 40 Listado de actividades y aspectos en la fase de construcción y operación

ACTIVIDADES	ASPECTOS
ETAPA DE CONSTRUCCIÓN	
Limpieza del área de trabajo	Ruido, salud, seguridad, personal y servicios
Cercado del área de trabajo	Ruido, salud, seguridad, servicios personales
Construcción de la base o plataforma	Suelo, calidad de vida, ruido, salud, seguridad, personal servicios vibraciones
Instalación de equipos electromecánico	Suelo, calidad de vida, ruido, salud, seguridad, personal servicios vibraciones
Instalaciones de tomacorrientes	Suelo, calidad de vida, ruido, salud, seguridad, personal servicios vibraciones
Instalaciones de luminarias	Calidad de suelo, calidad de vida, ruido, salud, seguridad, personal servicios y vibraciones
ETAPA DE OPERACIÓN	
Transporte de desechos	Calidad de suelo, calidad de vida , ruido , salud , seguridad , personal servicios y vibraciones
Programar el incinerador	ruido , salud , seguridad , personal servicios y vibraciones
Emisión de gaseosas contaminantes	Aire, calidad de vida , ruido , salud , seguridad , personal servicios y vibraciones
Transporte de cenizas	Calidad de suelo, calidad de vida , ruido , salud , seguridad , personal servicios y vibraciones

Fuente: www.MINEN.gob.pe

DESCRIPCIÓN DE LOS PRINCIPALES IMPACTOS AMBIENTALES GENERADOS EN LA FASE DE CONSTRUCCIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Tabla 41 Cuadro de descripción de los impactos ambientales

ASPECTO	IMPACTO
Ruido	Contaminación acústica.
Vibraciones	Contaminación sensorial por los equipos electromecánicos (soldadura, contadora de metales)
Polución	Contaminación del aire (gases, NOX, COX) gases contaminantes.
Flora	Alteración del hábitat de especies que frecuentan la zona(molle)
Fauna	Alteración del hábitat de aves que habitaban en el centro de Chiclayo(golondrinas,tórtolas,arroceros)
Suelos	Infantilización de terrenos cimentados
Empleo	Brindar trabajo a obreros, técnicos e ingenieros
Utilización del agua	Perdida de minerales y alteración de la temperatura del agua al ser embalsada
Integridad física	Accidentes de operarios y mantenedores de equipos electromecánicos.
Microclimas	Aparición de insectos no deseados en las localidades aledañas al proyecto.
Desarrollo	Reducimiento del volumen de desechos que genera la ciudad (25%residuos sólidos hospitalarios)
Radiación electromagnética	Riesgo a la salud de los ciudadanos más cercanos al proyecto

Fuente: www.MINEN.gob.pe

Tabla 42 Medida de prevención, mitigación y/o corrección de impactos

N°	FACTOR AMBIENTAL	TIPO DE MEDIDA	DESCRIPCION DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACION
1	Ruido	Prevención	Para los trabajos de construcción evitar usar sirenas, siendo solo permisible su uso en situaciones de emergencias, y en la etapa de funcionamiento recubrir la casa de máquinas con elementos que eviten los fuertes decibeles del funcionamiento de las diferentes componentes.
2	Polución	Prevención	Aplicar un sistema (ciclo combinado) continuo en la cual se aprovecharía los gases de la combustión para la generación de energía y así tener un beneficio al hospital.
		Mitigación	Aplicar un tratamiento de lavado de gases en la cuenta con torres de lavado, filtros de manga, filtros cerámicos y precipitadores electrostático y así bajar los estándares de toxicidad de los gases en la se tendrá un ambiente más sano.
3	Flora	Prevención	Evitar arrojar los efluentes cerca de la ciudad, ya que estos efluentes dañan la fertilidad de los suelos y por ello se obstruye el crecimiento de flora.
		Recuperación	Reforestación de árboles.

4	Fauna	Prevención	Evitar que las especie de aves en la que mayormente adornan la ciudad migren a otros lugares, por la calidad de aire que inhalan, todo esto se puede prevenir o mitigar erradicando los gases contaminantes de la combustión.
5	Suelos	Prevención	Evitar desechar efluentes químicos en áreas específicas de la ciudad. Limitar el área y el acondicionamiento del terreno con el fin de provocar erosiones en el lugar donde se realizaran la edificación (plataforma).
		Recuperación	Las zonas contaminadas deben ser tratadas con el fin de recuperar su fertilidad a largo plazo.
6	Utilización de agua	Mitigación	Queda prohibido el vertido de efluentes en el agua que se extrae del hospital, un control estricto en las operaciones de mantenimiento lavado de maquinaria, cambio de aceite impidiendo que se realice el vertido de efluentes.
7	Integridad física	Prevención	Evitar que personas no calificadas manipulen maquinaria, herramientas, tableros eléctricos los cuales pongan en riesgo su integridad física, e inspeccionar a todo el personal del proyecto que cumplan con las normas de seguridad del trabajador.
8	Microclimas	Mitigación	Programar actividades de fumigación en contra de presencia de plagas indeseadas (por la emisión de gases al medio) que pongan bajo riesgo la salud de las localidades más cercanas.

VII. CONCLUSIONES

- De la presenta investigación se determinó que las temperaturas adecuadas a utilizar en el diseño del incinerador se encuentran en el rango de los 760°C – 1200°C, de acuerdo a los cálculos expresados en la tesis Así mismo se obtuvo que el tiempo de residencia adecuado es de 1,9 segundos los datos sustentados por la norma técnica NT-MINSA/DGSP.
- Los equipos seleccionados de acuerdo al diseño efectuado son 2 quemadores y 2 ventiladores; los quemadores fueron seleccionados por su potencia y flujo másico de cada una de las cámaras, obteniendo una potencia mínima (primera cámara de 14,65kW y segunda cámara de 34kW) y máxima (primera cámara de 100kW y segunda cámara de 523kW). Los ventiladores centrífugos fueron seleccionados por su curva característica del ventilador y la curva de operación del sistema dando como resultados el caudal (primera cámara de $255 \frac{m^3}{hr}$ y segunda cámara de $515 \frac{m^3}{hr}$) y presión máxima (primera cámara 330Pa y segunda cámara 450Pa) respectivamente.
- El diagnostico de impacto ambiental acotó lo siguiente datos: la producción de gas es de 634kg por cada 1000kg de material incinerado, vapor de agua 317,85kg y cenizas 93,61. Es decir un grado de toxicidad moderado.
- El análisis de factibilidad económica se realizó una inversión de 102,241 soles, calculados con el VAN y el TIR la recuperación de la inversión será en un periodo de 7 años 1 mes, siendo este factible para el Hospital Regional Docente Las Mercedes.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] MINSA, Norma técnica: procedimiento para el manejo de residuos sólidos hospitalarios, Lima, 2004.
- [2] MINSA, Diagnóstico situacional del manejo de los residuos sólidos de hospitales, Lima, 1995.
- [3] X. E. Castells, Sistemas de tratamiento térmico: La Incineración, Ciudad de México: Díaz de Santos, 2012.
- [4] N. Tangri, Incineración de residuos: una tecnología muriendo, Ciudad de Quezon: GAIA, 2005.
- [5] S. E. Manahan, Introducción a la química ambiental, Distrito Federal de México: Reverté S.A., 2007.
- [6] C. Baird, Química ambiental, Madrid: Reverté S.A., 2004.
- [7] X. E. Castells, Tratamiento y valorización energética de los residuos, Madrid: Díaz de Santos, 2012.
- [8] Y. A. Çengel, Transferencia de calor y masa, Distrito Federal de México: McGRAW-HILL, 2007.
- [9] X. E. Castells, La combustión: factores endógenos y exógenos, Madrid: Díaz de Santos, 2012.
- [10] M. Costa, Tecnologías para el tratamiento de residuos sólidos de establecimientos de salud, Lima: MINSA, 1995.
- [11] V. A. Barrantes Vásquez, Diseño energético de un incinerador de 700kg de residuos sólidos hospitalarios usando GLP, Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2015.
- [12] H. Freeman, Standard handbook of hazardous waste treatment and disposal, New York: McGraw-Hill, 1989.
- [13] E. P. Agency, operation and maintenance of hospital medical waste incinerators, Washington D.C., 1989.
- [14] C. Brunner, handbook of incineration systems, New York: McGraw-Hill, 1991.
- [15] R. Y. c. d. Perú, GLP, eficiencia energética y cogeneración, Madrid, 2010.
- [16] A. Consulting, El GLP y la calidad de aire local, Gattikon: Análisis científico, 2009.

- [17] S. S. García, Centrales Térmicas, Madrid: Diaz de Santos, 2002.
- [18] J. C. Aladro, Análisis de sistemas de energía, Oviedo: Diaz de Santos, 2002.
- [19] I. Rocco, Proyecto para la conversión de residuos en energía, Montevideo: Universidad de Montevideo, 2011.
- [20] Condor, Diseño energético de un incinerador de residuos hospitalarios de 300kg de capacidad con gas natural como combustible, Lima, 2005.
- [21] Cengel, Termodinámica, D.F. de Mexico: McGraw Hill, 2012.
- [22] Burghardt, Ingeniería termodinámica, New York: Harla, 1884.
- [23] Kazantsev, Industrial Furnaceas: design and calculation, Washington D. C., 1977.
- [24] Ajiboye, Computer aided design of rectangular and circular shaped electrical furnace. Nigeria journal of technological development, 2003.
- [25] F. P. I. & D. P. D. Witt, Fundamentos de transferencia de calor, D. F. de México: Prentice Hall, 1999.
- [26] ASTM, ASTM D-1835 Características físicas-químicas de mezcla de GLP, 2005.
- [27] W. y. B. Streeter, Mecánica de fluidos, D. F. de México: McGraw Hill, 1988.
- [28] Crane, Flow of fluids valves, fittings and pipe, New York: Centric Butterfly Valves, 2010.

IX. ANEXOS

Anexo 1: Departamento de logística del Hospital Regional Docente Las Mercedes/Residuos sólidos hospitalarios incinerables

RESIDUOS SÓLIDOS INCINERABLES DEL HOSPITAL REGIONAL DOCENTE LAS MERCEDES - EXCEL

SERVICIO	BIOCONTAMINADO (Kg/diario)	COMÚN (Kg/diario)	ESPECIAL (Kg/diario)	TOTAL (Kg/diario)
RESIDUOS GENERADOS EN ÁREAS MÉDICAS				
Medicina (hospitalización)	32.5	24.7	15.7	62.9
Centro Quirúrgico	22.7	18.4	0	41.1
Emergencias Médicas y Unidades de Cuidados Intensivos	35.2	48.3	0	83.5
Unidad de Quemados	52.6	42.7	0	95.3
Consultorio Externo-Especialidades Médico-Quirúrgicas	25.8	38.4	0	64.2
Central de Esterilización	58.7	45.3	18.5	112.5
				459.5
RESIDUOS GENERADOS EN AREAS DE SERVICIOS MÉDICOS				
fuente				
Patología Clínica	25.7	32.4	13.7	71.8
Banco de Sangre	28.6	55.8	15.3	99.7
Anatomía Patológica	22.8	27.4	18.3	68.5
				240
RESIDUOS GENERADOS EN EL ÁREA ADMINISTRATIVA O GENERAL				
Nutrición	384.3	42.8	17.5	444.6
Lavandería	47.6	55.4	0	103
Administración	0	38.4	0	38.4
TOTAL (Kg/mensual)				1123.3

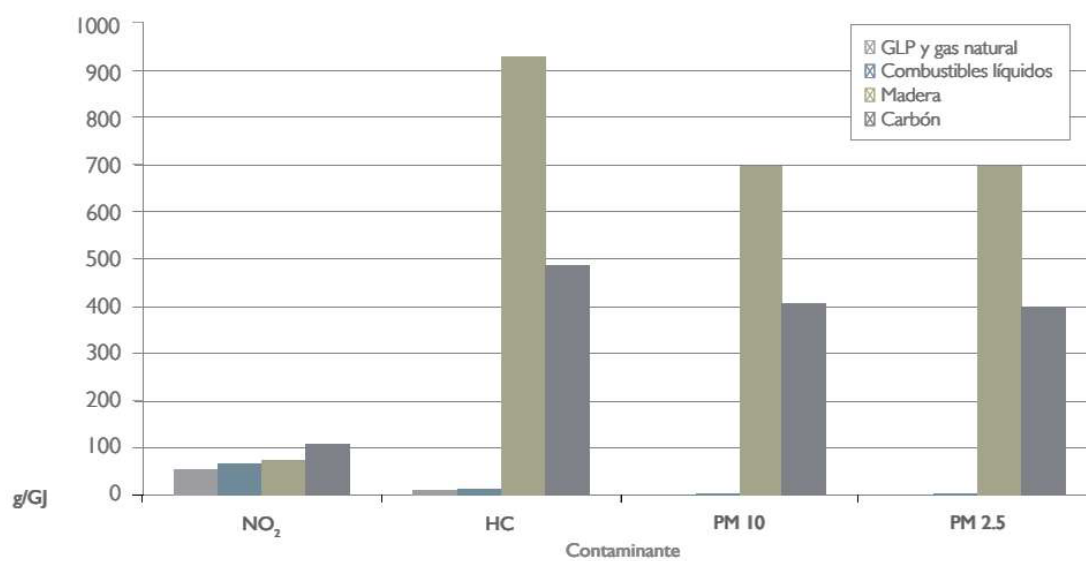
Fuente: Departamento de logística y mantenimiento del Hospital Regional Docente Las Mercedes

Anexo 2: Cuadro comparativo de contenidos

	GLP	Diesel 2	Residual 500	Residual 6
Azufre Total, %masa	0.02	0.29	1.61	1.64
Cenizas, % masa	Trazas	0.001	0.05	0.06
Carbón Conradson, %masa	Trazas	0.009	14.60	15.00
Poder Calorífico BTU Galón	98,000	132,000	151,400	151,000
Eficiencia de Combustión	98%	88%	87%	87%

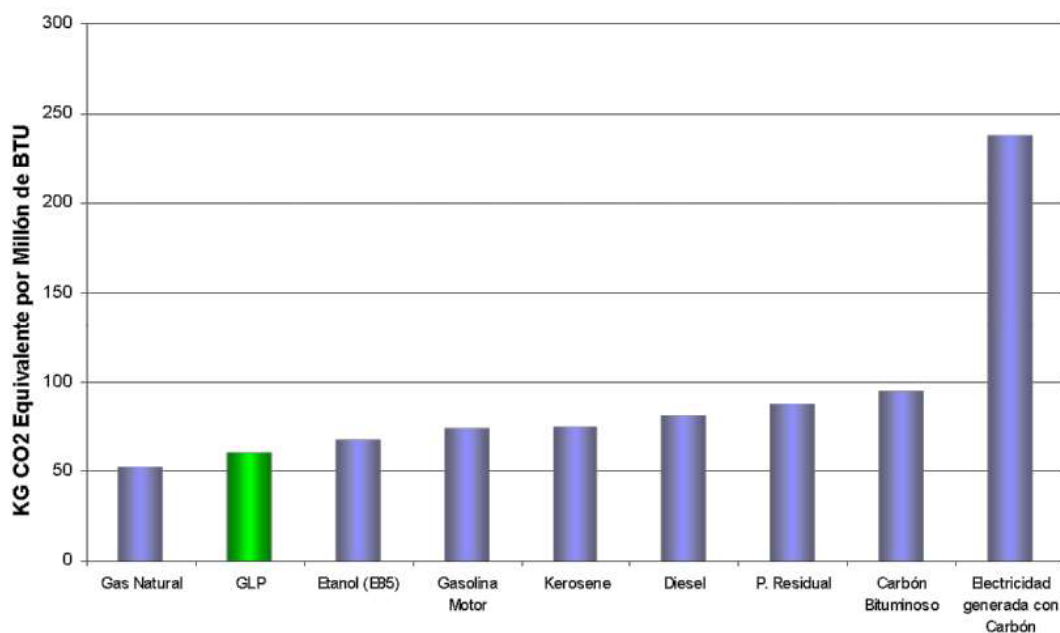
Fuente: Repsol YPF comercial del Perú S.A.

Anexo 3: Emisión de contaminantes en combustión estacionaria



Fuente: Atlantic consulting

Anexo 4: Emisión de dióxido de carbono por millón de BTU



Fuente: Repsol YPF comercial del Perú S.A.

Anexo 5: Tabla de vapor saturado a 20°C con una presión de 2,33 kPa

Temp. de Saturación °C	Presión de Vapor (Absoluta)		Volumen Especifico m³/kg	Peso del Vapor			Entalpía kcal/kg		
				Densidad kg/m³	Humedad Absoluta				
	kPa	psia			g/m³	granos/pie³		Sensible	Latente
0	0.61	0.0885	206.32	0.004847	4.84	2.11	0	597.66	597.66
1	0.65	0.0945	194.10	0.005152	5.15	2.25	1	596.87	597.87
2	0.7	0.1023	179.58	0.005569	5.57	2.43	2	596.28	598.28
3	0.76	0.1098	168.18	0.005946	5.95	2.60	3	595.68	298.68
4	0.81	0.1179	157.40	0.006353	6.35	2.77	4	595.09	599.09
5	0.87	0.1265	147.14	0.006796	6.79	2.97	5	594.53	599.53
6	0.93	0.1356	137.74	0.007260	7.26	3.18	6	593.93	599.93
7	1.00	0.1452	129.04	0.007750	7.75	3.38	7	593.37	600.37
8	1.07	0.1556	120.95	0.008268	8.27	3.61	8	592.79	600.79
9	1.15	0.1664	113.39	0.008819	8.82	3.85	9	592.25	601.25
10	1.23	0.1780	106.37	0.009401	9.40	4.10	10	292.03	602.03
11	1.31	0.1903	99.90	0.01001	10.01	4.37	11	591.10	602.10
12	1.40	0.2033	93.82	0.01066	10.66	4.66	12	590.56	602.56
13	1.50	0.2187	88.13	0.01135	11.35	4.96	13	589.98	602.98
14	1.60	0.2317	82.85	0.01207	12.07	5.27	14	589.41	603.41
15	1.70	0.2472	77.97	0.01283	12.83	5.60	15	588.87	603.87
16	1.82	0.2636	73.35	0.01363	13.63	5.96	16	588.31	604.31
17	1.94	0.2809	69.09	0.01447	14.47	6.32	17	587.72	604.72
18	2.06	0.2992	65.07	0.01537	15.37	6.72	18	587.18	605.18
19	2.20	0.3186	61.32	0.01631	16.31	7.13	19	586.59	605.59
20	2.33	0.3390	57.81	0.01730	17.30	7.56	20	586.03	606.03
21	2.48	0.3606	54.54	0.01834	18.34	8.01	21	585.48	606.48
22	2.64	0.3834	51.48	0.01943	19.43	8.48	22	584.89	606.89
23	2.83	0.4102	48.60	0.02058	20.58	8.99	23	584.34	607.34
24	2.98	0.4327	45.91	0.02178	21.78	9.52	24	583.76	607.76

Fuente: Y. A. Çengel, Transferencia de calor y masa, Distrito Federal de México: McGRAW-HILL, 2007.

Anexo 6: Tabla de vapor sobrecalentado para calcular las entalpías

Vapor de agua sobrecalentado (continuación)

T °C	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K
$P = 1.00 \text{ MPa (179.88 °C)}$				$P = 1.20 \text{ MPa (187.96 °C)}$				$P = 1.40 \text{ MPa (195.04 °C)}$				
Sat.	0.19437	2582.8	2777.1	6.5850	0.16326	2587.8	2783.8	6.5217	0.14078	2591.8	2788.9	6.4675
200	0.20602	2622.3	2828.3	6.6956	0.16934	2612.9	2816.1	6.5909	0.14303	2602.7	2803.0	6.4975
250	0.23275	2710.4	2943.1	6.9265	0.19241	2704.7	2935.6	6.8313	0.16356	2698.9	2927.9	6.7488
300	0.25799	2793.7	3051.6	7.1246	0.21386	2789.7	3046.3	7.0335	0.18233	2785.7	3040.9	6.9553
350	0.28250	2875.7	3158.2	7.3029	0.23455	2872.7	3154.2	7.2139	0.20029	2869.7	3150.1	7.1379
400	0.30661	2957.9	3264.5	7.4670	0.25482	2955.5	3261.3	7.3793	0.21782	2953.1	3258.1	7.3046
500	0.35411	3125.0	3479.1	7.7642	0.29464	3123.4	3477.0	7.6779	0.25216	3121.8	3474.8	7.6047
600	0.40111	3297.5	3698.6	8.0311	0.33395	3296.3	3697.0	7.9456	0.28597	3295.1	3695.5	7.8730
700	0.44783	3476.3	3924.1	8.2755	0.37297	3475.3	3922.9	8.1904	0.31951	3474.4	3921.7	8.1183
800	0.49438	3661.7	4156.1	8.5024	0.41184	3661.0	4155.2	8.4176	0.35288	3660.3	4154.3	8.3458
900	0.54083	3853.9	4394.8	8.7150	0.45059	3853.3	4394.0	8.6303	0.38614	3852.7	4393.3	8.5587
1000	0.58721	4052.7	4640.0	8.9155	0.48928	4052.2	4639.4	8.8310	0.41933	4051.7	4638.8	8.7595
1100	0.63354	4257.9	4891.4	9.1057	0.52792	4257.5	4891.0	9.0212	0.45247	4257.0	4890.5	8.9497
1200	0.67983	4469.0	5148.9	9.2866	0.56652	4468.7	5148.5	9.2022	0.48558	4468.3	5148.1	9.1308
1300	0.72610	4685.8	5411.9	9.4593	0.60509	4685.5	5411.6	9.3750	0.51866	4685.1	5411.3	9.3036
$P = 1.60 \text{ MPa (201.37 °C)}$				$P = 1.80 \text{ MPa (207.11 °C)}$				$P = 2.00 \text{ MPa (212.38 °C)}$				
Sat.	0.12374	2594.8	2792.8	6.4200	0.11037	2597.3	2795.9	6.3775	0.09959	2599.1	2798.3	6.3390
225	0.13293	2645.1	2857.8	6.5537	0.11678	2637.0	2847.2	6.4825	0.10381	2628.5	2836.1	6.4160
250	0.14190	2692.9	2919.9	6.6753	0.12502	2686.7	2911.7	6.6088	0.11150	2680.3	2903.3	6.5475
300	0.15866	2781.6	3035.4	6.8864	0.14025	2777.4	3029.9	6.8246	0.12551	2773.2	3024.2	6.7684
350	0.17459	2866.6	3146.0	7.0713	0.15460	2863.6	3141.9	7.0120	0.13860	2860.5	3137.7	6.9583
400	0.19007	2950.8	3254.9	7.2394	0.16849	2948.3	3251.6	7.1814	0.15122	2945.9	3248.4	7.1292
500	0.22029	3120.1	3472.6	7.5410	0.19551	3118.5	3470.4	7.4845	0.17568	3116.9	3468.3	7.4337
600	0.24999	3293.9	3693.9	7.8101	0.22200	3292.7	3692.3	7.7543	0.19962	3291.5	3690.7	7.7043
700	0.27941	3473.5	3920.5	8.0558	0.24822	3472.6	3919.4	8.0005	0.22326	3471.7	3918.2	7.9509
800	0.30865	3659.5	4153.4	8.2834	0.27426	3658.8	4152.4	8.2284	0.24674	3658.0	4151.5	8.1791
900	0.33780	3852.1	4392.6	8.4965	0.30020	3851.5	4391.9	8.4417	0.27012	3850.9	4391.1	8.3925
1000	0.36687	4051.2	4638.2	8.6974	0.32606	4050.7	4637.6	8.6427	0.29342	4050.2	4637.1	8.5936
1100	0.39589	4256.6	4890.0	8.8878	0.35188	4256.2	4889.6	8.8331	0.31667	4255.7	4889.1	8.7842
1200	0.42488	4467.9	5147.7	9.0689	0.37766	4467.6	5147.3	9.0143	0.33989	4467.2	5147.0	8.9654
1300	0.45382	4684.8	5410.0	9.2418	0.40341	4684.5	5410.6	9.1877	0.36308	4684.2	5410.3	9.1384

Fuente: Y. A. Çengel, Transferencia de calor y masa, Distrito Federal de México: McGRAW-HILL, 2007.

Anexo 7: Tabla de entalpías para el aire seco

TEMP. °C	Volumen Específico m³/kg	Densidad kg/m³	Contenido de Humedad		Entalpía (cont. de calor) kcal/kg		
			g/kg	granos/lb	aire seco (sensible)	humedad (latente)	Total
-10	0.7472	1.3383	0.725	11.19	1.8778	0.9613	2.8391
-9	0.7501	1.3332	0.793	12.24	2.1179	1.0512	3.1691
-8	0.7515	1.3307	0.841	12.98	2.3580	1.1467	3.5047
-7	0.7561	1.3226	0.945	14.58	2.5980	1.2522	3.8502
-6	0.7595	1.3167	1.026	15.83	2.8391	1.3623	4.2014
-5	0.7628	1.3110	1.124	17.35	3.0835	1.4835	4.5670
-4	0.7656	1.3062	1.224	18.89	3.3235	1.6124	4.9359
-3	0.7690	1.3004	1.333	20.57	3.5636	1.7556	5.3192
-2	0.7720	1.2953	1.450	22.38	3.8035	1.9102	5.7137
-1	0.7751	1.2902	1.577	24.34	4.0447	2.0757	6.1204
0	0.7785	1.2845	1.716	26.48	4.2892	2.2557	6.5449
1	0.7812	1.2801	1.845	28.47	4.5292	2.4246	6.9538
2	0.7846	1.2745	1.983	30.60	4.7692	2.4879	7.2571
3	0.7880	1.2690	2.13	32.87	5.0148	2.7890	7.8038
4	0.7913	1.2637	2.287	35.29	5.2548	2.9957	8.2505
5	0.7947	1.2583	2.454	37.87	5.4948	3.2113	8.7061
6	0.7981	1.253	2.632	40.62	5.7404	3.4402	9.1806
7	0.8014	1.2478	2.823	43.56	5.9804	3.6832	9.6639
8	0.8048	1.2425	3.024	46.67	6.2204	3.9436	10.1640
9	0.8082	1.2373	3.239	49.98	6.4615	4.2203	10.6818
10	0.8116	1.2321	3.467	53.50	6.7060	4.5114	11.2174
11	0.8154	1.2264	3.708	57.22	6.9460	5.1414	12.0874
12	0.8189	1.2212	3.967	61.22	7.1860	5.1581	12.3441
13	0.8250	1.2121	4.237	65.38	7.3983	5.5359	12.9342
14	0.8263	1.2102	4.529	69.89	7.6716	5.8715	13.5431
15	0.8303	1.2044	4.835	74.61	7.9116	6.2671	14.1787
16	0.8336	1.1996	5.161	79.64	8.1183	6.7204	14.8387
17	0.8376	1.1939	5.408	83.45	8.3972	7.1260	15.5232
18	0.8416	1.1882	5.873	90.63	8.6372	7.5961	16.2333
19	0.8458	1.1823	6.260	96.60	8.8772	8.0917	16.9689
20	0.8496	1.1770	6.672	102.96	9.1228	8.6117	17.7345
21	0.8541	1.1708	7.109	109.71	9.3628	9.1662	18.5290

Fuente: Y. A. Çengel, Transferencia de calor y masa, Distrito Federal de México: McGRAW-HILL, 2007.

Anexo 8: Tabla de constantes de los gases ideales

Masa molar, constante de gas y propiedades del punto crítico

Sustancia	Fórmula	Masa molar, M kg/kmol	Constante de gas, R kJ/kg · K*	Propiedades del punto crítico		
				Temperatura, K	Presión, MPa	Volumen, m³/kmol
Agua	H ₂ O	18.015	0.4615	647.1	22.06	0.0560
Aire	—	28.97	0.2870	132.5	3.77	0.0883
Alcohol etílico	C ₂ H ₅ OH	46.07	0.1805	516	6.38	0.1673
Alcohol metílico	CH ₃ OH	32.042	0.2595	513.2	7.95	0.1180
Amoniaco	NH ₃	17.03	0.4882	405.5	11.28	0.0724
Argón	Ar	39.948	0.2081	151	4.86	0.0749
Benceno	C ₆ H ₆	78.115	0.1064	562	4.92	0.2603
Bromo	Br ₂	159.808	0.0520	584	10.34	0.1355
n-Butano	C ₄ H ₁₀	58.124	0.1430	425.2	3.80	0.2547
Cloro	Cl ₂	70.906	0.1173	417	7.71	0.1242
Cloroformo	CHCl ₃	119.38	0.06964	536.6	5.47	0.2403
Cloruro metílico	CH ₃ Cl	50.488	0.1647	416.3	6.68	0.1430
Criptón	Kr	83.80	0.09921	209.4	5.50	0.0924
Diclorodifluorometano (R-12)	CCl ₂ F ₂	120.91	0.06876	384.7	4.01	0.2179
Diclorofluorometano (R-21)	CHCl ₂ F	102.92	0.08078	451.7	5.17	0.1973
Dióxido de carbono	CO ₂	44.01	0.1889	304.2	7.39	0.0943
Dióxido de sulfuro	SO ₂	64.063	0.1298	430.7	7.88	0.1217
Etano	C ₂ H ₆	30.070	0.2765	305.5	4.48	0.1480
Etileno	C ₂ H ₄	28.054	0.2964	282.4	5.12	0.1242
Helio	He	4.003	2.0769	5.3	0.23	0.0578
n-Hexano	C ₆ H ₁₄	86.179	0.09647	507.9	3.03	0.3677
Hidrógeno (normal)	H ₂	2.016	4.1240	33.3	1.30	0.0649
Metano	CH ₄	16.043	0.5182	191.1	4.64	0.0993
Monóxido de carbono	CO	28.011	0.2968	133	3.50	0.0930
Neón	Ne	20.183	0.4119	44.5	2.73	0.0417
Nitrógeno	N ₂	28.013	0.2968	126.2	3.39	0.0899

Fuente:
Y. A.
Çengel,

Transferencia de calor y masa, Distrito Federal de México: McGRAW-HILL, 2007.

Anexo 8: Tabla de densidad y conductividad térmica

Altitud, ft	Temperatura, °F	Presión, psia	Gravedad, g, ft/s ²	Velocidad del sonido, ft/s	Densidad, lbm/ft ³	Viscosidad μ , lbm/ft · s	Conductividad térmica, Btu/h · ft · R
0	59.00	14.7	32.174	1116	0.07647	1.202×10^{-5}	0.0146
500	57.22	14.4	32.173	1115	0.07536	1.199×10^{-5}	0.0146
1000	55.43	14.2	32.171	1113	0.07426	1.196×10^{-5}	0.0146
1500	53.65	13.9	32.169	1111	0.07317	1.193×10^{-5}	0.0145
2000	51.87	13.7	32.168	1109	0.07210	1.190×10^{-5}	0.0145
2500	50.09	13.4	32.166	1107	0.07104	1.186×10^{-5}	0.0144
3000	48.30	13.2	32.165	1105	0.06998	1.183×10^{-5}	0.0144
3500	46.52	12.9	32.163	1103	0.06985	1.180×10^{-5}	0.0143
4000	44.74	12.7	32.162	1101	0.06792	1.177×10^{-5}	0.0143
4500	42.96	12.5	32.160	1099	0.06690	1.173×10^{-5}	0.0142
5000	41.17	12.2	32.159	1097	0.06590	1.170×10^{-5}	0.0142
5500	39.39	12.0	32.157	1095	0.06491	1.167×10^{-5}	0.0141
6000	37.61	11.8	32.156	1093	0.06393	1.164×10^{-5}	0.0141
6500	35.83	11.6	32.154	1091	0.06296	1.160×10^{-5}	0.0141
7000	34.05	11.3	32.152	1089	0.06200	1.157×10^{-5}	0.0140
7500	32.26	11.1	32.151	1087	0.06105	1.154×10^{-5}	0.0140
8000	30.48	10.9	32.149	1085	0.06012	1.150×10^{-5}	0.0139
8500	28.70	10.7	32.148	1083	0.05919	1.147×10^{-5}	0.0139
9000	26.92	10.5	32.146	1081	0.05828	1.144×10^{-5}	0.0138
9500	25.14	10.3	32.145	1079	0.05738	1.140×10^{-5}	0.0138
10,000	23.36	10.1	32.145	1077	0.05648	1.137×10^{-5}	0.0137
11,000	19.79	9.72	32.140	1073	0.05473	1.130×10^{-5}	0.0136
12,000	16.23	9.34	32.137	1069	0.05302	1.124×10^{-5}	0.0136
13,000	12.67	8.99	32.134	1065	0.05135	1.117×10^{-5}	0.0135
14,000	9.12	8.63	32.131	1061	0.04973	1.110×10^{-5}	0.0134
15,000	5.55	8.29	32.128	1057	0.04814	1.104×10^{-5}	0.0133
16,000	+1.99	7.97	32.125	1053	0.04659	1.097×10^{-5}	0.0132
17,000	-1.58	7.65	32.122	1049	0.04508	1.090×10^{-5}	0.0132
18,000	-5.14	7.34	32.119	1045	0.04361	1.083×10^{-5}	0.0130
19,000	-8.70	7.05	32.115	1041	0.04217	1.076×10^{-5}	0.0129
20,000	-12.2	6.76	32.112	1037	0.04077	1.070×10^{-5}	0.0128
22,000	-19.4	6.21	32.106	1029	0.03808	1.056×10^{-5}	0.0126
24,000	-26.5	5.70	32.100	1020	0.03553	1.042×10^{-5}	0.0124

Fuente: Y. A. Çengel, Transferencia de calor y masa, Distrito Federal de México: McGRAW-HILL, 2007.

Anexo 9: Características y propiedades de la bobina de acero

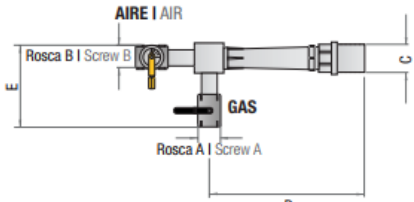
FIERRO TRADI S.A.		PLANCHAS Y BOBINAS DE ACERO INOXIDABLE AISI 304 - 316						
Descripción: Productos planos que se obtienen por laminación de planchones de aceros aleados al Cromo, Níquel con buena resistencia a la corrosión por agua, ácidos y soluciones alcalinas.								
Usos: Los aceros inoxidable de mayor uso son los Austeníticos								
AISI	APLICACIONES							
304	Tubos - Caldería - Menaje - Industria Alimentaria - Nuclear							
316	Industria Textil - Alimentaria - Química y Petroquímica							
PROPIEDADES MECANICAS								
NORMA TECNICA	F		R		A		NORMA EQUIVALENTE	
	Kg/mm ²		Kg/mm ²		%			
ASTM A-240	AISI 304		21		52		40	
	AISI 304L		17		49		40	
	AISI 316		21		52		40	
	AISI 316L		17		49		40	
COMPOSICION QUIMICA PROMEDIO (%)								
AISI	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo
304	0.08	2.00	1.00	0.045	0.03	18.0 / 20.0	8.0 / 10.5	-----
304L	0.03	2.00	1.00	0.045	0.03	18.0 / 20.0	8.0 / 12.0	-----
316	0.08	2.00	1.00	0.045	0.03	16.0 / 18.0	10.0 / 14.0	2.0 / 3.0
316L	0.03	2.00	1.00	0.045	0.03	16.0 / 18.0	10.0 / 14.0	2.0 / 3.0

Fuente: Fierro Tradi S.A.

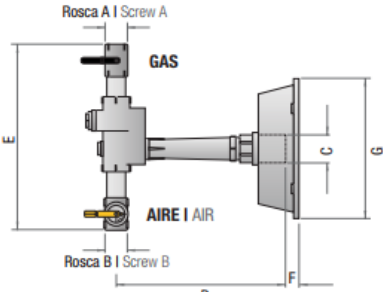
Anexo 10: selección del quemador EQA-76

EQA 76 Dimensiones | Dimensions

• **Modelo 76 - 1"**
Model 76 - 1"



• **Modelo 76 - 1.1/2" a 6"**
Models 76 - 1.1/2" to 6"



03

DIMENSIONES EN MM DIMENSIONS IN MM	
Dimensiones	Medidas de Quemadores Burner Sizes
Dimensiones	1" 1.1/2" 2" 2.1/2" 3" 4" 6"
A	1/2" 1" 1.1/4" 1.1/2" 2" 2" 3"
B	1" 1.1/2" 2" 2.1/2" 3" 4" 4"
C	51 70 85 100 110 147 215
D	185 300 410 490 590 590 710
E	130 340 420 530 550 550 700
F	- 34 37 44 37 20 40
G	- Ø255 Ø300 Ø365 Ø365 Ø387 Ø560

D : Largo sin Placa Frontal
D + F : Largo con Placa Frontal

D : Longitude without front plate
D + F : Longitude with front plate

TABLA DE CAPACIDADES en Nm³/hora de Gas Envasado | CAPACITY CHART in Nm³/h of LPG

PARA USAR CON REGULADOR CERO WITH ZERO GOVERNOR							
Medidas Sizes	Presión de aire en mm.C.A. Air pressure [mmWG]						
	120	250	350	450	500	600	700
1"	0.5	1.3	2	2.4	2.5	2.8	3
1.1/2"	1.1	2.8	3.4	4	4	4.5	5
2"	3.5	8.4	10	11.6	12	13.5	15
2.1/2"	5.9	14	16.4	19	20	22	23.6
3"	8.5	20	23.6	27	28	31.2	34
4"	10.6	25	29.5	34	35.3	39	42
6"	14.7	34.6	41.3	46.4	50.6	56	61

-
- Zona de trabajo recomendada
- Las capacidades caloríficas reales están sujetas a las condiciones técnicas de los hornos y a las variables de combustión deseada.
 - La presión de aire está referida a la entrada del mezclador.

PARA USAR SIN REGULADOR CERO WITHOUT ZERO GOVERNOR							
Medidas Sizes	Presión de aire en mm.C.A. Air pressure [mmWG]						
	120	250	350	450	500	600	700
1"	0.7	1.7	2.7	3	3.3	3.6	4
1.1/2"	1.5	3.5	4.2	5	5	5.6	6
2"	4.5	10.5	12.6	15.6	15.6	17	18
2.1/2"	7.4	17.4	20.6	24.5	25	28.7	30
3"	10.6	25	29.5	34	35.5	39	42
4"	14.5	34	40.5	46.4	50	55	59
6"	19.7	46.4	57	65.4	72	78	84.4

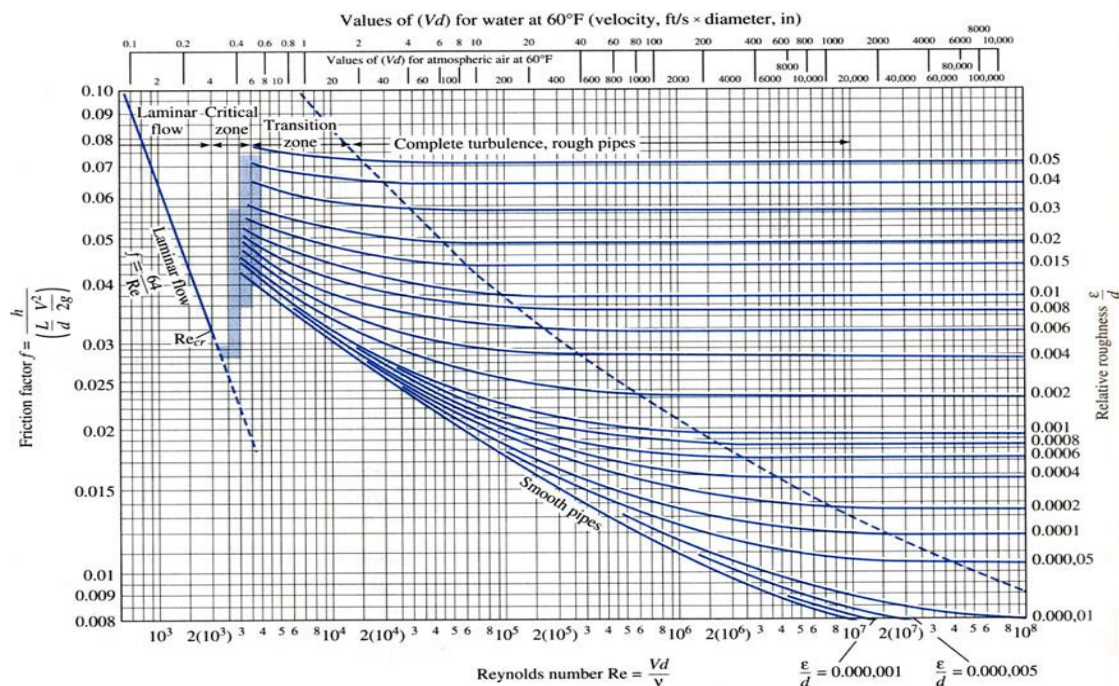
-
- Recommended work zone
- The real heat capacities will be according to technical conditions of furnaces and combustion variants required or desired.
 - Air pressure refers to the mixers air inlet.

Capacidades máximas aconsejadas para las bocas (cabezas) de fuego Maximum capacities advised according to nozzles sizes			
3/4"	15.000 Kcal/h	2.1/2"	450.000 Kcal/h
1"	20.000 kcal/h	3"	600.000 Kcal/h
1.1/4"	60.000 Kcal/h	4"	800.000 Kcal/h
1.1/2"	120.000 Kcal/h	6"	1.300.000 Kcal/h
2"	250.000 kcal/h	8"	2.000.000 Kcal/h

Gas Gas	Densidad Density	Factor K* K Factor*	Kcal/m ³ **
De Hulls Coal	0.43	2.066	4.500
Natural Natural	0.62	1.000	9.300
Acetileno Acetylene	0.9	0.860	10.800
Propano Propane	1.52	0.422	22.000
Butano Butane	2	0.338	27.500

* Para otros gases multiplicar por el factor K en las tablas correspondientes a Gas Natural. ** Para obtener la capacidad calorífica multiplicar por Kcal/m³.
* Other gases multiply by K Factor. ** To obtain calorific capacity multiply by Kcal/m³.

Anexo 11: Diagrama de Moody para localizar la caída de presión y el caudal



Fuente: W. y. B. Streeter, Mecánica de fluidos, D. F. de México: McGraw Hill, 1988.

Anexo 12: Selección del ventilador centrífugo

Ventilador centrífugo GRE / GRF

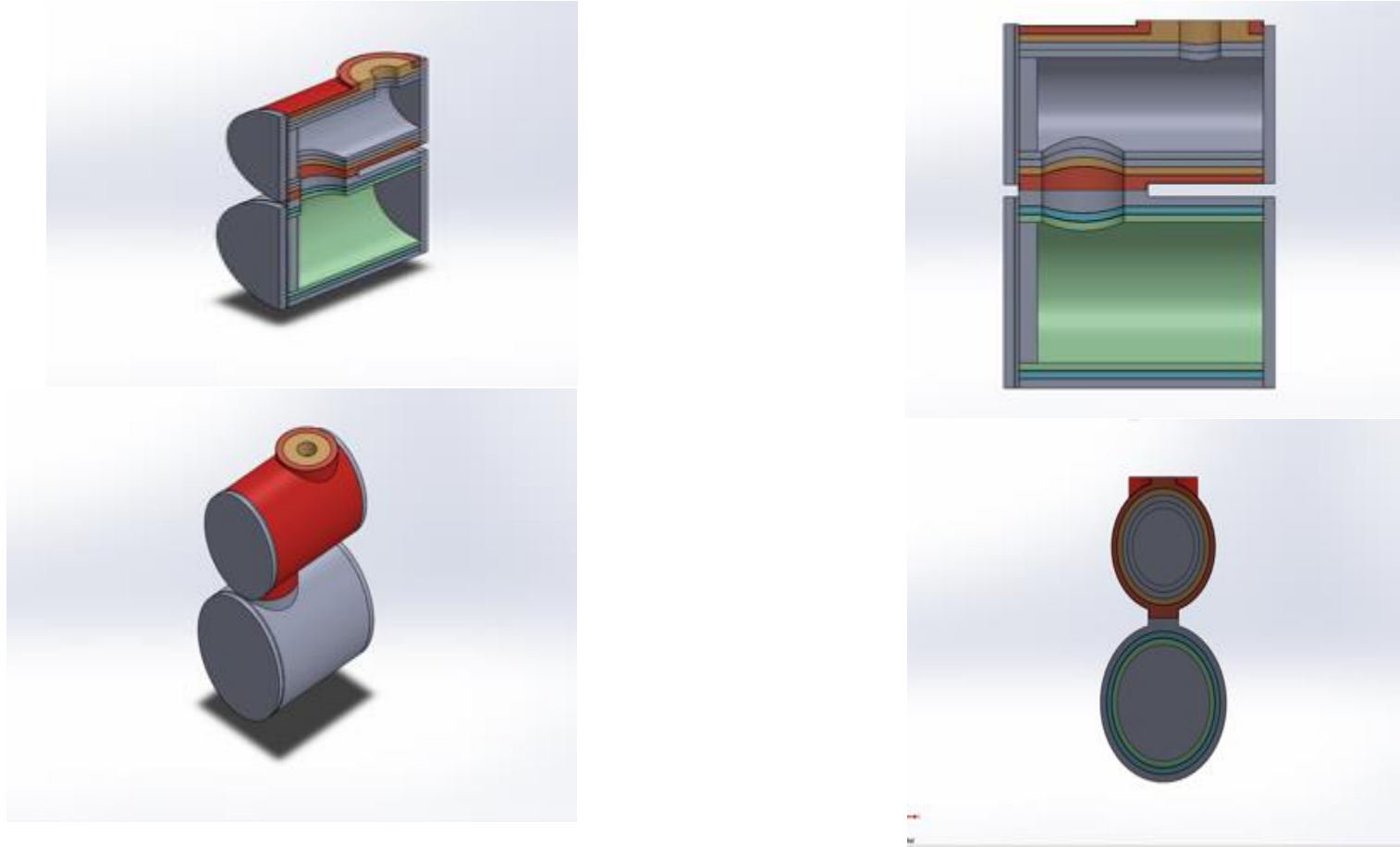


- Motor de rotor externo protegido por termoccontacto
- Velocidad regulable 0-100%
- Turbinas equilibradas estática y dinámicamente según ISO 1940
- Bajo nivel sonoro
- Versión trifásica bajo demanda

[Solicitar más información](#)

Modelo	Tensión V (50 Hz)	Intensidad A	Potencia W	Velocidad rpm	Caudal m3/h	Presión Máxima Pa
2GRE15 133/49R	1x230V	0,33	75	2210	255	330
2GRE15 140/59R	1x230V	0,39	88	1245	340	400
2GRE20 140/59R	1x230V	0,56	125	1540	395	440

Anexo 13: Diseño energético del incinerador



Fuente: Propia

Anexo 14: plantilla para el cálculo de VAN y TIR

CÁLCULO del VAN y la TIR

Esta hoja te permite calcular fácilmente el Valor Actual Neto (V.A.N.) y la Tasa Interna de Retorno (T.I.R.) de un negocio o proyecto de inversión. Pon tus datos en las celdas con fondo blanco. Tienes todas las explicaciones a la derecha.

1 Datos para el análisis							3 información	
Inversión	importe	<input type="text" value="102,000"/>						¿Qué poner aquí?
Flujo de caja (neto anual)	inversión	-102,000	1	2	3	4	5	
			27,680	28,970	31,200	42,100	45,000	¿Qué es el VAN? ¿Cómo se calcula? Análisis resultado
2 Cálculo del V.A.N. y la T.I.R.								
Tasa de descuento	%	<input type="text" value="18.00%"/>						¿Qué es la TIR? ¿Cómo se calcula? Análisis resultado producto recomendado
V.A.N a cinco años		<input type="text" value="2,637.34"/>	Valor positivo, inversión (en principio) factible					
T.I.R a cinco años		<input type="text" value="19.03%"/>	Valor superior a la tasa, inversión (en principio) factible					

◀ anterior
venmas.com
siguiente ▶

Fuente: www.Venmas.com

Anexo 15: Matriz de Leopold

COMPONENTE	ACTIVIDADES	Transporte de desechos			Maniobrar el incinerador			Emisión de gaseosas contaminantes			Transporte de cenizas		
		I	M	IMPACTO	I	M	IMPACTO	I	M	IMPACTO	I	M	IMPACTO
Geología, Geomorfología y Fisiografía	Alteración de las geoformas	0	0	0.00	-13	1	-13.00	0	0	0.00	0	0	0.00
	Estabilidad geomorfológica	0	0	0.00	-13	1	-13.00	0	0	0.00	0	0	0.00
Suelo	Calidad del suelo	0	0	0.00	0	0	0.00	0	0	0.00	0	0	0.00
	Erosión	0	0	0.00	0	0	0.00	-18	1.4	-25.20	0	0	0.00
	Compactación	0	0	0.00	0	0	0.00	0	0	0.00	0	0	0.00
	Uso potencial del suelo	-14	1	-14.00	0	0	0.00	0	0	0.00	-13	1	-13.00
	Vibraciones	0	0	0.00	-16	1.4	-22.40	0	0	0.00	0	0	0.00
Aire	Calidad de aire	0	0	0.00	0	0	0.00	-23	2	-46.00	0	0	0.00
	Niveles de ruido	0	0	0.00	18	1.8	32.40	0	0	0.00	0	0	0.00
	Radiaciones no ionizantes	0	0	0.00	0	0	0.00	-15	1	-15.00	0	0	0.00
Aspectos sociales	Demografía	0	0	0.00	0	0	0.00	0	0	0.00	0	0	0.00
	Calidad de vida	13	1	13.00	0	0	0.00	-25	2.2	-55.00	-16	1	-16.00
	Conflictos sociales	0	0	0.00	0	0	0.00	0	0	0.00	0	0	0.00
	Salud	-17	1.4	-23.80	-15	1	-16.00	-23	2	-46.00	0	0	0.00
	Seguridad	-15	1	-15.00	0	0	0.00	-20	1.6	-32.00	0	0	0.00
Aspectos económicos	Bienes y servicios económicos	0	0	0.00	-18	1.4	-25.20	-16	1.2	-19.20	-15	1.4	-21.00
	Impuestos y tributaciones	0	0	0.00	14	1	14.00	0	0	0.00	-15	1.4	-21.00
Aspectos culturales	Costumbres locales y tradiciones	0	0	0.00	0	0	0.00	0	0	0.00	0	0	0.00

VALOR	JERARQUIA	CÓDIGO DE COLOR
>0	Positivo	Blue
-13 a -88	Negativo irrelevante	Yellow
-89 a -176	Negativo moderado	Green
-177 a -264	Negativo severo	Orange
≤-265	Negativo crítico	Red