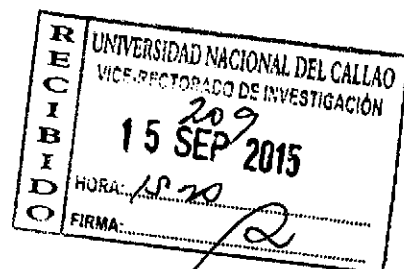
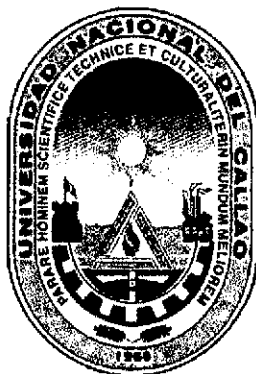


Mony
1110
04/09/2015
15:05 h
282.

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERIA QUÍMICA
INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE LA FACULTAD
DE INGENIERIA QUÍMICA



INFORME FINAL DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**“DISEÑO DEL REACTOR DE
LECHO MÓVIL PARA LA
INCINERACIÓN DE RESIDUOS
SÓLIDOS HOSPITALARIOS”**

AUTOR:

ING° LEONARDO FELIX MACHACA GONZALES

(PERIODO DE EJECUCION: Del 01/10/2013 al 30/09/15)

(Resolución de aprobación N° 978-2013-R)

Callao, 2015

Handwritten mark or signature.

CAPITULO I
INDICE

	Pag.
I. INDICE	1
II. RESUMEN	3
III. INTRODUCCIÓN	5
3.1. Exposición del problema de la investigación.	5
3.1.1. Objetivo general.	7
3.1.2. Objetivo específico.	7
3.2. Importancia, y Justificación de la investigación.	9
IV. MARCO TEÓRICO.	11
4.1. Antecedentes del estudio.	11
4.2. Residuos sólidos hospitalarios.	13
4.3. Clasificación de residuos sólidos hospitalarios en el Perú.	20
4.4. Incineración.	23
4.5. Incinerador según normas técnicas.	24
4.6. Tipos de incineradores.	26
4.7. Proceso de incineración de los residuos sólidos hospitalarios.	29
4.8. Cinética de las reacciones químicas gas-sólido no catalítico.	37
4.9. Reactores para reacciones químicas gas-sólido no catalítico.	39
V. MATERIALES Y METODOS. (MODELOS Y METODOS DE DISEÑO DEL REACTOR)	41
5.1. Materiales de investigación	41
5.2. Métodos. Fundamento de diseño del reactor para la incineración de sólidos hospitalarios.	41
5.3. Procedimiento de diseño del reactor de incineración primario o combustión (cámara inferior)	48
5.3.1. Bases de diseño.	48
5.3.2. Calculo de capacidad	53
5.3.3. Diseño de detalles o dimensionamiento.	54

5.3.4. Especificaciones.	56
5.3.5. Datos de Construcción.	57
5.4. Procedimiento de diseño del reactor de incineración secundario o de post combustión (cámara inferior)	57
5.4.1. Bases de diseño.	57
5.4.2. Calculo de capacidad	60
5.4.3. Diseño de detalles o dimensionamiento.	61
5.4.4. Especificaciones.	63
5.4.5. Datos de Construcción.	64
5.5. Población y muestra	64
5.6. Técnica de recolección de datos	64
5.7. Técnica de tratamientos de datos	65
5.8. Técnica y análisis estadístico de datos	65
VI. RESULTADOS. /	66
VII. DISCUSIÓN /	68
VIII.REFERENCIALES /	70
IX. APÉNDICE /	73
X. ANEXOS /	80



CAPTITULO II

RESUMEN.

Se ha diseñado el reactor rotatorio de lecho móvil no catalítico para la incineración de los residuos sólidos hospitalarios peligrosos.

Se presentan los fundamentos de diseño, el análisis de la cinética de las reacciones heterogéneas no catalítica y los criterios correspondientes para el diseño del reactor rotatorio no catalítico de lecho móvil.

Para el diseño del reactor se ha empleado el modelo de diseño del reactor de lecho móvil con flujo en contracorriente en forma continua, con cinética del núcleo sin reaccionar, evaluado las variables de diseño del reactor correspondiente.

Todo el conjunto de este reactor diseñado consta de: 2 Reactores cilíndricos, uno no catalítico y el otro catalítico con sus quemadores respectivos.

Se ha evaluado el impacto de todas las variables que afectan al diseño del reactor, incluyendo materias primas para dar con las condiciones óptimas de operación, y de esta manera aportar en la solución de la contaminación ambiental. El modelo se basa en las etapas del proceso heterogéneo no catalítica gas-sólido, aplicando el modelo Yagi y Kunii.

Finalmente se presentan los cálculos y criterios correspondientes para el diseño de todo el reactor, y, las especificaciones y datos de construcción del reactor se mencionan en el cuadro de resultados, y el esquema correspondiente está en el apéndice.

PALABRA CLAVE

Diseño de reactor rotatorio * fundamento de diseño * cinética de reacción gas-sólido*.

ABSTRACT

It is designed rotary noncatalytic reactor moving bed for the incineration of hazardous hospital solid wastes.

Design principles, kinetic analysis of the non-catalytic heterogeneous reactions and the corresponding design criteria for noncatalytic rotary moving bed reactor are presented.

To the reactor design was used to design the model reactor with moving bed countercurrent flow continuously, with kinetics unreacted core, evaluated the design variables corresponding reactor.

This entire assembly designed reactor comprises: two cylindrical reactors, one noncatalytic and the other with their respective catalytic burner.

We assessed the impact of all the variables that affect the design of the reactor, including bonuses to give the optimum operation conditions areas, and thus contribute to the solution of environmental pollution. The model is based on the stages of the process heterogeneous gas-solid catalytic not applying the model Kunii and Yagi.

Finally calculations and corresponding criteria for the design of the entire reactor are presented, and data specifications and construction of the reactor mentioned in the results table and the corresponding scheme in the appendix.

Key words



CAPITULO III

INTRODUCCIÓN.

3.1. Exposición del problema de la investigación.-

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

Los hospitales también generan residuos químicos, farmacéuticos y radioactivos, todos ellos en pequeñas cantidades, que requieren un manejo especial. Por otra parte, en los hospitales también se generan grandes cantidades de residuos comunes como envases, papel, comida, etc., que pueden llegar a representar alrededor del 80% de la corriente de residuos. Un hospital de gran tamaño puede producir hasta una tonelada de residuos por día.

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

Uno de los problemas más graves es que en muchas Instalaciones de Salud no se incineran los RSH solamente son almacenados en baldes, bolsas plásticas ó barriles metálicos muy pesados. Los desechos sólidos relacionados a los

radiofármacos no sellados, (ampolletas, jeringas, agujas, guantes, algodón), son normalmente guardados en cajas de plomo, en un cuarto sin restricciones de acceso y sin ningún tipo de precauciones. Agujas, jeringas, algodón y residuos de curaciones son depositados sin ninguna precaución en los centros de acopio temporal y su transporte se realiza junto con la basura común, en el cuadro N° 3.1., se muestran la clasificación de los RSH.

CUADRO N° 3.1.

CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS HOSPITALARIOS

TIPO DE RESIDUO	TRATAMIENTO
NO PELIGROSOS Ordinarios e inertes	Relleno sanitario
NO PELIGROSOS Biodegradables	Compostaje, Lombricultura o Relleno Sanitario
NO PELIGROSOS <ul style="list-style-type: none"> • Reciclables: • Plástico • Vidrio • Cartón y similares • Chatarra 	Reciclaje
PELIGROSOS INFECCIOSOS <ul style="list-style-type: none"> • Biosanitarios, Corto punzantes • De animales y anatomopatológicos 	Desactivación de alta eficiencia y relleno sanitario o incineración (las cenizas van a rellenos de seguridad) Desactivación de baja eficiencia e incineración (las cenizas van a rellenos de seguridad)
PELIGROSOS <ul style="list-style-type: none"> • Contenedores presurizados • Químicos a excepción de metales pesados • Químicos mercuriales • Metales pesados • Fármacos parcialmente consumidos, vencidos, deteriorados y/o alterados. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tratamientos fisicoquímicos • Incineración cuando hay lugar (las cenizas van a rellenos de seguridad. • Reciclaje, Rellenos de seguridad, encapsulamiento o cementación y envío a relleno sanitario

Fuente: CEPIS/OPS: Manejo de residuos hospitalarios. Lima, 1994

La disposición final de los residuos sólidos hospitalarios no es solo un problema exclusivo solo nacional, sino también de todo el mundo. caso aparte es que en Perú sea un tema recientemente tratado y reglamentado pues apenas en el año 2004 se oficializa la norma técnica N° 008-MINSA/DGSP-V.01, “manejo de residuos sólidos hospitalarios” aprobado por R.M. N°217-2004/MINSA del 25 de febrero del 2004 y publicada en el diario oficial “El Peruano” el día 19 de marzo del 2004. En la actualidad muchas ciudades del país no cuenta con una planta de RSH para el tratamiento de los residuos sólidos peligrosos, por esta razón el presente trabajo de investigación propone un modelo de diseño del reactor rotatorio de lecho móvil para la incineración de los residuos sólidos peligrosos.

El marco legal tomado en consideración en el trabajo investigación se detalla en el cuadro N°3.2.

Los objetivos planteados en este trabajo de investigación fueron los siguientes:

3.1.1. Objetivo General

Diseñar el reactor rotatorio de lecho móvil para la incineración de residuos sólidos hospitalarios.

3.1.2. Objetivos Específicos

1. Analizar el proceso de incineración de residuos sólidos hospitalarios.
2. Analizar la cinética de las reacciones heterogéneas no catalíticas gas- sólido para la incineración de residuos sólidos hospitalarios.
3. Analizar el fundamento de diseño del reactor rotatorio de lecho móvil para la incineración de residuos sólidos hospitalarios.
4. Diseñar detalladamente el reactor rotatorio de lecho móvil para la incineración de residuos sólidos hospitalarios.



**CUADRO N° 3.2.
NORMATIVA VIGENTE**

Dispositivo	Descripción	Publicación
Normativa Nacional		
Constitución Política del Perú	Art. 67.-El estado determina la política nacional del ambiente.	29 de Diciembre de 1993
Ley N° 28611- PCM. Ley General del Ambiente	Art. 119.- La gestión de los residuos sólidos industriales es responsabilidad del generador hasta su adecuada disposición final.	15 de Octubre del 2005
Ley N° 27314 – PCM. Ley General de Residuos Sólidos	Art. 1.- La presente ley establece derechos, obligaciones, atribuciones y responsabilidades de la sociedad en su conjunto, para asegurar una gestión y manejo de los residuos sólidos, sanitaria y ambientalmente adecuada.	21 de Julio del 2000
D. S. N° 057-04-PCM. Reglamento de la Ley General de Residuos Sólidos	Art. 1.- El presente dispositivo reglamenta la ley 27314, ley general de residuos sólidos, a fin de asegurar que la gestión y manejo de los residuos sólidos sean apropiados para prevenir riesgos sanitarios, proteger y promover la calidad ambiental, la salud y bienestar de la persona.	22 de Julio del 2004
Ley 28256 – PCM. Ley que Regula el Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos	Art. 1.-La presente norma tiene por objeto establecer los procedimientos que regulan las actividades, procesos y operaciones del transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos, con sujeción a los principios de prevención y protección de las personas, el ambiente y la propiedad.	19 de Junio del 2004
NTP 900.058. Norma Técnica Peruana – Gestión de Residuos Sólidos, Código de Colores para los Dispositivos de Almacenamiento de Residuos (*)	Esta norma técnica establece los colores a ser utilizados en los dispositivos de almacenamiento de residuos con el fin de asegurar la identificación y segregación de los mismos.	12 de Junio del 2005
D. L N° 1065 Ley que Modifica la Ley General de Residuos Sólidos	Artículo 1°. Modificación de los artículos de la Ley General de Residuos Sólidos: 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 16, 19, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 44, 48, 49 y 50 de la Ley N° 27314, Ley General de Residuos Sólidos.	21 de Junio del 2008
Normativa Internacional		
Convenio de Basilea	Art. 4.- Cada parte tomará las medidas necesarias para: Reducir la generación de residuos al mínimo teniendo en cuenta los aspectos sociales, tecnológicos y económicos.	19 de Octubre de 1993

Fuente: Diario "El Peruano". (*) Fuente: INDECOPI.

En la bibliografía revisada, se ha encontrado que existen dos procedimientos generales de diseño de reactores:

Diseño empírico.- Basado en verificar experimentalmente los fenómenos que supuestamente se van a dar en el reactor (fenómenos físicos y químicos y fisicoquímicos); apoyándose en datos experimentales, obtenidos a diferentes escalas: laboratorio, escala banco, planta piloto, y semi- industrial, se extrapola al reactor a nivel industrial. Como es fácil comprender, el esfuerzo y coste de la investigación, obtención de dichos datos es muy elevada.

Diseño científico.- Se realiza a partir de expresiones matemáticas, más o menos complejas, que tienen en cuenta los distintos fenómenos que ocurren en el reactor: transporte de materia, energía, y cantidad de movimiento, y la reacción química. La complejidad del modelo adoptado depende de los fenómenos que se tienen en cuenta.

Es claro el esfuerzo que en las últimas décadas se están dedicando al desarrollo de este diseño científico, cuya finalidad consiste en desarrollar las herramientas necesarias para proceder al diseño de los reactores químicos a partir de estudios de laboratorio obviando las extensas y laboriosas etapas del cambio de escala.

3.2. Importancia, y Justificación de la investigación.-

3.2.1. Importancia de la investigación.

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

1. Solucionar la contaminación ambiental por los residuos sólidos provenientes de los hospitales que son arrojados sin el debido tratamiento en los rellenos sanitarios o a las riveras de los ríos del país.
2. Diseñar el reactor rotatorio de lecho móvil para la incineración de residuos sólidos hospitalarios y que sus resultados incrementen a los diferentes estudios existentes con el propósito de dar solución a la contaminación ambiental por los residuos sólidos provenientes de los hospitales.



3.2.2. Justificación de la investigación.

El presente trabajo se justifica por lo siguiente:

1. Hay empresas encargadas del acopio y tratamiento de estos residuos hospitalarios llevando a los rellenos sanitarios que lo almacenan pero no lo incineran aumentando la contaminación ambiental.
2. El reactor rotatorio de lecho móvil para la incineración de residuos sólidos hospitalarios, porcionará dar la solución a la contaminación ambiental con los residuos sólidos provenientes de los hospitales atentando la salud de la población que habitan en la zona donde son arrojados estos residuos hospitalarios, y apoyar a las empresas encargadas del tratamiento de estos residuos hospitalarios.
3. Desarrollar trabajos de investigación, y aportar a la ingeniería ambiental con temas relacionada al diseño de reactores heterogéneos gas - sólido.
4. Al investigar en las literaturas existentes (artículos publicados) no se conocen hasta la actualidad los estudios sobre el análisis y diseño del reactor rotatorio de lecho móvil para la incineración de residuos sólidos hospitalarios mediante la fundamentación y el procedimiento de diseño adecuado.



CAPITULO IV

MARCO TEÓRICO.

4.1. Antecedentes del Estudio.-

Actualmente los residuos hospitalarios y similares, representan un riesgo para la salud del personal médico, paramédico, enfermeras, pacientes, visitantes, personal de recolección de residuos y otros, y de la comunidad Chalaca en general, además del riesgo ambiental que de ellos se derivan.

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

2) La Agencia de Protección del Medio Ambiente de los EE.UU., en 1994 identificó que los incineradores de residuos hospitalarios son la mayor fuente de compuestos del tipo dioxinas en ese país.

3) Verónica Odriozola en 1996, ha publicado en su informe sobre la incineración de residuos hospitalarios que **daña la salud MAS VALE PREVENIR QUE CURAR** en la Campaña de Tóxicos de Greenpeace en Argentina.

4) Araujo Miguel, en 2001 ha publicado sobre **Desechos Hospitalarios: Los riesgos biológicos y las recomendaciones generales sobre su manejo**, donde desarrolla un algoritmo lógico para la toma de decisiones respecto al manejo de los desechos hospitalarios, Sintetiza la evidencia disponible sobre los riesgos de los desechos hospitalarios para los trabajadores que los manipulan y para la población general, y formula las recomendaciones sobre la disposición de los desechos a partir de las evidencias encontradas y de otras consideraciones que sean relevantes desde el punto de vista sociocultural, económico u otro.

5) Geenpeace en el 2001 realizo el estudio de las alternativas a la incineración de residuos hospitalarios; donde menciona que el policloruro de vinilo (PVC o vinilo) constituye la principal fuente de cloro en las incineradoras de residuos hospitalarios, y se encuentra principalmente en productos hospitalarios y

embalajes. Aproximadamente el 9.4% de todos los residuos infecciosos son de PVC. Asimismo mencionan que las incineradoras de residuos hospitalarios representan una de las mayores fuentes de dioxinas, por ello algunos países están aplicando medidas restrictivas a este sistema de tratamiento de los residuos. Como consecuencia muchos hospitales han cerrado sus propios hornos incineradores y envían sus residuos a incineradoras con más dispositivos de control de la contaminación.

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

7) Michelle Allsopp y colaboradores, en 2001, publicaron los estudios sobre la incineración y salud, donde explica que la incineración es una solución controvertida, puesto que las emisiones de sustancias tóxicas a la atmósfera y la producción de cenizas y otros residuos, generan impactos potenciales en el medio ambiente y la salud que la hacen poco recomendable; no hay que olvidar además la poca rentabilidad económica de estas plantas.

8) En el año 2004, los colaboradores del Departamento de Salud de Filipinas, junto con la Organización Mundial de la Salud, demostraron que existen alternativas viables a la incineración de los residuos de las campañas de vacunación. Como resultado, Filipinas se convirtió en el primer país en tratar los residuos de un programa de vacunación a escala nacional sin recurrir a la incineración o a la quema a cielo abierto.



9) Molerio León L., F., y colaboradores han estudiado el manejo y disposición final de desechos hospitalarios, evaluando cuatro casos de estudio; y los resultados fueron procesados estadísticamente a través del programa SPAD y encontraron que con mayor grado de dificultad en el manejo tratamiento y disposición final de los desechos se encuentran en los hospitales.

10) Luis Gonzales de Galdeano, 2004 , publica los estudios epidemiológicos sobre los efectos adversos para la salud derivados de las plantas de incineración de RU, Evaluación de riesgos sobre plantas de incineración de RU, los estudios con biomarcadores en poblaciones expuestas a plantas de incineración, y los niveles de exposición de dioxinas en la población general.

4.2. Residuos Sólidos Hospitalarios.-

Son el conjunto de desechos que genera un centro de atención de la Salud durante el desarrollo de sus funciones.

Los residuos sólidos hospitalarios son aquellas sustancias, materiales, subproductos sólidos, que son el resultado de una actividad ejercida por el generador; que se define como la persona natural o jurídica que produce residuos hospitalarios relacionados con la prestación de servicios de salud por lo cual se implementa la gestión integral que abarca el manejo, la cobertura y planeación de todas las actividades relacionadas con los residuos hospitalarios desde su generación hasta su disposición final.

Los desechos sólidos son aquellos desechos que se generan en gran cantidad en las instituciones de salud que por sus características, composición y origen requieren de un manejo específico para evitar la propagación de infección.

Los residuos sólidos hospitalarios son generados en los procedimientos y actividades de atención y diagnóstico médico. Estos residuos incluyen una cantidad importante de residuos comunes y cierta cantidad de residuos peligrosos (biocontaminados y especiales). La naturaleza del peligro de estos residuos sólidos, esta determinada por las características de los mismos que se podrían agrupar básicamente en: (1) residuos que contienen agentes

patógenos, (2) residuos con agentes químicos tóxicos, agentes genotóxicos o farmacológicos, (3) residuos radioactivos y (4) residuos punzo cortantes.

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

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

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

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

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

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

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

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

La diversidad de actividades relacionadas con la atención de la salud produce una variedad de desechos que excede a los patogénicos (o infecciosos). Por esto, de acuerdo a la peligrosidad de los distintos componentes de la corriente de residuos, se los clasifica y se los compara, según sus características específicas, con los residuos domiciliarios (RD), con los residuos peligrosos Industriales (RPI) y con los residuos radioactivos (RR).

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

La composición porcentual de los residuos sólidos hospitalarios se muestra en la figura N° 4.1.

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

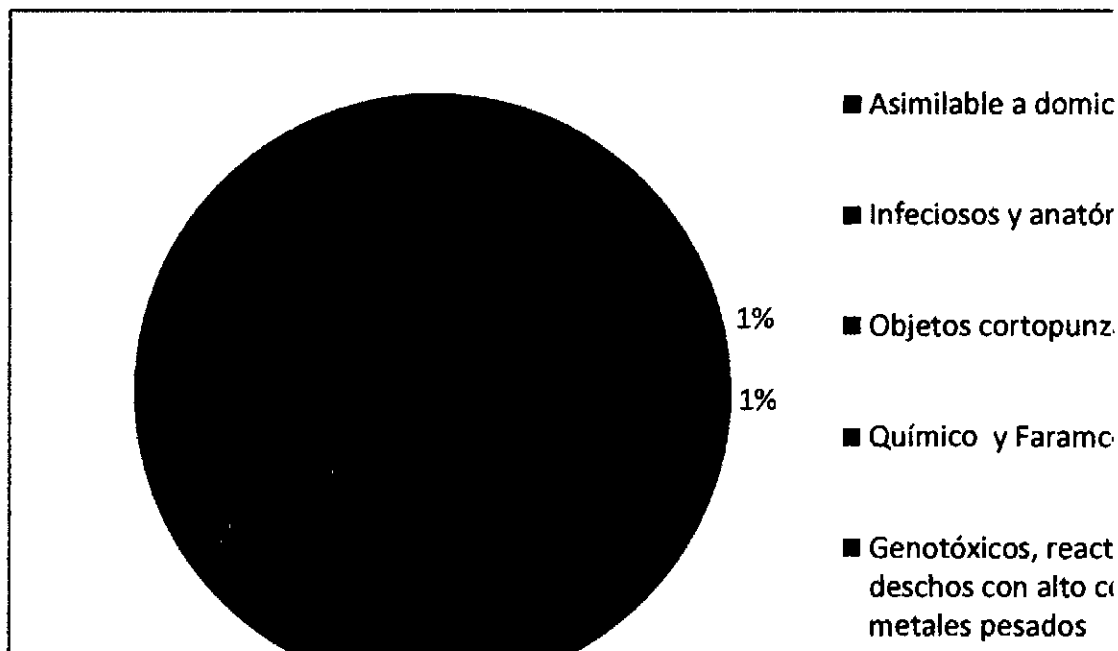
a) Caracterización del residuo hospitalario.-

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

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

PCI (poder calorífico inferior): indica cuánto calor se libera durante la quema del residuo. Residuos con alto PCI consumen menos combustible. El valor

**FIGURA. N° 4.1.
COMPOSICIÓN PORCENTUAL DE LOS RH SEGÚN LA O.M.S**



Fuente: Rodríguez Rosa, y colaboradores, 2001

medio para los residuos sólidos domiciliarios es de 1300 Kcal/kg. (5,44 MJ/kg). Un PCI muy variable puede dificultar el control de la temperatura del incinerador y causar:

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

Cenizas: es lo que sobra luego de la incineración, y están constituidas por materia mineral, carbono no quemado y la mayor parte de los metales. El porcentaje de cenizas permite estimar el espacio necesario para el relleno

sanitario. Las cenizas son: la escoria (captada en la base), y los volátiles, captados en los filtros de gases. Contienen metales pesados y dioxinas; por lo tanto, se consideran sustancias tóxicas.

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

b) Composición de elementos químicos:

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

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

1. Características especiales: existen propiedades de los residuos que deben ser tomadas en cuenta en el proyecto del incinerador y en los cuidados operacionales, a efectos de garantizar la integridad física de los operadores y del equipo. Son ellas: la toxicidad (por ejemplo: PCBs como ascarel), corrosividad (ácidos), olor (gas sulfhídrico), liberación de humo (ácido clorhídrico), reactividad (pentacloruro de fósforo).

2. Clasificación por tipo de manejo.- Se puede clasificar un residuo por presentar alguna característica asociada al manejo que debe ser realizado:

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






a) Residuo peligroso: Son residuos que por su naturaleza son inherentemente peligrosos de manejar y/o disponer y pueden causar muerte, enfermedad; o que son peligrosos para la salud o el medio ambiente cuando son manejados en forma inapropiada.

b) Residuo inerte: Residuo estable en el tiempo, el cual no producirá efectos ambientales apreciables al interactuar en el medio ambiente.

c) Residuo no peligroso: Ninguno de los anteriores.



**CUADRO N° 4.1.
TIPO DE RESIDUOS**

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

Fuente: Rodríguez Rosa, y colaboradores, en 2001



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

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

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

Los residuos sólidos hospitalarios se clasifican en tres categorías:

Clase A: Residuo Incontaminado

Clase B: Residuo Especial y

Clase C: Residuo Común.

Clase A: Residuo biocontaminado.-

Tipo A.1: Atención al Paciente.-

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

Tipo A.2: Material Biológico.-

Cultivos, inóculo, mezcla de microorganismos y medio de cultivo inoculado proveniente del laboratorio clínico o de investigación, vacuna vencida o inutilizada, filtro de gases aspiradores de áreas contaminadas por agentes infecciosos y cualquier residuo contaminado por estos materiales.

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

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

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

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

Tipo A.5: Punzo cortantes.-

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

Tipo A.6: Animales contaminados.-

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

Clase B: Residuos especiales.-

Tipo B.1: Residuos Químicos Peligrosos.-

Recipientes o materiales contaminados por sustancias o productos químicos con características tóxicas, corrosivas, inflamables, explosivos, reactivas, genotóxicos o mutagénicos, tales como quimioterapéuticos; productos químicos no utilizados; plaguicidas fuera de especificación; solventes; ácido crómico (usado en limpieza de vidrios de laboratorio); mercurio de termómetros; soluciones para revelado de radiografías; aceites lubricantes usados, etc.

Tipo B.2: Residuos Farmacéuticos.-

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

Tipo B.3: Residuos radioactivos.-

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

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

Clase C: Residuo común.-

Compuesto por todos los residuos que no se encuentren en ninguna de las categorías anteriores y que, por su semejanza con los residuos domésticos,



pueden ser considerados como tales. En esta categoría se incluyen, por ejemplo, residuos generados en administración, proveniente de la limpieza de jardines y patios, cocina, entre otros, caracterizado por papeles, cartones, cajas, plásticos, restos de preparación de alimentos, etc.

Otros tipos de clasificaciones:

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

Clasificación de la Organización Mundial de la Salud

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

Clasificación Alemana

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



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

- Cultivos y muestras almacenadas
- Residuos patológicos
- Residuos de sangre humana y productos derivados
- Residuos punzocortantes
- Residuos de animales
- Residuos de aislamiento
- Residuos punzocortantes no usados

4.4. Incineración.-

La incineración (del latín *incinerāre* incinerar) es la combustión completa de la materia orgánica hasta su conversión en cenizas, usada en el tratamiento de basuras, residuos sólidos urbanos, industriales peligrosos y hospitalarios, entre otros. Tanto la incineración, como otros procesos de tratamiento de basuras a alta temperaturas son descritos como "tratamiento térmico".

Es un proceso de oxidación térmica a alta temperatura en el cual los residuos peligrosos son convertidos, en presencia de oxígeno, en gases y residuales sólidos incombustibles. Los gases son emitidos a la atmósfera, previa su limpieza hasta colocarlos en condiciones ambientalmente correctas y los residuos sólidos son tratados y/o depositados en un relleno de seguridad.

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

4.5. El incinerador según las normas técnicas.-

El incinerador deberá disponer de una cámara de combustión primaria, una cámara secundaria y alcanzar una temperatura de 800° y 1000° C respectivamente. En la cámara primaria se queman los desechos produciéndose cenizas y gases, entre los cuales se encuentran las dioxinas que pueden generar cáncer. En la secundaria, estos gases son combustionados completamente convirtiéndose en vapor de agua, CO₂ y restos de óxidos de nitrógeno y ácido clorhídrico. Para esto se requiere un tiempo de permanencia de los gases de por lo menos 2 segundos, y una concentración de oxígeno mayor del 6%. Para que los desechos sean destruidos en la cámara primaria, se requiere un tiempo de permanencia de por lo menos 1 hora, temperatura de 800° C y turbulencia suficiente para movilizar los residuos.

Las cenizas resultantes del proceso de incineración deben considerarse como residuos peligrosos ya que contienen plomo, cadmio, cromo, mercurio y arsénico. Deben ser enviadas en una funda debidamente etiquetada como residuo peligroso al relleno sanitario.

Para evitar la contaminación se debe considerar:

- Control de emisiones a la atmósfera: especialmente partículas y ácido clorhídrico que pueden dar una idea general del nivel de la eficiencia del funcionamiento del incinerador.
- Control de temperatura: 1000° C en la cámara secundaria.
- La altura de la chimenea.
- Las determinaciones de las emisiones deben realizarse por lo menos cada 6 meses.
- No debería observarse humo ni existir olor desagradable en la chimenea.

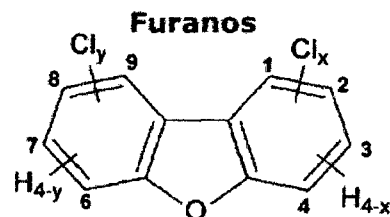
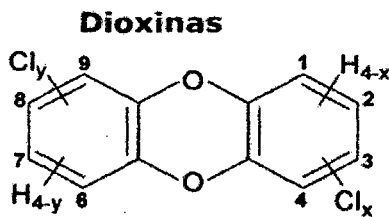
Los incineradores pueden quemar la mayoría de los desechos sólidos peligrosos, incluyendo los farmacéuticos y los químico-orgánicos, pero no los desechos radiactivos ni los contenedores presurizados. Los incineradores están provistos de un quemador capaz de alcanzar la combustión completa de los desechos y una amplia destrucción de las sustancias químicas nocivas y tóxicas (dioxina, furanos, etc.).

Los incineradores operan con máxima eficiencia cuando los desechos que se queman tienen un poder calórico suficientemente alto, es decir, cuando la combustión produce una cantidad de calor suficiente para evaporar la humedad de los desechos y mantener la temperatura de combustión sin añadir más combustible, así como se muestra en la figura N° 4.2.

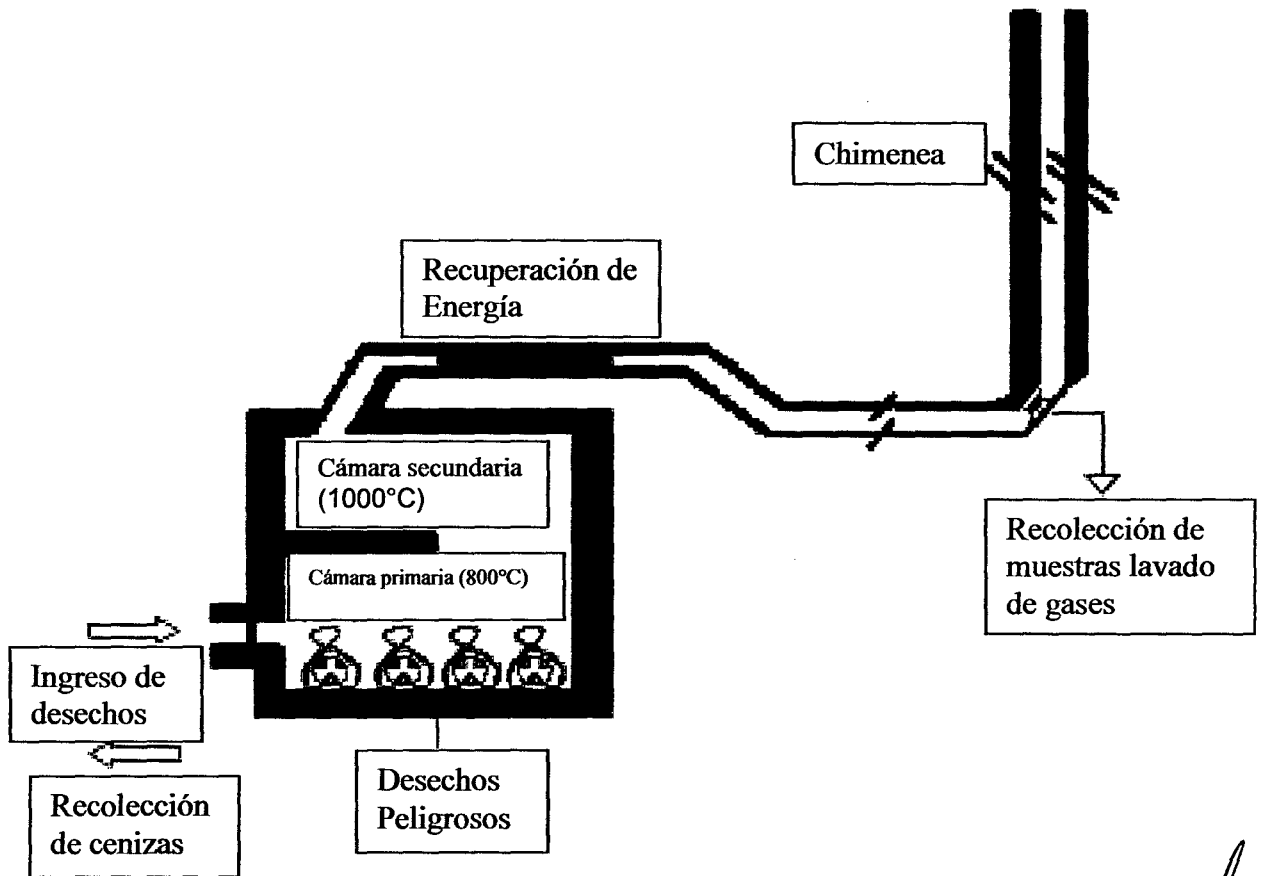
En general, es preferible que los incineradores operen continuamente, ya que los cambios de temperatura provocados por los paros deterioran rápidamente los revestimientos refractarios. Un incinerador a funcionamiento continuo o discontinuo, cuidadosamente operado, tiene una vida útil de 10 a 15 años. Necesita mantenimiento constante y un mantenimiento anual extraordinario que implica un paro del equipo entre 20 y 30 días.

Entre los humos provenientes de incineradores de desechos se han identificado más de 300 compuestos los cuales se pueden agrupar en:

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



**FIGURA N° 4.2.
INCINERADOR TRADICIONAL**



Fuente: EPA usa 1994

4.6. Tipos de incineradores.-

4.6.1. Incinerador de lecho fluidizado.-

Un buen número de plantas equipadas con lecho fluidizado han introducido caleras en un intento de mejorar el uso del calor.

La arena utilizada en el lecho fluidizado es calentada y fluidizada y los residuos son llevados a combustión en poco tiempo. El incinerador de lecho fluidizado:

1. Control de la combustión, dependiendo de las relaciones de calidad de los residuos.

2. Un tratamiento fácil y exhaustivo de los gases de salida.

3. Eficacia en la reducción del volumen de residuos.

4.6.2. Incinerador de solera fija.-

Los incineradores de solera se usan para quemar cosas como desperdicios municipales y médicos. Estos dispositivos pueden tratar tanto sólidos como líquidos. Los residuos se sientan encima de un hogar, donde el fuego se emite desde abajo. Se desechan cenizas en un recipiente grande de agua. Los fuegos se mantienen por gas natural o petróleo y puede alcanzar temperaturas de 2.000 grados Fahrenheit (1.093 grados Celsius). Algunas cámaras de combustión de usan grandes calderas para generar vapor y producir electricidad.

4.6.3. Incinerador mecánico.-

Según el proceso de combustión los incineradores de residuos sólidos pueden funcionar en régimen de combustión continua o discontinua.

En términos de capacidad esto significa más del 80% de la capacidad instalada. De las plantas incineradoras discontinuas, aproximadamente un tercio cuentan con incineradores mecánicos. El incinerador mecánico es capaz de quemar residuos de manera eficaz y continuada. Los residuos que se introducen en el incinerador son dirigidos a las zonas de secado, combustión y post combustión, con operaciones mecánicas realizadas sobre el lecho del incinerador y este mecanismo asegura una combustión completa. El incinerador mecánica es una tecnología aceptada para incinerar residuos universalmente probados.

4.6.4. Incinerador cilíndrico rotatorio.-

Los incineradores o reactores rotatorios se usan para residuos industriales sólidos y líquidos. El dispositivo usa un sistema refractario. Un refractario es una gran concha que gira, lava y levanta los residuos. El combustible se usa

para encender la basura, con desperdicios líquidos inflamables también alimentando las llamas. Algunos residuos de líquido se bombean en el incinerador de horno con boquillas. Las temperaturas pueden variar de 1.300 a 2.400 grados Fahrenheit (704 a 1315 grados Celsius). Una ventaja de este sistema es que la rotación constante permite que el calor se distribuya uniformemente.

Los incineradores rotatorios muy utilizados en la eliminación de residuos industriales, se están introduciendo también en la eliminación de residuos municipales. Este tipo de incinerador se caracteriza por una excelente adaptabilidad para todo tipo de residuos.

El incinerador rotatorio es de aspecto cilíndrico con refractarios en el interior. El cuerpo del incinerador está ligeramente inclinado. Con el incinerador rotando, los residuos cargados son enviados mientras se agitan, desde la zona de secado hasta la zona de combustión, donde se queman a temperatura entre 800 y 1000 °C.

Este incinerador está dotado de intercambiadores de calor refrigerados por agua. Gracias a la ausencia de contacto con las paredes refractarias y a las partes mecánicas móviles no se presentan dificultades en la incineración aunque varíe la composición de la mezcla de plásticos. También dentro del incinerador los residuos están continuamente rotando y agitándose, con lo cual los gases de la combustión están en contacto con los residuos, dando una porción incombustible en las cenizas entorno al 3 %. Debido a que las tuberías de agua se hallan entre el ventilador y las paredes del incinerador, las escorias no forman aglomerados compactos cuya eliminación daría lugar a otra etapa más.

4.6.5. Incinerador horno de parrilla.-

En este incinerador de parrilla se tratan residuos sólidos municipales de bajos poderes caloríficos, permiten mantener altos tiempos de combustión de los gases por encima de los mínimos legales.

El diseño de un incinerador de horno de parrilla para incinerar residuos sólidos urbanos debe considerarse un conjunto de factores que van desde las propiedades de los residuos, cálculo de los volúmenes de aire y gases, cálculo de la temperatura de combustión, hasta la determinación de las dimensiones de las parrillas y de la compra de combustible.

La incineración de la basura municipal, sobre parrilla cilíndrica de sistemas DUSSELDORF situada en las calderas en perfecta desde el punto de vista higiénico.

4.7. Proceso de la incineración de los residuos sólidos hospitalarios.-

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

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

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

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

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

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

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

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

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

El proceso de incineración se subdivide en cuatro fases principales:

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

1. Pre-tratamiento.-

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



2. Alimentación.-

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

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

3. Incineración.-

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

a) Combustión primaria.-

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

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

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

b) Combustión secundaria.-

Los gases, vapores y material particulado, liberados en la combustión primaria, son soplados o succionados hacia la cámara de combustión secundaria o post-combustión, hacia donde permanecen alrededor de dos segundos expuestos a 1.000°C o más. En estas condiciones ocurre la destrucción de las sustancias volátiles y parte de las partículas.

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



- **Temperatura:** en la incineración, el objetivo es suministrar energía suficiente para que ocurra la ruptura de los enlaces entre los átomos del residuo, y luego, la recombinación que permite formar principalmente CO₂ y agua, sustancias bastante estables. La necesidad de mantener la temperatura correcta de incineración exige un control automático de la temperatura en las dos cámaras, generalmente con alarma para la temperatura baja y el bloqueo automático del suministro de residuos.

- **Tiempo:** la absorción de la energía suministrada al residuo por la quema del combustible es rápida, pero no instantánea. El tiempo de 0,8 a 2 segundos, exigido como tiempo de residencia de los gases, es necesario para que ocurran las reacciones químicas de destrucción de los compuestos tóxicos.

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

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

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

- **Exceso de aire:** la combustión completa de un residuo exige la presencia de oxígeno (O₂) en cantidad adecuada. Al saber la composición de este residuo, se puede calcular la cantidad teórica de O₂ que se debe suministrar. En la práctica, sin embargo, es necesario proveer un exceso de aire, porque la mezcla residuo-O₂ no es perfecta.

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



combustión pasa a ser incompleta, lo cual se delata por la presencia de CO en la chimenea.

- **Recuperación de energía.**

Los gases, a la salida de la cámara de postcombustión, se introducen en un intercambiador de calor de radiación.

En él los gases de combustión circulan por su interior mientras que el aire ambiente lo hace por un tubo concéntrico al anterior. El resultado es que los gases de combustión se enfrían hasta la temperatura que es preciso para entrar en la línea de lavado de gases y el aire ambiente se calienta.

4. Control de contaminación.-

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

- **Control de combustión.-**

Las condiciones apropiadas de combustión limitan especialmente la formación de dioxinas y furanos. El monitoreo y el control continuo, tanto computarizados, como manuales, son sumamente importantes como «buenas prácticas de combustión». El entrenamiento de los operadores es considerado básico para prevenir la contaminación.

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

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

- **Control de material particulado**

Filtros de tejido, llamados filtros manga, precipitadores electrostáticos y lavadores Venturi son los dispositivos para controlar la emisión de partículas.

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

Los precipitadores electrostáticos tratan las emisiones con la aplicación de un voltaje en las partículas que entran, cargándolas negativamente. Las



partículas, entonces, son quitadas en placas cargadas positivamente. Usan campos electrostáticos múltiples para recolectar el máximo de material particulado.

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

- **Control del gas ácido**

Las unidades de control de gas ácido más comunes son las llamadas scrubbers. Scrubbers de cal seguidos por filtros manga son considerados la mejor tecnología de control de gas ácido. Un lodo de cal que reacciona con los gases ácidos es atomizado en el scrubber. El agua del lodo evapora enfriando el gas. El particulado y los productos de la reacción anterior son retenidos por un filtro manga. Este tipo de sistema es usado para controlar las emisiones de dióxido de azufre (SO₂), ácido clorhídrico (HCl), partículas, metales y dioxinas y furanos.

Otros sistema de control de gas ácido es el de inyección de absorbente seco (IAS) seguido por enfriamiento del gas y precipitador electrostático.

Existen dos diferentes métodos de IAS. Uno involucra la inyección de álcali seco como cal hidratada en el gas de combustión después de la cámara de combustión. El otro método inyecta el absorbente directamente en la cámara de combustión.

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

Además de estos métodos citados, la separación de materiales antes de la combustión también puede reducir las emisiones, en especial las emisiones de metales. Los materiales que pueden contribuir con emisiones perjudiciales son:

- Piezas soldadas con plomo, como recipientes de hojalata;

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

5. Residuos secundarios.-

La planta genera cierta cantidad de residuos secundarios: Escorias, como consecuencia de los impropios presentes en los residuos (Esencialmente material no combustible, metales y vidrios).

Cenizas, procedente de la depuración de los gases.

Las cenizas procedentes del filtro de mangas se transportan hacia una ensacadora donde se cierran para ser conducidas a vertedero.

En el siguiente cuadro N° 4.3, se presentan algunos ejemplos de equipos o procesos, según la etapa de la incineración.

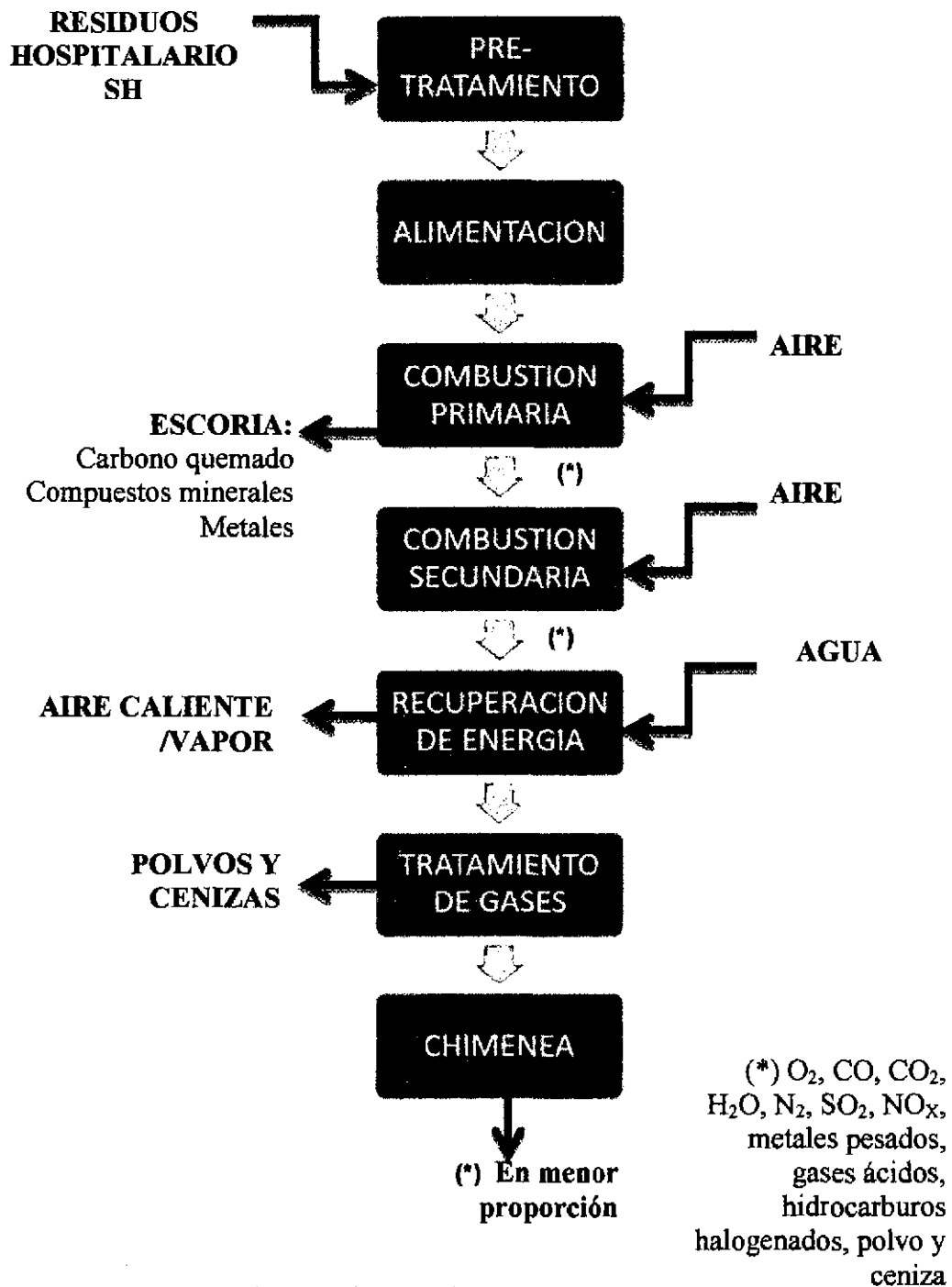
**CUADRO N° 4.3.
ETAPAS DEL PROCESO DE LA INCINERACION**

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

Fuente: Iván Narváez, 1998

DIAGRAMA N° 4.1.

DIAGRAMA DE PROCESO DE INCINERACION DE RH



Fuente: Elaboración propia

4.7. Cinética de las reacciones gas- sólido no catalítico.-

A pesar de las dificultades que todos conocen que uno encuentra cuando se trata de una reacción gas-sólido heterogéneo no catalítica (debido a la existencia de dispersión), se propone un modelo unidimensional y unidireccional para el diseño del reactor rotatorio de lecho móvil para la incineración de residuos sólidos hospitalarios. Para examinar el diseño del reactor requiere que: el modelo de la cinética de las reacciones gas-sólido no catalíticas sea el modelo del núcleo sin reaccionar y se propone por las características del material con la etapa controlante sea la reacción química.

El tipo para el proceso heterogéneo no catalítica gas-sólido es de reducción y oxidación de acuerdo a la siguiente reacción: $A(g) + bB(s) \rightarrow R(s) + S(g)$.

Su ecuación de la velocidad total de la reacción gas-sólido el siguiente:

$$-\frac{1}{\text{Sext}} \frac{dn_A}{dt} = \left(\frac{\frac{b}{1 + \frac{R(R-r_C)}{K_g} + \frac{R^2}{r_C^2 K_s}}}{DA^e} \right) C_{Ag} \quad (4.1)$$

Siendo su ecuación general Integrada:

$$\frac{R_0}{3K_g} \left[1 - \left(\frac{r_C}{R} \right)^3 \right] + \frac{R^2}{6DA^e} \left[1 - 3 \left(\frac{r_C}{R} \right)^2 + 2 \left(\frac{r_C}{R_0} \right)^3 \right] + \left[\frac{R}{K_s} \left(1 - \frac{r_C}{R} \right) \right] = \frac{bC_{Ag}}{C_{B_0}} t \quad (4.2)$$

Considerando que la etapa controlante es la reacción en la superficie del núcleo sin reacción.

De la ecuación (2), tenemos:

$$t = \frac{C_{B_0} \cdot R_0}{b \cdot K_s \cdot C_{Ag}} \left(1 - \frac{r_C}{R_0} \right) \quad (4.3)$$

Para la reacción en un instante de tiempo t (tiempo de reacción)

$$t = \frac{C_{B_0} \cdot R_0}{bK_s \cdot CA_g} \left[1 - (1 - X_B)^{1/3} \right] \quad (4.4)$$

Para una reacción completa cuando, $r_c \cong 0$ (T : tiempo de reacción completa)

$$\tau = \frac{C_{B_0} \cdot R_0}{b \cdot K_s \cdot CA_g} \quad (4.5)$$

Sabemos que:

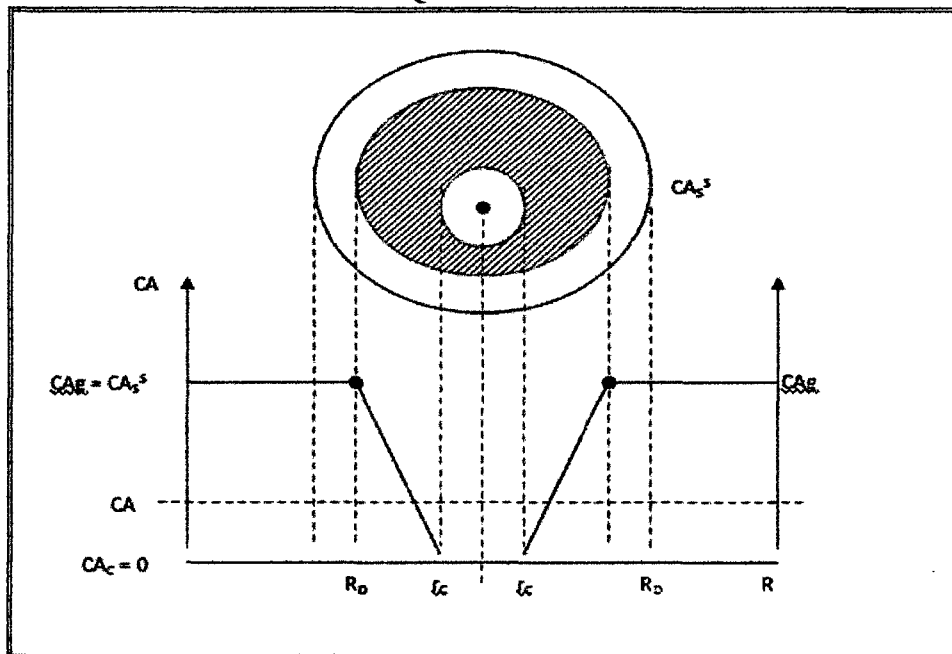
$$1 - X_B = \frac{\text{Volúmen del núcleo sin reacción}}{\text{Volúmen total de la partícula}}$$

$$X_B = 1 - \left(\frac{r_c}{R_0} \right)^3 \quad (4.6)$$

El tiempo fraccional para este caso es: $\frac{t}{\tau}$

$$\frac{t}{\tau} = 1 - \left(\frac{r_c}{R} \right)^3 = X_B \quad (4.7)$$

FIGURA N° 4.4.
PERFIL DE CONCENTRACIÓN: ETAPA CONTROLANTE REACCIÓN QUÍMICA.



Fuente:[13]

4.8. Reactores para reacciones gas – sólido no catalítico.-

Los problemas de diseño de reactores para reacciones no catalíticas fluido-sólido, son similares a los considerados para reactores heterogéneos catalíticos. La característica especial del caso no catalítico es que la velocidad de reacción es una función del tiempo. Si las partículas tienen un flujo continuo, el reactor puede operar en estado estable. De esta manera, un modelo apropiado para el reactor total, puede tomar en cuenta la naturaleza del flujo de las fases sólida y fluida. Si las partículas permanecen en el reactor, tal como sucede en un lecho fluidificado por lotes o en un lecho fijo con un flujo continuo de fluido, la operación de estado estable resulta imposible. La velocidad total varía con el tiempo de reacción y con la posición en el reactor. Un ejemplo de este tipo de proceso es la regeneración de catalizadores desactivados en un reactor de lecho fijo.

Los modelos usados para representar el flujo continuo de partículas y fluido pueden ser de varias formas. Para las reacciones que forman un producto sólido, se pueden usar reactores de “línea de transferencia”. Para un tratamiento aproximado de este tipo, se supone que tanto las partículas como el fluido se desplazan por el reactor con flujo tapón. En los modelos más exactos, se pueden tomar en cuenta las desviaciones de flujo tapón en el fluido, usando un término de dispersión en la ecuación de conservación de la masa. Las desviaciones del flujo tapón para las partículas pueden tratarse en términos de la función de distribución de tiempos de residencia. Esta distribución es muy probable cuando las partículas de la alimentación no tienen todo el mismo tamaño. El concepto de tiempos de residencia es muy útil para reactores fluido-sólido no catalíticos, pues el flujo está completamente segregado. Es decir, las partículas sólidas no forman coalescencias. La conversión del reactante sólido puede evaluarse con el método de consumo del reactante sólido.

Para usar este método, es necesario determinar la distribución de los tiempos de residencia en las condiciones reales de operación. Además, también se tiene que establecer la relación de la conversión en función del tiempo para

una sola partícula. Estas relaciones pueden calcularse a base de la velocidad global.

En algunas aplicaciones hay un gran exceso de reactante en el fluido, o bien el fluido está bien mezclado, en cuyos casos, la concentración del reactante fluido es la misma en todo el reactor. Entonces, no es pertinente usar un modelo para el flujo de la fase fluida. Todo lo que se necesita es obtener la conversión promedio del reactante sólido, es la relación tiempo-conversión y la distribución del tiempo de residencia de las partículas.

Clasificación de reactores heterogéneos no catalíticos gas-sólido.-

De acuerdo al movimiento de la partícula y el fluido, tenemos:

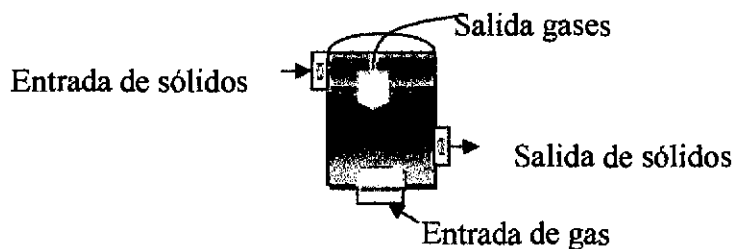
a) Reactores de lecho fijo.-

Donde la partícula reaccionante es fija y el fluido que contiene el correactante puede ser de flujo cruzado o flujo paralelo o flujo en contracorriente.

b) Reactores de lecho móvil.-

Son reactores tubulares donde la partícula reaccionante y el fluido correactante se mueven y fluyen continuamente en flujo paralelo o en flujo en contracorriente. Aquí están considerados los llamados hornos rotatorios, alto horno, transportador de parrilla o reactor de cinta.

c) Reactores de lecho fluidizado.-



Son los reactores donde las partículas reaccionantes, es mantenido en suspensión por el fluido correactante con diferentes variaciones tales como lechos elevados, lechos arrastrados, estos reactores de acuerdo al tipo de flujo, puede ser: de flujo pistón o flujo mezclado perfecto conocidos como reactores de lecho suspendido.

CAPITULO V

MATERIALES Y METODOS.-

5.1. Materiales.-

Los materiales usados para la investigación:

- Residuos sólidos hospitalarios a incinerarse conteniendo 60% de materia combustible, humedad inferior al 30% y 10% de escoria.
- Paper referenciales sobre diseño de equipos.

5.2. Métodos. Fundamento de diseño.-

Diseñar el reactor de lecho móvil heterogéneo no catalítico, consiste en determinar la capacidad del sistema para transformar el reactante en producto mediante las condiciones de operación establecidas, es decir, con el tamaño determinado debe lograr la eficiencia deseada para una reacción heterogénea no catalítico gas-sólido.

El reactor rotatorio gas- sólido para la incineración de residuos sólidos peligroso hospitalarios, son recipientes tubulares horizontales donde la partícula reaccionante y el fluido correactante se mueven y fluyen continuamente en flujo paralelo o en flujo en contracorriente. En este reactor ocurre el proceso de inactivación de los microorganismos infecciosos por la descomposición química de sus moléculas, al ser sometidos los residuos hospitalarios peligrosos a intenso calor en un ambiente controlado para lograr una descomposición química de los residuos a elementos simples (carbón, hidrogeno, etc.).

Este reactor consta de un recipiente cilíndrico con un quemador de gas natural.

Las reacciones heterogéneas no catalíticas gas-sólido, pueden encontrarse en los procesos de incineración de residuos sólidos, descomposición de sólidos, en procesos de gasificación, procesos metalúrgicos.

El tipo más general de las reacciones heterogéneas no catalíticas gas-sólido es:



Donde, los reactantes A, B y R, S pueden estar en fase gas, sólido.

Según los trabajos publicados hay dos modelos:

1. **Modelo de la conversión progresiva:** donde el gas penetra y reacciona simultáneamente en la partícula, donde el tamaño de partícula no varía.
2. **Modelo del núcleo sin reaccionar:** donde el tamaño de partícula es variable.

Para diseñar reactores de lecho móvil, el modelo se desarrolla sobre la base de la hipótesis que se plantea sobre el cálculo y estos son:

Caso I. Tipo de flujo: Mezcla perfecta de sólidos y composición uniforme del gas.

Partícula reaccionante: tamaño variable, pero en la alimentación con tamaño único y sin arrastre de partículas. Asimismo que la conversión del sólido

\bar{X}_B : depende del tiempo de residencia o de reacción y además depende de la cinética de la reacción gas-sólido, por lo que:

$$\left(\text{Valor promedio de la fracción de B no convertida} \right) = \sum \left[\begin{array}{l} \text{fracción de B no convertida para} \\ \text{partículas que permanecen en el} \\ \text{reactor un tiempo entre } t \text{ a } t + dt \end{array} \right] \left[\begin{array}{l} \text{fracción de la corriente de salida que ha permanecido} \\ \text{en el reactor entre tiempo } t + dt \end{array} \right] \quad (5.1)$$

$$[1 - \bar{X}_B] = \int_0^{\infty} (1 - X_B) E(t) dt \quad (5.2)$$

Si la partícula reaccionante permanece en el reactor un tiempo mayor que el requerido para la conversión completa, entonces X_B calculado es mayor que 1, el cual no tiene sentido físico, por lo tanto tampoco contribuye a la fracción no convertida.

De acuerdo a esta hipótesis, el tiempo de residencia para la reacción completa del reactante B es igual a τ , y reemplazando en la ecuación (5.2), tenemos:

$$[1 - X_B] = \int_0^\tau (1 - X_B) E(t) dt \quad (5.3)$$

Donde:

$E(t)$ = es la función de distribución de tiempos de residencia de los sólidos en el reactor.

τ = tiempo para la reacción completa de B

$$E(t) = \frac{1}{\bar{t}} e^{-t/\bar{t}} \quad (5.4)$$

\bar{t} = tiempo promedio de residencia para los sólidos.

Reemplazando la ecuación (5.4) en (5.3)

$$(1 - X_B) = \int_0^\tau (1 - X_B) e^{-t/\bar{t}} dt \quad (5.5)$$

Esta ecuación debe ser integrada para cada etapa controlante del proceso:

1. Si la etapa controlante es la difusión de A en la película del gas:

$$(1 - X_B) = 1 - \frac{t}{\tau} \quad (5.6)$$

Reemplazando la ecuación (5.6) en (5.5):

$$(1 - X_B) = \int_0^\tau \left(1 - \frac{t}{\tau}\right) \frac{e^{-t/\bar{t}}}{\bar{t}} dt \quad (5.7)$$

La integración:

$$(1 - X_B) = \frac{1}{2} \frac{\tau}{\bar{t}} - \frac{1}{3!} \left(\frac{\tau}{\bar{t}}\right)^2 + \frac{1}{4!} \left(\frac{\tau}{\bar{t}}\right)^3 + \dots \quad (5.8)$$

2. Cuando la etapa controlante es la difusión en la capa de la ceniza o producto.

$$\frac{t}{\tau} = 1 - 3(1 - X_B)^{2/3} + 2(1 - X_B) \quad (5.9)$$

La integración:

$$(1 - X_B) = \frac{1}{5} \frac{\tau}{\bar{t}} - \frac{19}{420} \left(\frac{\tau}{\bar{t}}\right)^2 + \frac{41}{4620} \left(\frac{\tau}{\bar{t}}\right)^3 - 0.00149 \left(\frac{\tau}{\bar{t}}\right)^4 + \dots \quad (5.10)$$

Si $\frac{\tau}{\bar{t}} < 1 \Rightarrow$ término superior a $\left(\frac{\tau}{\bar{t}}\right)^3$ pueden apreciarse.

Si $\frac{\tau}{\bar{t}} < 0.5 \Rightarrow$ siguiente tomar el primer término.

3. Etapa controlante: Reacción química.

$$(1 - X_B) = \int_0^{\tau} \left(1 - \frac{t}{\tau}\right)^3 \frac{e^{-t/\bar{t}}}{\bar{t}} dt \quad (5.11)$$

Integrando:

$$(1 - X_B) = \frac{1}{4} \frac{\tau}{\bar{t}} - \frac{1}{20} \left(\frac{\tau}{\bar{t}}\right)^2 + \frac{1}{120} \left(\frac{\tau}{\bar{t}}\right)^3 - \frac{1}{840} \left(\frac{\tau}{\bar{t}}\right)^4 + \dots \quad (5.12)$$

CASO II. Tipo de fluido: Uniforme y conocido.

Partícula: Tamaño no uniforme, es decir las partículas en la alimentación son de diferentes tamaños.

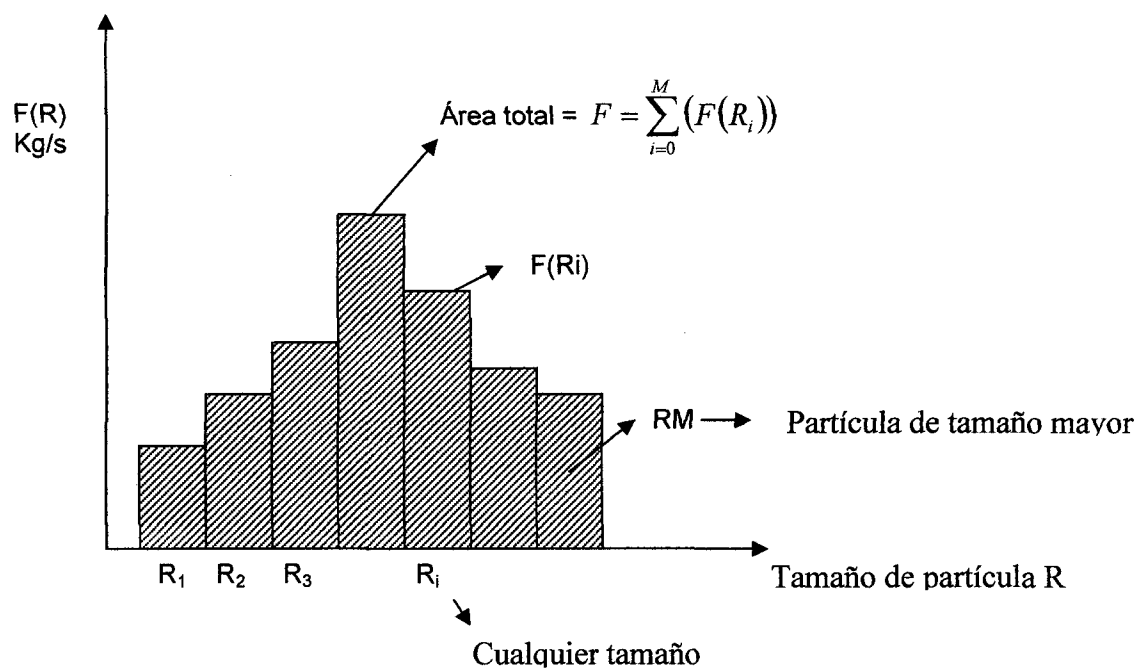
Según, la distribución discreta de tamaño de partículas, tenemos:

$F(R_1)$ = Kg/s alimentación de partículas de tamaño 1 (R_1)

$F(R_2)$ = Kg/s alimentación de partículas de tamaño 2 (R_2)

$F(R_3)$ = Kg/s alimentación de partículas de tamaño 3 (R_3)

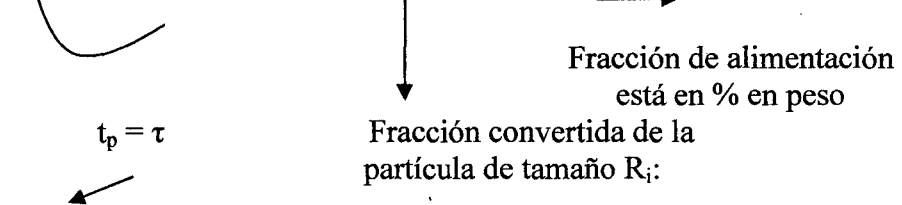
$F(R_i)$ = Kg/s alimentación de partículas de tamaño i (R_i)



Se analiza en forma análoga al caso anterior, y usando el criterio de distribución discreta de tamaños de partículas se llega a obtener la siguiente:

Conversión promediada para partículas de tamaño R

$$(1 - \bar{X}_B) = \sum_R^{R_M} [1 - X_B(R_i)] \frac{F(R_i)}{F} \quad (5.13)$$



Significa que todas las partículas menores que R_i están completamente convertidos; es decir que la proximidad no reaccionado es 0 ($1 - X_B = 0$)

Entonces para tamaños pequeños: $\tau < t_p$ puede ocurrir generalmente para flujo pistón.

Esta ecuación (5.13) se debe utilizar en ecuación de la cinética de la reacción química según la etapa controlante.

Con esta fundamentación, ahora planteamos para el diseño del reactor de lecho móvil para la incineración de residuos de sólidos hospitalarios.

a) Tipo de flujo: Flujo pistón unidireccional y unidimensional

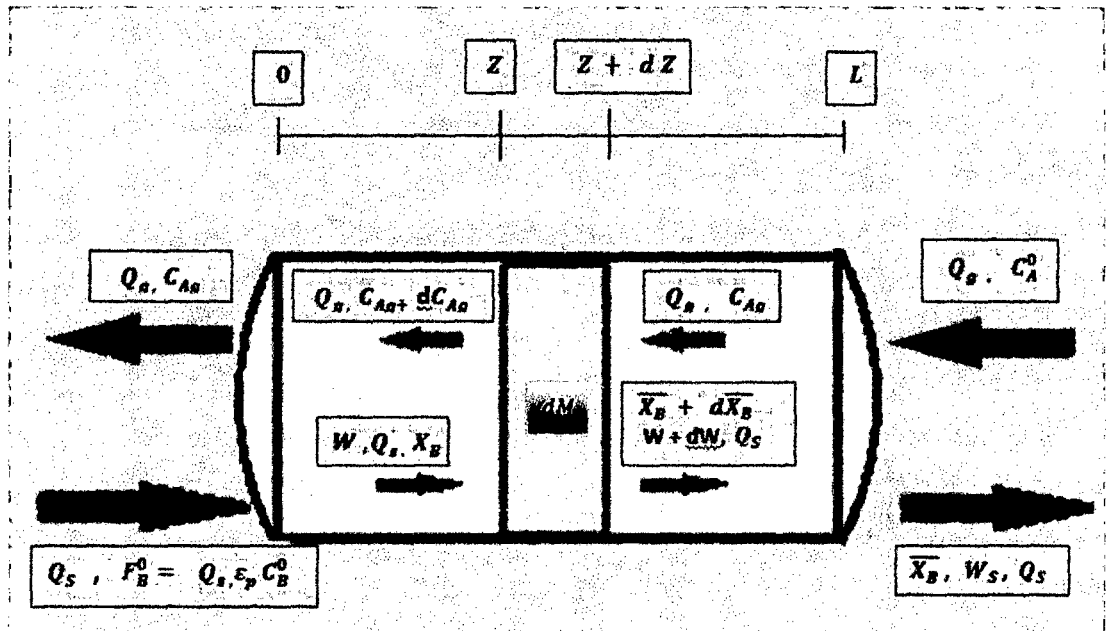
b) Cinética de las reacciones del proceso: Cinética heterogénea no catalítica del núcleo sin reaccionar cuando la etapa controlante es la reacción química.

Por lo que definimos al flujo pistón como el paquete de la línea de corriente cuya distribución no varía en el sentido radial, haciéndole sólo axialmente.

En este caso las ecuaciones de balance de masa y energía son las usadas en el diseño de reactores de lecho móvil no catalítico

FIGURA N° 5.1

BALANCE DE MATERIA EN EL REACTOR GAS-SOLIDO



Fuente: Elaboración propia

Se puede establecer la ecuación de balance en el elemento de dz , dm .

Moles de B consumidos (sólido) = moles de A reaccionados (gas)

Donde el signo + es para flujo en contra corriente y el signo - para flujo paralelo

F_o : Flujo molar del sólido que ingresa al reactor

La ecuación (5.11) se puede integrar, con la condición que es constante y con la condición de contorno: en contracorriente.

$$dt = \frac{1}{3} \tau [1 - X_B]^{-2/3} dX_B \quad (5.14)$$

Sabemos que:

$$\bar{t} = \frac{W}{F_B^0} \quad (5.15)$$

$$dt = \frac{A_{ST} dZ}{Q_s} \quad (5.16)$$

Por lo tanto se puede escribir la ecuación entre X_B y Z de la siguiente forma:

$$\int_0^{X_B} \frac{(1-X_B)^{2/3}}{C_{Ags} + \frac{a F_B^0 X_B}{b Q_s}} dX_B = \int_0^Z \frac{3bk_s}{a R C_B^0 Q_s} A_{ST} dZ \quad (5.17)$$

Con condiciones límites: $X_B = 0$, $Z = 0$

$$X_B = X_B, \quad Z = L$$

Y ordenando se obtiene el modelo para determinar el volumen del reactor ideal (volumen de la mezcla reaccionante).

$$V_{MR} = \frac{a R \dot{C}_B Q_s}{2 b k_s \epsilon_p} \left[(1-X_B)^{1/3} - 1 \right] \left[\frac{-2}{C_{Ags} + \frac{a F_B^0}{b Q_g}} + \frac{2 \left(\frac{a F_B^0}{b Q_g} \right)^2}{C_{Ags} + \frac{a F_B^0}{b Q_g}} + \frac{a F_B^0}{b Q_g} \right] \quad (5.18)$$

Para determinar el diámetro se usa la ecuación propuesta por Chodorow:

$$Q_s = \frac{D L \left[45 + k \left(\frac{D}{L} - 0,02 \right) \right]}{1000 \left[1 + \frac{(W - 40 \times 1,6)}{100} \right]} \quad (5.19)$$



Donde:

Q_s = Caudal del solido en el reactor en TM/h.

D: Diámetro libre medio del reactor, en m

L : Longitud del reactor en m

W: Humedad en el residuo sólido en %

K : coeficiente característico para reactores para vía húmeda para longitud media es igual a 350.

El caudal térmico en l reactor rotatorio se puede calcular con la ecuación de Chodorow:

$$Q_T = 1,1 \times 10^6 \times D^3, \text{ en kcal/h} \quad (5.20)$$

En forma análoga:

$$\left(\sum_j F_j C_{p_j} \right) \frac{dT}{dW} - r_j \frac{\Delta H}{v_j} = \frac{Q_v}{\rho_B} \quad (5.21)$$

Siendo:

$$Q_v \frac{4U}{D} (T - t) \quad (5.22)$$

La ecuación se transformó:

$$\left(\sum_j F_j C_{p_j} \right) \frac{dT}{dW} - r_j \frac{\Delta H}{v_j} = \frac{4U}{D} \frac{(T - t)}{\rho_B} \quad (5.23)$$

La pérdida de presión en los reactores de lecho móvil según la ecuación de Ergun

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{150(1-\epsilon)^2}{g_c \epsilon^3} \frac{\mu V}{dp^2} + \frac{1,75(1-\epsilon)}{g_c \epsilon^3} \frac{G_v}{dp} \quad (5.24)$$

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{G}{g_c \rho dp \epsilon^3} \left[\frac{150(1-\epsilon)\mu}{dp} + 1,75G \right] \quad (5.25)$$

5.2. Procedimiento de diseño del reactor de incineración primario o de combustión (cámara inferior).-

5.2.1. Bases de diseño.

a) Alimentación: 160 kg/h de residuo sólido hospitalario

b) Escala de producción: nivel industrial

c) Tipo de Proceso: incineración, combustión (primaria), oxidación química y descomposición térmica.

d) Tipo de reactor: Reactor de lecho móvil no catalítico Gas – Sólido

e) Condiciones de operación:

- Temperatura: 800°C
- Presión : 1 atm
- Conversión: 99,99%

f) Composición de los residuos sólidos:

- Material superior a combustible: 60%
- Humedad: 30 %
- Sólidos inertes residuales: 10 %

g) Propiedades del Fluido sólido:

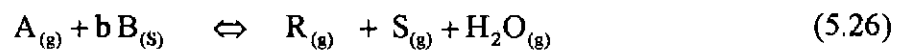
- Densidad aparente: Suele ser de 400- 700 Kg/m³
- Concentración del sólido, $C_{B0} = 0,923 \text{ kmol/ m}^3$
- Flujo molar, $F_{B0} = 2,11 \times 10^{-3} \text{ kmol/ min}$
- Granulometría y Porosidad: El tamaño de las partículas tiene que ser mayor 25mm sobre el 90% del producto (imperativo legislativo)
- Olor: Está relacionado con otros parámetro.
- Color: El color tiene que ser entre color marrón oscuro, casi negro, depende del material original.

h) Propiedades del Fluido gaseoso:

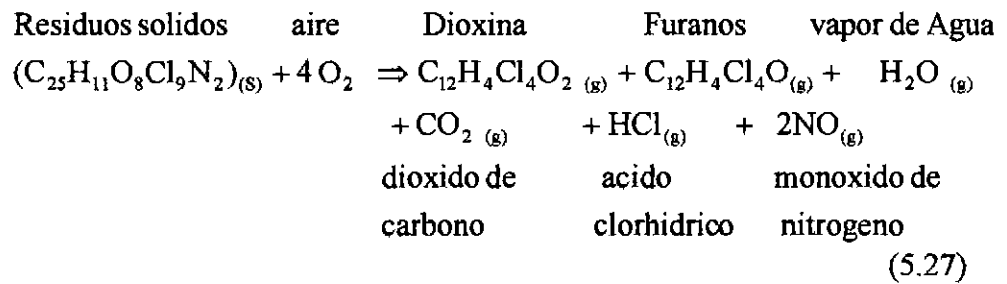
- Densidad del aire: 0,329 Kg/m³
- Caudal del aire, $Q_g = 11,4 \text{ m}^3/\text{min}$
- Concentración del gas, $C_{Ag} = 2,383 \times 10^{-3} \text{ kmol/ m}^3$

i) Cinética de las Reacciones Químicas:

- Reacción Química:

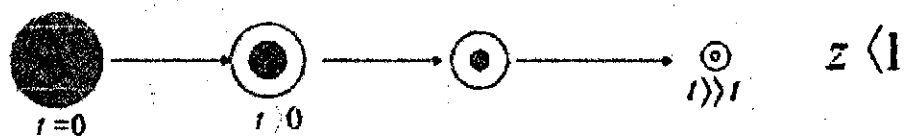
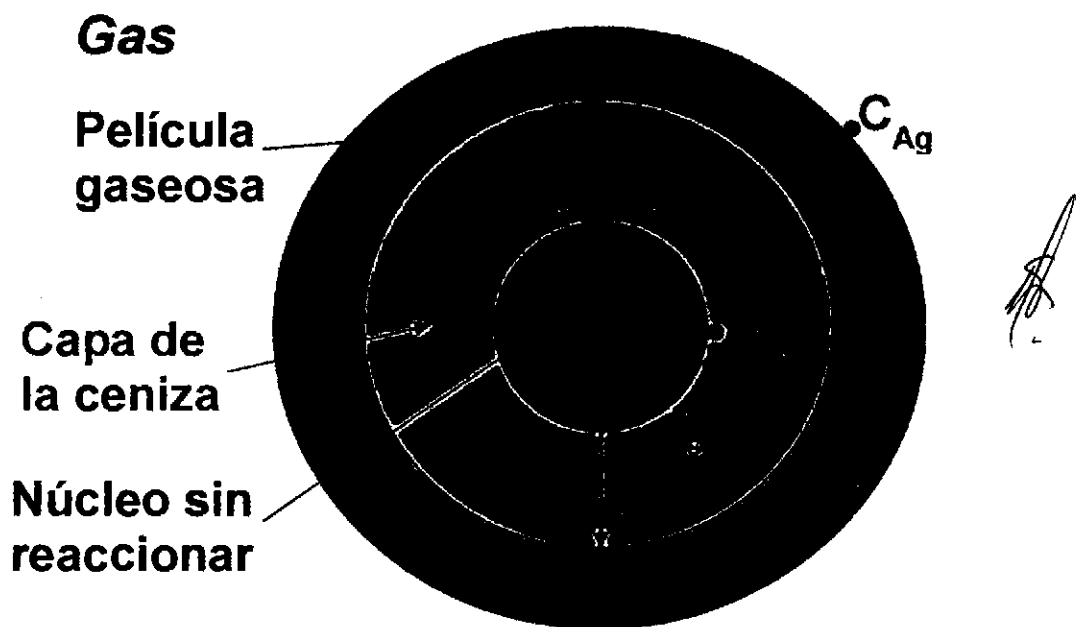


- Mecanismo de la Reacción Química:



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

FIGURA N° 5.1.
ETAPAS DE LA REACCIÓN GAS-SOLIDO



Fuente:[13]

- **Etapla controlante:** Reacción química en la superficie del núcleo sin reaccionar [13].

Su ecuación de velocidad de reacción es:

$$-\frac{1}{S_{\text{ext}}} \frac{dn_A}{dt} = \frac{r_c^2}{R^2} b k_s C_{Ac} \quad (5.28)$$

Su ecuación integrada es:

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

$$t = \frac{C_{Bo}}{bC_{Ag}k_s} (R - r_c) \quad (5.29)$$

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

$$t = \frac{C_{Bo}R_o}{bC_{Ag}k_s} \left[1 - (1 - X_B)^{1/3} \right] \quad (5.30)$$

Tiempo para una reacción completa:

$$\tau_{\text{Rxn.Q.}} = \frac{C_{Bo}R_o}{bC_{Ag}k_s} \quad (5.31)$$

Para tiempo adimensional:

$$\frac{t}{\tau} = 1 - (1 - X_B)^{1/3} \quad (5.32)$$

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

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

Flujo másico del sólido:

$$W = Q_s \varepsilon_p [\rho_c + (1 - X_B)(\rho_s - \rho_c)] \quad (5.33)$$

Balance de materia:

$$\dot{F}_B dX_B = \pm \frac{b}{a} Q_s dC_{Ag} \quad (5.32)$$

$$\dot{F}_B = Q_s \epsilon_p \dot{C}_B \quad (5.33)$$

Integrando la ecuación (5.32) para la etapa limitante: Reacción química en la superficie del núcleo sin reaccionar, tenemos el volumen de la mezcla reaccionante (V_{MR}):

$$V_{MR} = \frac{a R \dot{C}_B Q_s}{2 b k_s \epsilon_p} \left[1 - (1 - X_B)^{1/3} \right] \left[\frac{-2}{C_{Ags} + \frac{a \dot{F}_B}{b Q_g}} + \frac{2 \left(\frac{a \dot{F}_B}{b Q_g} \right)^2}{C_{Ags} + \frac{a \dot{F}_B}{b Q_g}} + \frac{a \dot{F}_B}{b Q_g} \right] \quad (5.34)$$

La constante de velocidad de reacción (k_s), se ha calculado usando la ecuación (5.30), y reemplazando los datos tenemos:

$$k_s = \frac{C_{Bo} R_o}{b C_{Ag} t} \left[1 - (1 - X_B)^{1/3} \right] \quad (5.35)$$

Reemplazando valores:

$$k_s = \frac{0,923 \text{ kmol/m}^3 \times 0,0125 \text{ m}}{2,38 \times 10^{-3} \text{ kmol/m}^3 \times 60 \text{ min}} \left[1 - (1 - 0,90)^{1/3} \right]$$

$$k_s = 0,00432 \text{ m/min}$$

Termodinámica de la reacción:

$$\Delta G_{R \times NT} = - R_g T \ln K \quad (5.36)$$

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

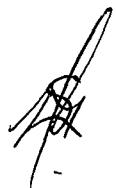
$$\Delta S (T^\circ\text{C}) = - 5578,27 \text{ J/mol}$$

$$\Delta G = - 5578,27 \text{ kJ/mol ,}$$

Con la ecuación (5.36) se ha obtenido que la constante del equilibrio es

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

$K_{eq} = \infty$ (Grande), por lo tanto la incineración es una reacción irreversible



5.2.2. Calculo de Capacidad:

La ecuación de Diseño es: $V_R = 1,3 V_{MR}$ (5.37)

$$V_R = \frac{\pi}{4} D_i^2 * L \quad (5.38)$$

$$L = 12,7 D_i^{1,2} \quad (5.39)$$

$$D_i = \left(\frac{4xV_R}{\pi x 12,7} \right)^{0,3125} \quad (5.40)$$

Con la ecuación (5.34) calculamos el volumen de la mezcla reaccionante en el reactor incinerador (Ver apéndice N° 9.4)

$$V_{MR} = 2,11 \text{ m}^3$$

$$V_R = 2,11 \text{ m}^3 \times 1,2 = 2,53 \text{ m}^3$$

En la ecuación (5.40):

$$D_i = \left(\frac{4x 2,53 \text{ m}^3}{\pi x 12,7} \right)^{0,3125}$$

$$D_i = 0,65 \text{ m}$$

En la ecuación (5.39):

$$L = 12,7 (0,65)^{1,2}$$

$$L_{\text{Reactor}} = 7,6 \text{ m}$$



5.2.3. Diseño de Detalles o dimensionamiento.-

Diseño del recipiente a presión [18]:

Cálculo de espesor del recipiente cilíndrico

$$t = \frac{P \times R}{SE - 0,6 P} + C \quad (5.41)$$

t = espesor

P = presión de diseño

D = diámetro, in

S = esfuerzo permisible a la tensión acero inoxidable 316 = 17 000 lb/in²

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

Presión de operación = 14,7 lb/ plg²

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

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

$$t = \frac{29,7 \text{ lbf/pulg}^2 \times 12,82 \text{ pulg}}{17000 \text{ lbf/pulg}^2 \times 1,0 - 0,6 \times 29,7 \text{ lbf/pulg}^2} + 1/8 = 0,1474 \text{ pulg} \cong 3/16 \text{ pulg}$$

Espesor del ladrillo refractario dentro de la cámara (ver apendice N° 9.4):

Calculo de la carga térmica dentro del reactor

$$Q_{T \text{ gas caliente}} = Q_{T \text{ efluente}} + Q_{T \text{ aire caliente}} \quad (5.42)$$

$$Q_{T \text{ aire caliente}} = m_{\text{aire}} \times C_{p \text{ aire}} (T_s - T_e) \quad (5.43)$$

$$Q_{T \text{ gas caliente}} = 761 \ 932,8 \text{ Kcal/h}$$

Asumiendo el 6% de pérdida respecto a un secador adiabático del calor introducido es: Q = 45716 Kcal/hr

Ecuación para hallar el espesor:

$$Q_p = \frac{k_f \times A \times \Delta T}{x(\text{espesor del recipiente})} \quad (5.44)$$

Donde:

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

A = Área lateral del cilindro (cámara) = $\pi DL = 15,54 \text{ m}^2$

ΔT = Caída de temperatura = 10 °C

X = Espesor de la cámara

Despejado la ecuación anterior:

$$x = \frac{k_f \times A \times \Delta T}{Q_p} \quad (5.45)$$

Reemplazando datos en la ecuación 5.45 se tiene:

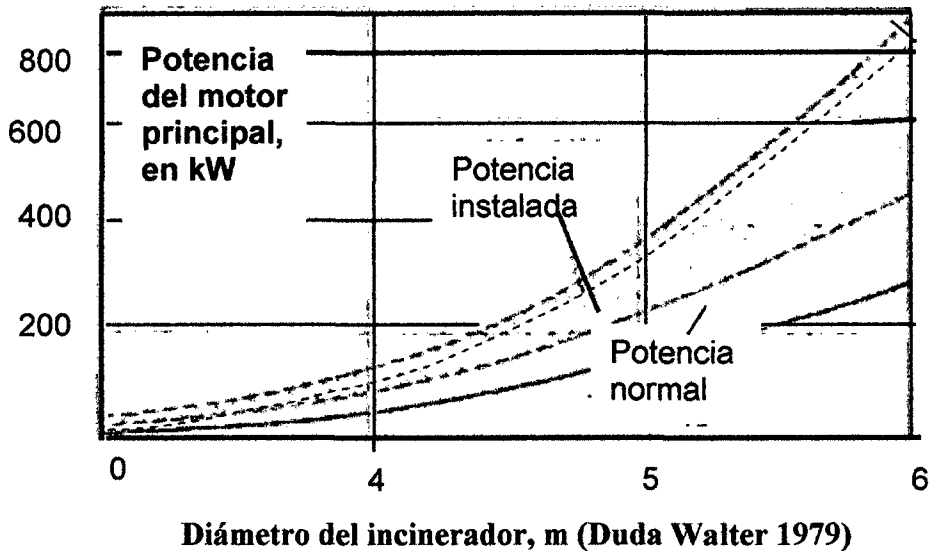
X = 4,8 cm \approx 2 pulgadas



Diseño del motor principal para accionar al reactor incinerador.

Para su determinación de la potencia de accionamiento del reactor incinerador de lecho móvil sea usado la figura N° 5.2, obteniéndose que la potencia del motor para accionar al reactor incinerador es de 30 KW (40HP).

FIGURA N° 5.2
POTENCIA DE ACCIONAMIENTO APROXIMADA PARA LOS
INCINERADORES ROTATORIOS PROVISTOS DE PRE
CALENTADOR DE CICLONES



5.2.4. Especificaciones técnicas.-

- Estructura Exterior: Lamina de Acero ASTM
- Aislante: 1" de Vermiculite.
- Refractario. 2" Ladrillo refractario.
- Puerta de cargue: 24" x 24" apertura horizontal, sello de cordón de asbesto.
- Puerta de remoción de Cenizas: 16" x 16" de apertura horizontal, sello de cordón de asbesto.
- Quemadores: Dos (2) para gas de 300 000 Btu/Hr. Por medio de arco eléctrico de transformador de ignición 120v/6000voltios.
- Control de llama: Electrónico por detección de foto celda.
- Control de temperatura: un control HONEYWELL, rango 0 - 1200°C tipo K.



- Ventiladores: Un ventilador de 3HP para los quemadores y uno de 1,5 HP para oxigenación de la cámara con válvula de accionamiento manual.
- Combustible: Gas.
- Temperatura de operación: 600-850°C.
- Voltaje de operación: 120-220 voltios (trifilar)

5. 2.5. Datos de construcción.-

Los datos de construcción para el reactor de lecho móvil no catalítico para la incineración de residuos sólidos hospitalarios se encuentra en la tabla de resultados N° 6.1.

5.3. Procedimiento de diseño del incinerador secundario o de post combustión (cámara superior).-

Procedimiento de diseño [13,14].-

5.3.1. Bases de diseño.

a) Alimentación: 144 kg/h de gas (furanos, dioxinas, vapor de agua)

$$\text{Caudal del gas} = 59,2 \text{ m}^3/\text{min}$$

b) Escala de producción: nivel industrial

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

d) Condiciones de operación:

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

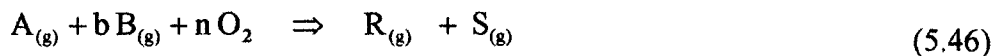
- Conversión: 99,99%

e) Propiedades del Fluido gaseoso:

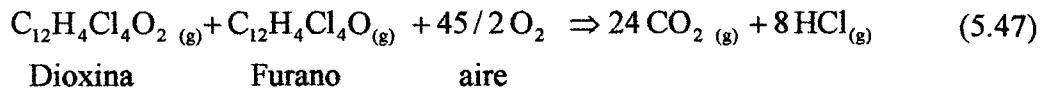
- Densidad del gas: 3,01 kg/m³
- Peso molecular del gas: 314 kg/ kmol
- Viscosidad del gas: 5,11x 10⁻⁵ kg/m.s.
- Composición del dioxina: 50%

f) Cinética de las Reacciones Químicas:

- Reacción Química:



- Mecanismo de la Reacción Química:



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

$$-\frac{1}{V_{\text{mezcl reaccionante}}} \frac{dn_A}{dt} = k_v C_A C_B C_C \quad (5.48)$$

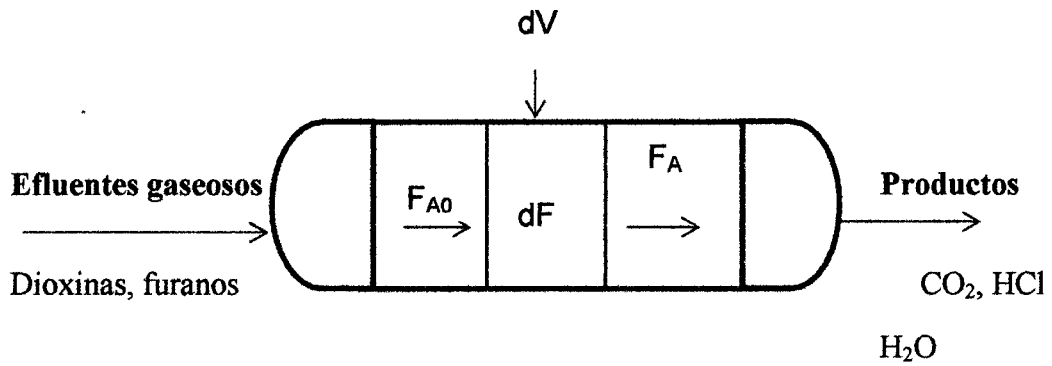
El tiempo de espacial de la reacción en la cámara superior es de 2 segundos (0,033 min)[17].

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

Modelo de Diseño:

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

Balance de materia en el reactor tubular.



Por balance de Materia:

$$\left[\begin{array}{l} \text{El flujo de entrada} \\ \text{del reactante al sistema} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{l} \text{Velocidad de flujo} \\ \text{del reactante en} \\ \text{elemento volumen} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{l} \text{Velocidad de} \\ \text{desaparición} \\ \text{por Rxn} \\ \text{Química} \end{array} \right] \quad (5.49)$$

$$F_A = F_A + dF_A + (-r_A) dV \quad (5.50)$$

$$-\frac{dF_A}{dV} = (-r_A) \quad (5.51)$$

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

$$F_A = F_{A0} - F_{A0}x_A \quad (5.52)$$

$$F_A = F_{A0} (1 - x_A) \quad (5.53)$$

$$dF_A = -F_{A0}dx_A \quad (5.54)$$

F_{A0} = Flujo de alimentación inicial

$$\frac{F_{A0} dx_A}{dV} = (-r_A) \quad (5.55)$$

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

$$\int_0^V \frac{dV}{F_{A0}} = \int_0^{x_A} \frac{dx_A}{(-r_A)} \quad (5.56)$$

$$\tau = \frac{V}{Q_{A0}} = C_{A0} \int_0^{x_A} \frac{dx_A}{(-r_A)} \quad (5.57)$$

τ = tiempo espacial del reactor tubular de flujo pistón

2. Calculo de Capacidad:

La ecuación de Diseño es:

$$V_R = 1,2 V_{\text{mezcla reaccionante}} \quad (5.58)$$

$$V_{\text{mezcla reaccionante}} = \tau Q_{\text{gas}} \quad (5.59)$$

$$V_R = \frac{\pi}{4} D_i^2 * L \quad (5.60)$$

Caudal del gas que ingresa al reactor (los cálculos ver apéndice 9.6) :

$$Q_{\text{gas}} = Q_{\text{gas efluente}} + Q_{\text{vapor agua}} + Q_{\text{aire}} \quad (5.61)$$

Reemplazando valores en la ecuación 5.61, se tiene:

$$Q_{\text{gas}} = 59,2 \text{ m}^3/\text{min}$$

En la ecuación (5.59)

$$V_{\text{mezcla reaccionante}} = 59,2 \text{ m}^3/\text{min} \times 0,0333 \text{ min.} = 1,97 \text{ m}^3$$

$$V_R = 1,97 \text{ m}^3 \times 1,2 = 2,4 \text{ m}^3$$

$$V_R = 2,4 \text{ m}^3$$

La caída de presión en reactores tubulares según Ergun es:

$$\frac{\Delta p}{\rho_f} = \frac{2 f^* \Delta l \langle v^2 \rangle}{g_c D} \quad (5.62)$$

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

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

Velocidad inicial: $V_0 = 4 Q_{gas} / \pi D^2 = 1,97 \text{ m}^3 / D^2$

Sabemos que: $V = V_0 (1 + \epsilon_A X_A) T / T_0 \times P_0 / P$ (5.63)

En la ecuación (5.63):

$$V = \frac{1,97}{D^2} \times \frac{1 \text{ atm}}{1073,2} (1 + 0,33 X_A) \frac{T}{P}$$

En la ecuación (5.62):

$$\Delta P = \frac{\rho_f \times 2f^* \times \Delta L \left(\frac{1,21 \times 10^{-3}}{D^2} (1 + 0,33 X_A) \frac{T}{P} \right)^2}{D} \quad (5.64)$$

En la ecuación (5.64), reemplazando valores y por utilizando el método de prueba y error, se tiene: $\Delta P = 0,095 \text{ atm}$,

$$D_{\text{Reactor}} = 0,634 \text{ m}$$

$$L_{\text{Reactor}} = 7,60 \text{ m}$$

3. Diseño de Detalles o dimensionamiento.-

Diseño del recipiente a presión:

Cálculo de espesor del recipiente cilíndrico

$$t = \frac{P \times R}{SE} + C \quad (5.65)$$

$$SE = 0,6P$$

t = espesor

P= presión de diseño

D = diámetro, in

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

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

Presión de operación = 14,7 lb/ plg²

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

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

$$t = \frac{29,7 \text{ lbf/pulg}^2 \times 12,48 \text{ pulg}}{17000 \text{ lbf/pulg}^2 \times 1,0 - 0,6 \times 29,7 \text{ lbf/pulg}^2} + 1/8 = 0,1474 \text{ pulg} \cong 3/16 \text{ pulg}$$

Espesor del aislante de la cámara superior (los cálculos ver apéndice N° 9.7)

Calculo de la carga térmica dentro del reactor

$$Q_{T \text{ gas caliente}} = Q_{T \text{ effluente}} + Q_{T \text{ aire caliente}} \quad (5.66)$$

$$Q_{T \text{ aire caliente}} = m_{\text{aire}} \times C_{p \text{ aire}} (T_s - T_e) \quad (5.67)$$

$$Q_{T \text{ gas caliente}} = 928 501,44 \text{ Kcal/h}$$

Asumiendo el 6% de pérdida respecto a un secador adiabático del calor introducido es: Q = 55710 Kcal/hr

Ecuación para hallar el espesor:

$$Q_p = \frac{k_f \times A \times \Delta T}{x(\text{espesor del recipiente})} \quad (5.68)$$

Donde:

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

$A = \text{Área lateral del cilindro (cámara)} = \pi DL = 15,13 \text{ m}^2$

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

$X = \text{Espesor de la cámara}$

Despejado la ecuación anterior:

$$x = \frac{k_f \times A \times \Delta T}{Q_p} \quad (5.69)$$

Reemplazando datos en la ecuación 5.69 se tiene:

$X = 3,8 \text{ cm} \approx 1\frac{1}{2} \text{ pulgadas}$

4. Especificaciones técnicas.-

1. Estructura: Lamina de Acero H.R.
2. Aislante: 1" de vermiculite
3. Refractario: 1 ½" ladrillo refractario
4. Quemador: Quemador para gas 2 000 000 Btu/Hr.
5. Control de llama: Electrónico por detección de fotocelda
6. Control de temperatura: Un control PARTLOW MIC 2000, rango 0-1200°C tipo "K".
7. Ventiladores: De 3 HP para el quemador y uno 819 de 1,5 HP para la oxigenación de la cámara con válvula de accionamiento manual.
8. Combustible: Gas
9. Temperatura de operación: 1000 – 1200°C



5. Datos de construcción.-

Los datos de construcción para el reactor tubular no catalítico para la postcombustión se encuentra en la tabla de resultados N° 6.2.

5.3. Población y Muestra.-

5.3.1. Población.-

El universo de investigación o línea de trabajo es el tratamiento de residuos sólidos hospitalarios que contaminan el medio ambiente .dentro de esta lines de trabajo están incluidos:

- a) Tratamientos de residuos solidos hospitalarios por esterilización por auto clave
- b) Tratamientos de residuos solidos hospitalarios por incineración en reactores de lecho fijo gas solido
- c) Tratamientos de residuos solidos hospitalarios por incineración en reactores de rotatorios de lecho móvil gas sólido
- d) Tratamientos de residuos solidos hospitalarios por medio de enterramiento controlado
- e) Tratamientos de residuos solidos hospitalarios por desinfección en micro ondas

5.3.2. Muestra.-

La muestra de investigación es el diseño del reactor rotario de lecho móvil para la incineración de residuos solidos hospitalarios

5.4.- Técnica de recolección de datos.-

- Las técnicas de procedimiento lógico que se utilizado son:
- Método de evaluación de solido hospitalario solidos contaminantes.

- Método o modelo del núcleo sin reaccionar para la reacción de incineración.
- Método descriptivo y comparativo de velocidad de proceso gas sólido.
- Método de procedimiento diseño de reactores heterogéneos de gas sólido.

5.5.-Técnica de tratamiento de datos.-

Balance de materia y elaboración de diagrama de proceso para obtener los datos de diseño de reactor ver apéndice N° 9.1, 9.2, 9.3, 9.5, 9.6, 9.7

5.6.- Técnicas de análisis estadísticos de datos

Se ha utilizado las técnicas estadísticas conceptuales por tratarse de una investigación de tipo tecnológico sustantivo, operativo y comunicativo



**CAPITULO VI
RESULTADOS.**

**TABLA DE RESULTADOS N° 6.1
DATOS DE CONSTRUCCION**

COMPONENTES DEL REACTOR INCINERADOR GAS-SOLIDO	DIMENSIONES Y UNIDADES
Caudal másico de alimentación del sólido	160 kg/h
Volumen del reactor	2,53 m ³
Diámetro del recipiente (cámara)	0,65 m
Longitud del reactor (cámara)	7,6 m
Espesor de la chapa del cilindro	3/16 pulgadas.
Espesor del ladrillo refractario	2 pulgadas
Reactor: Cilíndrico concéntricos con quemador de potencia	20 Hp.
Cantidad de aletas dentro del cilindro.	14
Velocidad de rotación de la cámara del reactor	2 RPM
Ventilador: Para los quemadores	
• Velocidad	20 m/s
• Velocidad de entrada del aire	1825 RPM
• Cabeza estática	40 m.m.c.a.
• Potencia de motor	3 hp
Potencia del ventilador para oxigenación de la cámara con válvula de accionamiento manual, potencia	1,5 HP

Fuente: elaboración propia



TABLA DE RESULTADOS N° 6.2

DATOS DE CONSTRUCCION

COMPONENTES DEL REACTOR POST-COMBUSTION	DIMENSIONES Y UNIDADES
Caudal volumétrico del gas	59,2 m ³ /min
Volumen del reactor	2,4 m ³
Diámetro del recipiente (cámara)	0,634 m
Longitud del reactor (cámara)	7,6 m
Espesor de la chapa del cilindro	3/16 pulgadas.
Espesor del ladrillo refractario	1½ pulgadas
Reactor: Cilíndrico concéntricos con quemador de potencia	20 Hp.
Ventilador: Para los quemadores	
• Velocidad	20 m/s
• Velocidad de entrada del aire	1825 RPM
• Cabeza estática	40 m.m.c.a.
• Potencia de motor	3 hp
Potencia del ventilador para oxigenación de la cámara con válvula de accionamiento manual, potencia	1,5 HP

Elaboración propia

CAPITULO VII

DISCUSION.

Para diseñar el reactor para la incineración de residuos sólidos hospitalarios se ha analizado el proceso de incineración para la obtención de los parámetros de operación del reactor, y el fundamento de diseño de reactores heterogéneo no catalítico solido- gas incluyendo la cinética de las reacciones gas- sólido para la cámara de combustión primaria o incineración y para la cámara de post-combustión.

Para la selección y especificación del diseño de los dos reactores, se tuvo en cuenta su facilidad de adquisición del material en el mercado nacional para su construcción. Esto para evitar que por difícil consecución de una pieza, el equipo entero quede inutilizado y relegado a un rincón.

La interpretación de la incineración de los residuos sólidos hospitalarios a partir de las etapas elementales que componen el proceso de transformación, considerando aspectos termodinámicos, y la cinética de las reacciones químicas heterogéneas no catalíticas solido-gas, se han evaluado los parámetros que influyen en el proceso de incineración.

El reactor de incineración diseñado presenta un atractivo mueble de construcción metálica con chapas y perfiles de acero laminado, con tratamiento especial anticorrosivo, de gran robustez, con avanzado de diseño y pintura epóxica de agradable tono, lo que confiere una larga vida.

El reactor incinerador es un cilindro de acero inoxidable con tapa bombeados hermético, que presenta una conexión superior a un tubo bridado (cuello) para la salida del gas de la incineración o combustión primaria hacia el reactor de post-combustión, gira con una velocidad de 2 RPM, con una inclinación de 4° . La tapa cuenta con dos ventanas una para la alimentacion del residuo sólido hospitalario, la otra salida de las escorias. El cuerpo posee dos barras laterales para su sostén en la Unidad y su movilidad externa. Este mismo recipiente lleva 14 aletas para

remover al solido hospitalario y la reacción sea homogénea; es aislado mediante fibras minerales y cerámicos de alta masa térmica y gran poder calorífico, para reducir la pérdida de calor. El perfecto aislamiento permite un ambiente fresco y un extraordinario ahorro energético. El reactor tiene un volumen nominal de 2,53 m³.

El principio de funcionamiento del reactor es la incineración térmica de los residuos sólidos hospitalarios que desaparece en forma de gases no contaminantes, es discontinuo.

El reactor de post-combustión, es concebida para tratar los humos o gases provenientes de la cámara de incineración, este reactor es un cilindro de acero inoxidable que presenta dos conexión al exterior a un tubo bridado. Tiene un volumen nominal de 2,4 m³.



CAPITULO VIII

REFERENCIALES.

- [1] ARAUJO, M., Empresa Municipal de servicios públicos de Arauca, **Incineración de Desechos Médicos Institucionales, Regulación, Manejo, Tecnología, Emisiones.** Bogotá, Colombia 2001
- [2] CENTRO INTERAMERICANO DE ESTUDIOS DE SEGURIDAD SOCIAL, División de Salud en el Trabajo. Seminario: **Salud y Seguridad en el tratamiento y disposición final de Residuos Hospitalarios y/o peligrosos**, del 19 al 23 de junio. México, D.F.: Centro Interamericano de Estudios de Seguridad Social, 1995.
- [3] CEPIS - OPS, **Desechos Peligrosos y Salud en América Latina y el Caribe.** Lima, Perú: CEPIS, 1994
- [4] CEPIS/OPS: **Manejo de residuos hospitalarios.** Lima, 1994.
- [5] COAD, **Manejo de Desechos Médicos en Países en Desarrollo**, OMS, Ginebra, 1992.
- [6] CODIGO NACIONAL DE RECURSOS NATURALES.
- [7] CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE DEL PERÚ, 1991.
- [8] CONNETT, P. **Problemas generados por los incineradores de residuos Hospitalarios.** REPAMAR CEPIS Ecuador 1990.
- [9] GEENPEACE, R; **Estudio de las alternativas a la incineración de residuos hospitalarios.** Argentina 2001.
- [10] DAMA, **Guía de manejo ambiental para las instituciones de salud.** Bogotá D.C 2001.



- [11] EPA, (Environmental Protection Agency), **Incineradores de residuos sólidos hospitalarios**. U.S.A. 1994
- [12] KIRK, J., “Diccionario Químico Industrial”, 1 ° Edición, pag. 154- 169, 1970.
- [13] FROMENT, G and BISSCHOFF, K., **Chemical Reactor Analysis and Design**, 2° Edition; Ed. J. Wiley & Sons, Inc. New York, 1990.
- [14] IAN NARVÁEZ, Troncoso. **Proyecto de Asesoría Técnica en Incineradores de Desechos Hospitalarios**. REPAMAR CEPIS Ecuador 1998.
- [15] MACHACA, G., L., F., “**Análisis, Diseño y Construcción del Reactor Catalítico de Lecho Fijo a nivel banco para la obtención de derivados de etanol**”, Trabajo de Investigación presentado al VRI_UNAC, Callao-Perú, 2005.
- [16] MACHACA, G., L., F., **Texto: “Ingeniería de las Reacciones Químicas II (Catalíticas y no catalíticas)”**, Trabajo de Investigación presentado al VRI_UNAC, Callao-Perú, 2011.
- [17] MACHACA, G., L., F., **Texto: “Diseño de Plantas Químicas (Volumen I)”**, Trabajo de Investigación presentado al VRI_UNAC, Callao-Perú, 2013
- [18] MÉNDEZ NOVELO, R, I, y Otros, Ingeniería 6-3, **Influencia del material de cubierta en la composición de los lixiviados de un relleno sanitario**, 2002.
- [19]. MÉNDEZ NOVELO, R, I, y Otros, Ingeniería 6-3 **Tratamiento de lixiviados con carbón activado**, 2002.
- [20] MIGUEL, M. Empresa de Servicios Municipales de Limpieza de Lima. **Residuos Sólidos Hospitalarios**. Octubre, 1987, Lima, Perú.



[21] MINISTERIO DE SALUD. **Diagnóstico situacional del manejo de los residuos sólidos de hospitales administrados por el Ministerio de Salud.** Lima.

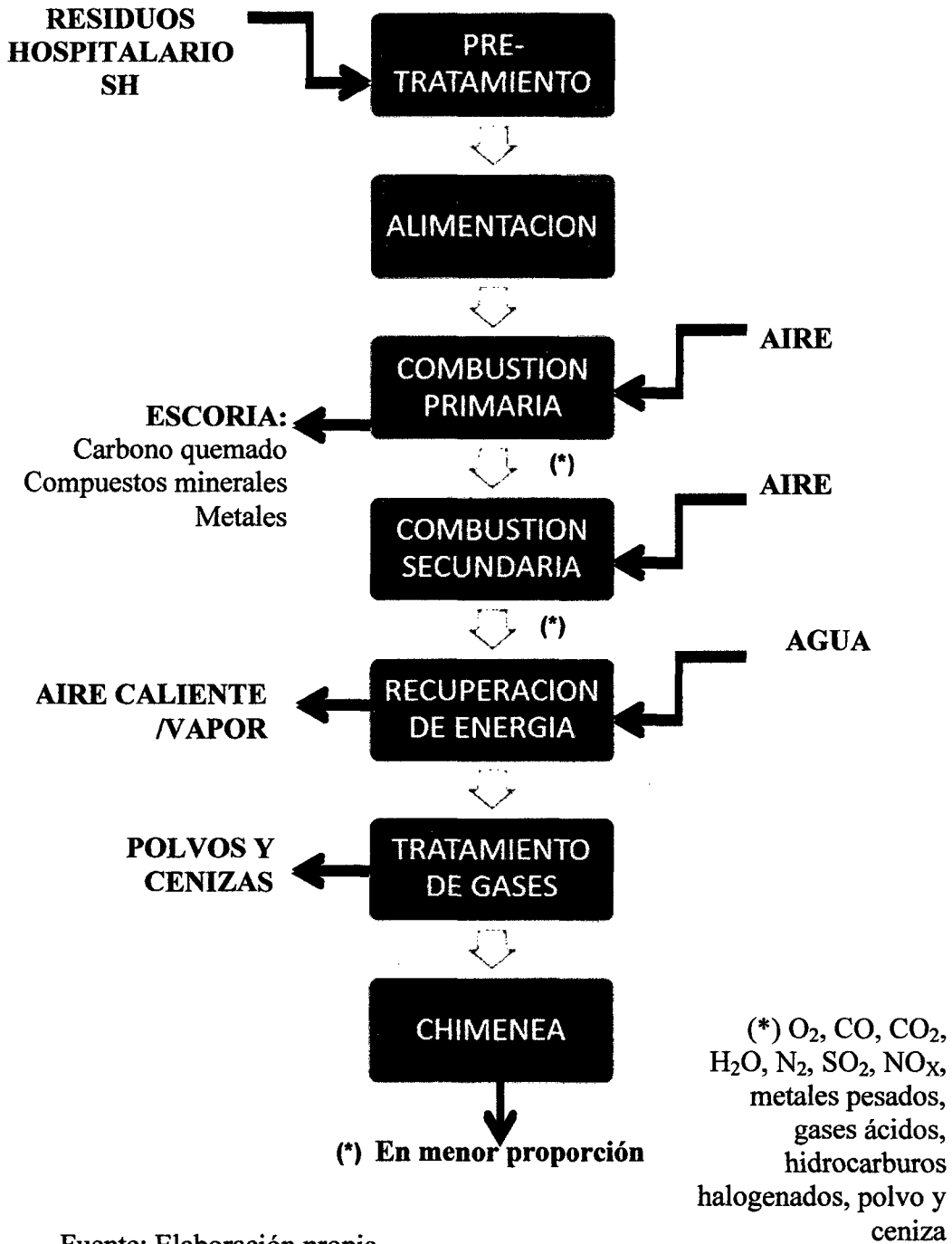
[22] ODRIOZOLA, V., **Más Vale prevenir que curar** , Argentina, 1996.

[23] RODRIGUEZ, R. Y Otros, **Incineración de residuos patológicos.** Octubre, 2001, Lima, Perú.



**CAPITULO IX
APENDICE.**

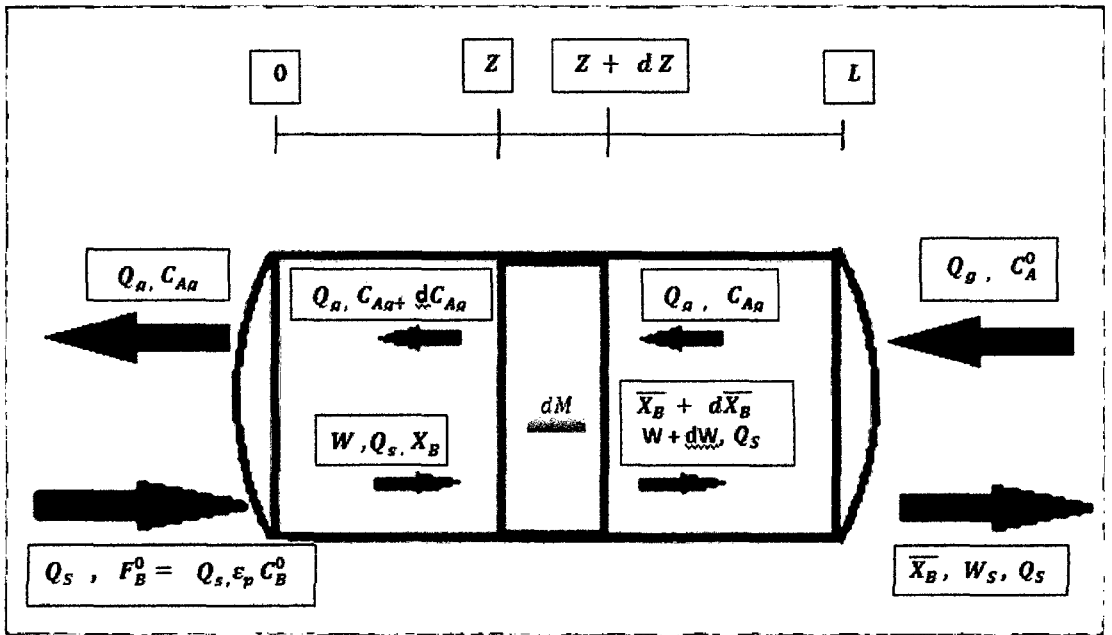
**APENDICE 9.1
DIAGRAMA DE PROCESO DE INCINERACION DE RH**



Fuente: Elaboración propia

APENDICE N° 9.2

BALANCE DE MATERIA EN EL REACTOR GAS-SOLIDO



Fuente: Elaboración propia

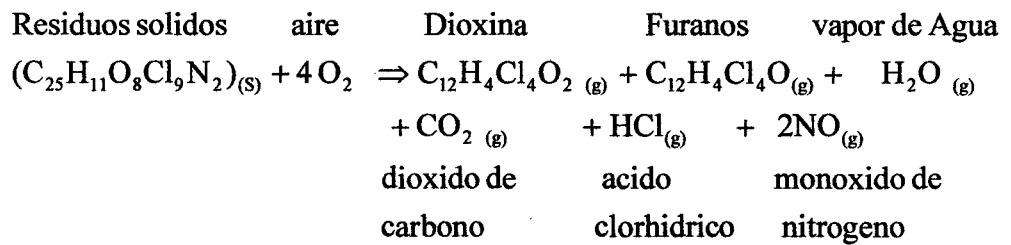
APENDICE N° 9.3

CINÉTICA DE LAS REACCIONES QUÍMICAS EN EL REACTOR INCINERADOR

- **Reacción Química:**



- **Mecanismo de la Reacción Química:**



APENDICE N° 9.4

CALCULO DEL VOLUMEN DE LA MEZCLA REACCIONANTE EN EL REACTOR INCINERADOR

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

$$V_{MR} = \frac{4,396 \times 10^{-5}}{2 \times 0,00432} [1 - (1 - 0,90)^{1/3}] \left[\frac{-2}{2,385 \times 10^{-3} + \frac{2,11 \times 10^{-3}}{11,4}} + \frac{2 \left(\frac{2,11 \times 10^{-3}}{11,4} \right)^2}{2,385 \times 10^{-3} + \frac{2,11 \times 10^{-3}}{11,4}} + \frac{2,11 \times 10^{-3}}{11,4} \right]$$

$$V_{MR} = 2,11 \text{ m}^3$$

APENDICE N° 9.5

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

Calculo de la carga térmica dentro del reactor

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

$$Q_{T \text{ efluente}} = 4500 \text{ Kcal/h} \times 160 \text{ kg/h} = 720\,000 \text{ Kcal/h}$$

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

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

$$Q_{T \text{ gas caliente}} = 720\,000 \text{ Kcal/h} + 41932,8 \text{ Kcal/h} = 761\,932,8 \text{ Kcal/h}$$

Asumiendo el 6% de pérdida respecto a un secador adiabático del calor introducido es: $Q = 45716 \text{ Kcal/hr}$

Ecuación para hallar el espesor:

$$Q_p = \frac{k_f \times A \times \Delta T}{x(\text{espesor del recipiente})}$$

Donde:

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

$A =$ Área lateral del cilindro (cámara) = $\pi DL = 15,54 \text{ m}^2$

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

$X =$ Espesor de la cámara

Despejado la ecuación anterior:

$$x = \frac{k_f \times A \times \Delta T}{Q_p}$$

Reemplazando datos se tiene:

$$x = \frac{14,03 \text{ kcal/h} \cdot \text{m} \cdot ^\circ\text{C} \times \pi \times 0,651 \text{m} \times 7,6 \text{m} \times 10 ^\circ\text{C}}{45716 \text{ kcal/h}}$$

$X = 4,77 \text{ cm} \approx 2 \text{ pulgadas}$

APENDICE N° 9.6

CALCULO DEL CAUDAL DEL GAS DE ENTRADA AL REACTOR TUBULAR POST COMBUSTION

Calculo de cantidad de gas efluente del reactor incinerador

$$160 \text{ kg/h de RSH} \times 0,6 \times 0,9999 = 96 \text{ kg/h de gas (dioxinas y furanos)}$$

$$160 \text{ kg/h de RSH} \times 0,3 \times 0,9999 = 48 \text{ kg/h de vapor de agua}$$

Total = 144 kg/h que ingresa al reactor postcombustión

Calculo del caudal del gas que ingresa al reactor postcombustión

$$Q_{\text{gas ingresa}} = Q_{\text{gas efluente}} + Q_{\text{vapor agua}} + Q_{\text{aire}}$$

$$Q_{\text{gas efluente}} = 96 \text{ kg/h} \times 1 \text{ m}^3 / 3,01 \text{ kg} \times 1 \text{ h} / 60 \text{ min.} = 0,532 \text{ m}^3 / \text{min.}$$

$$Q_{\text{vapor agua}} = 48 \text{ kg/h} \times 1 \text{ m}^3 / 0,1725 \text{ kg} \times 1 \text{ h} / 60 \text{ min.} = 4,64 \text{ m}^3 / \text{min.}$$

$$Q_{\text{aire}} = 11,4 \text{ m}^3 / \text{min}$$

$$Q_{\text{gas ingresa}} = 0,532 \text{ m}^3 / \text{min} + 4,64 \text{ m}^3 / \text{min} + 11,4 \text{ m}^3 / \text{min}$$

$$Q_{\text{gas efluente ingresa}} = 16,57 \text{ m}^3 / \text{min}$$

Caudal del gas que ingresa al reactor:

$$Q_{\text{gas ingresa}} = Q_{\text{gas efluente}} + Q_{\text{aire}}$$

$$Q_{\text{aire}} = 472,11 \text{ kg/h} \times 1 \text{ m}^3 / 0,2773 \text{ kg} \times 1 \text{ h} / 60 \text{ min.} = 42,6 \text{ m}^3 / \text{min}$$

$$Q_{\text{gas ingresa}} = 16,57 \text{ m}^3 / \text{min} + 42,6 \text{ m}^3 / \text{min} = 59,2 \text{ m}^3 / \text{min}$$

$$Q_{\text{gas ingresa}} = 59,2 \text{ m}^3 / \text{min}$$



APENDICE N° 9.7

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

Calculo de la carga térmica dentro del reactor

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

$$Q_{T \text{ efluente}} = 761\,932,8 \text{ Kcal/h}$$

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

$$Q_{T \text{ aire caliente}} = 708,2 \text{ Kg/h} \times 0,24 \text{ Kcal/ Kg } ^\circ\text{C} \times (1000 - 20) ^\circ\text{C} = 166\,568,64 \text{ Kcal/h}$$

$$Q_{T \text{ gas caliente}} = 761\,932,8 \text{ Kcal/h} + 166\,568,64 \text{ Kcal/h} = 928\,501,44 \text{ Kcal/h}$$

Asumiendo el 6% de pérdida respecto a un secador adiabático del calor introducido es: $Q = 55710 \text{ Kcal/hr}$

Ecuación para hallar el espesor:

$$Q_p = \frac{k_f \times A \times \Delta T}{x(\text{espesor del recipiente})}$$

Donde:

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

$A =$ Área lateral del cilindro (cámara) = $\pi DL = 15,13 \text{ m}^2$

$\Delta T =$ Caída de temperatura = 10 °C

$X =$ Espesor de la cámara

Despejado la ecuación anterior:

$$x = \frac{k_f \times A \times \Delta T}{Q_p}$$

Reemplazando datos se tiene:

$$x = \frac{14,03 \text{ kcal/h} \cdot \text{m} \cdot ^\circ\text{C} \times \pi \times 0,634\text{m} \times 7,6 \text{ m} \times 10 ^\circ\text{C}}{55710 \text{ kcal/h}}$$

$X = 3,8 \text{ cm} \approx 1\frac{1}{2} \text{ pulgadas}$

CAPITULO X
ANEXOS.

A handwritten signature or scribble in black ink, located on the right side of the page. It consists of several overlapping, fluid lines that form an illegible mark.

FORMULACION DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION
<p>PROBLEMA GENERAL El diseño del reactor rotatorio de lecho móvil para la incineración de residuos sólidos hospitalarios abarca varios aspectos, entre los cuales los más relevantes, y teniendo en cuenta a la descripción inicial del objeto de investigación, se podrá plantear la siguiente pregunta, tal como: ¿Cómo se diseñará el reactor rotatorio de lecho móvil para la incineración de residuos sólidos hospitalarios?</p> <p>Sub-problemas. ¿Cuáles son las informaciones o fuentes disponibles que se analizará para el proceso de incineración de residuos hospitalarios?</p> <p>¿Cuáles son los fundamentos que se analizará para la evaluación de la cinética de las reacciones heterogéneas no catalíticas gas-sólido en la incineración de residuos hospitalarios?</p> <p>¿Cómo y con qué modelo se diseñará el reactor rotatorio de lecho móvil para la incineración de residuos sólidos hospitalarios?</p> <p>¿Cómo se diseñará detalladamente el reactor rotatorio de lecho móvil para la incineración de residuos sólidos hospitalarios?</p>	<p>OBJETIVO GENERAL Diseñar el reactor rotatorio de lecho móvil para la incineración de residuos sólidos hospitalarios.</p> <p>OBJETIVOS ESPECIFICOS</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Analizar el proceso de incineración de residuos sólidos hospitalarios. 2. Analizar la cinética de las reacciones heterogéneas no catalíticas gas- sólido para la incineración de residuos sólidos hospitalarios. 3. Analizar el fundamento de diseño del reactor rotatorio de lecho móvil para la incineración de residuos sólidos hospitalarios. 4. Diseñar detalladamente el reactor rotatorio de lecho móvil para la incineración de residuos sólidos hospitalarios. 	<p>HIPOTESIS GENEAL Con los fundamentos y los procedimientos de la ingeniería de diseño de reactores heterogéneo no catalíticos se diseñara el reactor rotatorio de lecho móvil para la incineración de los residuos sólidos hospitalarios.</p> <p>Hipótesis Específica.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los fundamentos de procesos de incineración bien formulada nos permitirá analizar el proceso de incineración de residuos sólidos hospitalarios. • Los fundamentos de la ingeniería de las reacciones químicas heterogéneas no catalíticas nos permitirá analizar la cinética de las reacciones heterogéneas no catalíticas gas-sólido para la incineración de residuos sólidos hospitalarios. • Los fundamentos de diseño de reactores heterogéneos no catalíticos gas-sólido nos proporcionara el modelo de diseño del reactor rotatorio de lecho movil para la incineración de los residuos sólidos hospitalarios. • Los fundamentos y los procedimientos de diseño de ingeniería de detalles nos permitirá diseñar detalladamente el reactor rotatorio de lecho movil para la incineración de los residuos sólidos hospitalarios 	<p>Variable 1: Las variables son las siguientes:</p> $X = f(Y_1, Y_2)$ <p>Variable dependiente:</p> <p>X = Diseño del reactor rotatorio de lecho móvil para la incineración de residuos sólidos hospitalarios en la Región del Callao</p> <p>Variables independientes:</p> <p>Y₁ = Velocidad total del proceso de incineración de residuos sólidos hospitalario. Y₂ = Fundamento y procedimiento de la ingeniería de diseño de reactores heterogéneos no catalíticos gas-sólido para la incineración de residuos sólidos hospitalarios</p> <p>INDICADORES:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Volumen del reactor, m³ - Longitud del reactor, m - Diámetro del reactor, m - Flujo de alimentación de los residuos sólidos hospitalarios al reactor, m³/h 	<p>TIPO DE INVESTIGACION METODOS DE LA INVESTIGACION</p> <ul style="list-style-type: none"> • Descriptivo • Deductivo • Inductivo • Analítico <p>DISEÑO DE LA INVESTIGACION</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Elegir el método o modelo de diseño, dado que los fundamentos de diseño del reactor nos proporciona el modelo de diseño, es necesario utilizar el enfoque de determinación del volumen del reactor. 2. Determinar las variables de diseño. Se utilizara información científica relevante, para cuantificar los indicadores de las principales variables arriba señalas, con el propósitos de determinar el tiempo de incineración, y las dimensiones del reactor para procesar a los residuos sólidos hospitalarios. 3. Recolectar la información necesario para evaluar cada clase de uso (o de no uso) objeto de este estudio. Se determinara valores de indicadores: velocidad y tiempo de de incineración dentro del rector. Para ello, también será necesario recolectar el historial de producción de los residuos hospitalarios de los hospitales arriba mencionados. 4. Diseñar el reactor rotatorio de lecho móvil. Para diseñar detalladamente el reactor rotatorio de lecho móvil para la incineración de residuos sólidos hospitalarios se aplicaran los fundamentos y procedimientos de diseño de reactores heterogéneos no catalíticos gas-sólido.