



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

**DISPOSICIÓN FINAL DE LOS DESECHOS SÓLIDOS HOSPITALARIOS Y
FACTIBILIDAD DE INSTALACIÓN DE UN INCINERADOR EN EL HOSPITAL
REGIONAL DE OCCIDENTE “SAN JUAN DE DIOS” DE
QUETZALTENANGO.**

Juan Carlos Ramírez Juárez

Asesorado por Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda

Guatemala, octubre de 2005.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISPOSICIÓN FINAL DE LOS DESECHOS SÓLIDOS
HOSPITALARIOS Y FACTIBILIDAD DE INSTALACIÓN DE UN
INCINERADOR EN EL HOSPITAL REGIONAL DE OCCIDENTE
“SAN JUAN DE DIOS” DE QUETZALTENANGO.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JUAN CARLOS RAMÍREZ JUÁREZ

ASESORADO POR

ING. EDWIN ESTUARDO SARCEÑO ZEPEDA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2005.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Alvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIA	Ing. Marcia Ivonne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda
EXAMINADOR	Ing. Fredy Mauricio Monroy Peralta
EXAMINADOR	Ing. Persy Rolando Díaz Ovalle
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de La Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de tesis titulado:

**DISPOSICIÓN FINAL DE LOS DESECHOS SÓLIDOS HOSPITALARIOS Y
FACTIBILIDAD DE INSTALACIÓN DE UN INCINERADOR EN EL HOSPITAL
REGIONAL DE OCCIDENTE “SAN JUAN DE DIOS” DE
QUETZALTENANGO,**

tema que fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Mecánica con fecha agosto de 2004.

Juan Carlos Ramírez Juárez

ÍNDICE

	Página
ABREVIATURAS	vi
GLOSARIO	vii
JUSTIFICACIÓN	ix
ANTECEDENTES	x
RESUMEN	xi
OBJETIVOS	xii
INTRODUCCIÓN	xiv
1. MARCO TEÓRICO	1
1.1 Descripción del Hospital Regional de Occidente “San Juan de Dios” de Quetzaltenango	1
1.1.1 Ubicación del contexto histórico, institucional	1
1.2 Conceptos Generales	2
1.2.1 Definición de desechos sólidos hospitalarios	2
1.2.2 Clasificación de los desechos sólidos hospitalarios	3
1.2.2.1 Comunes	3
1.2.2.2 Peligrosos	4
1.2.2.2.1 Bioinfecciosos	4
1.2.2.2.1.1 Infecciosos	4
1.2.2.2.1.2 Patológicos	5
1.2.2.2.1.3 Punzo-cortante	5
1.2.2.2.2 Químicos	5
1.2.2.2.2.1 Inflamables	6
1.2.2.2.2.2 Corrosivos	6
1.2.2.2.2.3 Reactivos	6
1.2.2.2.2.4 Tóxicos	7
1.2.2.2.2.5 Citotóxicos	7

1.2.2.2.2.6	Explosivos	7
1.2.2.2.3	Radiactivos	7
1.2.2.3	Especiales	8
2.	FASE DE INVESTIGACIÓN	9
2.1	Tecnologías de tratamiento de los desechos sólidos hospitalarios	9
2.1.1	Incineración	10
2.1.1.1	Descripción del sistema	10
2.1.1.2	Características técnicas del equipo	13
2.1.1.3	Aspectos técnico-operativos	14
2.1.1.4	Ventajas y desventajas	17
2.1.2	Esterilización a vapor	17
2.1.2.1	Descripción del sistema	17
2.1.2.2	Características técnicas del equipo	18
2.1.2.3	Aspectos técnico-operativos	19
2.1.2.4	Ventajas y desventajas	20
2.1.3	Desinfección por microondas	20
2.1.3.1	Descripción del sistema	20
2.1.3.2	Características técnicas del equipo	21
2.1.3.3	Aspectos técnico-operativos	22
2.1.3.4	Ventajas y desventajas	22
2.1.4	Esterilización por irradiación con haz de electrones	23
2.1.4.1	Descripción del sistema	23
2.1.4.2	Aspectos técnico-operativos	24
2.1.4.3	Ventajas y desventajas	24
2.1.5	Tratamiento químico	25
2.1.5.1	Descripción del sistema	25
2.1.5.2	Características técnicas del equipo	26

2.1.5.3	Aspectos técnico-operativos	26
2.1.5.4	Ventajas y desventajas	26
2.1.6.	Otras tecnologías emergentes	27
2.1.6.1	Pirólisis	27
2.1.6.2	Detoxificación sintética	28
2.1.6.3	Piroxidación	29
2.1.6.4	Plasma	29
2.2	Análisis de viabilidad técnico-económica	30
2.2.1	Objetivo	31
2.2.2	Finalidad	31
2.2.3	Trabajo desarrollado	31
2.2.4	Resultados obtenidos	32
2.2.4.1	Incineración de doble cámara	33
2.2.4.2	Esterilización con vapor: Autoclaves	34
2.2.4.3	Sistema de desinfección con microondas	35
2.2.4.4	Irradiación con haz de electrones	36
2.2.4.5	Desinfección química	37
2.2.4.6	Enterramiento controlado	37
2.3	Propuesta de tratamiento para la disposición final de los desechos sólidos infecciosos generados en el Hospital Regional de Occidente “San Juan de Dios” de Quetzaltenango	40
2.3.1	Factibilidad de un Incinerador como tratamiento de los Desechos Sólidos Hospitalarios Infecciosos	40
2.3.1.1	Factores de Impacto ambiental	44
2.3.1.2	Impacto Ambiental de un equipo Incinerador	45
2.3.1.3	Contaminantes originados por la combustión	46

2.3.1.4	Emisión de metales	48
2.3.2	Control de la contaminación	49
2.3.2.1	Parámetros a analizar en las emisiones de los incineradores	50
2.3.2.2	Trampas para contaminantes	51
2.3.2.3	Catalizadores	52
2.3.2.4	Composites	52
2.3.3	Problemas con el control de la contaminación producto de la emisión de dioxinas, enfoque correctivo	53
2.3.4	Tratamiento y lavado de gases	54
2.3.4.1	Tipología de los contaminantes Gaseosos	54
2.3.4.2	Lavado de gases	54
2.3.4.3	Tratamiento de gases	55
2.3.4.4	Limpieza de gases con partículas	55
2.3.5	La importancia del control de los desechos sólidos en el contexto del desarrollo sustentable	58
3.	FASE TÉCNICO – PROFESIONAL	61
3.1	Manejo y cuantificación de los desechos sólidos generados en el Hospital Regional de Occidente “San Juan de Dios” de Quetzaltenango	61
3.1.1	Manejo de los desechos sólidos hospitalarios	61
3.1.1.1	Segregación	61
3.1.1.2	Recipientes	61
3.1.2	Situación actual de la disposición final de los desechos sólidos en el Hospital Regional de Occidente	62
3.1.3	Beneficios de llevar a cabo un programa de manejo de residuos	63

3.1.3.1	Incremento de los niveles de seguridad	63
3.1.3.2	Reducción del impacto ambiental	65
3.1.3.3	Compromiso integral con el ambiente y con la comunidad	65
3.1.4	Cuantificación y calculo de volumen de los desechos sólidos	66
3.1.4.1	Calculo del peso de desechos sólidos generados en un día, dentro del hospital	67
3.1.4.2	Peso de desechos sólidos hospitalarios que deben incinerarse diariamente	67
3.2	Análisis de costos y propuesta de condiciones mínimas de equipo incinerador a utilizar en el Hospital Regional de Occidente	69
3.2.1	Costo para el Hospital Regional de Occidente de Incinerar	69
3.2.2	Propuesta de ubicación del Equipo Incinerador	70
3.2.3	Características del Equipo Incinerador	72
3.2.3.1	En general	72
3.2.3.2	Descripción del Equipo Incinerador	73
3.2.3.3	Especificaciones Técnicas	73
3.2.3.4	Características de Diseño	75
3.2.3.5	Capacidad del Incinerador	75
3.2.3.6	Requerimientos mínimos de instalación	76
3.3	Propuestas alternativas	76
	CONCLUSIONES	79
	RECOMENDACIONES	81
	BIBLIOGRAFÍA	83
	ANEXO	84

ABREVIATURAS

COVs	Compuestos orgánicos volátiles
D.R.E.	Eficiencia de destrucción y remoción
D.S.H.	Desechos sólidos hospitalarios
D.S.H./P	Desechos sólidos hospitalarios peligrosos
D.S.H./día	Desechos sólidos hospitalarios por día
EPA	Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos
HAPs	Hidrocarburos aromáticos policíclicos
O.M.S.	Organización Mundial de la Salud
O.P.S.	Organización Panamericana de la salud
PCBs	Bifenilos policlorados
P.D.S.H.D.	Peso de desechos sólidos hospitalarios por día
P.D.S.H.P.I.	Peso de desechos sólidos hospitalarios peligrosos a incinerar
POHC	Constituyente orgánico toxico principal

GLOSARIO

Almacenamiento temporal: es la operación de colocar los desechos sólidos hospitalarios en un lugar adecuado, en espera de su recolección, para su disposición final.

Desechos sólido: es cualquier material orgánico o inorgánico a partir del momento en que ha sido descartado, pudiendo considerarse tóxico o peligroso para la salud, dependiendo de la descomposición de sus elementos.

Disposición final: es el momento en que los desechos sólidos son depositados en un lugar definitivo y sanitariamente seguro, a efecto de concentrarlos y aislarlos para su posterior degradación.

Generación: es producir materiales sólidos, orgánicos e inorgánicos descartados por el hombre durante la realización de sus actividades.

Punzo cortantes: objetos que pueden ocasionar heridas cortantes o pinchazos, entre las cuales se pueden mencionar jeringas, bisturís, vidrios, catéter, etc.

Recolección: es la acumulación de las bolsas de polietileno conteniendo desechos sólidos hospitalarios, para ser trasladados al depósito de almacenamiento temporal.

Segregación: consiste en separar y colocar en el contenedor adecuado cada desecho sólido, de acuerdo a sus características y peligrosidad.

Serología: rama de la bioquímica clínica que estudia el suero en busca de signos de infección mediante la evaluación de reacciones antígeno-anticuerpo in vitro.

Tratamiento: se entiende por tratamiento de desechos sólidos, al conjunto de técnicas y métodos de procesamiento físico, químico y biológicos que se aplican a los desechos sólidos.

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Ante la falta de una correcta disposición de los desechos sólidos hospitalarios, la mezcla de desechos peligrosos con desechos sólidos genera una cantidad mayor de desechos sólidos peligrosos poniendo en riesgo la salud de quienes los manejan y provocando molestias al medio que les rodea, ante tal problema se detecta la necesidad de definir técnicas de clasificación de los desechos y propuestas de solución al problema de su correcta disposición final.

ANTECEDENTES

La existencia de estudios relacionados con el tema a nivel del Hospital Regional es inexistente, por lo que sustentamos que la investigación es una necesidad prioritaria y tiene un singular interés institucional. La misma aporta datos científicos y propuestas prácticas para la solución del problema. Hasta el momento actual, el manejo inadecuado de los desechos, responde a una forma obsoleta de operar por parte de esta institución hospitalaria, lo cual se explica en cierta forma debido a patrones tradicionales no superados, falta de voluntad política de autoridades que, en el pasado, han administrado y, también, por carencia de una investigación seria sobre el problema y planteamiento de alternativas de solución.

Es necesario informar que dentro del predio del hospital los residuos son cargados en un camión común con caja descubierta, mezclándose en esta todo tipo de combinación de desechos, por ejemplo: gasas, vendas, etc, desechos del banco de sangre, residuos de quirófano, cultivos y restos de patología y de otros servicios. Luego de esta recolección interna y sin un lavado y posterior desinfección, la unidad citada es afectada para realizar otras tareas fuera del hospital circulando por la ciudad y produciendo contaminación general al medio ambiente.

JUSTIFICACIÓN

La presente investigación en el marco del Ejercicio Profesional Supervisado, se realiza debido a la importancia que representa el estudio en detalle de los contaminantes que se generan dentro del hospital y la disposición final que se tiene de ellos. Ante la preocupación de las autoridades actuales del hospital nos fue autorizada la investigación en la cual se analizan los tipos de desechos que se producen y el mejor manejo que se puede hacer de ellos hasta su disposición final, con el propósito de poder documentar de manera científica y técnica dicho proceso y las mejoras que se le puedan realizar.

RESUMEN

El presente trabajo de graduación consiste en un estudio de factibilidad de instalación de un equipo incinerador en el Hospital Regional de Occidente “San Juan de Dios” de Quetzaltenango. Inicia con la descripción del centro asistencial, seguido de una de las clasificaciones de los desechos sólidos hospitalarios, tecnologías de tratamiento de los desechos las cuales incluyen descripción, características técnicas, aspectos técnico operativos, ventajas y desventajas, análisis de viabilidad técnico económica. Posteriormente se hace una propuesta de tratamiento para la disposición final de los desechos sólidos, se analiza la factibilidad de un Incinerador como tratamiento para la disposición final de lo Desechos Sólidos Hospitalarios Infecciosos, se estudia el impacto que tendrá el equipo sobre el medio ambiente, los tipos de contaminantes que se pueden generar y su respectivo control, la importancia del control de los desechos sólidos en el contexto del desarrollo sustentable, se analizan los beneficios de llevar a cabo un programa de manejo de residuos. Además, se realizo la cuantificación y calculo del volumen de los desechos sólidos generados, el peso de desechos sólidos que deben incinerarse diariamente. Se hace un análisis de costos para el Hospital Regional de Incinerar, se propone la ubicación para el montaje del equipo incinerador, se describe, se dan especificaciones técnicas, características de diseño, capacidad del incinerador, requerimientos mínimos de instalación y por ultimo se hace una propuesta alternativa de otras formas de disposición final de los desechos sólidos infecciosos hospitalarios.

OBJETIVOS

General

1. Contribuir a la búsqueda de una adecuada y factible solución a la problemática de la mala disposición de los desechos hospitalarios, para el caso particular en estudio.
2. Concientizar a las autoridades del Hospital Regional de Occidente San Juan de Dios de Quetzaltenango, acerca de la necesidad de contar en sus instalaciones, con técnicas y métodos de disposición de desechos sólidos hospitalarios, que cumplan con los requisitos de seguridad, para lograr alcanzar el nivel normado aceptable en el programa de Acreditación de Hospitales.
3. Conocer la clasificación de los desechos sólidos hospitalarios y sus riesgos, con el propósito de sensibilizar a la población de un adecuado manejo, segregación, transporte, almacenamiento y disposición final.
4. Lograr que este trabajo de tesis sirva de apoyo a todas aquellas personas e instituciones encargadas de realizar programas de manejo de desechos sólidos hospitalarios con el objeto de mejorar las condiciones de salud de Guatemala.

Específicos

1. Conocer los diferentes formas de manejo de desechos hospitalarios y poder brindar información necesaria para mejorar el método utilizado actualmente.
2. Clasificar y cuantificar los desechos sólidos hospitalarios que se generan en el centro asistencial.
3. Describir las condiciones actuales en las que se encuentra operando el área de desechos y como se espera que pueda funcionar.

4. Dar a conocer los ventajas y desventajas que se obtendrían de la implementación de adecuadas tecnologías de tratamiento para los desechos sólidos.
5. Definir propuestas de solución al problema de su correcta disposición final.

INTRODUCCIÓN

Los desechos, en general, son un problema para nuestras sociedades, por contaminar el medio ambiente y afectar la salud, de ahí, aparece el interés por tratar este tema y hacer de este documento, una fuente de información seria y objetiva que permita a instituciones y personas en lo individual, relacionadas o no con la materia, acceder a datos sobre la magnitud del problema y propuestas alternativas para su solución.

La finalidad primordial del estudio es contribuir con las autoridades del Hospital Regional de Occidente San Juan de Dios en Quetzaltenango, para resolver, de manera eficiente y eficaz, el problema de la disposición final de los desechos hospitalarios y lograr a la vez, la presente tesis de graduación profesional.

Es importante reconocer que, en Guatemala, las mayorías de población dependen de instituciones gubernamentales para encarar los problemas relacionados a la salud y las enfermedades, razón por la cual, dichas instituciones, deben de ser apoyadas, pues, con ello se estará coadyuvando a fortalecer el sistema de salud pública y beneficiando a los usuarios de estos importantes servicios.

En cuanto al contenido, el primer capítulo de esta tesis, formula un análisis sobre la clasificación y definición que la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) hace de los desechos sólidos; posteriormente. El segundo capítulo ubica las tecnologías de tratamiento que se pueden utilizar para una mejor disposición final de los desechos, se hace una descripción de cada sistema, características técnicas del equipo, aspectos

técnico-operativos y descripción de ventajas y desventajas del mismo, así como un análisis de la viabilidad técnico-económica de cada uno de los métodos descritos, anteriormente y en el capítulo tercero se definen las condiciones actuales de disposición final de los desechos hospitalarios, para el Hospital Regional de Occidente “San Juan de Dios” objeto de esta investigación, se de a conocer el manejo y cuantificación de los desechos sólidos generados en el hospital y se formula una propuesta de la tecnología de tratamiento que en base al estudio realizado sea la mas factible.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Descripción del Hospital Regional de Occidente “San Juan de Dios” de Quetzaltenango.

1.1.1 Ubicación del contexto histórico, institucional

El objeto de estudio esta situado en la ciudad de Quetzaltenango; la cual esta catalogada como la segunda ciudad más grande de la Republica de Guatemala, lo que dice de su importancia económica, social, cultural y política.

Contexto histórico:

La ciudad de Quetzaltenango, cuya cabecera departamental es Quetzaltenango, fue fundada en el año de 1845, sus municipios son: Almolonga, Cabrican, Cajolá, Cantel, Coatepeque, Concepción Chiquirichapa, Colomba, El Palmar, Flores Costa Cuca, Génova, Huitan, La Esperanza, Olinstepeque, Palestina de los Altos, Quetzaltenango, Salcajá, San Carlos Sija, San Francisco la Unión, San Miguel Sigüilá, San Juan Ostuncalco, San Mateo, San Martín Sacatepéquez, Sibilia y Zunil. Los limites territoriales del departamento son: limita al norte con Huehuetenango, al este con Totonicapán y Sololá, al sur con Retalhuleu y Suchitepequez, y al oeste con San Marcos. La cabecera departamental sé localiza a 204 km al oeste de la capital, situada en un inmenso valle rodeado de montañas y volcanes, esta ciudad del altiplano conserva las tradiciones de un legado Maya-Quiché, un pasado colonial y una dinámica de vida moderna. La ciudad de Quetzaltenango se encuentra localizada en el globo terráqueo Norte 14 grados, 50 minutos y 22 segundos y sur de 91 grados, 31 minutos y 10 segundos, tiene un área de 120 km², esta a una altura de 2,033 mts sobre el nivel del mar, cuenta con 11 zona urbanas, 13 cantones y 2 aldeas, el clima es templado y en promedio la temperatura es de

16°C , los idiomas que se hablan son el español, quiché y mam, la población urbana es de 106,629 habitantes mientras que la rural es de 15,629 habitantes, la densidad de población es de 1,018 personas por km².¹

Contexto institucional

El Hospital Regional de Occidente “San Juan de Dios”, esta ubicado en la Labor San Isidro, Zona 8. de la Ciudad de Quetzaltenango, dicho Hospital brinda atención medica a aproximadamente 250 pacientes al día, pertenecientes a la región Sur-Occidental, esto incluye a los departamentos de: Huehuetenango, Quetzaltenango, Quiché, Retalhuleu, San Marcos, Sololá, Suchitepéquez, Totonicapán. Dicho hospital brinda 23 tipos de servicios médicos, de los cuales la mayoría tiene que ver de alguna manera con lo referente a la generación de desechos sólidos los departamentos son los siguientes: Cardiología, cirugía de hombres, cirugía de mujeres, cocina, consulta externa, emergencias, fisioterapia, ginecología, histopatología, intensivo, labor y partos, laboratorio de banco de sangre, laboratorio de microbiología, lavandería, maternidad, medicina de hombres, medicina de mujeres, morgue, odontología, patología, pediatría, psicología, rayos x, secado y planchado, trauma de hombres y trauma de mujeres.

1.2 Conceptos Generales

1.2.1 Definición de desechos sólidos hospitalarios

Son aquellos desechos generados en los hospitales, unidades de salud, clínicas médicas, consultorios, centros y puestos de salud. Incluye todos aquellos materiales que generan los trabajos al ejecutar las diversas acciones para el cuidado de las personas que asisten a estos centros en relación con el proceso

¹UIEP-PROINFO. 2000. Unidad de Investigación, Estadística y planificación. Quetzaltenango, Guatemala.

de salud y enfermedad en los servicios de encamamiento, laboratorios, salas de operaciones, banco de sangre, emergencia y consulta externa (algodón, pañales de enfermos, gasas, curaciones, agujas, jeringas, y otros objetos punzo cortantes, órganos humanos, incluidos los residuos farmacéuticos, químicos y radioactivos).

1.2.2 Clasificación de los desechos sólidos hospitalarios

Los desechos sólidos hospitalarios (según la EPA) se dividen en desechos sólidos: comunes, peligrosos y especiales.

1.2.2.1 Comunes.

Son Desechos Sólidos Hospitalarios Comunes (D.S.H.C.), los generados principalmente por las actividades administrativas, auxiliares y generales, que no corresponden a ninguna de las categorías de desechos peligrosos.

Son similares a los desechos de producción doméstica, e implican las mismas prácticas de higiene en su manejo y transporte.

Se incluyen en esta categoría los papeles, cartones, cajas, plásticos, restos de alimentos y los materiales de la limpieza de patios y jardines, entre otros, como se especifica a continuación:

Comida

Todo lo procedente de las cocinas y los residuos alimenticios, con la exclusión de los que hayan estado en contacto con pacientes internos en salas de aislamiento.

Papelería

Desechos procedentes de las oficinas administrativas, talleres, embalajes de papel y/o cartón.

Envases y otros

Contenedores de vidrio o plástico para fármacos no peligrosos y alimentos, materiales metálicos o de madera, yesos, que no hayan sido contaminados.

1.2.2.2 Peligrosos

Se consideran Desechos Sólidos Hospitalarios Peligrosos (D.S.H.P.), todos los residuos producidos en Instalaciones de Salud, que de una forma u otra pueden afectar la salud humana o animal y el medio ambiente. Los desechos peligrosos se subdividen en desechos bioinfecciosos, químicos y radiactivos.

1.2.2.2.1 Bioinfecciosos

Los desechos bioinfecciosos son generados durante diferentes etapas de la atención de salud, y representan diferentes etapas de la atención de salud, y diferentes niveles de peligro potencial, de acuerdo con su grado de exposición ante los agentes infecciosos, se dividen en:

1.2.2.2.1.1 Infecciosos

Materiales provenientes de salas de aislamiento

Son residuos biológicos, excreciones, exudados o materiales de desechos provenientes de salas de aislamiento de pacientes con enfermedades altamente transmisibles. Así también cualquier tipo de material que haya estado en contacto con los pacientes de estas salas.

Materiales biológicos

Cultivos, muestras almacenadas de agentes infecciosos, medio de cultivo, placas de Petri, instrumentos usados para manipular, mezclar o

inocular microorganismos, vacunas vencidas o inutilizadas, filtros de áreas altamente contaminantes, etc.

Sangre humana y productos derivados

Sangre de pacientes; bolsas de sangre inutilizadas, con plazo de utilización vencida o serología positiva; muestras de sangre para análisis, suero, plasma y otros subproductos. También se incluyen los materiales empapados o saturados con sangre, plasma y otros, aunque se hayan secado, así como los recipientes que los contienen o que se contaminaron, como bolsas plásticas, catéteres intravenosos, etc.

1.2.2.1.2 Patológicos

Residuos anatómicos, patológicos y quirúrgicos, son desechos patológicos humanos, incluyendo tejidos, órganos, partes y fluidos corporales, que se remueven durante las autopsias, la cirugía u otros, incluyendo las muestras para análisis.

1.2.2.1.3 Punzo cortantes

Son elementos punzo cortantes que estuvieron en contacto con fluidos corporales o agentes infecciosos, incluyendo agujas hipodérmicas, jeringas, pipetas de Pauster, agujas, bisturís, mangueras, placas de cultivos, cristalería entera o rota, etc. También se considera cualquier punzocortante desechado, aun cuando no haya sido utilizado.

1.2.2.2 Químicos

Son desechos generados durante las actividades auxiliares de las instalaciones de Salud y que no han estado en contacto con fluidos corporales ni con agentes infecciosos. Constituyen un peligro para la

salud por sus características propias, tales como corrosividad, reactividad, inflamabilidad, toxicidad, explosividad. También se incluyen en esta categoría los fármacos vencidos que presentan características similares de peligrosidad.

1.2.2.2.1 Inflamables

Un líquido con un punto de ignición menor de 60° C es un desechos inflamable. Un sólido es un desecho inflamable si es capaz de ocasionar un incendio por fricción o por absorción de humedad, o producir un cambio espontáneo que pueda generar un incendio energético y persistente. Un oxidante es un desecho inflamable. También se incluye en esta categoría a todo gas comprimido inflamable.

1.2.2.2.2 Corrosivos

Es un desecho que produce una erosión debida a los agentes químicos presentes. Las soluciones acuosas que tiene un pH menor o igual a 12.5, son consideradas desechos corrosivos.

1.2.2.2.3 Reactivos

El término reactivo define la capacidad de producir química. Sin embargo, por desechos reactivos se entiende comúnmente un material normalmente inestable, que presenta un cambio químico violento sin detonar, susceptible de reaccionar violentamente con el agua para formar mezclas potencialmente explosivas, o capaz de generar gases peligrosos o potencialmente mortales.

1.2.2.2.4 Tóxicos

Un desecho que puede causar daños de variada intensidad a la salud humana, si se ingiere, inhala o entra en contacto con ojos o piel.

1.2.2.2.5 Citotóxicos

Un desecho tóxico para las células, con características cancerígenas, mutagénicas o capaz de alterar material genético.

1.2.2.2.6 Explosivos

Es lo que puede ocasionar una reacción química violenta, que se desarrolla en un brevísimo lapso de tiempo y produce un estallido.

1.2.2.3 Radiactivos

Se considera un desecho radiactivo, cualquier tipo de residuo con características radiactivas o contaminado con radionucléidos.

Son generados en laboratorios de investigación química y biológica, en laboratorios de análisis clínico, en los servicios de radiología y de medicina nuclear. Estos desechos pueden ser sólidos o líquidos e incluyen materiales o sustancias comúnmente utilizadas en los procedimientos clínicos o de laboratorio: jeringas, frascos, orina, heces, papel absorbente, etc.

A diferencia de los otros desechos peligrosos, éstos no pueden ser tratados con métodos químicos o físicos, y tienen que ser aislados por el tiempo necesario para alcanzar el decaimiento de su radiactividad.

1.2.2.3 Especiales

Los Desechos Sólidos Hospitalarios Especiales (D.S.H.E.) son los que no están incluidos en las categorías anteriores y por alguna característica particular necesitan un manejo diferente que se debe definir para cada caso.

Se consideran desechos hospitalarios especiales, entre otros:

Desechos de gran tamaño y/o difícil manejo, contenedores presurizados, desechos provenientes de la construcción de obras civiles, fármacos vencidos que no clasifican como peligrosos, maquinaria y equipo obsoleto.

2. FASE DE INVESTIGACIÓN

2.1 Tecnologías de tratamiento de los desechos sólidos hospitalarios

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

Por otro lado, se plantea el tratamiento de los residuos biocontaminados en la fuente de generación (tratamiento *in situ*) y se propone la tecnología disponible para ello.

Las ventajas y desventajas de cada una son planteadas, incluyendo análisis de riesgos, requerimiento de recursos e impacto ambiental que implica la operación de cada una. Para llevar a la práctica la propuesta de gestión integral del manejo de residuos sólidos hospitalarios, se plantea la implementación de un sistema de organización articulado con la actual organización del centro hospitalario. Cabe mencionar que la propuesta planteada en la presente tesis requiere el complemento del apoyo institucional a todo nivel, que propicie al interior del centro hospitalario la adopción de las tecnologías aquí propuesta, a fin de reducir los riesgos actuales asociados al manejo de los residuos sólidos hospitalarios.

El objetivo es encontrar un sistema de tratamiento de residuos sólidos hospitalarios, considerando el aspecto sanitario, técnico - operativo, económico y organizacional, que garantice eficacia, seguridad y eficiencia para el mejor

control de los riesgos de salud ocupacional, pública y ambiental que están asociados a éstos. La finalidad es de identificar y caracterizar las metodologías y técnicas de tratamiento de los residuos sólidos hospitalarios, evaluando la viabilidad técnica, operativa, organizacional y económica de ellas, dentro del contexto administrado por el Ministerio de Salud.

2.1.1 Incineración

2.1.1.1 Descripción del sistema

Proceso de oxidación química en el cual los residuos son quemados bajo condiciones controladas para oxidar el carbón e hidrógeno presentes en ellos, destruyendo con ello cualquier material con contenido de carbón, incluyendo los patógenos. Los gases de combustión son venteados a través de una chimenea, mientras que los residuos convertidos en cenizas son removidos periódicamente para su disposición final en un relleno sanitario.

Para tratar los residuos biocontaminados por este método, los parámetros que se deben tener en cuenta y que tienen influencia en la eficacia del tratamiento son: en primer lugar el dispositivo debe contar con dos cámaras o más de incineración, la primera cámara debe alcanzar temperaturas entre 600°C y 850°C, temperatura a la cual combustionarán los desechos con contenido de carbono e hidrógeno, la cámara secundaria y subsecuentes deben alcanzar temperaturas superiores a 1200°C, donde los gases provenientes de la cámara primaria con contenido de gases tóxicos de la quema de plásticos (Dioxinas, PCBs, SOx, NOx entre otros) romperán sus cadenas químicas logrando un efluente con un mínimo de emanaciones peligrosas. Los niveles máximos de las emisiones que rigen en la actualidad, según parámetros internacionales son los que se muestran en la tabla siguiente.

Niveles Máximos Permisibles de	mg /m3
Partículas	30,0
Mónóxido de carbono	50,0
Acido clorhídrico	30,0
Bióxido de azufre	100,0
Compuestos orgánicos (carbón total)	20,0
Pb	1,0
Cd más Hg	0,1
Cr6	0,5
As	0,5
Dioxinas y Furanos	1 ng / m3 TEQ*

*Equivalente tóxico para cada tipo de compuesto

Los residuos sólidos se queman para eliminar sus partes combustibles. De este modo, su volumen puede llegar a reducirse hasta en un 90%.

Para que el aprovechamiento energético con fines caloríficos pueda ser llevado a cabo de modo eficiente, es necesario estudiar previamente las características de los residuos. En términos generales, se consideran térmicamente aprovechables aquellos residuos sólidos que cumplen las condiciones siguientes:

* Su **poder calorífico inferior**, es decir, las calorías que proporciona un combustible, descontadas las que son necesarias para la vaporización del agua formada en la combustión, debe ser superiora 1000 kcal/kg.

*Su **contenido en humedad** es inferior al 50 %.

*Su **contenido en cenizas** es inferior al 60 %.

Cuando el poder calorífico de las basuras no es suficiente para su aprovechamiento energético, se utiliza fuelóleo o gas natural para el encendido y el posterior mantenimiento de la temperatura del horno.

En el proceso, los gases de la combustión pueden provocar problemas de contaminación. Para reducirlos, se incorporan filtros en las chimeneas, que retienen las partículas en suspensión. Una vez quemadas las basuras, queda el residuo constituido por las cenizas y las escorias. En éste se encuentran los llamados materiales inertes. En los procesos de incineración tanto in situ como ex situ, se utilizan altas temperaturas de operación que van desde los 870 a los 1200 °C, con la finalidad de volatilizar y quemar compuestos orgánicos y halogenados en presencia de oxígeno. Generalmente se utilizan combustibles para iniciar el proceso de combustión. Las eficiencias de remoción y destrucción de los incineradores operados adecuadamente exceden el 99.99%. Sin embargo, los gases de combustión generalmente requieren de tratamiento.

Los procesos de incineración para eliminar sustancias peligrosas originan a su vez residuos sólidos (cenizas) y gaseosos. Consecuentemente, el problema central de tales sistemas es garantizar que tales desechos no sean contaminantes.

A efecto de asegurar que los incineradores y sus sistemas de protección operan adecuadamente se debe realizar una prueba de incineración (a trial burn). Esta consiste en combustionar un compuesto o una mezcla de ellos que tengan una mayor estabilidad térmica que las sustancias con que operará normalmente el horno. Los parámetros que se determinan

son: Eficiencia de Destrucción y Remoción (DRE Values), Productos de Combustión Incompleta (PIC). En el caso de los valores DRE éstos deben ser superiores al 99,99% , según las normas de la EPA, y en cuanto a los segundos, deben estar por debajo de los límites establecidos para contaminación atmosférica o de suelos.

Las sustancias químicas presentes en los gases de la chimenea también se localizan en las cenizas y otros residuos, los más frecuentes son: dioxinas, bifenilos policlorados (PCBs), naftalenos policlorados, bencenos clorados, hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs), numerosos compuestos orgánicos volátiles (COVs), y metales pesados como plomo, cadmio y mercurio.

2.1.1.2 Características Técnicas del Equipo

Los equipos de incineración cuentan con una cámara principal de acero, con resistencia a las temperaturas altas, esta cámara se encuentra revestida con ladrillos refractarios, cuya finalidad es la de retener el calor producido por los quemadores. Los quemadores, de los que pueden existir uno o más según el tamaño de la cámara o las temperaturas que se desean alcanzar, consisten en unas boquillas donde se pulveriza el combustible en una mezcla con aire a presión, el cual se encenderá mediante una chispa producida por un sistema eléctrico parte del equipo. Algunas cámaras primarias cuentan con sistemas para insuflar aire con la finalidad de mantener una combustión completa de los productos que se están incinerando y mantener la temperatura de operación adecuada sin el uso de combustible, únicamente con la quema de los mismos desechos sólidos. Las temperaturas de operación de la cámara primaria deben oscilar entre 600 y 850 °C.

La cámara secundaria, de menor tamaño que la primera, consiste también en una estructura de acero, la cual se encuentra revestida de ladrillo refractario que soporta mayores temperaturas, en ésta, los gases producto de la combustión de material sólido de la primera cámara son incinerados mediante un quemador adicional. Las temperaturas que deben alcanzar son superiores a los 1,200 °C.

Los gases de combustión de la cámara secundaria pasan finalmente a través de un sistema "lavador de gases", el que consiste en duchas cuya función es la de retener las partículas en suspensión y enfriar los gases de combustión. Los gases ya limpios de partículas y enfriados pasan a través de un filtro antes de ser eliminados al ambiente.

Sin embargo, existen otros sistemas similares que previo al lavador de gases recuperan el calor generado pasando los gases a través de un intercambiador de calor para calentar agua, generar vapor, agua sobrecalentada, aceite térmico, entre otros, elevando considerablemente su rendimiento.

2.1.1.3 Aspectos técnico operativos

La incineración de residuos biocontaminados requiere de temperaturas y tiempos de exposición mínimas para asegurar la destrucción de todos los microorganismos presentes. Temperaturas del orden de los 1200 °C en la cámara de combustión secundaria con tiempos de residencia del orden de un (1) segundo permitirá obtener una adecuada incineración de los elementos tóxicos generados en la cámara primaria.

La composición de los residuos y la tasa de alimentación de los residuos al incinerador, son aspectos fundamentales para una correcta operación y una adecuada protección de la unidad de incineración. La regulación del contenido de humedad y de la proporción de plástico resulta necesaria para evitar variaciones excesivas de la temperatura que pudieran derivar en un tratamiento inadecuado o en daños al equipo.

Cuando no sea posible practicar el tratamiento *in-situ*, en especial cuando se trata de pequeños establecimientos de salud, es posible adoptar soluciones conjunta para dos o más de ellos. Si bien una solución conjunta usualmente significa menores costos y mayor eficiencia, debe prestarse especial atención a los riesgos sanitarios y ambientales asociados al transporte de residuos biocontaminados. Cabe señalar que una solución conjunta no sólo incluye la incineración como método de tratamiento, sino también otras alternativas como por ejemplo el enterramiento controlado.

Los residuos comunes, cuando una buena práctica de segregación asegure que ellos están exentos de residuos biocontaminados, pueden derivarse directamente al recolector municipal, sin tratamiento adicional. Su utilización para el tratamiento de residuos sólidos biocontaminados resulta eficaz por la destrucción de los materiales orgánicos, incluyendo patógenos, además de reducir el volumen y masa de los residuos en un 80 a 95%, haciendo irreconocibles los residuos, para ser llevados a su disposición final en el área habilitada especialmente en el relleno sanitario.

El hecho de que con este tratamiento se haga irreconocibles los residuos, es particularmente relevante en nuestro país, donde la

segregación informal de los residuos en los rellenos sanitarios y botaderos es una práctica común.

Sin embargo, se debe contemplar el impacto ambiental que representa la operación de los incineradores. La protección al medio ambiente que se exige en un esquema universalmente aceptado en nuestro tiempo de desarrollo sostenible, implica el implementar incineradores eficientes y que posean un equipo complementario para la “limpieza de los gases de combustión”, como factor determinante para su aplicación actual en los centros hospitalarios.

Además de poseer la capacidad adecuada para tratar la generación de residuos biocontaminados del centro asistencial, se deben tener en cuenta otros factores al implementar los incineradores. Debieran ser instalados alejados de los servicios de hospitalización, vivienda, consultorios, comedor y cocina principalmente; separados del edificio del centro hospitalario, pero además teniendo en consideración la dirección de los vientos que prevalecen en la zona.

Algunos inconvenientes operativos de su aplicación están en la posibilidad de supervivencia de contaminantes en las cenizas y en el líquido residual, en la presencia de compuestos químicos que al quemarse puedan emitir gases tóxicos y partículas que puedan causar una polución atmosférica severa en el entorno; asimismo, la presencia de elementos clorinados pueden causar daños al incinerador por corrosión. Otro inconveniente son los riesgos ocupacionales en las operaciones de manipulación y transporte de los residuos biocontaminados hacia el incinerador.

2.1.1.4 Ventajas y desventajas

2.1.1.4.1 Ventajas

- Reduce el volumen en un 90%
- Destrucción total de patógenos, si opera a las temperaturas requeridas
- No hay necesidad de acondicionar los residuos previamente al proceso
- Se puede contar con sistemas móviles de incineración
- Se pueden tratar los residuos comunes y biocontaminados

2.1.4.2 Desventajas

- Emisiones gaseosas peligrosas, con contenido de dioxinas, PCBs, SOx, NOx entre otros.
- Riesgos en la operación, se pueden provocar fogonazos, incendios y quemaduras al operador
- Se requiere de personal entrenado y capacitado para su operación y mantenimiento
- Altos costos de operación (combustibles) y mantenimiento.

2.1.2 Esterilización a vapor

2.1.2.1 Descripción del sistema

Proceso que utiliza vapor saturado a presión en una cámara; más conocido como autoclave o retorta, dentro del cual se someten los residuos sólidos a altas temperatura con la finalidad de destruir los agentes patogénicos que están presentes en los residuos. El autoclavado es el método más conocido de esterilización a vapor, se caracteriza por tener una chaqueta de vapor, que rodea a la cámara de presión (cámara de esterilización); la

chaqueta es abastecida con vapor luego de cargar los residuos biocontaminados, una vez que la autoclave está cargada y cerrada, se hace ingresar vapor a la cámara de esterilización.

La temperatura y el tiempo son igualmente los parámetros fundamentales para la eficacia de este tratamiento. Las temperaturas de operación deben estar entre 135 a 137° C, por un tiempo de 30 minutos como mínimo.

2.1.2.2 Características técnicas del equipo

El equipo consiste una cámara hermética, de acero inoxidable, dentro de la cual se colocarán los desechos, esta cámara puede resistir altas presiones y vacíos, también de acero inoxidable. En esta cámara se colocan los residuos a ser esterilizados; en primer lugar, se produce vacío para extraer el aire de la cámara, luego se inyecta vapor de agua en el interior, a fin de evitar la formación de burbujas de aire donde la temperatura no alcanza la adecuada; nuevamente se realiza un segundo vacío extrayendo el contenido de aire y vapor de la cámara. Se prevé que en este momento la cámara no tendrá bolsas de aire, inmediatamente después se inyecta vapor.

Un sistema controla el incremento de la temperatura hasta 137°C, momento en el cual comienza a contar el tiempo de tratamiento de 30 minutos.

Si por algún motivo la temperatura decae de 137°C el tiempo se inicia nuevamente en cero. Una vez que el tiempo de 30 minutos ha transcurrido se inicia un último vacío extrayendo el vapor contenido en la cámara bajo la forma de condensados por un lapso de 15 minutos. En este instante, a altas temperaturas, y bajas presiones se produce un proceso físico químico que consiste en la evaporación súbita y sublimación del agua contenida en los residuos sólidos. La humedad final de los desechos se recomienda sea del 5%. Una vez finalizada esta parte del proceso se extraerán los residuos de la cámara totalmente esterilizados.

Los esterilizadores a vapor convencionales son estáticos, lo que provoca que en el interior de las cámara de esterilización se puedan formar bolsas de aire, en éstas las temperaturas en ocasiones no llegan a las adecuadas, sin embargo existen equipos rotativos que efectúan el mismo proceso que además de homogenizar los desechos, evitan que se formen estas bolsas de aire.

2.1.2.3 Aspectos técnico operativos

Su utilización es aconsejable en los servicios donde se halla un potencial de generación de residuos sólidos biocontaminados. Sin embargo, las restricciones técnico económicas de su aplicación orientaría su uso a los establecimientos de salud que cuenten con red de vapor (calderas) o energía eléctrica disponible dada la alta demanda de potencia eléctrica requerida para la operación de las calderas eléctricas incorporadas en los modelos de autoclave de operación autónoma.

Con esta aplicación al no reducirse ni destruirse la masa, se recomienda utilizar un tratamiento posterior que haga irreconocible los residuos que salen de la autoclave (particularmente aplicable a jeringas, agujas e hipodérmicas), a fin de evitar su reuso ilegal propiciado por la segregación informal existente en los rellenos sanitarios.

Los parámetros que se deben tener en cuenta para este tipo de tratamiento son la temperatura y tiempo, a fin de garantizar la esterilización completa de los residuos biocontaminados. Parámetros que se fijarán en función a las características operativas y a los tipos de patógenos que se desea esterilizar.

2.1.2.4 Ventajas y desventajas

2.1.2.4.1 Ventajas

- Reduce el volumen en un 40%, con un sistema complementario de trituración de desechos se alcanza hasta un 70%.
- Destrucción total de patógenos si se opera a las temperaturas, presiones y tiempos adecuados
- No hay necesidad de acondicionar los residuos previamente al proceso
- Se puede contar con sistemas móviles de esterilización vapor
- Bajo costo de inversión, operación y mantenimiento
- Tiene efluentes estériles
- Fácil operación

2.1.2.4.2 Desventajas

- Riesgos de quemaduras en caso de mala operación
- Requiere de una línea de vapor o para que sus costos de operación sean convenientemente bajos
- El sistema requiere de un sistema complementario de destrucción de desechos (trituración)
- Luego de ser procesados, los residuos quedan reconocibles por tanto hay el peligro de reuso

2.1.3 Desinfección por microondas

2.1.3.1 Descripción del sistema

Proceso por el cual se aplica una radiación electromagnética de corta longitud de onda a una frecuencia característica. La energía irradiada a dicha frecuencia afecta exclusivamente a las moléculas de agua que contiene la materia orgánica, provocando cambio en sus niveles de energía manifestados a través de oscilaciones a alta frecuencia, las moléculas de

agua al chocar entre sí friccionan y producen calor elevando la temperatura del agua contenida en la materia, causando la desinfección de los desechos. La aplicación de esta tecnología implica una trituración y desmenuzamiento previo de los residuos biocontaminados, a fin de mejorar la eficiencia del tratamiento, a continuación al material granulado se le inyecta vapor de agua y es transportado automáticamente hacia la cámara de tratamiento, donde cada partícula es expuesta a una serie de generadores de microondas convencionales que producen el efecto mencionado anteriormente.

El producto final tratado está preparado para ser depositado en el relleno sanitario o ser enviado a plantas de reciclaje y aprovechamiento de residuos. El volumen de los residuos se reduce en un 60%.

2.1.3.2 Características técnicas del equipo

El equipo está conformado por cuatro elementos, el primero consiste en un sistema de carga automático que permite que el operador no entre en contacto con los desechos. Este elemento levanta los residuos sólidos hasta una cámara en la parte superior del equipo, donde los desechos son triturados previamente al proceso de manera de tener una masa homogénea de residuos.

Debido al principio de funcionamiento del microondas explicado anteriormente, luego de la trituración se inyecta vapor de agua al desecho con la finalidad de elevar la humedad de los mismos de 50% a 60% hasta 90% aproximadamente.

Logrado esto los desechos son transportados mediante un tornillo sin fin hasta los generadores de microondas; éstos se irradiarán con ondas de alta frecuencia durante 30 minutos. Las temperaturas de operación son de 95 °C.

En estas condiciones los residuos quedarán desinfectados. Finalmente, los residuos ya tratados son colocados en un contenedor para ser evacuados por un camión recolector municipal y listos para ser enterrados.

2.1.3.3 Aspectos técnico operativos

Este nuevo sistema de tratamiento reduce los volúmenes de los residuos biocontaminados mediante un triturador a un 60%. Hay ausencia de emisiones peligrosas, sin embargo podrían liberarse de la cámara de tratamiento materiales volátiles durante la operación. Hay ausencia de vertidos líquidos y el producto final es irreconocible. En general el impacto ambiental que ofrece este tratamiento es relativamente bajo. Sin embargo, posee complejidad operativa, requiere de un triturador y de una batería de generadores de microondas, de un elevador, de un Transportador sin fin, y de altas demandas de energía eléctrica (60 Kw para un tratamiento de 100 Kg/hora). Dada la capacidad mínima de tratamiento de esta tecnología, técnicamente tendría su aplicación para un solo centro asistencial, pues en las capacidades que actualmente se fabrican (de 100 a 250 Kg/hora) quedan subdimensionados.

2.1.3.4 Ventajas y desventajas

2.1.3.4.1 Ventajas

- Reduce el volumen en un 60%
- No hay necesidad de acondicionar los residuos previamente al proceso
- Se puede contar con sistemas móviles
- Se pueden tratar los residuos comunes y biocontaminados
- Bajo riesgo en su operación
- No hay efluentes ni emisiones gaseosas peligrosas
- No usa productos químicos

- El producto final es irreconocible
- Olor y niveles de ruido muy reducidos
- Su operación implica un bajo impacto ambiental por ausencia de emisiones peligrosas, asimismo, no hay sobrecarga de los vertedores municipales, hay una mejora en las relaciones públicas con los vecinos del hospital.

2.3.4.2 Desventajas

- Se requiere de personal entrenado y capacitado para la operación y mantenimiento.
- Altos costos de inversión y mantenimiento
- Las temperaturas de tratamiento (95 °C) no eliminan todo el espectro de patógenos presentes en los residuos

2.1.4 Esterilización por irradiación con haz de electrones

2.1.4.1 Descripción del sistema

Proceso de destrucción de los patógenos por disociación química y ruptura de sus células causadas por el flujo de electrones.

En esta tecnología emergente los electrones son generados por un acelerador similar a aquellos usados para administrar radioterapia. El sistema consiste en una fuente de alto voltaje, con modulador de radio frecuencia controlado por un procesador que opera el acelerador de electrones enfriado por agua y encapsulado en paredes de concreto para contener la radiación. Un sistema de transporte mecanizado conduce los residuos biocontaminados debajo de los haces de electrones a un ritmo de 180 kg/hora aproximadamente.

Los residuos biocontaminados, incluyendo plásticos, vidrios, papel, látex (guantes, vendas), van dentro de contenedores conteniendo cada uno

aproximadamente 5 kg. de residuos que se transportan a la cámara de irradiación a través de un sistema motorizado. El flujo de electrones emitidos por un filamento y acelerado por un campo eléctrico de alto voltaje, destruye los microorganismos (patógenos) al ocasionar una disociación química y ruptura de la pared celular de los microorganismos.

2.1.4.2 Aspectos técnico operativos

Esta tecnología requiere de un equipo bastante sofisticado, consistente en un generador de electrones, un gabinete aislado con un acelerador de electrones por campo magnético de alto voltaje y requiere personal altamente calificado.

Los residuos se trasladan por la cámara de radiación en contenedores individuales movidos por un sistema motorizado. Durante el proceso de irradiación, la temperatura de los residuos sólo sube unos 15°C, permitiendo que los desperdicios irradiados puedan ser manejados inmediatamente después de haber sido esterilizados. El consumo de energía es estimado en 0.0386 Kwh/Kg de residuo biocontaminado tratado.

Apenas se apaga el equipo la radiación residual cesa, asimismo al no operar por combustión la polución atmosférica que produce es mínima. A pesar de que hay emisiones de gas ozono, éstas son reducidas por una destrucción catalítica.

2.1.4.3 Ventajas y desventajas

2.1.4.3.1 Ventajas

- Destrucción total de patógenos
- Se necesita acondicionar los residuos previamente al proceso, el haz de electrones puede ser retenido por vidrio y otros materiales de mayor densidad

- Se pueden tratar los residuos comunes y biocontaminados
- No tiene efluentes ni emisiones gaseosas peligrosas

2.1.4.3.2 Desventajas

- No reduce el volumen de los residuos, no tiene alteración de forma física ni química
- Se tiene formación de ozono durante la operación del equipo (efecto corona)
- Se requiere de personal capacitado para la operación y mantenimiento del equipo
- Aunque mínimo, existe riesgo de radiación
- Altos costos de inversión, operación (energía) y mantenimiento

2.1.5 Tratamiento químico

2.1.5.1 Descripción del sistema

Proceso de destrucción de los patógenos provocada por la acción química de ciertos compuestos. Esta tecnología es útil para centros de salud y puestos de salud, establecimientos cuya generación no excede de 10 kilogramos diarios.

Con esta técnica se logra la desinfección del residuo por contacto del mismo con un producto químico líquido desinfectante, que inactiva y mata a los agentes infecciosos. Los residuos biocontaminados se depositan en un recipiente donde son mezclados con el desinfectante líquido, posteriormente, luego de un periodo de contacto con el agente químico, estos son retirados y escurridos para luego ser transportados a un relleno sanitario.

2.1.5.2 Características del proceso

Con este método de tratamiento, normalmente se tratan los desechos líquidos, sin embargo, pueden tratarse los residuos sólidos. El proceso consiste en sumergir los residuos sólidos en una solución química, esta puede ser cloro al 15%. Los residuos estarán en contacto con la solución por un tiempo aproximado de 20 minutos, luego estos serán escurridos antes de colocarlos en una fosa para su enterramiento. La solución química restante podrá ser eliminada en la red pública o en la misma poza donde se han enterrado los desechos.

2.1.5.3 Aspectos técnico operativos

Si bien este tipo de tratamiento es más apropiado para líquidos, es también utilizado para tratar residuos sólidos biocontaminados. La eficacia del tratamiento depende del tipo de patógenos a inactivar o desinfectar, del grado de contaminación, de la cantidad de material proteínico presente, del tipo de producto químico a utilizar y de su concentración, del tiempo de contacto y de otros factores como son la temperatura, pH, grado de agitación requerido y de las características biológicas de los microorganismos patógenos.

2.1.5.4 Ventajas y desventajas

2.1.5.4.1 Ventajas

- Destrucción de patógenos mediante proceso químico
- Se pueden tratar residuos biocontaminados y comunes
- Tecnología útil para establecimientos de salud como puestos de salud

2.1.5.4.2 Desventajas

- Efluentes con soluciones químicas activas

- Riesgos en la operación, se pueden provocar emisiones gaseosas con algunas soluciones químicas
- Efluentes químicos probablemente activos con riesgo en su manipulación
- Es necesario acondicionar los residuos antes del proceso
- Se requiere tiempo de contacto entre el residuo y la solución química, dependiendo del producto que se emplee.

2.1.6 Otras tecnologías emergentes

2.1.6.1 Pirólisis

2.1.6.1.1 Descripción del sistema

Proceso de inactivación de los microorganismos infecciosos por la descomposición química de sus moléculas, al ser sometidos los residuos biocontaminados a intenso calor en un ambiente controlado. Es una tecnología emergente donde se aplica calor sin oxidación de los residuos sólidos biocontaminados, para lograr una descomposición química de las moléculas orgánicas de los residuos a elementos simples (carbón, hidrogeno, etc.).

2.1.6.1.2. Aspectos técnico operativos

Tecnología compleja en la que las moléculas de los residuos sólidos biocontaminados son descompuestas en elementos simples por acción del calor. El sistema procesa hasta 60 kg/hora de residuos biocontaminados. El monitoreo y control operativo del sistema es realizado por un PLC, incluyendo la lectura del código de barras de las etiquetas que identifican a los contenedores con residuos biocontaminados, así como el control del variador de velocidad del motor del transportador y el control de la temperatura del proceso.

2.1.6.2 Detoxificación sintética

2.1.6.2.1 Descripción del sistema

Esta tecnología utiliza vapor sobrecalentado para convertir los residuos biocontaminados en vapor no tóxico y en residuos secos inocuos. Los residuos biocontaminados, que pueden ser vidrios, metales, papel o madera, son triturados en una primera etapa y reducidos a dimensiones de ¼”.

Los residuos triturados fluyen a un evaporador donde son trasladados por un transportador tipo gusano hacia la puerta de descarga; en su recorrido los residuos son expuestos a un flujo de vapor sobrecalentado que está a una temperatura entre 590°C a 650°C. Las partículas del residuo biocontaminado triturado fluyen en dirección opuesta a la del vapor, siendo en este proceso convertidas en vapor orgánico no tóxico (dióxido de carbono y agua) y en residuos secos inorgánicos inocuos.

2.1.6.2.2 Aspectos técnico operativos

Esta tecnología que utiliza vapor sobrecalentado puede tratar entre 200 a 1,200 kg de residuos sólidos biocontaminados por día. Los residuos previamente triturados y tratados con vapor sobrecalentado circulan en la cámara de tratamiento mediante un transportador de tipo tornillo en contraflujo al vapor sobrecalentado. El gas resultante de este proceso fluye a un reactor de detoxificación donde se produce una reacción endotérmica que reduce la toxicidad del gas en más de un 99.99%. De aquí el gas pasa a un intercambiador de calor siendo enfriado a una temperatura de 140°C,

pasando luego a un proceso de absorción, llevando a continuación a un convertidor catalítico donde el gas se transforma en dióxido de carbono y agua, siendo así liberado a la atmósfera.

2.1.6.3 Piroxidación

2.1.6.3.1 Descripción del sistema

Esta tecnología combina el proceso de descomposición química de los residuos biocontaminados logrados con la pirólisis, con la oxidación en una segunda etapa mediante un flujo controlado de aire a la cámara.

2.1.6.3.2 Aspectos técnico operativos

Con esta tecnología la descomposición química de los residuos biocontaminados lograda en un proceso de pirólisis, se combina con una oxidación mediante un flujo de aire controlado a través de un sistema basado en microprocesador, que recibe señales de termocuplas y de un medidor de flujo de aire, para con ello mantener el proceso bajo control. Asimismo, se lleva un control de la eficiencia a través del monitoreo computarizado de las emisiones de los gases emitidos a la atmósfera.

2.1.6.4 Plasma

2.1.6.4.1 Descripción del sistema

Proceso en el cual se destruyen los patógenos por la alta temperatura que se genera al ionizar un gas en la cámara de tratamiento.

Esta tecnología emergente que comúnmente se viene aplicando en la industria del acero (soldadura), se ha incorporado recientemente al tratamiento de los residuos biocontaminados. Un arco eléctrico se produce entre dos electrodos que ionizan un gas inerte, suministrado a través de una boquilla, formando así el plasma (el gas ionizado es

definido como plasma). El arco calienta el gas a una temperatura a la que resulta ionizado. Con este proceso el plasma llega a temperaturas muy altas con las que se destruyen los patógenos de los residuos biocontaminados.

2.1.6.4.2. Aspectos técnico operativos

La aplicación de esta tecnología emergente implica disponer de una fuente de electricidad con un generador de alta frecuencia para el arco eléctrico.

Asimismo, se debe contar con una batería de cilindros de gas inerte (nitrógeno o argón) en la capacidad requerida para abastecer de gas al sistema.

Un controlador basado en microprocesador se encarga de proveer las condiciones operativas adecuadas en función a las señales de control recibidas del sistema (temperatura, flujo de gas). Dado las altas temperaturas que se logran en la cámara para la destrucción de los patógenos en los residuos biocontaminados se dispone de un sistema de enfriamiento, controlado también por el mismo sistema basado en microprocesador.

2.2 Análisis de viabilidad técnico económica

En esta parte de la investigación se realiza una evaluación Técnico-Económica de la viabilidad de implementación en el Hospital Regional de Occidente “San Juan de Dios” de las diversas tecnologías disponibles en el mercado, las mismas que han sido presentadas y caracterizadas en este documento, en el cual se analizó exclusivamente la viabilidad técnica de cada tecnología de tratamiento.

La viabilidad de implementación de las tecnologías de tratamiento ha sido planteada en forma diferenciada, según la capacidad del centro asistencial y de su infraestructura.

2.2.1 Objetivos

Determinar la viabilidad técnico-económica para la implementación de los sistemas de tratamiento de los residuos sólidos hospitalarios biocontaminados en el Hospital Regional de Occidente “San Juan de Dios”, diferenciando las tecnologías y sistemas de tratamiento a implementar sobre la base de la capacidad del centro asistencial, a su infraestructura organizacional y a la disponibilidad de recursos para la operación del sistema de tratamiento propuesto.

2.2.2 Finalidad

La finalidad de este capítulo es definir los sistemas de tratamiento de residuos sólidos hospitalarios biocontaminados que podrían instalarse en el Hospital Regional de Occidente “San Juan de Dios”, a fin de mejorar las condiciones de salubridad en que se desarrollan tales actividades hospitalarias.

2.2.3 Trabajo desarrollado

Se realiza un estudio detallado de la “Evaluación técnico-económica de las tecnologías de tratamiento de los residuos sólidos hospitalarios biocontaminados”, abordando los criterios de aplicación de los sistemas de tratamiento, se prosiguió con el análisis de los aspectos operativos y económicos de las tecnologías de tratamiento tales como:

- Incineración de dos cámaras de combustión

- Esterilización con vapor – autoclave
- Microondas sistema centralizado fijo
- Irradiación con haz de electrones
- Desinfección química
- Enterramiento controlado.

2.2.4 Resultados obtenidos

- Para facilitar la evaluación técnico-económica de las tecnologías de tratamiento, se busco cuanta información se pudo para realizar el estudio.
- Basándose en la información de suministradores de dichos equipos, se realizó un estudio comparativo de los costos de inversión de operación y de mantenimiento, así como de otros parámetros económicos determinantes para la selección de la tecnología, como son la vida útil esperada, complejidad operativa, el respaldo técnico y logístico en el mercado, su eficacia, eficiencia y efectividad de operación en un escenario como el del Hospital Regional.
- Tradicionalmente la incineración y la esterilización con vapor (autoclave) han sido y son los sistemas de tratamiento tradicionales en el ámbito mundial para los residuos sólidos hospitalarios biocontaminados. Sin embargo el avance de la tecnología en las últimas décadas ha propiciado la aplicación de nuevos sistemas de tratamiento que incorporan conceptos físicos y modernos para destruir los patógenos.
- No se debe descartar la futura aplicación de tecnologías de tratamiento emergente, sobre todo teniendo en cuenta sus reducidos impactos

ambientales y las futuras regulaciones medio ambientales para reducir tanto la polución atmosférica como la minimización de consumo de recursos. Basados en éstos lineamientos se espera que la oferta comercial de los equipos de tratamiento en una economía de escala, reduzca los precios actuales, permitiendo en un futuro cercano su implementación.

· La definición de las tecnologías viables de ser implementadas en el centro asistencial por sus aspectos tanto técnicos como económicos es el resultado de un análisis comparativo; derivado de la evaluación parámetros económicos como son los costos de inversión, de operación y de mantenimiento, aspectos operativos, comerciales, de infraestructura organizativa y de recursos entre otros. Esto se ha efectuado con el apoyo de ciertos indicadores, propuestos para permitir un mejor análisis comparativo de los aspectos de inversión, operación y mantenimiento de las tecnologías:

- Indicador de Inversión : Q/kg-día
- Indicador de Operación : Q/kg
- Indicador de Mantenimiento : Q/kg

2.2.4.1 Incineración de doble camara

Es un sistema de tratamiento efectivo, técnica y operativamente viable, que viene utilizándose en el país, con una relación costo/beneficio baja, pues se logra altas eficiencias de tratamiento con una destrucción total de los patógenos, así como una reducción notable en la masa y volúmenes de los mismos, con costos de inversión , que están en el orden de 1,500.00 a 1,700.00 Q/kg-día, costos operativos de 2.80 Q/kg y de mantenimiento de 1.60 Q/kg.

Resulta ser una solución técnico-económica viable. En los incineradores de 2 cámaras de combustión, esto es con cámara de descomposición de residuos con defecto de aire y cámara de postcombustión, se logra a través del proceso de pirólisis la completa destrucción de los patógenos y la quema completa de los residuos biocontaminados, con un mínimo de emisiones gaseosas con humo y olor, y con cenizas inocuas.

2.2.4.2 Esterilización con vapor: autoclaves

Luego del análisis técnico-económico realizado, esta tecnología resulta ser la más apropiada para el tratamiento en la fuente. Las razones que soportan esta conclusión son su sencilla implementación en los establecimientos de salud, requiriendo poco espacio, su presencia en el mercado en diversas capacidades, compatibles con los volúmenes de tratamiento típico demandados en la fuente por cada servicio del establecimiento de salud, por no existir a la fecha en el mercado una alternativa de tratamiento con menores costos de inversión, operación y mantenimiento, en las reducidas capacidades requeridas para tratar los residuos sólidos hospitalarios biocontaminados su aplicación en el país es viable.

Los costos de inversión en rangos de 1400.00 Q/kg. son relativamente bajos. Asimismo los costos operativos de 0.85 Q/kg. son razonablemente bajos, no representando una carga para el centro asistencial, lo que permitirá la regularidad y continuidad operativa que se requiere. Igualmente los costos de mantenimiento son mínimos con valores de 0.61 Q/kg.

Esta tecnología de esterilización con vapor mejora la eficiencia de tratamiento por el mayor contacto del vapor con los residuos, debido a la agitación provocada por la rotación. Es posible plantear el desarrollo de una tecnología de autoclave rotativa con una modificación en el sistema de agitación de los residuos y con un sistema constructivo y de control a costos que representen una opción económica de implementación para los establecimientos de salud.

2.2.4.3 Sistema de desinfección con microondas

Es una tecnología de tratamiento técnicamente viable. Las capacidades de tratamiento que se ofrecen actualmente en el mercado exceden largamente los volúmenes de tratamiento que requieren los establecimientos de salud.

2.2.4.3.1 Tratamiento Individual

Se plantea la alternativa de utilizar esta tecnología para tratar volúmenes de residuos biocontaminados en menores rangos, esto es en capacidades de 10 y 20 kg/hora para tratamiento individual en el ámbito de cada establecimiento. La propuesta es adaptar esta tecnología construyendo los equipos en el país, con kits básicos. Unidad de microondas compuesta de una serie de generadores de microondas convencionales, una unidad de trituración, un transportador tipo gusano, una unidad para carga de contenedores con una tolva de recepción, una unidad generadora de vapor con un sistema de inyección, un tablero conteniendo el sistema de control de parámetros operativos y una unidad de descarga de los residuos tratados.

2.2.4.3.2 Tratamiento Centralizado

En el mercado hay sistemas de tratamiento centralizado en su versión fija y móvil, en capacidades de tratamiento de 100 y 250 kg/hora. Si bien los montos de inversión son relativamente altos, los beneficios que se logran con este sistema compensan la inversión.

Entre los beneficios tenemos el de tener bajos costos operativos y de mantenimiento, el de ser una tecnología ambientalmente sustentable con un impacto ambiental muy bajo, además poseer una eficiencia de tratamiento muy alta con reducción del volumen de residuos en un 60%.

2.2.4.4 Irradiación con haz de electrones

Este sistema de tratamiento corresponde a una tecnología de punta, emergente en el ámbito mundial, que promete ser una solución sostenible y con futuro en el tratamiento de residuos sólidos biocontaminados.

La destrucción de los patógenos se efectúa por disociación química y ruptura de sus células causadas por el flujo de electrones sobre los residuos biocontaminados, el consumo de energía eléctrica es bastante baja, al igual que los costos operativos que para una unidad fija de tratamiento están en el rango de 8.00 Q/kg, al igual que los de mantenimiento de 0.50 Q/kg. Con costos de inversión relativamente elevados, de 24,600.00 Q/kgdía, se prevé que en pocos años con el avance de la tecnología de los superconductores, la investigación especial de nuevos materiales y el criterio de inversión reduzcan a valores que hagan económicamente viable la aplicación de esta tecnología de tratamiento. Se alcanzan altas eficiencias de tratamiento con un mínimo

impacto ambiental al generarse un mínimo de emisiones gaseosas al no producirse efluentes. Los residuos sólidos producidos no poseen radiación residual, son estériles y pueden ser tratados como basura municipal.

Dado los altos volúmenes de tratamiento, este sistema en su versión fija podría considerarse para operar como tratamiento central para hospitales, con capacidades mayores a 400 camas.

2.2.4.5 Desinfección química

La viabilidad de su aplicación se ha definido para establecimientos de salud básicamente del área rural y donde los sistemas de tratamiento alternativos recomendados para establecimientos urbanos no puedan ser implementados por carencia de infraestructura y/o recursos operativos (vapor, electricidad, combustibles, etc.). Con costos operativos del orden de los 5.00 Q/kg, es una opción a considerar para los casos en que no se disponga de las facilidades para optar por sistemas de tratamiento de mayor alcance y eficiencia, así como para los puestos de salud con una accesibilidad restringida, debido a su ubicación geográfica.

2.2.4.6 Enterramiento controlado

Esta alternativa de tratamiento de los residuos sólidos hospitalarios biocontaminados, se presenta como una opción económica para los casos en que el establecimiento de salud –refiriéndose específicamente a Puestos de Salud del área rural -, no disponga de ninguna de las alternativas de tratamiento aquí definidas, con accesibilidad restringida y geográficamente de difícil acceso y por lo que su operación se realiza en un escenario con carencia de facilidades para optar por otros sistemas de tratamiento.

Sería conveniente que la disposición final de estos residuos contemple medidas técnico-sanitarias para el diseño y uso de rellenos sanitarios, en caso de no ser posible se exige un mínimo de condiciones para que el enterramiento controlado como opción de tratamiento no se constituya en un foco infeccioso, ni en un potencial de riesgo de contaminación al medio ambiente. Asimismo, se debe identificar y definir una zona aislada para el enterramiento controlado en áreas donde no haya tránsito de personas, animales o vehículos, alejados de características impermeables, habilitando celdas de confinación de residuos y efectuando el enterramiento a cierta profundidad.

Es la manera más barata de eliminar residuos, pero depende de la existencia de emplazamientos adecuados. En general, la recogida y transporte de los residuos suponen el 75% del coste total del proceso. Este método consiste en almacenar residuos en capas en lugares excavados. Cada capa se prensa con máquinas hasta alcanzar una altura de 3 metros; entonces se cubre con una capa de tierra y se vuelve a prensar. Es fundamental elegir el terreno adecuado para que no se produzca contaminación ni en la superficie ni en aguas subterráneas. Para ello se nivela y se cultiva el suelo encima de los residuos, se desvía el drenaje de zonas más altas, se seleccionan suelos con pocas filtraciones y se evitan zonas expuestas a inundaciones o cercanas a manantiales subterráneos. La descomposición anaeróbica de los residuos orgánicos genera gases. Si se concentra una cantidad considerable de metano pueden producirse explosiones, por lo que el vertedero debe tener buena ventilación. Técnicas más recientes apuestan por el aprovechamiento de estos gases procedentes de la descomposición como recurso energético.

Tabla 1. Cuadro comparativo de algunos sistemas de tratamiento

Factor	Sistema de tratamiento		
	Esterilización por vapor	incineración	Microondas
Aplicación	Mayoría de residuos infecciosos	Casi todos los residuos infecciosos	Casi todos los residuos infecciosos
Operación	Fácil	Compleja	Moderadamente compleja
Requerimientos del personal	Capacitado	Capacitado	Capacitado
Reducción de volumen	30% (sin compactación subsecuente)	85 a 95%	60% (con trituración)
Riesgos ocupacionales	Bajo	Moderado	Bajo
Efluentes líquidos	Bajo riesgo	Riesgo moderado (lavador de gases)	Bajo riesgo
Emissiones al aire	Bajo riesgo	Alto riesgo	Bajo riesgo

Adaptado de: Reinhardt, P.; Gordon, J. Infectious and medical waste management. Michigan, 1996.

Tabla 2. Análisis de costos de sistemas de tratamiento de residuos de establecimientos de salud

Tecnología de Tratamiento		Costos (US\$/kgdía)		
		InversiónUS\$	Operación ⁽¹⁾	Mantenimiento ⁽²⁾
1. Esterilización con vapor (autoclave)	Autoclave +Caldera	190,000	0.1108	0.0812
	Autoclave	110,000	0.0972	0.0650
2. Incineración	Dos cámaras de combustión	210,000	0.3718	0.1980
3. Microondas		1,340,000	0.0600	0.2000

- (1) Costo diario de operación
- (2) Costo anual de mantenimiento

Fuente: Estudio enfoque de las tecnologías de tratamiento de residuos hospitalarios. Ministerio de Salud, Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA), Programa de Fortalecimiento de Servicios de Salud (PFSS). Lima. 1996.

2.3 Propuesta de tratamiento para la disposición final de los desechos sólidos infeccioso generados en el Hospital Regional de Occidente “San Juan de Dios” de Quetzaltenango.

2.3.1 Factibilidad de un Incinerador como tratamiento de lo Desechos Sólidos Hospitalarios Infecciosos en el Hospital Regional de Occidente

Basados en el Reglamento para el manejo de Desechos Sólidos Hospitalarios según Acuerdo Gubernativo No. 509-2001 emitido por el Ministerio de Salud Publica de la Republica de Guatemala en su articulo 8, literalmente dice: “Articulo 8. Obligación de Incineradores. Los entes generadores tanto públicos como privados, quedan obligados, de conformidad con las disposiciones del Código de Salud, a adquirir, instalar y mantener en forma individual o conjunta, incineradores para la disposición final de los desechos que produzcan y que sean considerados como infecciosos de conformidad con el presente reglamento cuyas especificaciones y normas quedarán establecidas de conformidad con lo preceptuado en el capítulo sexto del presente reglamento. Podrán asimismo, contratar los servicios de empresas de disposición que se encuentren debidamente autorizadas por el Departamento de Salud y Ambiente.”

Avalados por el Ministerio de Salud Publica, la propuesta que se presenta y que a nuestro criterio es la mas factible, es la opción de un Incinerador como equipo para el tratamiento de la disposición final de los Desechos Sólidos Hospitalarios Infecciosos, por lo que en adelante trataremos lo concerniente a dicha tecnología.

La utilización del Incinerador para el tratamiento de residuos sólidos biocontaminados resulta eficaz por la destrucción de los materiales orgánicos, incluyendo patógenos; además, permite reducir el volumen y masa de los residuos en un 80 a 95%, haciendo irreconocibles los residuos, las eficiencias de remoción y destrucción de los incineradores operados adecuadamente exceden el 99.99%. Sin embargo, los gases de combustión generalmente requieren de tratamiento. En el proceso, los gases de la combustión pueden provocar problemas de contaminación.

Para reducirlos, se incorporan filtros en las chimeneas que retienen las partículas en suspensión. Los residuos comunes, cuando una buena práctica de segregación asegure que ellos están exentos de residuos biocontaminados, pueden derivarse directamente al recolector municipal, sin tratamiento adicional.

Sin embargo, se debe contemplar el impacto ambiental que representa la operación de los incineradores. La protección al medio ambiente que se exige en un esquema universalmente aceptado en nuestro tiempo donde con razón se viene insistiendo en la necesidad de promover el desarrollo sustentable que preserve la naturaleza y la conserve para las generaciones del futuro, es un imperativo esencial el implementar incineradores eficientes y que posean un equipo complementario para la "limpieza de los gases de combustión", como factor determinante para su aplicación actual en los centros hospitalarios. Además de poseer la capacidad adecuada para tratar la generación de residuos biocontaminados del centro asistencial, se deben tener en cuenta otros factores al implementar los incineradores. Debieran ser instalados alejados de los servicios de hospitalización, vivienda, consultorios, comedor y cocina principalmente; separados del edificio del centro hospitalario, pero además

teniendo en consideración la dirección de los vientos que prevalecen en la zona. Los Incineradores son una solución técnico-económica viable. En los incineradores de 2 cámaras de combustión, esto es con cámara de descomposición de residuos con defecto de aire y cámara de postcombustión, se logra a través del proceso de pirólisis la completa destrucción de los patógenos y la quema completa de los residuos biocontaminados, con un mínimo de emisiones gaseosas con humo y olor, y con cenizas inocuas. Para que la solución sea “ambientalmente sostenible” y compatible con los requerimientos de futuras legislaciones ambientales, los incineradores deberán implementarse con un “equipo lavador de gases”, tal como se hizo mención anteriormente, atendiendo la necesidad de garantizar al máximo su eficaz funcionamiento.

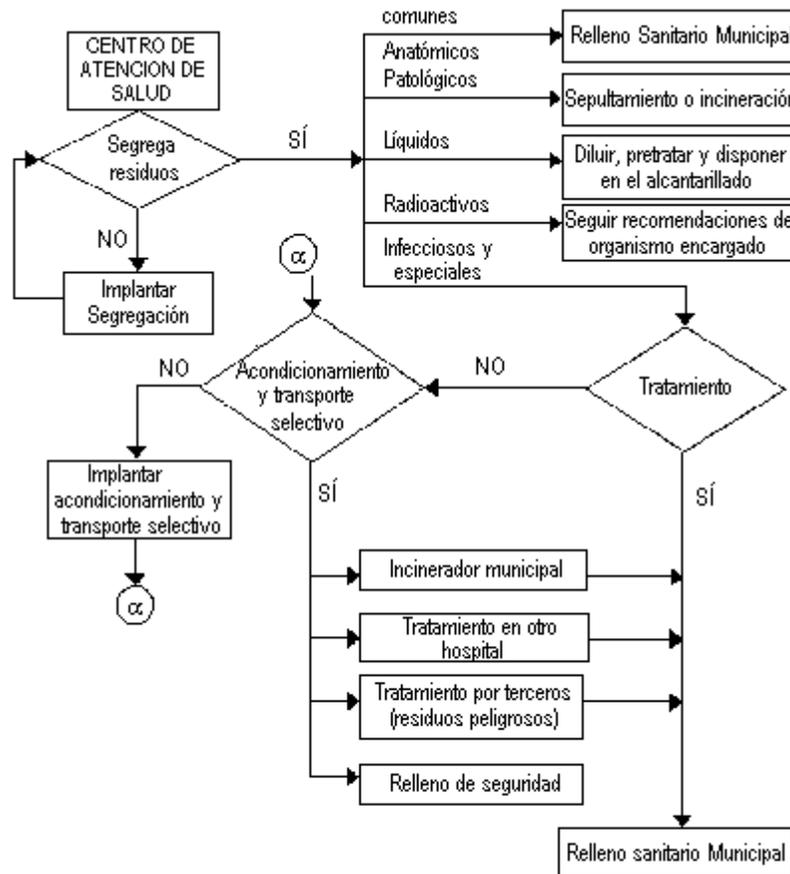
El Reglamento para el manejo de Desechos Sólidos Hospitalarios según Acuerdo Gubernativo No. 509-2001 emitido por el Ministerio de Salud Pública de la República de Guatemala en su Capítulo 6 Artículo 32 y 33 norma la operación y ubicación respectivamente de dichos equipos y literalmente dice:

“Artículo 32. De la Operación del Incinerador”. Todos los incineradores deberán de disponer de una cámara de combustión primaria, que alcance la temperatura mínima de 850 grados Celsius, y una cámara de combustión secundaria, que alcance una temperatura mínima de 1300 grados Celsius y un tiempo de residencia mínimo de los gases de dos segundos , y deberá ser ajustado al tipo de desecho sólido hospitalario que se incinere. En el proceso de incineración se deberá controlar: la flama, la temperatura y el suministro apropiado de oxígeno. La carga de los desechos dentro de la cámara de combustión deberá hacerse mediante un pistón lateral o algún mecanismo que evite mantener la cámara de combustión primaria abierta.”

“Artículo 33. De la Ubicación de los incineradores. Los incineradores que se encuentren en las propias instalaciones de los entes generadores a los que alude el presente reglamento, deberán ser ubicados en un sitio donde no presente un riesgo para los pacientes, personal que labora en el hospital y para la población en general. La selección del sitio donde se instale o construya un incinerador, deberá reunir condiciones de seguridad necesarias para evitar riesgos por fugas, incendios, explosiones y emisiones. La ubicación del incinerador debe ser de fácil acceso, para que el traslado de los desechos hospitalarios sea seguro.”

Los aspectos relevantes de estos dos artículos nos están normando y especificando el tipo de Incinerador a usar y la ubicación que este debe tener en función de la cuantificación y calculo del volumen de desechos sólidos hospitalarios infecciosos generados en el centro hospitalario, datos obtenidos en el capítulo anterior.

Fig. 1 Diagrama de flujo - Manejo de residuos en un centro de atención de salud



Adaptado de: manual de Procedimientos Ambientais. Reforsus. Brasília. 1997.

2.3.1.1 Factores de Impacto ambiental:

- **Ruidos:** incidencia minimizable en función de la ubicación del equipo.
- **Olores:** originados en los depósitos de almacenamiento y eventualmente por la chimenea. Extracción de gases del foso y depuración de efluente gaseoso.
- **Lixiviados:** originados en los fosos de vertido y por las escorias, son inyectados en la cámara de combustión.

- **Escorias:** depositadas en vertederos, aconsejablemente inertizadas, ya que maduran y liberan los metales pesados.
- **Cenizas volantes:** retenidas en los filtros de gases de emisión, se depositan preferiblemente inertizadas (riesgo de lixiviación).
- **Emisiones:** Proviene principalmente de la combustión. Convenientemente depuradas suponen un impacto moderado sobre el medio.

2.3.1.2 Impacto Ambiental de un equipo Incinerador

Un incinerador es un equipo que genera un impacto ambiental tanto por sí mismo como por los efectos derivados de su actividad en las fases de instalación, habilitación y desmantelamiento por clausura. La tabla identifica los efectos sobre el medio de los diferentes factores

		Atmósfera	Agua	Suelo	Vegetación	Fauna	Paisaje	Salud	Usos
Instalación		X		XX	X	X	XX		X
Presencia de la planta							XX		
Fase	Transporte de dsh/p	X						X	
	Almacén de	X						X	
De	Residuos	XX	X	X				XX	XX
	Proceso de	XX	X	X	X	X	X	XX	XX
Habilitación	Combustión	XXX	XX	XX	X	XX	X	XXX	XX
	Productos	X	X	XX				X	XX
	Depurados		XX	XX				XX	XX
	Ruidos					X	X	X	
Fase de clausura			X	X			XX	X	

X Bajo

XX Medio

XXX Alto

Fuente: Implicación ambiental de la incineración de residuos.

2.3.1.3 Contaminantes originados por la combustión:

Metales Pesados:

- Mercurio
- Cadmio
- Plomo

Estos generan: volatilización, principalmente en presencia de cloro, y emisión, condensación sobre las cenizas volantes y lixiviación.

Compuestos clorados

- Dioxinas y furanos
- PCDD y PCDF

Estos compuestos son tóxicos y de baja solubilidad, producto de la combustión incompleta. Degradables con radiación UV

Gases Ácidos:

Sox HCl

Nox HF

Estos son compuestos solubles en agua, permanecen en la humedad del aire (smog fotoquímico) y precipitan (lluvia ácida).

CO₂ Gas de efecto invernadero, no incrementa la aportación de CO₂ antropogénico ya que no proviene de combustibles fósiles. La combustión evita la formación de metano propia de vertebrados.

Partículas Estas absorben contaminantes y los liberan al deponerse y humedecerse.

Impacto de los Contaminantes en el medio:

Metales Pesados:

- Mercurio
- Cadmio
- Plomo

Compuestos clorados

- Dioxinas y furanos
- PCDD y PCDF

Estos son bioacumulables en tejidos y materia grasa. Son tóxicos y estables en el medio, se acumulan en el suelo y se absorben por inhalación e ingestión (fauna/hombre) y absorción radicular (vegetación).

Gases Ácidos:

Sox HCl

Nox HF

Disueltos en agua se depositan causando: Acidificación del suelo y las aguas, impidiendo el crecimiento de vegetación, Destrucción Foliar (vegetación). Irritación de mucosas y cloroacné.

CO₂ Efecto invernadero

Partículas

Vehículo para contaminantes, provocan opacidad del aire a la luz solar y se depositan sobre las hojas afectando la fotosíntesis, Irritantes por inhalación.

Los Humos: Estos son suspensiones de sólidos y/o líquidos en los gases de combustión o en el aire.

- **Humo blanco:** se debe a una insuficiente temperatura del horno. Así algunos hidrocarburos se volatizan y llegan a la chimenea.
Si la temperatura de la chimenea esta entre 150 y 270°C, muchos de estos hidrocarburos se condensan y se ven las gotas.
- **Humo Negro:** las combustiones incorrectas, ya sea de sólidos o de líquidos, conducen a parciales pirólisis y a la formación e coque.
Si el fenómeno persiste, un método de eliminación es la inyección de vapor (se requiere de gran cantidad de 20 a 80 kg por 100 kg de gas).

2.3.1.3 La Emisión de metales:

La presencia de metales en los residuos es inevitable, pero su emisión depende de varios factores:

- Estado del metal en la materia (El Cr no se emite a partir de los aceros inoxidable)
- Otros se emiten a partir de las escorias debido a su volatilización (caso del Hg), la facilidad de oxidación. Los óxidos tienen temperaturas de volatilización mayores que los metales.

Metal	°C Volatización
Hg	16
As	32
Tl	138
Cd	216
Pb	627
Sb	660
Ba	849
Ag	904
Be	1216
Cr	1610

Los óxidos de As subliman a bajas temperaturas (193 °C) y son difíciles de captar. El Cr es refractario y presenta poca emisión en los gases.

El carbón activado se revela como el sistema mejor para captar Hg (eficiencia del 95%). Por scrubbing por debajo de 60 °C. La variante mas tóxica para el hombre es NiCO. Su emisión (como el Cu y el Cr) es independiente de la temperatura.

PbO y PbCL₂ tienen puntos de vaporización > 900 °C. Se recogen en el filtro de mangas.

2.3.2 Control de la contaminación.

Los incineradores de desechos médicos producen mayor cantidad de dioxinas y furanos por tonelada de desecho quemado, cuando se les compara con los incineradores municipales. En primer lugar, los desechos médicos contienen más plástico por volumen (aproximadamente 30% contra 7%) que el desecho que se produce municipal, y mucho de ese plástico contiene cloro (tal es el caso, por ejemplo del policloruro de vinilo o PVC). Además, se debe contar con una tecnología avanzada para el control de la contaminación del aire, la

operación de los incineradores debe estar a cargo de personal capacitado, generalmente la operación de estos equipos esta a cargo de es personal de intendencia de los hospitales sin capacitación. Se debe promover que los hospitales eliminen el uso de PVC y otros plásticos clorados o estos no se deberán incinerar.

La autoridad encargada del control de contaminantes (Departamento de Regulación de los Programas de Salud y Ambiente) debe considerar establecer como requisito para el centro asistencial en el cual se analiza la posibilidad de instalar equipo de incineración remover el PVC de sus desechos. Es muy probable que estas acciones contribuyan a reducir (aunque no eliminar) la emisión total de dioxinas que se arrojan al medio ambiente.

Entre los contaminantes generados en los procesos de incineración están: material particulado, monóxido de carbono, ácido clorhídrico, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, metales, dioxinas/furanos y compuestos orgánicos volátiles.

2.3.2.1 Parámetros a analizar en las emisiones de los incineradores:

Los parámetros comúnmente estudiados en las emisiones de gases:

- Flujo o caudal de salida de los gases a la atmósfera.
- Partículas sólidas (P.S.)
- Opacidad
- Dióxido de azufre (SO₂)
- Oxido de Nitrógeno (Nox)
- Monóxido de carbono (CO)
- Compuestos orgánicos volátiles (C.O.V.)
- Olores Metales pesados (Mercurio, plomo, etc.)
- Compuestos organoclorados.

2.3.2.2 Trampas para contaminantes:

Copiando la estructura de un panal de abeja, se ha mejorado la eficacia de los filtros de gases contaminantes de origen industrial. La eliminación de gases contaminantes no siempre responde a las expectativas. Los filtros que se colocan actualmente en las grandes chimeneas industriales o en los incineradores a menudo no son capaces de retener con el mejor de los rendimientos las partículas para los que han sido diseñados. Una posible solución a este déficit podrían ser los filtros en forma de panal de abeja, una tecnología flexible y de dilatada experiencia, con una eficiencia más que probada.

El grupo dirigido por Jesús Blanco en el Instituto de Catálisis y Petroleoquímica (CSIC) es uno de los pocos en España que trabaja en este campo. (Fuente: Xavier Pujol Gebelli, del Grupo de Ingeniería de Procesos Catalíticos de España).

La tecnología de filtros en forma de panal de abeja recibe este nombre por la particular forma que adoptan los materiales empleados para su construcción en el producto final. En lugar de una superficie plana formada por polvos o agregados a través de las cuales circulan los gases, en los panales se busca aumentar la superficie de contacto tratando de emular la estructura construida por las abejas. La dificultad viene dada no tanto por la forma en sí, sino porque el producto resultante debe respetar unas determinadas características mecánicas y, al mismo tiempo, responder a las exigencias de interacción con los gases contaminantes.

El fabricante de catalizadores efectúa el diseño global de un sistema que se adapta específicamente a cada equipo de incineración. "Cada equipo tiene un volumen de gases a tratar y unas características específicas".

2.3.2.3 Catalizadores

Un catalizador es un polvo, un gránulo o una lentejita" que se dispone cubriendo una extensa superficie. Su disposición en forma de panal de abeja permite fabricar estructuras de hasta un metro de altura por doscientos centímetros cuadrados de base que pueden colocarse uno al lado de otro en un reactor para formar un lecho a través del cual pasan los gases a tratar. De este modo se incrementa notablemente la superficie de contacto y, por tanto, el volumen de gases a tratar.

Siempre que se hable de contaminación atmosférica a partir de una fuente fija, nos referimos a grandes volúmenes de gas que tienen que pasar por un sistema de depuración. En estos casos es muy importante que el diseño del sistema no provoque pérdida de carga porque si no sería ineficiente o tremendamente costoso. En equipos productores de ácido nítrico, se busca la reacción de los óxidos de nitrógeno con amoníaco para su transformación en nitrógeno y vapor de agua.

2.3.2.4 Composites

Los materiales con los que se trabaja de forma habitual son composites. Básicamente, compuestos que incorporan una base de silicatos, alúminas o dióxido de titanio. A esto se le añaden los ladrillos que les dotan de mayor actividad catalítica: un metal noble, manganeso, cromo, hierro, vanadio o wolframio, entre otros. Las cantidades y las relaciones entre ellas tienen que ser muy precisas para que puedan cumplir la función exigida.

Este tipo de estructuras son de interés para cualquier equipo que esté emitiendo gases contaminantes a la atmósfera, puesto que se puede adaptar a cualquier composición química. Ello incluye desde óxidos de nitrógeno a

compuestos orgánicos volátiles pasando por cualquier gas que surja de un proceso de incineración como es el caso.

2.3.3 Problemas con el control de la contaminación producto de la emisión de dioxinas y furanos (enfoque correctivo).

El control de contaminación más avanzado que se utiliza para reducir la emisión de dioxina proveniente de los incineradores implica inyectar carbón activado y una lechada de cal (hidróxido de calcio) en el flujo de gases que emergen del horno o del cambiador de calor, y la recolección de las partículas resultantes en un filtro hecho de tela (a veces denominado *baghouse*). En ocasiones a éste le sigue un sistema húmedo depurador de gases, antes de liberarlos al medio ambiente. En el caso de incineradores de gran tamaño que operan en zonas donde los óxidos de nitrógeno son un problema (ciudades grandes), es posible que además requieran de un equipo caro que no emita óxidos de nitrógeno NO_x . No es suficiente contar con el equipo para el control de contaminantes. También es muy importante contar con el personal calificado encargado de su manejo. A la fecha el Hospital no cuentan con dicho personal.

El carbón activado en polvo, es un material extraordinariamente poroso, pero con unos poros muy pequeños (1-2 nm de diámetro). El tamaño de las dioxinas es prácticamente igual a la boca de los poros, de modo que las moléculas se quedan pegadas ahí, justo en la entrada, lo cual reduce enormemente su eficacia. Eso acaba comportando unos rendimientos muy bajos, lo que obliga, además, a usar mucho más material para obtener los resultados deseados.

Un selecto grupo de investigadores está diseñando un material para captar dioxinas con una boca de entrada al poro mucho mayor (como un embudo). Una vez retenidas, al pasar por los mesoporos (20-40 nm) condensan por efecto capilar, y se difunden a la estructura de carbón activado, donde se

almacenan. La capacidad de captación del modelo experimental es dos órdenes de magnitud superior a los sistemas convencionales de carbón activado. Hay una trampa conectada con mesoporosidad que capta, adsorbe, y por difusión almacena en la estructura microporosa.

2.3.4 Tratamiento y lavado de gases:

2.3.4.1 Tipología de los contaminantes Gaseosos:

- **Gases Ácidos:** provienen de la composición del propio residuo. Se deben abatir por vía seca a base de inyectar reactivos o por vía húmeda.
- **Compuestos Orgánicos:** Que van desde los hidrocarburos a las dioxinas pasando por Co. En general son consecuencia del propio proceso de combustión.
- **Partículas:** inquemados y escorias. Estas últimas son consecuencia de la fracción inorgánica presente en los residuos. Mientras que los inquemados pueden proceder del propio residuo (fracción muy fría) o bien de un defectuoso proceso de combustión.
- **Metales pesados:** proceden del residuo a incinerar. El sistema habitual para su abatimiento es la absorción y los filtros de mangas y electrostáticos.

2.3.4.2 Lavado de gases:

Los gases resultantes de la combustión se tratan en una planta específica para eliminar los agentes contaminantes (metales pesados, gases ácidos, dioxinas...) y evitar su difusión (partículas sólidas, o cenizas), a partir de una lechada de cal pulverizada, que se emplea como reactivo químico para neutralizar los gases.

2.3.4.3 Tratamiento de gases:

Los gases de combustión provenientes de la cámara secundaria son enfriados en un intercambiador de calor hasta la temperatura de 300 'C. Los gases ya enfriados ingresan luego al sistema de lavado de humos en dos etapas:

- La primera es un quench con recirculación que cumple una doble función: enfriar mas aún los gases y a la vez retener partículas de polvo.
- La segunda es el absorbedor, diseñado como un scrubber de operación a contracorriente, donde se recircula solución neutralizadora.

Con este sistema de lavado de gases en dos etapas, se obtienen valores de emisión equivalentes a los que rigen en la Comunidad Económica Europea (siendo estos mucho mas exigentes que la EPA). La operación del sistema de lavado de gases genera un efluente líquido, el cual es tratado por medios físico-químicos, en la Planta de Tratamiento previo a ser vertidos.

2.3.4.4 Limpieza de gases con partículas:

Las partículas con tamaño menor a 1 micra (1 micrómetro) son especialmente nocivas para la salud humana. La primera elección del dispositivo de eliminación se lleva a cabo en función del tamaño de partículas a captar, los dispositivos pueden ser:

Tamaño de Partículas (en micras)	Dispositivo de Eliminación
0.01	Filtro de mangas
<0.1	Precipitador electrostático
>0.1	Venturi de alta frecuencia
>1	Colector húmedo
<10	Multiciclón
10	Ciclón
<100	Cámara de Sedimentación.

El material particulado

Lo mas frecuente es eliminación del polvo por via seca: Ciclones, filtros de mangas, Cuando se usa vía húmeda: Venturis.

- **El Filtro electrostático:** Muy útil cuando el caudal de gas es muy elevado y la carga contaminante baja. Puede funcionar a altas temperaturas y presiones.
- **Filtros de Mangas:** Su eficiencia suele ser superior al 99%. La velocidad de paso del gas es muy reducida. Hoy en día las telas soportan perfectamente hasta 300 °C, no obstante tienen problemas de agresiones químicas.
- **La Adsorción:** Es un fenómeno que tiene lugar en la superficie de un cuerpo (adsorbente) y consiste en separar dos fases: una sólida de una fluida.

El fenómeno tiene lugar gracias a fuerzas débiles del tipo Van der Waals, de ahí la importancia de la superficie específica. El carbón activado es un material microporoso fabricado a partir de materia prima carbonácea, como la turba, madera o lignito. La adsorción con carbón activado permite la captura de casi todos los compuestos orgánicos, de bajo o alto peso molecular. La adsorción es reversible y se puede recuperar el carbón activado. Absorción: Es una operación básica en la que se separa uno o mas componentes de una mezcla gaseosa por medio de un liquido en el que son solubles.

- **Torres de lavados de gases:** el principio básico de todos los lavadores es adherir la partícula sólida a un vehículo liquido para su mayor facilidad de separación.
- **Torres de Lavado:** es el sistema más usado. El gas atraviesa a contraflujo una serie de bandejas o bandejas de cuerpos rellenos con el liquido de lavado. La baja velocidad del gas restringe la aplicación a partículas superiores a 30 micras. Su eficiencia es limitada pero la inversión y el consumo es bajo.
- **Lavador Venturi o Scrubber:** Cada día son mas usados por su eficacia, su facilidad de instalación y mantenimiento: tiene una eficacia del 99% en partículas mayores a 1 micra y una eficacia de 90 a 99% para partículas menores a 1 micra.
- **El Stripping:** Es la eliminación de COV's con vapor (o aire). Se usa para arrastrar NH₃, Fenoles, H₂S, lixiviados, etc. El vapor suele requerir posterior tratamiento por adsorción.

2.3.5 La importancia del control de los desechos sólidos en el contexto del desarrollo sustentable.

Desde la Cumbre de Río de Janeiro, Brasil, realizada en 1992, hace más de 20 años, las cuestiones que afectan el medio ambiente han pasado de ser un asunto marginal, ocupando un lugar central en la problemática del desarrollo actualmente,

sin que por supuesto reciban en la práctica una atención fundamental. Son diversos los problemas ecológicos que se han venido manifestando y denunciándose con insistencia, por las graves consecuencias que están teniendo en la vida de la humanidad, así se mencionan: la extinción de especies, pérdida de la capa de ozono, sobrecalentamiento del planeta, grave contaminación ambiental, efecto invernadero, y muchos problemas ambientales más que están poniendo en serio peligro la propia sobrevivencia de la humanidad.

En esta perspectiva del desarrollo sustentable, los gobiernos han venido adoptando políticas que enfrenten dicha problemática, estando entre ellos la atención sanitaria que dicho sea de paso, es una situación preocupante en Guatemala por los indicadores que informan de los problemas en materia de salud - enfermedad que padecen las mayorías de población.

De tal manera, que procurar que en los diversos centros de control, prevención y curación de enfermedades (hospitales) se instauren sistemas mas eficaces de control de desechos es una necesidad vital que no debe postergarse, pues de lo contrario, estos espacios hospitalarios, para el caso particular el Hospital Regional

de Occidente, continuaran siendo factores de riesgo en materia de contaminación tanto a nivel externo como interno, tal como se ha fundamentado a lo largo de esta tesis. Se trata de una situación preocupante como se ha dicho que, una disciplina como la Ingeniería Mecánica, con un sustento de orientación social, no puede dejar pasar desapercibido, siendo así congruente el proyecto de “Disposición final de los desechos sólidos hospitalarios y factibilidad de instalación de un incinerador en el Hospital Regional de Occidente “San Juan de Dios” de Quetzaltenango”, con el enfoque de desarrollo sustentable con una concepción integral de la salud y de la vida.

3. FASE TÉCNICO PROFESIONAL

3.1 Manejo y cuantificación de los Desechos Solidos generados en el Hospital Regional de Occidente “San Juan de Dios” de Quetzaltenango.

3.1.1 Manejo de los desechos sólidos hospitalarios en el centro asistencial.

El manejo inadecuado que se hace de los desechos sólidos es un factor que agrava el problema de los residuos hospitalarios, porque no existe un cuidado especial para la manipulación de los residuos peligrosos, esto produce contaminación del total de los residuos que conllevan múltiples factores de riesgo, para la salud de los trabajadores , sus familias , la población y el entorno ambiental en general.

3.1.1.1 Segregación

Desde el punto de vista teórico la segregación es el primer paso del manejo de desechos sólidos hospitalarios. Esta operación se realiza en la fuente de generación de residuos. En este centro hospitalario no se cuenta con ninguna clasificación puesto que todo desecho es eliminado en bolsas de plástico negras para su posterior manejo. La segregación se realiza en un 80% por los médicos, personal de enfermería y el personal de servicios auxiliares. Estos tres niveles de personal laborante en el hospital, son los más expuestos a riesgos y accidentes derivados de un mal manejo de desechos.

3.1.1.2 Recipientes

Los recipientes son envases rígidos, que sirven para contener y almacenar los residuos para los que están destinados.

En el Hospital Regional de Occidente se cuentan con recipientes plásticos para desechos comunes, desechos sólidos peligrosos y desechos especiales.

3.1.2 Situación actual de la disposición final de los desechos sólidos en el Hospital Regional de Occidente

Actualmente los desechos hospitalarios en su mas amplia variedad (gasas, vendas, desechos del banco de sangre, residuos del quirófano, cultivos y restos de patología y de otros servicios, etc.) se almacenan indiscriminadamente en una pequeña instalación (un cuarto de 9 metros cuadrados), ubicado a un lado del edificio hospitalario, y cuando el deposito no se da abasto simplemente se utiliza el suelo.

Esta retención temporal permite el acceso de animales, insectos o roedores. Dichos desechos, algunos son incluso quemados en el mismo lugar y el resto, son trasladados por un camión común con caja descubierta, al basurero municipal como destino final. Luego de esta recolección interna y sin un lavado y una posterior desinfección, la unidad citada es utilizada para realizar otras tareas fuera del hospital circulando por la ciudad y produciendo contaminación general al medio ambiente.

Se trata como vemos de una situación anómala y preocupante por las implicaciones que su falta de consideración genera y por el imperativo de mejorar las condiciones sanitarias del país en general y del hospital particularmente, corresponde a las autoridades actuales corregir y ojala sea pronto, antes que genere problemas mucho mayores que se tengan que lamentar.

3.1.3 Beneficios de llevar a cabo un programa de manejo de residuos

3.1.3.1 Incremento de los niveles de seguridad

Con la realización de un programa se busca brindar mayor seguridad a todas las personas que visitan nuestro hospital y a todos los que laboran en el mismo. Con un tratamiento adecuado de los residuos generados, evitamos que exista la posibilidad de una infección por algún agente patógeno que contenga algún residuo y evitemos la aparición de insectos transmisores. Al dar un adecuado tratamiento a los residuos estamos brindando seguridad a las personas internas y externas que estén encargadas del manejo de los mismos.

Existe en el campo medico, un tipo de infecciones muy comunes y que en muchos casos son trágicas, estas se denominan “INFECCIONES NOSOCOMIALES”, son infecciones que se han contraído en el establecimiento de salud en el cual fueron ingresadas los pacientes. Estas son infecciones intrahospitalarias que se dan como consecuencia del desequilibrio de la flora humana, ya debilitada en el momento en que el paciente se interna por cualquier motivo; el 30% son atribuidos al inadecuado entrenamiento y a la negligencia de los profesionales de salud al manipular materiales, tratar pacientes o transitar en lugares de riesgo; el 10% corresponde a las instalaciones inadecuadas, por ejemplo, la falta de grifos de agua para el lavado de las manos, lo que facilita la propagación de infecciones; el 10% restante es causada por la basura hospitalaria u otras situaciones asociadas al medio ambiente.

Estos datos nos ofrecen una aproximación de la magnitud del riesgo representado por los DSH/P y deberían ser suficientes para alertar y sensibilizar a todas las entidades generadoras de este tipo de desechos

sobre la urgencia de poner en práctica un Programa de manejo de residuos que garantice la seguridad del trabajador de la salud y de la población en general, a fin de minimizar estos riesgos y prevenir daños mayores en el futuro.

Dicho programa de manejo de residuos para un centro de atención de salud deberá considerar los siguientes aspectos:

- Asignación de responsabilidades.
- Definición de la estructura de manejo y jerarquía.
- Evaluación de la generación y composición de residuos.
- Elaboración y desarrollo del plan de manejo. El plan debe:
- Contener los procedimientos usuales así como las propuestas para mejorar el manejo de residuos.
- Enfocar principalmente los residuos infecciosos (el área más problemática).
- Ser preparado por la persona o comité responsable de la vigilancia del manejo de residuos.
- Precisar las responsabilidades individuales para todos los procedimientos.
- Ser aprobado por el administrador de la organización responsable del planeamiento.
- Ser actualizado regularmente.
- Implantación del plan de manejo.
- Seguimiento y evaluación.

Asimismo, el plan de manejo de residuos debe contener un plan de contingencia para accidentes que incluya las siguientes acciones:

- Avisar al personal de seguridad.
- Aislar el área del accidente.
- Notificar a la autoridad.
- Identificar a la persona responsable.
- Utilizar equipo de protección personal.
- Preparar, implementar y aplicar el plan de acción
- descontaminación del área
- disposición de los residuos de limpieza
- documentos del evento.

3.1.3.2 Reducción del impacto ambiental

Con la puesta en práctica de un programa de manejo de residuos, se logran metas significativas que reducen el impacto sobre el ambiente, algunos de los logros que se esperan llegar a ver son:

- disminución en la generación de residuos comunes,
- el manejo correcto de los residuos orgánicos que puedan utilizarse como abono para aumentar la vida útil del relleno sanitario que deba implementarse para la disposición final de las cenizas generadas por el proceso de incineración,
- evitar mezclar residuos contaminados que generen riesgos a las personas y al ambiente;
- evitar que los residuos reciclables vayan al relleno y no puedan ser reutilizados en otros procesos posteriores de producción como materia prima.

3.1.3.3 Compromiso integral con el ambiente y con la comunidad

El compromiso con el ambiente debe ser prioritario y fundamental se deben

de considerar todas las formas de tecnología (catalizadores, lavadores de gases, etc.) que permitan que tanto el proceso de manejo de residuos, como la tecnología de disposición final de los mismos (incineración) generen la menor cantidad posible y dentro de los límites permisibles normados por las instituciones respectivas.

El compromiso con la comunidad es por parte de la dirección, la administración y en general de todo el grupo de colaboradores, para que se informe se capacite al personal involucrado y a todas las personas que tengan que ver con la institución. Se debe de transferir el conocimiento de estas tecnologías a todas las instituciones de salud, instituciones educativas y demás personas que tengan interés en conocer o implementar estos procesos. Lo anterior es importante destacarlo, pues es comprensible que si el personal involucrado en las actividades hospitalarias tiene una clara conciencia de la problemática generada por los desechos sólidos y sus serias implicaciones, su actitud será positiva para enfrentar la misma, pero además debe de poseer la capacidad técnica para el correcto manejo del programa, pues de lo contrario el funcionamiento del mismo no alcanzara los objetivos esperados.

3.1.4 Cuantificación y calculo del volumen de los desechos sólidos

El calculo del volumen de desechos sólidos hospitalarios generados se realizo por medio de una relación directa aproximada de su peso. Para establecer el peso por día por persona, se tienen de referencia los datos obtenidos en la práctica (ver anexos Nos. 1 y 2).

La cantidad de desechos sólidos hospitalarios generados por día, es de 1.44 libras por persona.

3.1.4.1 Cálculo del peso de desechos sólidos generados en un día, dentro del hospital.

Este cálculo de peso de desechos sólidos se establece, promediando los pesos obtenidos de las bolsas de polietileno de 24" (61 cm) de ancho x 36" (91.4 cm) de alto. Llenando 2/3 partes de su altura, el promedio se realizó con una muestra de veinte bolsas evaluadas durante el transcurso de cinco días, dichas bolsas se tomaron aleatoriamente dos bolsas por la mañana y dos bolsas por la tarde durante los cinco días, obteniendo un valor de peso promedio por bolsa de diez y nueve libras por bolsa.

Desechos sólidos hospitalarios por día = D.S.H./día

D.S.H. = 1729 libras

D.S.H. = 1729 libras x 1Kg / 2.205 libras = 784.13 kg (ver anexos 1 y 2)

3.1.4.2 Peso de desechos sólidos hospitalarios que deben incinerarse diariamente

Algunos estudios (OMS 1995) consideran que el 80% de los residuos hospitalarios son residuos comunes y el 20% son peligrosos, entre los residuos peligrosos, que el 15% son infecciosos, 4% son químicos y farmacéuticos y 1% radioactivos, envases presurizados y drogas.

El Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) recomienda que sean los desechos sólidos hospitalarios infecciosos los que se incineren a fin de eliminar o reducir los riesgos para la salud, por lo que nos inclinamos por el 15% de los desechos sólidos hospitalarios totales.

Peso de desechos sólidos hospitalarios infecciosos por día =

P.D.S.H.I.D.

$P.D.S.H.I.D. = 0.15 \times D.S.H.$

$P.D.S.H.I.D. = 0.15 \times 1729 = 259.35 \text{ libras}$

$P.D.S.H.I.D. = 259.35 \text{ libras} \times 1\text{Kg} / 2.205 \text{ libras} = 117.62 \text{ kg}$

Este valor nos da un aproximado de la generación diaria de desechos sólidos hospitalarios peligrosos que se deban incinerar (P.D.S.H.P.I.), en base a este dato se estima la capacidad y características particulares y precio del equipo de incineración, el otro porcentaje de desechos (un 80%) que no se estima para incinerar al igual que las cenizas procedentes de la incineración se deben tratar con el método actualmente usado (votadero municipal) mejorando el manejo y disposición final de los mismos, como propuesta se recomienda la habilitación de un votadero para enterramiento controlado de estos desechos.

El 4% que corresponde a desechos químicos y farmacéuticos y el 1% radioactivos, envases presurizados y drogas deben disponerse por separado en un vertedero controlado especial, tomando las respectivas precauciones que estos desechos necesiten para su mejor disposición final.

3.2 Análisis de costos y propuesta de condiciones mínimas de equipo incinerador a utilizar en el Hospital Regional de Occidente.

3.2.1 Costo para el Hospital Regional de Occidente de Incinerar.

Los costos de inversión dependiendo el fabricante y características de los equipos van desde cerca de US\$50,000 (Q350.000) hasta los US\$210,000 (Q1,575,000), los costos de operación diario según se pudo observar anteriormente en la tabla 2 del capítulo 2, tienen un valor cercano a US\$ 0.3718/kgdía (Q2.79/kgdía) y de mantenimiento anual US\$ 0.1980/kgdía (Q1.49/kgdía). Siendo la producción que el Hospital Regional de Occidente genera de desechos sólidos infecciosos a incinerar (117.62 kg/día) tendría un costo de operación diario de Q328.16 y un costo de mantenimiento anual de Q175.25.

El costo de operación semanal tendría un valor de Q2,297.12, el costo de operación mensual tendría un valor de Q10,172.96 y el costo de operación anual tendría un valor de Q122,075.52, estos costos podrán variar en función de la cantidad de periodos de trabajo que el equipo desempeñe, se deberá tomar en consideración que el equipo incinerador trabaje de corrido, esto con la finalidad de tener una mayor eficiencia térmica, una menor exposición a cambios bruscos de temperatura que pudieran representar daños para el equipo; sin embargo, se conoce de la experiencia en otros centros hospitalarios en donde los equipos trabajan por períodos de 6 y hasta de 3 horas disminuyendo en gran cantidad los costos de operación, por lo que en función de la cantidad de desechos generados y el tiempo que lleve al equipo incinerador la eliminación de estos, estará en uso dicho equipo y de ello dependerá nuestros costos de operación a considerar.

3.2.2 Propuesta de ubicación del Equipo Incinerador

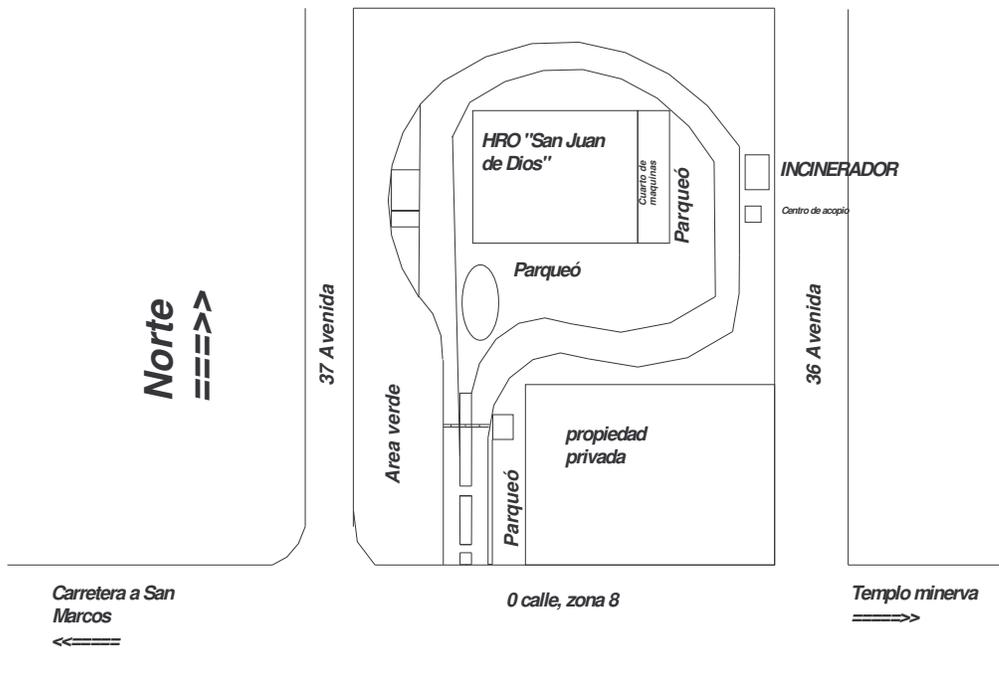
En la parte posterior del Hospital se cuenta con un espacio de aproximadamente 48mts² (6x8mts) destinado para la instalación del equipo incinerador. Dicho espacio está cercano al centro de acopio actual y el mismo no representa riesgo para los pacientes, personal que labora en el hospital y para la población en general, reuniendo condiciones de seguridad necesarias para evitar riesgos por fugas, incendios, explosiones y emisiones.

Las características generales y específicas de los trabajos de obra civil para el montaje y funcionamiento de un incinerador en el Hospital Regional de Occidente “San Juan de Dios” de Quetzaltenango, según el Artículo 18 de la Ley de Contrataciones del Estado, Decreto Número 57-92 del Congreso de la República y sus reformas, se describe en las “Especificaciones Generales”, “Especificaciones Técnicas”, “Disposiciones Especiales” y “Planos” de el Documento de Cotización MSPAS No. 2003-DAM/HGO-C030 elaborado por el Departamento de Adquisiciones y Mantenimiento del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, al cual deberán hacer referencia todas las empresas oferentes, interesadas en el proyecto de obra civil, el cual consta de lo siguiente:

- Caminamiento y cerco perimetral,
- Un cuarto de operación del incinerador el cual deberá incluir un servicio sanitario y vestidores (opcional),
- Plataforma del Incinerador
- Plataforma para el deposito de combustible
- Deposito de cenizas

El adjudicatario de dicho proyecto estará encargado de los trabajos preliminares que el proyecto (obra civil) conlleve como lo son: limpieza y chapeo, trazo, punteado, excavación relleno compactación, construcción de cimiento corrido y de muro de cimentación, realización de soleras de humedad, intermedia y de corona, elaboración de columnas, zapatas y levantado de paredes, acabados, recubrimiento y estructuras del techo, instalación de pisos, puertas, portones, ventaneria, balcones, artefactos y accesorios eléctricos e hidráulicos, accesorios sanitarios, Instalaciones eléctricas, instalaciones hidráulicas, sanitarias y de drenajes, construcción de la plataforma para el incinerador y para el deposito de combustible, construcción de un deposito para cenizas, construcción de cerco perimetral. Todo esto basados en especificaciones dadas por el Departamento de Adquisiciones y Mantenimiento del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social.

Planta de ubicación del Hospital Regional de Occidente San Juan de Dios y ubicación del equipo incinerador.



3.2.3 Características del Equipo Incinerador .

3.2.3.1 En general:

El sistema deberá permitir una quema controlada de los residuos con liberación de gases y sólidos suspendidos incandescentes que serán sublimados a gas en las cámaras de post combustión. Las cenizas por el sistema de criba de fondo del quemador y el aire forzado que atraviesa el cenicero a la cámara de quema, deben ser reducidas a compuestos minerales de fácil disposición en bloques encapsulados.

El sistema de chimenea deberá ser con cubierta de fibra cerámica de alta capacidad y con un regulador de aire para que permita la combustión de los gases a baja temperatura con una oxidación superior al 94% que se encuentra muy encima de las normas internacionales. El incinerador deberá ser probado para emisiones y cumplir con las normas establecidas por el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social y por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.

3.2.3.2 Descripción del Equipo Incinerador

El equipo se compone de una unidad de incineración, la cual deberá disponer de una cámara de combustión primaria, que alcance la temperatura mínima de 850 grados Celsius, y una cámara de combustión secundaria, que alcance una temperatura mínima de 1300 grados Celsius y un tiempo de residencia mínimo de los gases de dos segundos, y deberá ser ajustado al tipo de desecho sólido hospitalario que se incinere.

Chimenea de oxidación a baja temperatura con un gradiente de 850 ° C. A 350 ° C. Termo controles automáticos que permiten mantener estas temperaturas como mínimas dentro de cada cámara.

En el proceso de incineración se deberá controlar: la flama, la temperatura y el suministro apropiado de oxígeno. La carga de los desechos dentro de la cámara de combustión deberá hacerse mediante un pistón lateral o algún mecanismo que evite mantener la cámara de combustión primaria abierta.

3.2.3.3 Especificaciones Técnicas

El horno deberá ser construido en estructura de acero y ladrillo refractario para altas temperaturas (1.750 °C), que conste de dos cámaras horizontales

y una chimenea, que proporcionen un flujo laminar horizontal ascendente con mayor tiempo de retención de partículas y humos. El horno deberá estar cubierto con manto cerámico de alto aislamiento en todos sus costados y forrado totalmente en lamina galvanizada calibre 16, de manera que la temperatura exterior del mismo no supere los 70 ° C por seguridad para los operarios.

El horno deberá contar con dos quemadores de ACPM (se recomienda la marca Beckett Modelo SF) de 2 USG/H y 1 USG/H en las cámaras de quema y post combustión respectivamente.

El horno deberá contar con un soplador de aire forzado (se recomienda la Marca Beckett), que permite sobrealimentar con oxígeno la combustión y hacerla mas eficiente. El horno deberá contar con puertas de cierre rápido debidamente aisladas y con sellos de humo en cordón de asbesto. Las puertas son utilizadas para el cargue de materiales y disposición de cenizas. El funcionamiento del horno se recomienda que sea totalmente automático y se controle pirométricamente en un tablero con alarma sonora y señales lumínicas de encendido.

La chimenea del horno deberá tener una sección como mínimo de 0.06 m² (30*20 cm) y una altura como mínimo de 15 m (se estima esta ser la altura del hospital, y con la idea de que los gases de chimenea deben ser expulsados por lo menos encima del hospital, para no intoxicar salas del mismo), dicha chimenea deberá estar rodeada por una estructura metálica con sección de 1.5 m x 1.5 m provista de escalera y malacate en la punta para el arme, desarme y mantenimiento. La chimenea deberá estar provista de un venturi de control de aire para la combustión fría y de una toma muestras para gases.

El consumo eléctrico estará en función básicamente del fabricante tentativamente le damos un valor de consumo del incinerador de 20 Amperios. Tanque de combustible de 100 USG (o el tanque que recomiende el fabricante del equipo) con sus conexiones de ingreso y retorno, en tubería galvanizada y manguera de neopreno antillama. (Opcional).

3.2.3.4 Características de Diseño

Se recomienda una estructura en acero H de 4 pulgadas y gancho balanceado para su transporte y movilización. (Aéreo y terrestre). Aislamiento refractario U-33 de 4 pulgadas en todos sus costados y recubrimiento en fibra cerámica de alto coeficiente de transferencia con forros en lámina galvanizada calibre 16, que permite manejar temperaturas interiores de 1200°C sin que sobrepase de 70 °C la superficie externa. Control electrónico totalmente automático de la temperatura y activación de quemadores y sobrealimentador de aire. Control de velocidad de gases mediante graduación del turbocargador y el regulador de aire de la chimenea. Suministro de tanque de combustible de 100 gls con visor de nivel de vidrio y protector metálico del mismo. (opcional). Chimenea de 15 m con regulador de aire, muestreador y estructura metálica de ascenso.

3.2.3.5 Capacidad del Incinerador

Este horno deberá estar diseñado para incinerar 117.62 kg/día, con una optima eficiencia, la capacidad sugerida a cotizar con las diversas empresas internacionales que puedan producir dichos equipos esta dentro del rango de 150 kg/dia hasta 200 kg/dia, inclinándonos de preferencia por el primer valor por una cuestión de costos tanto de adquisición como de operación.

3.2.3.6 Requerimientos mínimos de instalación

- Placa de concreto con una resistencia de 5,000 psi. la cual cubra un área de 3 x 4 m (o la que el fabricante requiera).
- Placa y dique perimetral para tanque de combustible. (Placa 4 x 2.5 m, Dique 3 x 1.5 x 0.60m).
- Punto eléctrico con tres fases, neutro y polo a tierra (110 y/o 220 Voltios) y un amperaje mínimo de 20 Amperios.
- Cuatro muertos en concreto de 0.6*0.60*0.60 m

3.3 Propuestas alternativas:

En el medio se tiene conocimiento de empresas autorizadas por el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, las cuales se dedican al tratamiento de desechos sólidos hospitalarios. Al contar con los servicios de dichas empresas, se tienen entre otros los beneficios siguientes: evitar el alto costo de adquisición del equipo de incineración, equipos auxiliares, capacitación del personal para el manejo y administración del equipo, no se generan productos contaminantes cercanos al centro asistencial, evitar todo tipo de accidentes tanto del personal como del equipo. Dentro de algunas de estas empresas a nivel de Quetzaltenango están Ecotermo, Alcances Médicos, que se ocupan de la capacitación del personal del hospital, la correcta segregación, recolección, transporte y manejo de los desechos sólidos hospitalarios hasta su disposición final.

Debido a no poder contar con datos exactos otorgados por dichas empresas por ser confidenciales y exclusivos de contrataciones, no se

puede hacer una estimación exacta del costo que representa para el Hospital Regional de Occidente contar con los servicios de dichas empresas, para el manejo de los desechos sólidos generados dentro del hospital. Aplicando datos de hospitales privados de un valor aproximado de el costo por kg de desecho generado del tratamiento de los desechos (Q4.00/kg), a continuación se hace un estimado del costo que tendría para el Hospital Regional de Occidente contratar los servicios de este tipo de empresas. En el Hospital se generan 117.62 kg/día de desechos sólidos hospitalarios infecciosos (desechos a incinerar) para un valor de Q4.00/kg, tendríamos que el costo para un día sería de Q470.48, el costo semanal sería de Q3,293.36, el costo mensual sería Q13,173.44 y el costo anual sería de Q158,081.28. Estos valores son un poco mas elevados que los calculados en la sección 3.2.1., pero no cuentan con el alto desembolso del precio de adquisición del equipo incinerador.

Con esto en el presente trabajo se han dejado dos posibles opciones para el manejo de los desechos sólidos hospitalarios infecciosos, dándole parámetros de relación en base a costos y beneficios al personal administrativo y dirección del Hospital Regional de Occidente para facilitar la toma de decisiones en beneficio de centro asistencial.

CONCLUSIONES

- A pesar de que los métodos de incineración térmica tienen una eficiencia demostrada para cumplir los requerimientos de destrucción de los POHCs en condiciones de seguridad aceptables, continúa existiendo una gran presión de organizaciones ambientalistas locales e internacionales para evitar la instalación de tales sistemas. Por otro lado, no se deben desconocer las recomendaciones del protocolo sobre cambios climáticos de la Conferencia de Kyoto, Diciembre de 1995.
- Considerando la importancia que tiene el tratamiento de los desechos sólidos hospitalarios y tomando en consideración el proceso de incineración deberá dársele tratamiento a los gases de combustión, dioxinas y furanos; con la finalidad de evitar al máximo la contaminación. La producción de BPCs y dioxinas, los metales pesados pueden producir cenizas que requieren estabilización; para tratar metales volátiles (Pb, Cd, Hg y As) se necesitan sistemas de limpieza de gases; los metales pueden reaccionar con otros compuestos formando compuestos más volátiles y tóxicos.
- Tomando en cuenta lo elevado del costo de adquisición del equipo incinerador se presenta una opción alternativa con beneficios similares y con lo cual se puede viabilizar el tratamiento de los desechos sólidos hospitalarios infecciosos evitando hacer la erogación financiera que la adquisición del equipo caracterizado en la tesis requiere.
- Con la puesta en práctica de un programa de manejo de residuos, se conseguirán metas significativas que reduzcan el impacto sobre el medio ambiente, se lograrán incrementos en los niveles de seguridad de los trabajadores y personas que reciben el servicio del centro asistencial.

- Por sus beneficios a largo plazo, es aconsejable la instalación de un equipo de incineración tal como lo exige el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, sin embargo, debido a los altos costos de inversión que la adquisición de dicho equipo representa para el centro asistencial y los altos niveles de capacitación que el personal técnico operativo debe tener para el manejo de dichos equipos, puede optarse por empresas dedicadas al manejo y disposición final de los desechos sólidos hospitalarios infecciosos, haciendo ver que esto, en un largo plazo, representa costos de operación mayores para el centro asistencial.

RECOMENDACIONES

Al Personal Administrativo y Gerencia

1. Desarrollar conciencia crítica de la problemática que el inadecuado manejo de los desechos representa, por la contaminación que genera al medio ambiente, la necesidad de posibilitar mejores condiciones sanitarias, garantizando en esta forma la mejor prestación de servicios de salud en términos de calidad.
2. Tomar en consideración las alternativas recomendadas en este trabajo para el tratamiento y disposición final de los desechos sólidos infecciosos, por contar con un análisis técnico económico de las opciones propuestas, para una correcta disposición final de los desechos, facilitando, así, la toma de decisiones.
3. Tomar en consideración para cualquiera de las opciones, la concientización y capacitación adecuada del personal laborante en el hospital sobre la importancia del tratamiento de los desechos sólidos, y, del correcto manejo que se debe realizar de los mismos, para con ello no contaminar todos los desechos y hacer una mejor disposición final de los mismos, respetuosos del medio ambiente con el que convivimos, el cual debemos preservar y asegurar.
4. Estudiar a fondo las alternativas propuestas en esta investigación para definir cual es la mas factible, atendiendo los intereses institucionales, los beneficios sanitarios, ambientales y las capacidades financieras con que se cuenta.

Al Departamento de Mantenimiento

5. Capacitar y equipar al personal técnico para el manejo de desechos sólidos hospitalarios, para optimizar su labor, evitar accidentes de trabajo y asegurar el correcto manejo del equipo.
6. Si la opción elegida por el centro asistencial fuera la adquisición de un equipo de incineración, se deberá capacitar al personal técnico en el manejo y mantenimiento del equipo incinerador, para evitar deterioro en el mismo y daños a los operadores.
7. Crear un programa de manejos de residuos para asignar responsabilidades, definir una estructura de manejo.
8. Crear un comité responsable de la vigilancia de manejo de residuos, precisar las responsabilidades individuales para todos los procedimientos, actualizar regularmente dicho plan, darle seguimiento de evaluación.
9. Hacer un manejo clasificado, con higiene y seguridad de los desechos con el objeto de brindar al personal técnico las mejores condiciones de trabajo.
10. Crear un Plan de Contingencia para evitar incidentes que no puedan manejarse en el caso de accidentes.
11. Supervisar y dar mantenimiento a la opción adoptada para asegurar su eficiencia y eficacia a mediano y largo plazo.

BIBLIOGRAFÍA

1. CEPIS. **Guía para el manejo interno de residuos sólidos en centros de atención de salud**. 2.ed. Lima: CEPIS; 1996.
2. DIGESAMINSA. Programa de Fortalecimiento de Servicios de Salud (PFSS). **Estudio "Desarrollo del enfoque de las tecnologías de tratamiento de residuos sólidos hospitalarios"**. <http://www.digesa.pe> Lima, 1996.
3. Ministerio de Salud Pública de la República de Guatemala. **Reglamento para el manejo de Desechos Sólidos Hospitalarios según Acuerdo Gubernativo No. 509-2001**
4. Ministerio de Salud de Perú, **Diagnóstico situacional del manejo de los RSH administrados por el Ministerio de Salud**. Lima, Perú, Dirección de Salud Ambiental.
5. Monreal, J.; Zepeda Porras, F. **Consideraciones sobre el manejo de residuos de hospitales en América Latina**. Washington, D.C :OPS; 1991.
6. Organización Mundial de la Salud. **Manejo de desechos médicos en países en desarrollo**. Ginebra: OMS; 1992.
7. Ponce de León y otros, **"Manual de prevención y control de infecciones hospitalarias"**, OPS, 1996.
8. Programa ALA 91/33, **Resultados de los estudios de generación de DSH y DSH/P en las capitales de Centroamérica – 1995**.

ANEXO No. 1
TABLA DE PESAJE Y CLASIFICACIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS DEL
HOSPITAL REGIONAL DE OCCIDENTE SAN JUAN DE DIOS

SERVICIO	PESO TOTAL LIBRAS	DESECHOS	DESECHOS	DESECHOS
		SÓLIDOS PELIGROSOS	SÓLIDOS INFECCIOSOS	SÓLIDOS COMUNES
Cardiología	32	7.6	5.7	30.4
Cirugía de hombres	57	11.4	8.55	45.6
Cirugía de mujeres	57	11.4	8.55	45.6
Cocina	342	68.4	51.3	273.6
Consulta externa	114	22.8	17.1	91.2
Emergencias	114	22.8	17.1	91.2
Fisioterapia	19	3.8	2.85	15.2
Ginecología	38	7.6	5.7	30.4
Intensivo	114	22.8	17.1	91.2
Labor y partos	76	15.2	11.4	60.8
Lab. Banco de sangre	19	3.8	2.85	15.2
Lab. Microbiología	19	3.8	2.85	15.2
Lavandería	19	3.8	2.85	15.2
Maternidad	38	7.6	5.7	30.4
Medicina de hombres	38	7.6	5.7	30.4
Medicina de mujeres	38	7.6	5.7	30.4
Morgue	38	7.6	5.7	30.4
Odontología	38	7.6	5.7	30.4
Patología	38	7.6	5.7	30.4
Pediatría	38	7.6	5.7	30.4
Psicología	19	3.8	2.85	15.2
Rayos x	19	3.8	2.85	15.2
Secado y planchado	19	3.8	2.85	15.2
Trauma. De hombres	38	7.6	5.7	30.4
Trauma. De mujeres	38	7.6	5.7	30.4
Recién nacidos	38	7.6	5.7	30.4
Preescolar	38	7.6	5.7	30.4
Cunas	38	7.6	5.7	30.4
Intensivo de pediatría	57	11.4	8.55	45.6
Especialidades ped.	57	11.4	8.55	45.6
Sala de operaciones	76	15.2	11.4	60.8
Total	1729	345.8	259.35	1383.2

NOTA: El pesaje de los desechos sólidos fue realizado durante la segunda semana del mes de octubre de 2004. Los datos de pesaje de la presente tabla, representan el peso promedio.

RESUMEN

Desechos sólidos hospitalarios	1729.00
Desechos sólidos peligrosos	345.80
Desechos sólidos infecciosos	259.35
Desechos sólidos comunes	1383.20

Los desechos sólidos infecciosos son los desechos que se incineran.

ANEXO No. 2
TABLA DEL PERSONAL DEL HOSPITAL REGIONAL DE OCCIDENTE SAN
JUAN DE DIOS

SERVICIO	No. PERSONAS
Médicos residentes	84
Médicos especialistas	62
Dietética	20
Personal administrativo	80
Enfermeras profesionales	60
Enfermeras auxiliares	240
Mantenimiento	18
Lavandería	20
Limpieza	20
Pacientes hospitalizados	300
Pacientes de consulta externa	292
Total	1196

Nota: el numero de personas total representa el numero de elementos que segregaron desechos hospitalarios durante el tiempo de análisis.

Resumen

Total de personal	1196 personas.
Total de desechos sólidos generados por día	1729 lbs.
Desechos sólidos generados por persona	1.44 lbs/persona