

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN DE AREQUIPA
ESCUELA DE POSGRADO
UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERIA DE
PRODUCCION Y SERVICIOS



TESIS

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE CÁMARA DE
COMBUSTIÓN POR PLASMA PARA EL TRATAMIENTO DE
RESIDUOS SÓLIDOS HOSPITALARIOS**

Tesis presentada por el Maestro
Jesus Gonzalo Chavez Oblitas
Para optar el grado Académico
de Doctor en Ciencias: con mención en
Ingeniería en Energética

Asesor: Dr. Jose Luis Valentin Galdos Gomez

Arequipa – Perú
2020

DEDICATORIA

Dedico esta tesis primeramente a Dios por permitirme tener vida, salud y poder realizar este propósito para el bien de la sociedad.

A mi esposa María, por brindarme su amor, apoyo y comprensión en este largo y hermoso objetivo.

A mis queridos hijos Gonzalo, Liliana y Lorena que han servido de motivación para alcanzar el esperado éxito profesional.

AGRADECIMIENTO

A mi asesor, el Dr. Jose Luis Valentin Galdos Gomez por el tiempo y esfuerzo que dedico a compartir sus conocimientos, sin sus conocimientos transmitidos no habría llegado a este nivel de conocimiento.

RESUMEN

El Manejo de los Residuos Sólidos Hospitalarios en nuestro país es uno de los aspectos de la gestión hospitalaria, que recién a partir de los últimos años ha concitado el interés de las instituciones públicas y privadas, impulsado por el desarrollo de la seguridad y salud en el trabajo hospitalario, la protección al medioambiente y la calidad en los servicios de salud.

El propósito de este trabajo es dar a conocer a los responsables de la administración de los establecimientos de salud, encargados del manejo de los residuos y al personal del establecimiento de salud, las nuevas tecnologías que existen para realizar un manejo correcto de los residuos sólidos hospitalarios, acorde con la normativa vigente, el nivel de complejidad del establecimiento de salud y el entorno geográfico.

El Perú, cuenta con varios centros hospitalarios y centros de salud que no cumplen con la normativa existente, normalmente estos centros de salud están alejados de las ciudades importantes. En nuestro país la gestión de RSH establece según la NTS MINSA 2004, que el residuo hospitalario debe ser tratado antes de ser depositado en un lugar autorizado y de disposición final y esta misma norma contempla tres métodos de tratamiento; la esterilización por autoclave a vapor, incineración y esterilización por microondas. La incineración tiene ventajas sobre los otros dos métodos, ya que garantiza la destrucción total de los agentes patógenos y su volumen queda reducido en un 90%. La norma existente no contempla el proceso pirolítico con plasma que muchos países lo vienen usando, ya que es una tecnología nueva y emergente en el mundo. En el siguiente trabajo de investigación se desarrollara un prototipo de cámara con arco de plasma para lograr temperaturas sobre los 1200 °C. Así mismo como esta tecnología requiere necesariamente el uso de la energía eléctrica se puede recurrir a la gasificación y hacer auto sostenible energéticamente el proceso.

Palabras claves: horno, pirolisis, plasma, residuos hospitalarios, TRANS

SUMMARY

The Management of Hospital Solid Waste in our country is one of the aspects of hospital management, which has only since the last few years has attracted the interest of public and private institutions, driven by the development of safety and health in hospital work, environmental protection and quality in health services.

The purpose of this work is to make known to the managers of the administration of health facilities, waste managers and health facility staff, the new technologies that exist to carry out the correct management of hospital solid waste, in accordance with current regulations, the level of complexity of the health establishment and the geographical environment.

Peru, has several hospitalcenters and health centers that do not comply with the existing regulations, usually these health centers are away from the major cities.

In our country the management of RSH establishes according to NTS MINSA 2004, that hospital waste must be treated before being deposited in an authorized and final disposal place and this same standard contemplates three methods of treatment; steam autoclave sterilization, incineration and microwave sterilization.

Incineration has advantages over the other two methods, as it ensures the total destruction of pathogens and their volume is reduced by 90%. The existing standard does not cover the pyrolytic process with plasma that many countries have been using, as it is a new and emerging technology in the world. The following research work will develop a prototype plasma arc furnace to achieve temperatures above 1200oC. Just as this technology necessarily requires the use of electric energy you can resort to gasification and make energy-sustainable self-sustaining process.

Keywords: oven, pyrolysis, plasma, hospital waste

INTRODUCCIÓN

La gestión de los Residuos Sólidos Hospitalarios en nuestro país es uno de los problemas latentes hoy en día en el Perú y en nuestra región Arequipa, los hospitales principales de Essalud cuentan con equipos no muy modernos para el tratamiento de estos residuos por incineración y los hospitales del MINSA a veces no cuentan con estos equipos por estar en malas condiciones.

Penosamente a pesar que existe una amplia gama de documentos que dan el sustento legal de parte del Ministerio de Salud de nuestro país, en la práctica en ciudades grandes como Arequipa existe una problemática inmensa pues aún no se cuenta con una empresa que se encargue de la eliminación de estos residuos, pues actualmente los residuos son llevados a la ciudad de Lima para su eliminación final, a través de una empresa privada responsable del transporte.

Respecto a este tema queremos iniciar con el diagnóstico situacional del Perú, las enfermedades relacionadas a los principales problemas de contaminación ambiental, luego de lo cual indicaremos que es un residuo sólido hospitalario, como se realiza su manejo y posterior eliminación y finalmente hablaremos de la problemática actual de Arequipa con el manejo, tanto de hospitales en forma breve ya que ellos cuentan con ciertos elementos que ayudan en la eliminación, como de los establecimientos de salud del primer nivel (Centros de Salud y puestos de Salud)

La salud de la población refleja el nivel de desarrollo económico y social alcanzado por un país y depende de una serie de factores, entre otros, alimentación inocua y de calidad, vivienda saludable, trabajo digno, educación integral, condiciones ambientales saludables, por ello es importante resaltar la salud ambiental como una condición indispensable del desarrollo humano y medio fundamental para alcanzar el bienestar individual y colectivo.

INDICE GENERAL

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
RESUMEN	4
SUMMARY	5
INTRODUCCIÓN	6
CAPITULO 1 ANTECEDENTES	11
1.1 Contexto del problema y su relevancia	11
1.2 Identificación del problema en la región	13
1.3 Justificación de la investigación	15
1.4 Área de influencia de la investigación	17
1.5 Objetivos de la investigación	17
1.5.1 Objetivo principal	17
1.5.2 Objetivos específicos	18
1.6 Hipótesis	18
1.7 Alcances de la investigación	18
1.8 Limitaciones de la investigación	18
1.9 Cronograma	19
1.10 Presupuesto	19
CAPITULO 2 MARCO CONCEPTUAL	20
2.1 Residuos	20
2.1.1. Residuo hospitalario	20
2.1.2 Clasificación de los residuos hospitalarios	23
2.1.3 Etapas del manejo de los RSH.....	26
2.2 Tratamiento a los residuos sólidos hospitalarios	28
2.3 Tratamiento de los residuos sólidos hospitalarios (RSH)	29
2.3.1 Criterios para la selección del tipo de tratamiento	29
2.3.2 Tipos de tratamiento	30
2.3.3 Disposición final de los residuos tratados	42
2.4 Tecnologías emergentes	43
2.4.1 Esterilización por irradiación con haz de electrones	43
2.4.2 Cámara pirólítica por resistencia eléctrica	45
2.5 Tecnología del plasma	46

2.5.1	El plasma.....	47
2.5.2	Antorchas de plasma.....	50
2.5.3	La gasificación.....	51
2.6	Diferencias entre incineración, gasificación y pirólisis.....	52
2.7	Tecnología de la gasificación por plasma.....	54
2.8	Generación de energía a partir de los residuos sólidos.....	56
2.8.1	Tecnologías de valorización de residuos.....	57
CAPITULO 3 ALTERNATIVAS DE DISEÑO PARA PROTOTIPO.....		60
3.1	Tipo de camara.....	60
3.2	Material.....	60
3.3	Tipo de aislante.....	61
3.4	Formación de plasma.....	61
3.5	Gas para ionizar.....	61
3.6	Tipo de alimentacion de RSH.....	61
3.7	Tipo de desechos.....	61
3.8	Accesorios incorporados.....	62
CAPITULO 4 DISEÑO DEL EQUIPO.....		63
4.1	Consideraciones del diseño.....	63
4.2	Arquitectura del equipo.....	64
4.3	Diseño de la cámara.....	64
4.3.1	Cálculo del espesor de pared cámara.....	64
4.3.2	Cálculo del espesor de las tapas planas.....	65
4.3.3	Cálculo de la unión emperrada de la tapa posterior.....	67
4.4	Cálculo de la energía necesaria.....	69
4.5	Calor para incinerar con combustible fósil (petróleo).....	73
CAPITULO 5 PROTOCOLOS DE PRUEBAS Y RESULTADOS.....		77
CONCLUSIONES.....		85
RECOMENDACIONES.....		87
BIBLIOGRAFÍA.....		88
PLANOS DEL PROTOTIPO.....		90
ANEXOS.....		91
ANEXO 1.....		92
ANEXO 2.....		105

INDICE DE FIGURAS

FIG. 1 BOTADERO MUNICIPAL.....	13
FIG. 2 RESIDUOS PELIGROSOS	13
FIG. 3 NOTICIA CORREO 2017	14
FIG. 4 EMPRESA PETROMAS (HUAYCOLORO) LIMA-PERÚ.....	15
FIG. 5 TECNOLOGÍA DEL PLASMA PARA RSH	17
FIG. 6 ÁREA DE INFLUENCIA DE LA INVESTIGACIÓN	17
FIG. 7 CICLO DE MANEJO DE LOS RSH.....	27
FIG. 8 ESTERILIZACIÓN POR AUTOCLAVE.....	31
FIG. 9 INCINERADOR A GAS	34
FIG. 10 INCINERADOR AA PETRÓLEO DEL HOSPITAL ESSALUD.....	38
FIG. 11 INCINERACIÓN CON POST CAMARA	39
FIG. 12 DESINFECCIÓN POR MICROONDAS	42
FIG. 13 DISPOSICIÓN FINAL DE RSH	42
FIG. 14 DESINFECCIÓN POR HAZ DE ELECTRONES	45
FIG. 15 ARCO DE PLASMA POR ELECTRODOS	47
FIG. 16 PLASMA POR ANTORCHA	47
FIG. 17 ESTADOS DE LA MATERIA.....	48
FIG. 18 CAMBIOS DE BASE	49
FIG. 19 DIVERSOS TIPOS DE PLASMA NATURALES Y DE INVESTIGACIÓN	50
FIG. 20 CHORRO DE PLASMA NO TRANSFERIDO Y TRANSFERIDO	51
FIG. 21 GASIFICACIÓN NO PLASMA Y POR PLASMA	55
FIG. 22 AUTOMOVIL CON GASIFICADOR (1942.....	56
FIG. 23 VERTEDERO CON APROVECHAMIENTO DEL BIOGAS (50% METANO) PARA PRODUCIR ENERGÍA.....	57
FIG. 24 PLANTA DE INCINERACIÓN EN SUECIA	58
FIG. 25 TABLERO DE CONTROL ELÉCTRICO.....	62
FIG. 26 PARTES DEL EQUIPO PROTOTIPO	64
FIG. 27 CARÁCTERÍSTICAS TUBERIA SCH 40.....	65
FIG. 28 CÁMARA CON TAPAS PLANAS	66
FIG. 29 FACTOR GEOMÉTRICO "C"	67

FIG. 30 PROTOTIPO DE CÁMARA PIROLITICA	69
FIG. 31 CALOR ESPECÍFICO DE METALES.....	69
FIG. 32 DIAGRAMA SANKEY HORNO COMBUSTIBLE FÓSIL.....	75
FIG. 33 DIAGRAMA SANKEY HORNO ELÉCTRICO POR PLASMA.....	76
FIG. 34 RESISTENCIA ELÉCTRICA EN EL INTERIOR DE LA CÁMARA.....	79
FIG. 35 ARCO DE PLASMA CON AIRE	81
FIG. 36 ARCO DE PLASMA CON ARGÓN.....	83
FIG. 37 ARCO DE PLASMA CON ÁTMOFERA DE ARGÓN	85

INDICE DE TABLAS

Tabla 2 NIVELES MÁXIMOS A LA ÁTMOFERA INCINERADORES.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 3 VENTAJAS DE LA GASIFICACIÓN POR PLASMA....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 4 RESISTENCIA ACERO SAE 1020.....	68
Tabla 5 PROPIEDAD DEL ARGÓN	71
Tabla 6 DETERMINACIÓN DEL CALOR ESPECÍFICO EQUIVALENTE	72
Tabla 7 ESTADÍSTICAS DEL HOSPITAL SEGUIN ESCOBEDO	74
Tabla 8 EQUIVALENCIA ENERGÉTICA.....	74
Tabla 9 RESULTADOS CON PLASMA Y PETRÓLEO	76

CAPITULO 1

ANTECEDENTES

1.1 CONTEXTO DEL PROBLEMA Y SU RELEVANCIA

Uno de los principales problemas ambientales que afronta el Perú, es la contaminación por residuos sólidos. Menos del 30% de las 9'324,000 toneladas al año que se generan son dispuestas adecuadamente en un relleno sanitario. Se estima que el 14 por ciento ingresa a la cadena del reciclaje para ser reaprovechado y más del 56 por ciento, tiene como destino final los botaderos informales, los lechos de ríos o el mar, ocasionando el deterioro de los ecosistemas naturales y contaminando el suelo, el agua y el aire, poniendo así en riesgo la salud y el bienestar de la población en el Perú. En 20 años, sólo se han construido ocho rellenos sanitarios en el país. Seis de ellos se encuentran ubicados en Lima Metropolitana y el Callao. Sin embargo, existe una demanda actual de 190 rellenos sanitarios a nivel nacional, que sólo sería cubierta si el Estado invirtiera aproximadamente 760 millones de soles. Si a esta problemática le sumamos la contaminación por gases producidos por el transporte público y las industria, el resultado es un incremento en la generación de gases de efecto invernadero que ocasionan el calentamiento global y el cambio climático, poniendo el riesgo los recursos naturales, el abastecimiento del agua y la producción de aquellas cosechas sensibles a las variaciones climáticas en el Perú (RMA 2015).

Algo peor ocurre con los residuos peligrosos que pueden ser los industriales y sobre todo los hospitalarios.

En el Perú, el tratamiento de los residuos sólidos hospitalarios (RSH) está normado por norma técnica (MINSA, 2004), que recomienda los métodos de tratamiento de los residuos que pueden ser: enterramiento controlado, esterilización por autoclave, incineración, y desinfección por microondas. Un estudio estima también el potencial energético de los residuos sólidos hospitalarios, es alrededor de 9 a 12 MJ/kg-día de residuos. La composición de los residuos sólidos hospitalarios de acuerdo a (Rodríguez et al. 2012) es

papel (22%), vidrio (7%), metal (1%), plástico (32%) y textiles y orgánicos (38%). Los problemas de los desechos hospitalarios con las emisiones son mayores a los de los residuos sólidos urbanos (RSU) convencionales, que contienen igualmente plásticos contaminantes. Así, (Y. Liu et al. 2006) probaron por primera vez la incineración de desechos hospitalarios usando una tecnología que desarrollaron para los RSU, basada en el secado, pirolisis, gasificación, combustión y vitrificación de cenizas en un solo paso en un reactor rotatorio con rejilla rotaria en el sentido opuesto y una cámara de combustión. A su vez, (Xie et al. 2009) tuvo éxito proponiendo un gasificador de rejilla giratoria, adjunto a una cámara de combustión, como alternativa ante la incineración de los desechos hospitalarios ya que la incineración de los desechos no evita la producción de un gran número de compuestos peligrosos mientras que la gasificación - combustión sería una forma más adecuada de usar esa energía. Posteriormente la tecnología noruega ENERGOS se empleó en un sistema de gasificación - combustión (en cámaras separadas) para generación de vapor y energía a partir de diferentes fracciones de los RSU (incluyendo desechos hospitalarios) que deben ser clasificadas para separar los metales y posteriormente trituradas (Ellyin 2012). En éstas últimas tecnologías, el horno pirolítico basado en la descomposición térmica y combustión en cámaras separadas (Wei et al. 2013) se acerca a la configuración exigida por la normatividad peruana, aunque algunos estudios recientes refieren que la tecnología de la incineración por plasma obtiene mejores resultados a temperaturas mayores a los 1 200 °C pudiendo llegar hasta los 3 000 °C en la cámara de post combustión, esta tecnología patentada por la compañía Westinghouse en el 2014, tendría que ser incluida en la normatividad peruana para poder usarla.



FIG. 1 BOTADERO MUNICIPAL

1.2 IDENTIFICACION DEL PROBLEMA EN LA REGION

En nuestra región y específicamente en la ciudad de Arequipa se producen alrededor de 5 toneladas por día de residuos sólidos hospitalarios (RSH), estos residuos son tratados mayormente por incineración respetando la norma peruana una parte son depositados en un lugar autorizado y el resto son llevados a la ciudad de Lima a un relleno sanitario especial, dispuesto especialmente para estos fines. Este servicio está a cargo de una empresa contratista que no garantiza el destino final de estos residuos por no haber una supervisión constante por el órgano competente.



FIG. 2 RESIDUOS PELIGROSOS



Puno no tiene relleno sanitario para residuos hospitalarios

Ningún hospital o establecimiento de salud de la región Puno contará con un relleno sanitario destinado exclusivamente a los "Residuos Sólidos Hospitalarios" que se generan diariamente en los nosocomios.

FIG. 3 NOTICIA CORREO 2017

La norma califica de residuos peligrosos biológico-infecciosos a una larga lista que comprende desde sangre, o recipientes u objetos que tengan o hayan contenido sangre (gasas, compresas); dispositivos desechables utilizados para la exploración (abate lenguas, cubre bocas) y toma de muestras biológicas, objetos punzocortantes usados, tejidos, órganos y otros más; países desarrollados invierten grandes sumas de dinero en el manejo adecuado de los RSH.

La región contará con una planta de tratamiento de residuos hospitalarios. En julio del 2017 se publicó en La Republica el Acuerdo Regional que declara de interés la instalación y operación de una planta de tratamiento de residuos sólidos hospitalarios, presentada por una empresa privada.

Se estima que solo el hospital Honorio Delgado genera en promedio 1700 kg/día de residuos tóxicos. Hasta hace algunos años estos residuos eran depositados en el relleno sanitario de Quebrada Onda, pero fue prohibido por una ordenanza municipal en el año 2016. Ahora los envían hasta Lima para su tratamiento.

La planta tratará 5 000 kg/día de los residuos hospitalarios del MINSA, ESSALUD y de otros clínicas. ¹(*)

¹ (*) Publicado en La Republica en julio 2017.

El manejo de este tipo de residuo es de mucho riesgo y cada hospital o centro De salud debería estar equipado con una planta de tratamiento, tomando solo el Hospital Honorio Delgado como modelo se debe diseñar un incinerador de 2TM/día.

Se debe considerar para un mejor control de este tipo de residuos que cada hospital o centro de salud cuente con su propio equipo de incineración, de tal forma de evitar el transporte de este tipo de residuos.

En el siguiente trabajo se determinara la capacidad y potencia referencial como aporte y que sirva como dato técnico a las autoridades responsables de la adquisición del equipo incinerador.

Se cuenta datos de dos centros hospitalarios de la región el hospital central del seguro social de salud EsSalud de Arequipa y el hospital de la ciudad de Mollendo.



FIG. 4 EMPRESA PETROMAS (HUAYCOLORO) LIMA-PERÚ

1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La tecnología tradicional para disponer adecuadamente de los desechos hospitalarios es un proceso termoquímico, generalmente la incineración, por lo que la normatividad peruana (MINSA 2004) específica “Los incineradores debe contar con doble cámara: primaria, que alcanza temperaturas entre 600

y 850 °C; y con cámara secundaria con temperaturas superiores a los 1200°C; además de contar con filtro y lavador de gases”. Sin embargo, las regulaciones de emisiones de contaminantes en el aire han llevado a que los hospitales de países como Corea del Sur estén cerrando sus incineradores y enviando los desechos a plantas de tratamiento equipadas para tratar los gases de combustión [Jang 2006]. Entre los contaminantes más peligrosos que emite la incineración están las dioxinas y furanos que se forman a partir de plástico que contienen PVC. Éstos desechos plásticos tienen el más alto poder calorífico entre los desechos hospitalarios, mientras que el algodón usado tiene el menor poder calorífico (A. Singh and Singh 2014). Por lo tanto hay un potencial de energía que podría ser aprovechada eliminando los desechos hospitalarios peligrosos en plantas alejadas de los hospitales.

Además, todos los incineradores existentes en la región queman petróleo D2, que generan aparte de las dioxinas y furanos gases producto de la combustión de este hidrocarburo y en la mayoría de veces este incinerador se encuentra dentro del área del hospital. Estas condiciones mejorarían con el uso de cámaras combustión por plasma ya que no habría que usar combustibles fósiles y además garantizan mayores temperaturas en el proceso y mejores condiciones de operación.

En general tanto para RSU como para RSH existen en el mundo dos tendencias la de ubicarlos en rellenos sanitarios y la de la incineración por pirolisis ambas tendencias tienen sus detractores como defensores, lo que si es cierto que en el mundo cada vez existe más población y más residuos y menos extensiones de terreno para realizar los rellenos sanitarios sobre todo en países europeos por lo que la incineración y gasificación está logrando imponerse en varios países como Japón, China, Estados Unidos y países europeos. Los resultados de la incineración es lograr reducir el volumen de los residuos en un 90% y los productos reducidos e inertes se los puede usar como materia prima de ladrillos o mezclada con el asfalto para carreteras.

Otra ventaja de la incineración con gasificación es que la planta puede ser autoabastecida de energía.



FIG. 5 TECNOLOGÍA DEL PLASMA PARA RSH

Ref. Corp. Westinghouse 2014

1.4 ÁREA DE INFLUENCIA DE LA INVESTIGACIÓN

El área de influencia de esta investigación originalmente será la Región de Arequipa para después que sirva de modelo para todos los hospitales del Perú.

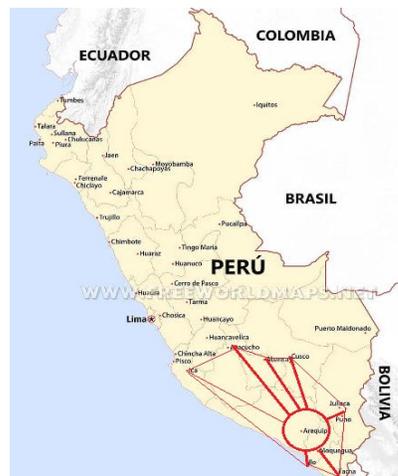


FIG. 6 ÁREA DE INFLUENCIA DE LA INVESTIGACIÓN

1.5 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1 OBJETIVO PRINCIPAL

Crear un prototipo de cámara pirolítica con arco de plasma para el tratamiento de los residuos sólidos hospitalarios (RSH).

1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Usar la tecnología del plasma para la transformación de los Residuos Sólidos Hospitalarios a temperaturas sobre los 1200 °C
- Diseñar una cámara pirolítica que no requiera de combustibles fósiles como el petróleo, carbón o GLP.
- Proponer un diseño de cámara de plasma que sea auto sostenible energéticamente por el proceso de la gasificación.
- Cuidar el medio ambiente logrando altas temperaturas para garantizar la eliminación de sustancias nocivas a la salud del ser humano.
- Desarrollar nuestra propia tecnología, sin dependencia de países desarrollados.

1.6 HIPÓTESIS

Se logrará crear un prototipo de horno pirolítico con arco de plasma para lograr temperaturas mayores a los 1200 °C y poder evaluar su comportamiento energético.

1.7 ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN

El alcance de la investigación son los RSH, que se tiene que caracterizar para tener parámetros confiables, esta investigación no llega a los RSU, donde la gasificación resultaría más eficiente.

1.8 LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

La limitación de la investigación es practicar con electrodos de arco y gas argón para lograr el plasma. Contar con antorchas de plasma, al menos en número de dos sería lo ideal, pero los costos para su fabricación son muy elevados.

1.9 CRONOGRAMA

ITEM	ACTIVIDADES	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6
1	RECOLECCION DE INFORMACION Y MARCO TEORICO						
1.01	Recolección de información						
1.02	Formulación de la necesidad e identificación del problema						
1.03	Formulación de la hipótesis						
1.04	Revisión del estado del arte en el mundo						
1.05	Analizar los alcances y limitaciones de la investigación						
2	ANALISIS DE LAS ALTERNATIVAS DEL DISEÑO PROTOTIPO						
2.01	Planteamiento de las alternativas						
2.02	Análisis de las alternativas						
2.03	Selección de la alternativa más conveniente para el diseño						
3	DESARROLLO DE LOS CALCULOS DE DISEÑO PROTOTIPO						
3.01	Diseño del horno de incinerador por resistencia de materiales						
3.02	Diseño de la tapa, compuerta y chimenea del horno						
3.03	Diseño del sistema de formación de plasma						
3.04	Pruebas preliminares del horno con arco con carbón						
3.05	Diseño definitivo plasmado en planos						
4	CONSTRUCCION DEL EQUIPO Y REALIZACION DE PRUEBAS						
4.01	Construcción del equipo						
4.02	Implementación de instrumentos						
4.03	Pruebas preliminares						
5	EVALUACION DE RESULTADOS						
5.01	Pruebas del prototipo						
5.02	Conclusiones y recomendaciones						

1.10 PRESUPUESTO

La fabricación del prototipo de cámara con arco de plasma y el costo que demandó las pruebas fueron con recursos propios del autor.

CAPITULO 2

MARCO CONCEPTUAL

2.1 RESIDUOS

Los residuos son desperdicios o sobrantes de las actividades humanas. Se clasifica en gases, líquidos y sólidos; y por su origen, en orgánicos e inorgánicos y recientemente en reciclables o no reciclables.

En los últimos años los países del mundo industrializado han cuadruplicado su producción de residuos domésticos, incrementándose esta cifra entre dos y tres por ciento por año. El volumen de producción de residuos es inversamente proporcional al nivel de desarrollo del país que se trate. Diariamente consumimos y tiramos a la basura gran cantidad de productos de corta duración. Se estima que los envases de los productos representan el 40% de la basura doméstica, siendo nocivos para el medio ambiente y además encarecen el producto. Una vez puesta la tapa en el cesto de basura, se olvida el problema; a partir de ahí es asunto de los municipios. Estos tienen varias posibilidades: arrojar la basura en vertederos (solución económica pero peligrosa); incinerarla (costosa y con riesgo de contaminación); o separarla en plantas de tratamiento para reciclar una parte y convertir en abono los residuos orgánicos. Esta sería una solución mucho más ecológica, pero también más costosa.

El destino final de la basura es administrado por el municipio, quien la confina en lo que se denomina "Relleno Sanitario".

Algunos de estos residuos son especiales o peligrosos como los residuos radioactivos, químicos, hospitalarios o patógenos que tienen procedimientos normados para su gestión desde su producción, tratamiento y disposición final.

2.1.1. RESIDUO HOSPITALARIO

La higiene de un ambiente hospitalario considera el establecimiento de planes y operaciones en las áreas de abastecimiento de agua, incluyendo todo el sistema hidráulico, saneamiento básico, manejo de

residuos líquidos y sólidos, control de la contaminación del aire, control de vectores y esterilización. El residuo que usualmente recibe mayor atención es el manejo de los residuos líquidos, sobre todo los provenientes de aquellas personas portadoras de enfermedades infecciosas. Sin embargo, estos residuos una vez generados son eliminados inmediatamente por las redes de desagüe del hospital, operación que imposibilita cualquier contacto con la población hospitalaria. El manejo de los residuos sólidos en cambio presenta una diferencia fundamental con relación a los residuos líquidos; toda vez que, desde el punto de origen se mantiene un contacto directo con el personal responsable del manejo y en general en forma indirecta con la población hospitalaria. Los procesos operativos para el manejo de los residuos sólidos redundan en la presencia de un riesgo permanente que puede movilizarse por todo el hospital durante las etapas de generación, almacenamiento (primario, intermedio y final), transporte interno y tratamiento. Los residuos sólidos que se generan en los hospitales, producto de las actividades asistenciales constituyen un peligro para la salud de las personas si en circunstancias no deseadas, la carga microbiana que contienen los residuos biocontaminados ingresa al organismo humano ó en el caso de los residuos especiales cuando ingresan mediante vía respiratoria, digestiva o dérmica. Los residuos sólidos hospitalarios incluyen un componente importante de residuos comunes y una pequeña proporción de residuos peligrosos (biocontaminados y especiales). La naturaleza del peligro de estos residuos sólidos, está determinada por las características de los mismos que se podrían agrupar básicamente en: (1) residuos que contienen agentes patógenos, (2) residuos con agentes químicos tóxicos, agentes genotóxicos, o farmacológicos, (3) residuos radiactivos y (4) residuos punzo cortantes. Todos los individuos en un hospital, están potencialmente expuestos en grado variable a los residuos peligrosos,

cuyo riesgo varía según la permanencia en el hospital, la característica de su labor y su participación en el manejo de los residuos.

La exposición a los residuos peligrosos involucran, en primer término, al personal que maneja dichos residuos sólidos tanto dentro como fuera de los hospitales, personal que de no contar con una adecuada capacitación y entrenamiento o de carecer de facilidades e instalaciones apropiadas para el manejo y tratamiento de los residuos, así como de herramientas de trabajo y de elementos de protección personal adecuados, puede verse expuesto al contacto con gérmenes patógenos. El personal asistencial de los hospitales (médicos, enfermeras, técnicos, auxiliares, entre otros) también están en riesgo de sufrir algún daño potencial como consecuencia de la exposición o contacto a residuo peligrosos, destacándose los residuos punzo cortantes como los principalmente implicados en los “accidentes en trabajadores de salud”, aunque la gran mayoría de accidentes por pinchazos con material punzo cortante ocurre durante la realización de algún procedimiento asistencial y antes de ser desechado, donde el “material médico implicado” aún no es considerado un residuo. Los residuos biocontaminados pueden contener una gran variedad y cantidad de microorganismos patógenos. Con solo una hora de persistencia del microorganismo vivo en el residuo, sobre todo los patógenos, ya debe considerarse la existencia de riesgo potencial; toda vez que dependerá de la oportunidad que tenga este para entrar en el ciclo de infecciones hospitalarias o la existencia de otros factores epidemiológicos para desencadenar en algún huésped vulnerable. Por otro lado para valorar el peligro se debe considerar además la supervivencia de los microorganismos patogénicos en el ambiente, que es limitada a excepción de alguno de ellos. Cada microorganismo tiene una tasa de mortalidad específica según su resistencia a las condiciones del ambiente tales como temperatura, humedad, disponibilidad de materia orgánica y radiaciones de rayos ultravioleta.

El rol de vectores tales como los insectos también debe ser considerado en la evaluación de la supervivencia y expansión de los microorganismos patogénicos en el medio ambiente. Esto resulta de interés en el manejo de residuos tanto interno como externo de los hospitales. Otro aspecto que merece atención son los accidentes ocurridos por el manejo de residuos hospitalarios. Los residuos punzo cortantes contaminados han sido asociados con la transmisión de enfermedades infecciosas. Datos disponibles bien documentados muestran que las lesiones por pinchazos reportados con más frecuencia afectan al personal de enfermería, laboratorio, médicos, personal de mantenimiento, personal de limpieza y otros trabajadores sanitarios. Algunas de estas lesiones exponen a los trabajadores a patógenos contenidos en la sangre que pueden transmitir infecciones. Los patógenos más importantes entre estos son los virus de la hepatitis B (VHB), virus de la hepatitis C (VHC), virus de la inmunodeficiencia humana (VIH). Las infecciones producidas por cada uno de estos patógenos pueden poner en peligro la vida, pero son prevenibles. El manejo sanitario de los residuos sólidos debe comenzar desde el punto de origen mediante la clasificación de los residuos como parte del concepto de minimización de residuos peligrosos; esta práctica trae como beneficio:

- i. Minimizar los riesgos para la salud, mediante la separación de residuos contaminados con agentes patógenos o tóxicos, a fin de no contaminar el resto de residuos;
- ii. Reducir costos operativos en el manejo de residuos peligrosos; y,
- iii. Reutilizar residuos que no requieren tratamiento.

2.1.2 CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS HOSPITALARIOS

La clasificación es fundamental para que el sistema de manejo de residuos sólidos hospitalarios sea eficaz en el control de riesgos para la

salud, siendo indispensable la participación permanente y consciente del personal del hospital. La clasificación de los residuos sólidos generados en los hospitales, se basa principalmente en su naturaleza y en sus riesgos asociados, así como en los criterios establecidos por el Ministerio de Salud. Cualquier material del hospital tiene que considerarse residuo desde el momento en que se rechaza, porque su utilidad o su manejo clínico se consideran acabados y sólo entonces puede empezar a hablarse de residuo que tiene un riesgo asociado. La norma Brasileira “Residuos de Servicios de Salud” de la Asociación Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) del año 1994 clasifica a los residuos en tres categorías:

Clase A: Residuo Biocontaminado;

Clase B: Residuo Especial; y,

Clase C: Residuo Común.

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

Tipo A.1: Biológico Compuesto por cultivos, inóculos, mezcla de microorganismos y medios de cultivo inoculados provenientes del laboratorio clínico o de investigación, vacunas vencidas o inutilizadas, filtro de gases aspiradores de áreas contaminadas por agentes infecciosos y cualquier residuo contaminado por estos materiales.

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

Tipo A.3: Residuos Quirúrgicos y Anátomo-Patológicos Compuesto por tejidos, órganos, piezas anatómicas y residuos sólidos contaminados con sangre resultantes de una cirugía, autopsia u otros.

Tipo A.4: Punzo cortantes Compuestos por elementos punzo cortantes que estuvieron en contacto con pacientes o agentes infecciosos, incluyen agujas hipodérmicas, jeringas, pipetas, bisturís, placas de cultivo, agujas de sutura, catéteres con aguja y otros objetos de vidrio enteros o rotos u objetos corto punzantes desechados.

Tipo A.5: Animales contaminados Se incluyen aquí los cadáveres o partes de animales inoculados, expuestos a microorganismos patógenos o portadores de enfermedades infectocontagiosas; así como sus lechos o residuos que hayan tenido contacto con éste.

Tipo A.6: Atención al Paciente Residuos sólidos contaminados con secreciones, excreciones y demás líquidos orgánicos provenientes de la atención de pacientes, incluyéndose los restos de alimentos.

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

Tipo B.1: Residuos Químicos Peligrosos Recipientes o materiales contaminados por sustancias o productos químicos con características tóxicas, corrosivas, inflamables, explosivos, reactivas, genotóxicos o muta génicos; tales como quimioterapéuticos, productos químicos no utilizados; plaguicidas fuera de especificación, solventes, ácido crómico (usado en limpieza de vidrios de laboratorio), mercurio de termómetros, soluciones para revelado de radiografías, aceites lubricantes usados, entre otros.

Tipo B.2: Residuos Farmacéuticos Compuesto por medicamentos vencidos; contaminados, desactualizados; no utilizados, provenientes de ensayos de investigación, entre otros.

Tipo B.3: Residuos radioactivos Compuesto por materiales radioactivos o contaminados con radioisótopos de baja actividad, provenientes de laboratorios de investigación química y biología; de laboratorios de análisis clínicos y servicios de medicina nuclear. Estos materiales son normalmente sólidos o pueden ser materiales contaminados por líquidos radioactivos (jeringas, papel absorbente, frascos, heces, entre otros).

Clase C: Residuo común Compuesto por todos los residuos que no se encuentran en ninguna de las categorías anteriores y que, por su semejanza con los residuos domésticos, pueden ser considerados como tales. En esta categoría se incluyen, por ejemplo los residuos generados en administración, aquellos provenientes de la limpieza de jardines, patios, áreas públicas, restos de la preparación de alimentos y en general todo material que no puede clasificar en las categorías A y B.

2.1.3 ETAPAS DEL MANEJO DE LOS RSH

El manejo apropiado de los residuos sólidos hospitalarios sigue un flujo de operaciones que tiene como punto de inicio el acondicionamiento de los diferentes servicios con los insumos y equipos necesarios para realizar seguidamente la segregación de residuos, que es una etapa fundamental; toda vez que, requiere del compromiso y participación activa de todo el personal del hospital.

El transporte interno, almacenamiento y tratamiento son operaciones que ejecuta generalmente el personal de limpieza, para lo cual se requiere de la logística adecuada y personal debidamente entrenado. Las etapas que conforman el manejo de los residuos sólidos y que se utilizan desde la generación hasta la disposición final, son las siguientes:

1. Acondicionamiento;
2. Segregación y Almacenamiento Primario;

3. Almacenamiento intermedio
4. Transporte Interno;
5. Almacenamiento Final;
6. Tratamiento;
7. Recolección Externa; y,
8. Disposición final.

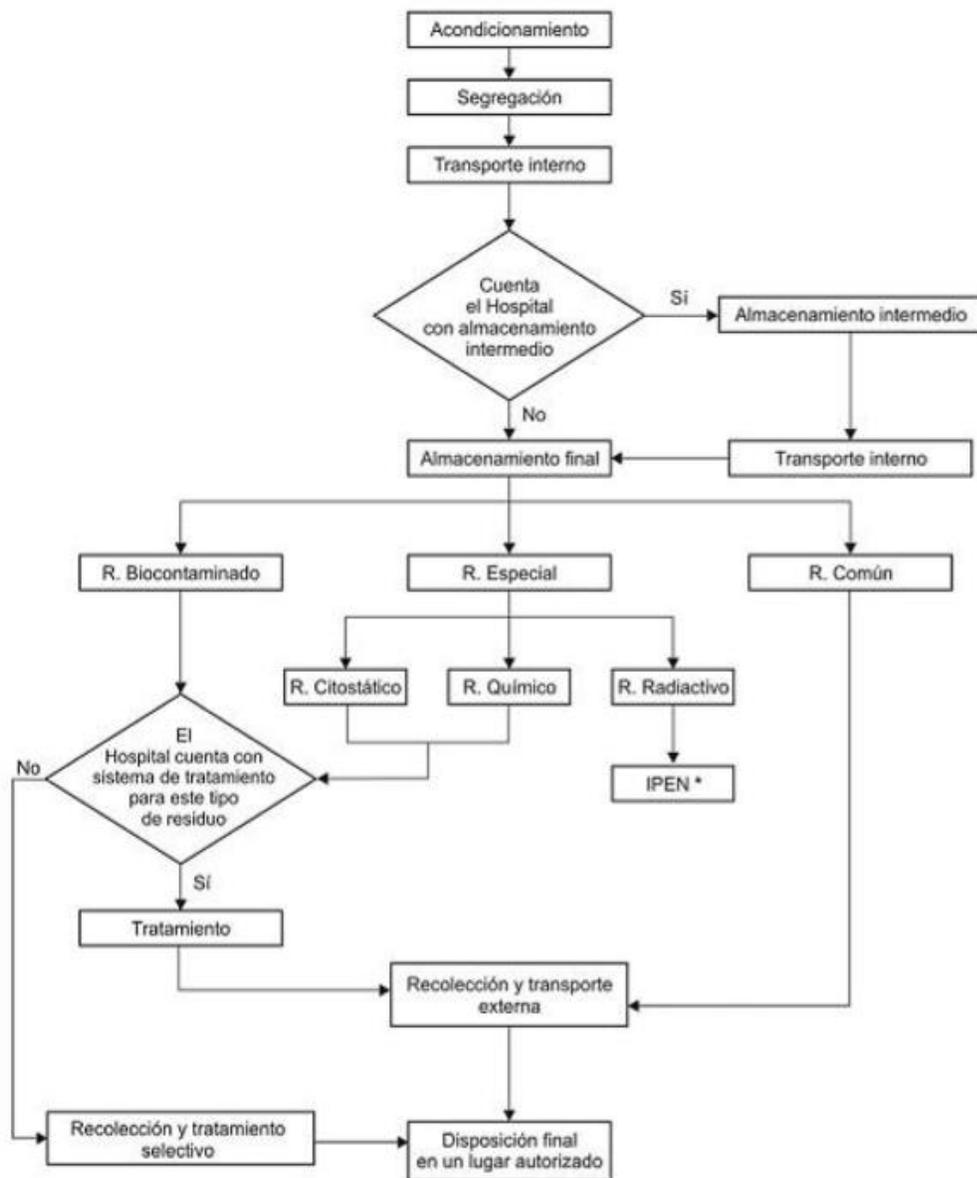


FIG. 7 CICLO DE MANEJO DE LOS RSH

2.2 TRATAMIENTO A LOS RESIDUOS SOLIDOS HOSPITALARIOS

Los Residuos Sólidos Hospitalarios (RSH) son generados en los centros de salud como hospitales, clínicas, postas médicas, laboratorios clínicos y consultorios. Estos residuos se caracterizan por estar contaminados por agentes infecciosos y pueden contener microorganismos nocivos a la salud y pueden estar en las agujas de jeringas, gasas, algodones, órganos patológicos, material de laboratorio, etc.

El manejo adecuado de los residuos sólidos hospitalarios presenta diversos impactos ambientales negativos que se evidencian en diferentes etapas como la segregación, el almacenamiento, el tratamiento, la recolección, el transporte y la disposición final. Las consecuencias de estos impactos no sólo afectan a la salud humana sino también a la atmósfera, el suelo y las aguas superficiales y subterráneas. A todo esto se suma el deterioro del paisaje natural y de los centros urbanos. Debido a que tradicionalmente la prioridad de la institución ha sido la atención al paciente, por mucho tiempo se ha restado importancia a los problemas ambientales, creando en muchos casos un círculo vicioso de enfermedades derivadas del manejo inadecuadas de los residuos. Según la NTP (MINSa 2004) para el tratamiento se contempla:

- Enterramiento controlado
- Esterilización por autoclave
- Incineración
- Desinfección por microondas

Las etapas que conforman el manejo de los residuos son:

1. Acondicionamiento;
2. Almacenamiento primario;
3. Segregación;
4. Almacenamiento intermedio;
5. Transporte interno;
6. Almacenamiento central;
7. Tratamiento;
8. Recolección externa;

9. Disposición final.

En la presente investigación estará enfocado en el tratamiento de los residuos hospitalarios.

2.3 TRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS SOLIDOS HOSPITALARIOS (RSH)

2.3.1 CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DEL TIPO DE TRATAMIENTO

Para la selección del tipo de tratamiento de residuos sólidos adecuado según el hospital en estudio, es conveniente evaluar los siguientes aspectos:

- a) Impacto ambiental; teniendo en consideración que cuando diferentes tecnologías aplicables al tratamiento de residuos sólidos presenten niveles de impacto ambiental similares, la incineración debe ser considerada como la última alternativa a seleccionar, conforme se establece en el artículo 48° del Reglamento de la Ley N° 27314;
- b) Número de horas diarias de utilización del sistema (en función de la cantidad de residuos sólidos que serán tratados;
- c) Existencia de soporte técnico, para su mantenimiento y la capacitación correspondiente;
- d) Condiciones específicas locales, que puedan causar suspensiones accidentales de operación o bajo rendimiento de la misma;
- e) Condiciones futuras y cambios potenciales, tales como los relacionados con regulaciones y estándares;
- f) Factores de seguridad del personal;
- g) Requerimientos normativos y los permisos exigidos para la opción viable;
- h) Actitudes contrarias y la eventual oposición pública a una o más opciones de tratamiento o eliminación.
- i) Costos de instalación; y,
- j) Costos operativos y de mantenimiento;

2.3.2 TIPOS DE TRATAMIENTO

1.- Esterilización por Autoclave: En el proceso se utiliza vapor saturado a presión en una cámara, conocida como autoclave, dentro de la cual se someten los residuos sólidos a altas temperaturas con la finalidad de destruir los agentes patógenos que están presentes en los residuos. En este tipo de tratamiento la temperatura y el tiempo son los parámetros fundamentales para la eficacia del tratamiento. Las temperaturas de operación deben estar entre 135 a 137°C, por un periodo mínimo de 30 minutos. Especificaciones técnicas del equipo.

El equipo consiste en una cámara hermética, de acero inoxidable, dentro de la cual se colocarán los residuos a esterilizar, la misma que debe estar diseñada para resistir altas presiones y vacíos. El funcionamiento del equipo se inicia con la generación de un 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 los valores adecuados; 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. Cuenta con un sistema de control para elevar la temperatura hasta 137°C, momento en el cual comienza a contar el tiempo de tratamiento de 30 minutos como mínimo.

Para la utilización de autoclaves se requiere que el hospital, cuente con red de vapor suministrado por calderos. Esta aplicación no reduce ni destruye los residuos; por lo que, es necesario utilizar un método posterior (tritador y compactador) que haga irreconocible los residuos que salen de la autoclave (aplicable a jeringas, agujas e hipodérmicas), a fin de evitar su reuso ilegal propiciado por la segregación informal existente en algunos lugares del país que no cuentan con infraestructuras de disposición final de residuos sólidos. En el caso de envases de plástico (por ejemplo, polietileno), que sí resisten al calor

pero impiden la penetración del vapor, es necesario destapar previamente los mismos para que el proceso de esterilización sea efectivo. El volumen del desecho es un factor importante en la esterilización mediante el vapor. Considerando que puede resultar difícil lograr la temperatura de esterilización con cargas grandes, puede ser más efectivo tratar una cantidad grande de desechos en dos cargas pequeñas, en lugar de una sola.

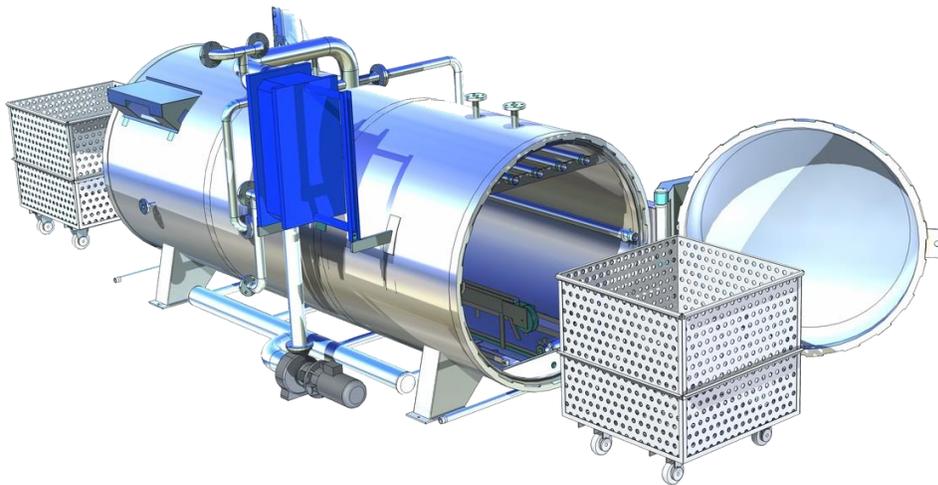


FIG. 8 ESTERILIZACIÓN POR AUTOCLAVE

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 hipodérmicas), a fin de evitar su reúso 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.

VENTAJAS

- Reduce el volumen en un 40%, con un sistema complementario de trituración de residuos 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 con vapor
- Bajo costo de inversión, operación y mantenimiento
- Tiene efluentes estériles
- Fácil operación

DESVENTAJAS

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

2. Incineración.- Es un proceso de combustión que transforma la materia orgánica de los residuos en materiales inertes (cenizas) y gases. El sistema garantiza la eliminación de los agentes patógenos y consigue una reducción física significativa de los residuos, tanto en peso como en volumen. Este método se utiliza para tratar los residuos

de Clase A y Clase B (a excepción de los residuos radiactivos), permitiendo reducir el volumen a un 90%, dejándolos irreconocibles e inertes. Los incineradores deben contar con doble cámara con filtros y lavador de partículas, donde la temperatura de la cámara primaria deberá operar entre 650°C a 850°C y en la cámara secundaria a una temperatura no menor a 1200°C. Especificaciones técnicas del equipo

Los incineradores pirolíticos cuentan con una cámara primaria de acero, con resistencia a temperaturas altas; esta cámara se encuentra revestida con materiales refractarios, cuya finalidad es retener el calor producido por los quemadores. Los quemadores, consisten en una 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. La cámara secundaria, de menor tamaño que la primera, consiste también en una estructura de acero, la cual se encuentra revestida de material refractario que soporta mayores temperaturas. En esta cámara los gases producto de la combustión de los residuos son incinerados mediante un quemador adicional. La temperatura que se debe alcanzar es superior a los 1200 °C.

La incineración de residuos biocontaminados requiere de temperaturas y tiempos de exposición mínimos para asegurar la destrucción de todos los microorganismos presentes. Temperaturas del orden de 1200 °C en la cámara de combustión secundaria, con tiempos de residencia del orden de 02 segundos, permitirán obtener una adecuada incineración de los elementos tóxicos generados en la cámara primaria. El horno no podrá operar bajo ninguna circunstancia a puerta abierta, la misma que deberá encontrarse herméticamente cerrada durante la incineración, a fin de garantizar el enfriamiento de los gases generados durante la combustión, antes de ser ingresados a la torre de lavado de gases, se deber instalar un intercambiador de calor que reduzca la temperatura de los gases de combustión a temperaturas en el orden de los 200°C. El tiempo de residencia de los residuos en el horno, no podrá ser inferior

a 60 min y deberá contar con termo cúpulas para el control de la temperatura tanto en la cámara de incineración como en la de combustión. La solución que se utilice para la captura de los gases de emisión, deberá de estar compuesta de forma tal, que garantice la remoción del dióxido de azufre por debajo de los estándares de inmisión de la OMS. La composición de los residuos y la tasa de alimentación al incinerador, son aspectos fundamentales para una correcta operación y una adecuada protección del incinerador. 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. El operador del equipo de incineración pirolítica debe contar con la certificación correspondiente que acredite su capacidad técnica en el manejo operativo del equipo. No se podrán incinerar envases metálicos (cobre, hierro, aluminio) ni plástico que contengan compuestos clorados.



FIG. 9 INCINERADOR A GAS

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 depósito autorizado por la autoridad competente. 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 combustiónarán los residuos 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
Monóxido 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 / m ³
TEQ*	

TABLA 1 NIVELES MÁXIMOS A LA ÁTMOFERA INCINERADORES

Fuente: MINSA

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 3 segundos 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 conjuntas 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 establecimientos de salud. Además de poseer la capacidad adecuada para tratar la generación de residuos biocontaminados del establecimiento, 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 establecimiento de salud, 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 clorados puede 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.

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.
- Se puede emplear la gasificación y generar energía eléctrica.

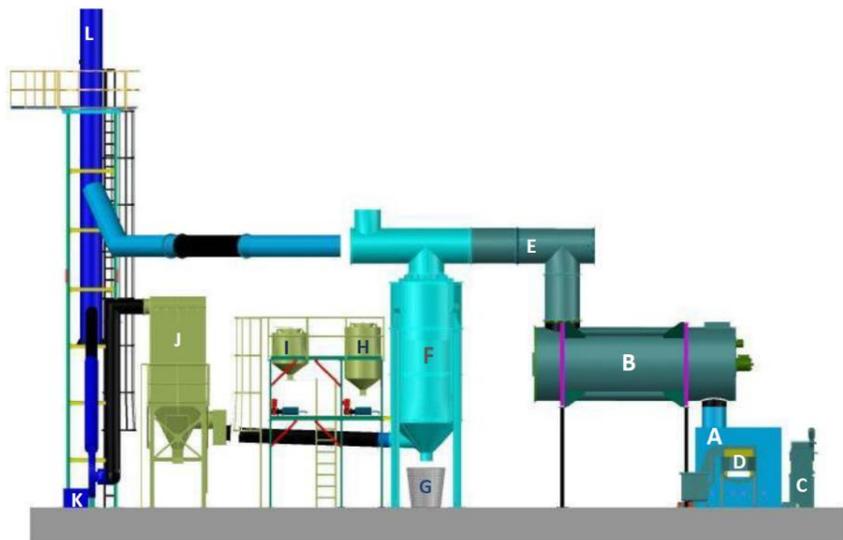
DESVENTAJAS

- Emisiones gaseosas peligrosas, con contenido de dioxinas, SO_x, NO_x entre otros.

- Riesgos en la operación, se pueden provocar fogonazos, incendios y quemaduras al operador
- Se requiere de personal entrenado y capacitado para su O&M.



FIG. 10 INCINERADOR AA PETRÓLEO DEL HOSPITAL ESSALUD



- A. CÁMARA DE COMBUSTION (HORNO)
- B. CÁMARA POST COMBUSTION
- C. EXTRACTOR DE CENIZA
- D. CARGADOR HIDRAULICO
- E. DUCTOS DE INTERCONEXION
- F. ENFRIADOR DE GASES
- G. DEPOSITO DE AGUA
- H. DEPOSITO DE CAL
- I. DEPOSITO DE CARBON ACTIVADO
- J. FILTRO DE MANGAS
- K. EXTRACTOR DE ALTA EFICIENCIA
- L. CHIMENEA INOX CON PLATAFORMA

FIG. 11 INCINERACIÓN CON POST CAMARA

3. Desinfección por microondas: Descripción del funcionamiento

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; luego, 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 dispuesto en una infraestructura de disposición final de residuos sólidos. El volumen de los residuos se reduce en un 60%.

Especificaciones técnicas del equipo El equipo está conformado por: sistema de carga automático, unidad de trituración, generador de microondas y transportador tipo gusano. El sistema de carga automático 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 residuo con la finalidad de elevar la humedad de los mismos de 50% hasta aproximadamente 90%. Logrado esto los residuos son transportados mediante un tornillo sin fin hasta los generadores de microondas; éstos se irradiarán con ondas de alta frecuencia durante 30 minutos. La temperatura de operación es de 95°C. Aspectos técnico-operativos Este método de tratamiento reduce el volumen de los residuos biocontaminados mediante un triturador a un 60%. Hay ausencia de emisiones peligrosas, sin embargo, existe la posibilidad de liberarse emisiones de la cámara de tratamiento de materiales volátiles durante la operación. Hay ausencia de vertidos líquidos y el producto final es irreconocible. En general, el impacto ambiental negativo que ofrece este tratamiento es relativamente bajo. Sin embargo, posee complejidad operativa, requiere de un triturador y de una batería de generadores de microondas, un elevador, un transportador sin fin y de altas demandas de energía eléctrica (60 Kw para un tratamiento de 100 Kg/hora). Los parámetros que se deben tener en cuenta para este tipo de tratamiento son: temperatura, presión y tiempo los mismos que se fijarán en función a las características operativas y a los tipos de patógenos que se desean eliminar; a fin de garantizar la esterilización completa de los residuos biocontaminados. Este método requiere de una alta inversión económica tanto para la instalación del sistema, como para asumir los costos de operación y mantenimiento, lo cual hace poco factible su implementación en los hospitales del país.

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.

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
- Baja capacidad de los equipos.



FIG. 12 DESINFECCIÓN POR MICROONDAS

2.3.3 DISPOSICIÓN FINAL DE LOS RESIDUOS TRATADOS

La disposición final de los residuos sólidos hospitalarios debe ser un lugar dispuesto por la autoridad competente y que reúna las con todas las características exigidas por normas. Debe contar con protección de geo membrana en la base ser cubierto por tierra en espesor entre 0,50 a 1,00 metro sobre las bolsas y mostrar letreros indicando la peligrosidad de lo enterrado.

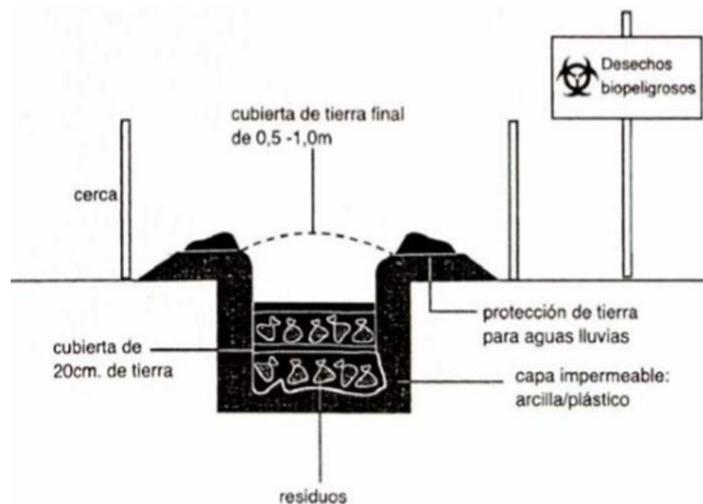


FIG. 13 DISPOSICIÓN FINAL DE RSH

2.4 TECNOLOGIAS EMERGENTES

2.4.1 ESTERILIZACIÓN POR IRRADIACIÓN CON HAZ DE ELECTRONES

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.

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 0.386 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.

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.

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.
- Se requiere de personal capacitado para la operación y mantenimiento del equipo
- Aunque mínimo, existe riesgo de radiación
- Altos costos de inversión, operación y mantenimiento

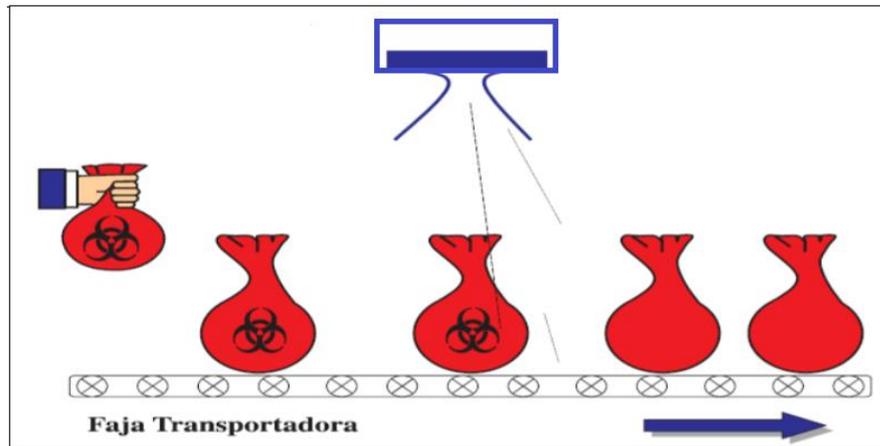


FIG. 14 DESINFECCIÓN POR HAZ DE ELECTRONES

2.4.2 CÁMARA PIRÓLITICA POR RESISTENCIA ELECTRICA

Proceso de destrucción de los microorganismos infecciosos por la descomposición de sus moléculas, al ser sometidos los residuos biocontaminados a intenso calor en un ambiente controlado, sin oxígeno o con el poco oxígeno de los desechos. Es una tecnología emergente donde se aplica calor sin oxidación de los residuos sólidos biocontaminados, para lograr una descomposición de las moléculas orgánicas de los residuos a elementos simples (carbón, hidrógeno, CO, etc.). En la cámara de acero inoxidable donde se realiza la pirólisis el calor es generado por una resistencia eléctrica o por un reactor de plasma y las paredes de la cámara son enfriadas con agua. Su tecnología es compleja en la que las moléculas de los residuos sólidos biocontaminados son descompuestas en elementos simples por acción del calor. Existen sistemas que procesan desde 100 kg/hora hasta 1 tonelada/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.

2.5 TECNOLOGÍA DEL PLASMA

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 (1 200 a 2 000 °C) con las que se destruyen los patógenos de los residuos biocontaminados. 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, con tratamiento de gases y posibilidad de realizar la gasificación y volver el proceso autónomo en cuanto a energía. Las dos formas conocidas para crear plasma es con electrodos de carbón o grafito y por antorcha que es un método más sofisticado.

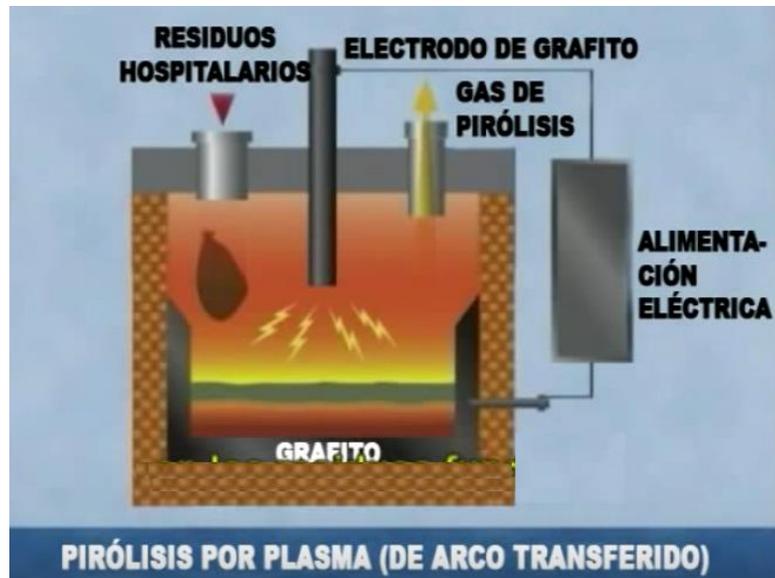


FIG. 15 ARCO DE PLASMA POR ELECTRODOS

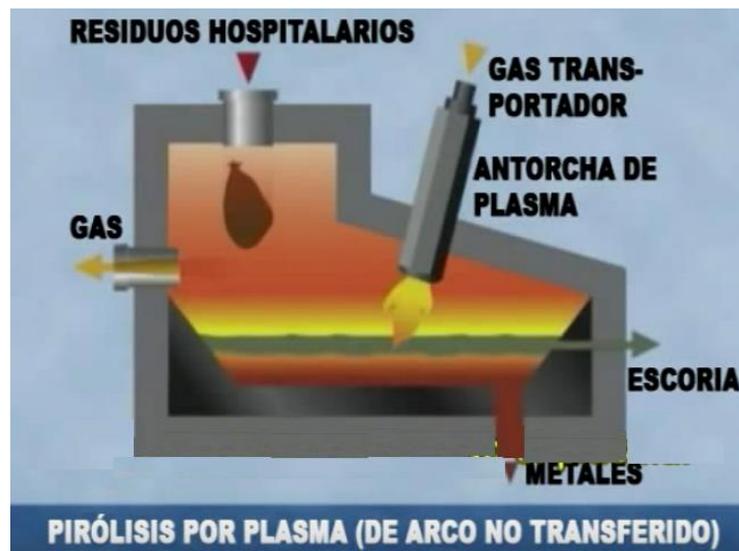


FIG. 16 PLASMA POR ANTORCHA

2.5.1 EL PLASMA

Hasta hace sólo unas cuantas décadas imaginábamos que toda la materia del Universo era sólida, líquida o gaseosa, lo que llamamos los tres estados de la materia. Al descubrir el estado de plasma y empezar

a estudiar su comportamiento tan singular, se decidió adoptar para éste el término cuarto estado de la materia, pues en conjunto corresponde a un estado de mayor energía que los tres anteriores. En la Figura 17 se muestran los 4 estados de la materia presentes en el universo.

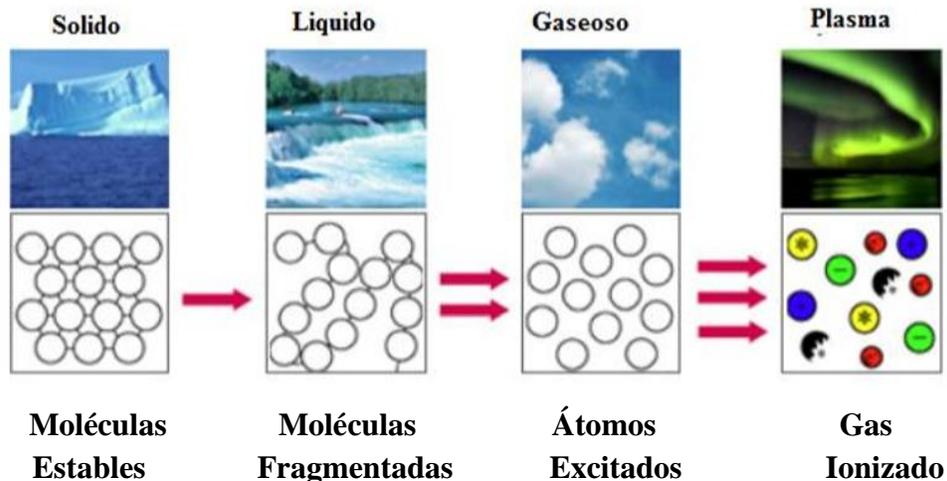


FIG. 17 ESTADOS DE LA MATERIA

La palabra plasma fue introducida por primera vez por I. Langmuir y L. Tonks en 1928 para describir un gas ionizado de una descarga eléctrica. El plasma es un gas ionizado, conformado por electrones e iones libres, pero eléctricamente neutro, que exhibe un comportamiento colectivo, es decir responde colectivamente a impulsos internos y externos. Este comportamiento colectivo del plasma se debe al gran alcance de las fuerzas electromagnéticas que generan entre sí las partículas cargadas que lo componen.

Se dice que el 99% de la materia del universo se encuentra en el estado de plasma, algunos ejemplos de esta se pueden encontrar en la ionosfera, las auroras boreales, el viento solar y a nivel de laboratorio se tienen descargas de arco, en lámparas fluorescentes y en reacciones termonucleares.

Sabemos que los átomos están formados por un núcleo, que está formado por partes, como los protones, con carga positiva, y neutrones, eléctricamente neutros. Los electrones, cargados negativamente, permanecen ligados a éste mediante la fuerza electromagnética. Así,

los átomos en su forma completa son eléctricamente neutros. Cuando se extraen del átomo uno o más electrones, lo que queda tiene un exceso de carga positiva a lo cual se conoce como un ion.

Una sustancia que contiene iones y a la vez que conserva los electrones, es un plasma en el cual hay electrones que pierden su identidad con su núcleo, así, vagan de núcleo en núcleo, por lo mismo desde fuera se ve un gas cuasi neutro eléctricamente hablando. Así pues, el plasma no es un material particular; sino un estado específico de la materia, un gas.

Es importante destacar que el estado de plasma no implica necesariamente altas temperaturas, la ionización de un material puede producirse por diversos medios. Se pueden producir plasmas por descargas eléctricas, esto es, si a un gas ordinario se le aplica un campo eléctrico muy intenso pueden desprenderse algunos electrones, quedando estos átomos ionizados y algunos de sus electrones libres. Estos electrones libres serán acelerados por el campo eléctrico y chocarán con otros átomos, desprendiendo algunos de sus electrones, y así el proceso continúa como una avalancha.

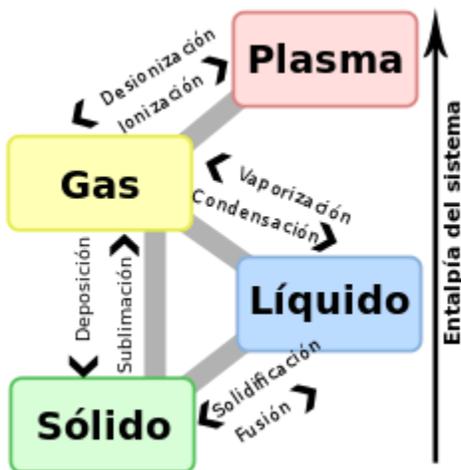


FIG. 18 CAMBIOS DE FASE

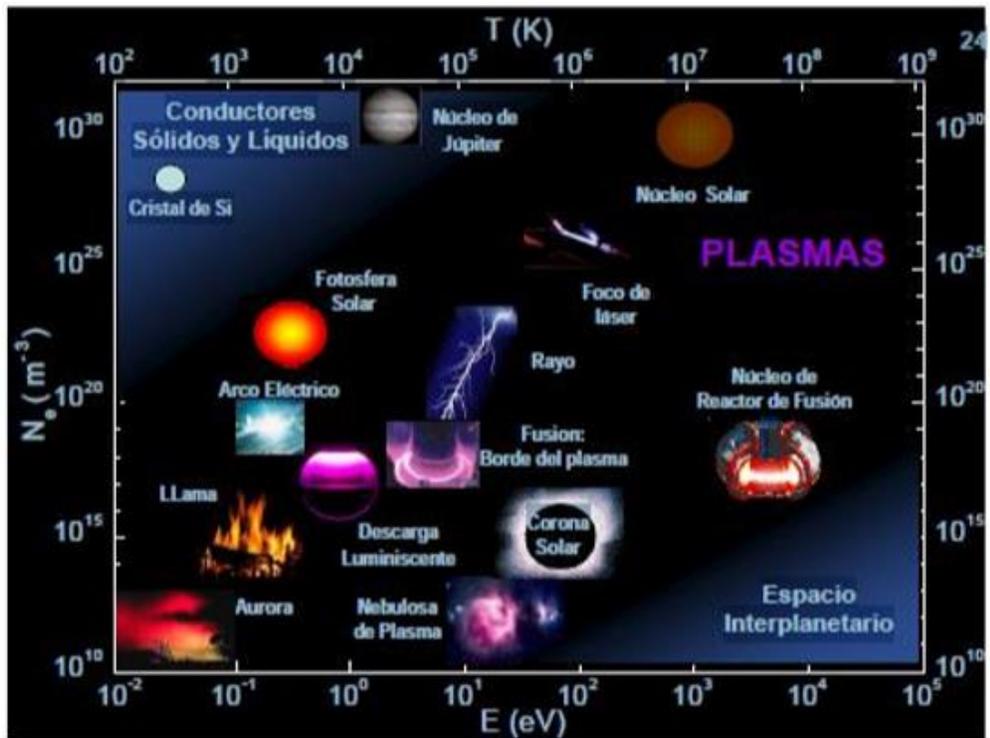


FIG. 19 DIVERSOS TIPOS DE PLASMA NATURALES Y DE INVESTIGACIÓN

Ref: American Physical Society.

2.5.2 ANTORCHAS DE PLASMA

Los plasmas térmicos son producidos por dispositivos conocidos por antorchas de plasma. Dependiendo de la fuente primaria, pueden ser de corriente continua, corriente alterna o de alta frecuencia. Estas son conocidas como Antorcha DC, AC o HF

Una antorcha convencional consta de un cátodo de tungsteno en forma de varilla y un ánodo de cobre en forma de tobera enfriado con agua. El par de electrodos están separados por un aislador por el que ingresa el gas.

Cuando el gas es introducido entre la separación de los electrodos se forma un arco estabilizado entre los dos electrodos, este es empujado a través de la tobera dando como resultado una llama de alta velocidad con una alta temperatura (Chorro de Plasma).

El cuerpo de la antorcha consta de cámaras de enfriamiento para los electrodos. Las variables para las antorchas se basan en distintos formas de estabilización de arco, por su geometría de los electrodos, tipo de gas de plasma, enfriamiento de los electrodos y velocidad del gas de flujo.

El chorro de plasma puede ser operado en un modo de arco transferido y no transferido, la Fig. 20 muestra los dos tipos de arco.

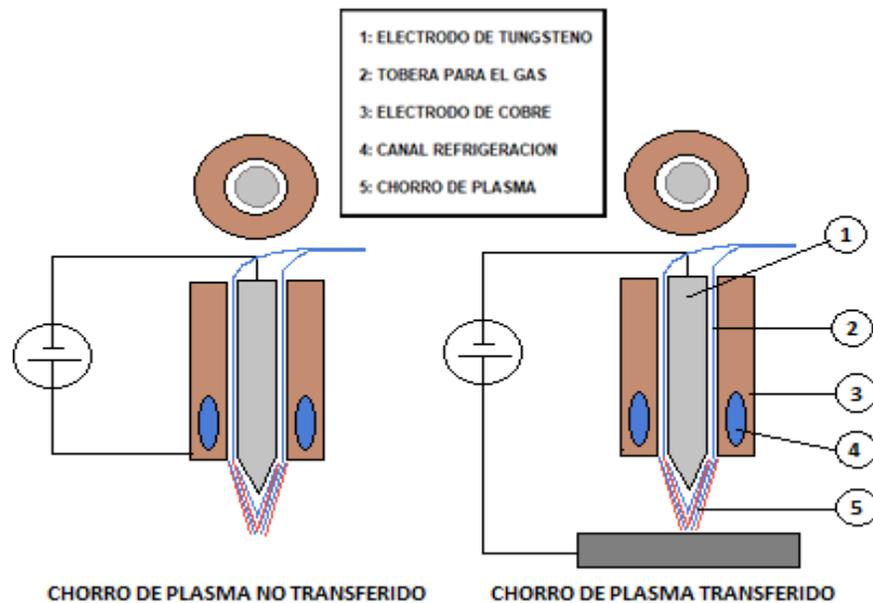


FIG. 20 CHORRO DE PLASMA NO TRANSFERIDO Y TRANSFERIDO

2.5.3 LA GASIFICACIÓN

La gasificación es un proceso termoquímico en el que un sustrato carbonoso (carbón, biomasa, plástico) es transformado en un gas combustible mediante una serie de reacciones que ocurren en presencia de un agente gasificante (aire, oxígeno, vapor de agua o hidrógeno).

La composición del gas es muy dependiente de las condiciones en las que se realiza la gasificación pero suelen ser ricos en monóxido de carbono y/o hidrógeno, con contenidos menores de dióxido de carbono, metano y otros hidrocarburos. El sustrato carbonoso de origen y el

agente gasificante son los parámetros que determinan el mayor o menor contenido en energía (poder calorífico) del gas que también se lo llama gas de síntesis o “syngas”

Históricamente la gasificación ha sido llevada a cabo con aire, proceso que produce un gas pobre con poder calorífico muy bajo. Tal es el caso del gasógeno, dispositivo instalado en el vehículo para producir gas a partir de carbón y que fue muy utilizado en España tras la Guerra Civil Española por las dificultades de abastecerse de petróleo en el mercado mundial. La energía del gas de gasificación aumenta al utilizar otros agentes gasificantes, siendo el poder calorífico ascendente en el siguiente orden de agentes gasificantes: oxígeno, vapor de agua e hidrógeno.

- Con oxígeno (O_2): Se forma CO
- Con aire: Se forma CO + N_2
- Con oxígeno (O_2) y agua (H_2O): Se forma CO + H_2
- Con aire y agua (H_2O): Se forma CO + H_2 + N_2 (simultánea)
- Con aire y agua (H_2O): Se forma CO + N_2 y, separadamente CO + H_2 (sucesiva)
- A presión y con catalizadores: Se forma CH_4 .

El aprovechamiento energético de este gas de gasificación puede realizarse por combustión en calderas o en sistemas de co-combustión indirecta, introduciéndolo en una turbina de gas, un motor de combustión interna o en una pila de combustible.

2.6 DIFERENCIAS ENTRE INCINERACIÓN, GASIFICACIÓN Y PIRÓLISIS

La gasificación de residuos es una tecnología diseñada para obtener un gas de síntesis, “Syngas”, es decir, un producto que puede ser empleado para producir combustibles, productos químicos o energía. Puede definirse como un proceso pirolítico optimizado por el que una sustancia sólida o líquida con

alto contenido en carbono es transformada en una mezcla combustible gaseosa mediante oxidación parcial con aplicación de calor.

La diferencia entre la incineración y la gasificación radica en la presencia de oxígeno. En la incineración, el proceso es de combustión completa en presencia de oxígeno, mientras que en la gasificación y pirolisis, la reducción se realiza en ausencia o a baja concentración de oxígeno, evitando las emisiones a la atmósfera de CO₂.

Simplificando el proceso físico, al someter un combustible de naturaleza compleja a altas temperaturas, en ausencia o con bajas concentraciones de oxígeno, se liberan aquellas sustancias que, ya existiendo o formándose nuevas, son volátiles a estas temperaturas. Finalmente se obtiene un sólido rico en carbono en equilibrio con una mezcla de gases formados por agua, CO₂, CO, CH₄, C₂H₆, CH₃OH, etc.

El gas obtenido se puede emplear para la producción de energía en procesos de combustión solo o en combinación con gas natural, en calderas comerciales para producir energía térmica, en motores de combustión interna para producir energía eléctrica y térmica, en turbinas de gas en ciclos simples y/o combinados para producir energía eléctrica.

El proceso de gasificación funciona generalmente en un ambiente falto de oxígeno de 20-70 bar de presión (290.075 – 1015.26 PSI). La gasificación se puede utilizar como combustible para generar un gran número de aplicaciones. Debido a la limitada cantidad de oxígeno que se inyecta en la Biosfera, el sistema cumple y excede con todas las normas de emisiones atmosféricas que regula el Protocolo de Kyoto.

La pirolisis y la gasificación son dos formas de tratamiento térmico en las que los residuos se calientan a altas temperaturas con una cantidad de oxígeno limitada. El proceso se lleva a cabo en un contenedor sellado a alta presión. Convertir el material en energía es más eficiente que la incineración directa, se genera energía que puede recuperarse y usarse, mucha más que en la combustión simple.

La pirolisis de los residuos sólidos convierte el material en productos sólidos, líquidos y gaseosos. El aceite líquido y el gas pueden ser quemados para producir energía o refinado en otros productos. El residuo sólido puede ser refinado en otros productos como el carbón activado.

2.7 TECNOLOGÍA DE LA GASIFICACIÓN POR PLASMA

Un gasificador por plasma es un recipiente privado de oxígeno (anóxico) que se hace funcionar a muy altas temperaturas que se logran con plasma. Debido a que el entorno en el interior del recipiente se ve privado de oxígeno, la materia prima que se procesa en el gasificador no se quema. Más bien, el calor rompe la materia prima en elementos como el hidrógeno y compuestos simples como el monóxido de carbono y agua. El gas que se crea se llama gas de síntesis o "syngas".

La mayoría de las materias primas, incluyendo los residuos sólidos urbanos, contienen componentes orgánicos e inorgánicos. Los componentes orgánicos se convierten en gas de síntesis. Los componentes inorgánicos, como vidrio, metal y hormigón, se funden en el interior del reactor y fluyen hacia fuera de la parte inferior, como escoria vitrificada fundida no tóxica, que puede ser utilizada con seguridad como agregado.

El calor de los sistemas de plasma y el tiempo de residencia relativamente largo en el gasificador aseguran la destrucción completa de la materia prima y permiten el procesamiento de la materia prima de alta humedad o materia prima que contiene altos niveles de materiales inertes como vidrio y metales. El gas de síntesis creado en el gasificador, que contiene polvo (partículas) y otros elementos indeseables como el mercurio, se somete a un proceso de limpieza para que sea adecuado para la conversión en otras formas de energía como electricidad, calor y combustibles líquidos. El proceso de limpieza del gas de síntesis está diseñado para satisfacer los requisitos de cada proyecto. Pero en la mayoría de los casos, especialmente cuando los RSH son la materia prima, la limpieza del gas de síntesis, incluye la eliminación de partículas, la separación de azufre y mercurio/eliminación de los metales pesados.

La gasificación por plasma difiere de la gasificación de no-plasma en un área clave: la temperatura. Los gasificadores no-plasma funcionan típicamente entre 800 °C y 900 °C. Las temperaturas en el interior del gasificador por plasma pueden llegar a más de 3000 °C. El gas de síntesis sale del gasificador a 950 °C. La escoria fluye hacia fuera del gasificador a 1650 °C. Las temperaturas más altas dentro del gasificador por plasma dan como resultado una completa destrucción de alquitranes, algo que no se puede lograr con tecnologías no-plasma. No es factible eliminar del procesamiento los alquitranes del gasificador y por lo tanto la utilidad de los gases de síntesis producidos por gasificación de no-plasma es muy limitada. Puede quemarse inmediatamente pero no puede ser acondicionado para uso en turbinas de gas y motores alternativos o para la conversión en combustibles líquidos.



FIG. 21 GASIFICACIÓN NO PLASMA Y POR PLASMA

En cambio, el gasificador por plasma permite la conversión de materias primas difíciles como los residuos municipales y hospitalarios sólidos en un gas de síntesis limpio que es adecuado para usar en equipos sofisticados como turbinas de gas de alta eficiencia o tecnologías de combustibles líquidos.



FIG. 22 AUTOMOVIL CON GASIFICADOR (1942)

2.8 GENERACIÓN DE ENERGÍA A PARTIR DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS

La generación de residuos es un problema al cual la sociedad debe hacer frente. Tanto las viviendas, comercios, industria y residuos más peligrosos como los hospitalarios se producen cada día, y el destino de la mayoría de ellos es el vertedero o más conocido como los rellenos sanitarios, con el impacto negativo al medioambiente que implica esta práctica. No obstante existen otras alternativas de gestión más recomendables y sostenibles, como es la reducción de la producción de residuos, el reciclaje y la reutilización, o la valoración material o energética. Europa establece unos objetivos en este sentido, y plantea la valoración energética de los residuos mediante mecanismos como la incineración directa, la producción y valorización de biogás, o el aprovechamiento de los residuos como combustible. Se trata de convertir la basura en energía útil.

Cada día se genera residuos sólidos urbanos (RSU) en las ciudades que son transportados a vertederos. Éstos son enterrados, y con el tiempo terminan generando gas metano que puede llegar a la atmósfera, donde se transforma en dióxido de carbono, principal causante del calentamiento a nivel global. Dicho metano puede ser aprovechado para la generación de energía, evitando el grave perjuicio que supone su liberación a la atmósfera.

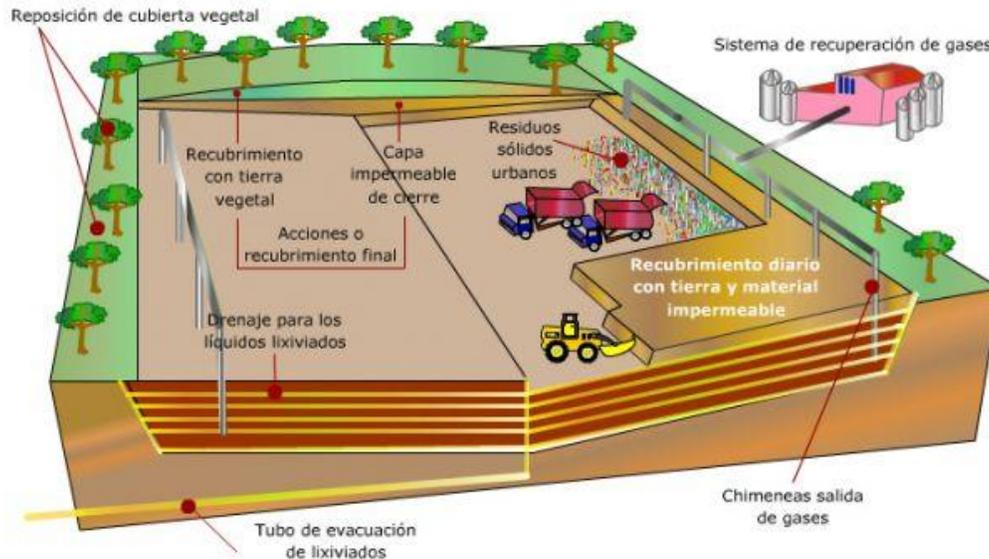


FIG. 23 VERTEDERO CON APROVECHAMIENTO DEL BIOGAS (50% METANO) PARA PRODUCIR ENERGÍA

El aprovechamiento de los residuos – aguas residuales, residuos agrícolas y ganaderos, residuos urbanos o industriales, restos de árboles o de cosechas), para la generación de energía útil -electricidad o calor-, es una fuente de producción energética con un gran potencial, que contribuye por un lado a una gestión de residuos más sostenible, y por otro, a reducir la dependencia energética de otros países productores agrícolas. Además está incluido dentro del plan de energías renovables.

2.8.1 TECNOLOGÍAS DE VALORIZACIÓN DE RESIDUOS

La valorización de los residuos o su transformación en energía útil, es considerada como una opción de aprovechamiento de una fuente de energía renovable, aunque más compleja que otras, por lo que cuenta con detractores y defensores. La combustión de residuos orgánicos, genera gases como el CO₂ y CO que son perjudiciales para la atmósfera, sin embargo muchos coinciden en que es un método limpio y renovable en su totalidad. Además, el hecho de que los propios

ciudadanos adquieran al hábito de separar la basura, sirve para aprovechar aún más dichos residuos para la obtención de energía. No obstante, el primer paso siempre consistirá en la reducción o clasificación de los residuos.

Las tecnologías utilizadas para la valorización energética de los residuos son:

– Procesos de tecnologías de tratamiento térmico, como la incineración, la gasificación, la pirolisis o la gasificación por plasma.



FIG. 24 PLANTA DE INCINERACIÓN EN SUECIA

Las tecnologías más probadas son la incineración, la digestión anaeróbica y la co-incineración, para aplicaciones industriales. Por otro lado, existe una tendencia creciente en implantación de tecnologías como la gasificación, la pirólisis y la gasificación por plasma, debido a que pueden alcanzar un mayor rendimiento energético.

Fuente: Estudio técnico PER 2011-2020. Situación y potencial de valorización energética directa de residuos. IDAE.

	Gasificación por plasma	Tecnologías de gasificación no-plasma
Calidad del gas de síntesis	Gas de síntesis libre de alquitrán adecuado para limpieza conforme a especificaciones que requieren las turbinas de gas, motores alternativos, tecnologías de combustibles líquidos y baterías de combustible.	El gas de síntesis debe quemarse inmediatamente antes de ser limpiado.
Flexibilidad de materia prima	Capacidad para mezclar materias primas como <ul style="list-style-type: none"> • RSU • Residuos industriales • Desechos comerciales e industriales • Desechos peligrosos • Desecho de neumáticos • Combustibles de biomasa (como residuos de madera) 	Capacidad limitada para procesar flujos de residuos distintos de los RSU. Temperaturas más bajas limitan la flexibilidad de materia prima
Oportunidades del producto final	<ul style="list-style-type: none"> • Sustitución de combustible por gas natural y aceite combustible • Electricidad a través del ciclo de vapor • Alimentación a través de ciclo combinado o motores alternativos • Alimentación a través de baterías de combustible (futuro) • Proceso de vapor • Combustibles líquidos (etanol, biodiesel) • Hidrógeno • Compuestos de fertilizantes 	Electricidad a través del ciclo de vapor Proceso de vapor
Subproducto	Escoria vitrificada inerte, no peligrosa y no lixiviante, vendible como un producto agregado de la construcción o lana de roca La mayoría del material particulado recuperado durante la limpieza del gas de síntesis es reciclable	Similar a la incineración - las peligrosas cenizas volátiles y residuos depuradores más cenizas de fondo.

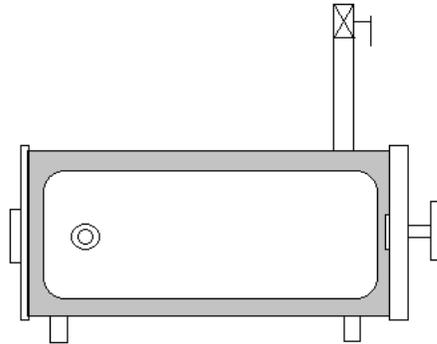
TABLA 2 VENTAJAS DE LA GASIFICACIÓN POR PLASMA

CAPITULO 3

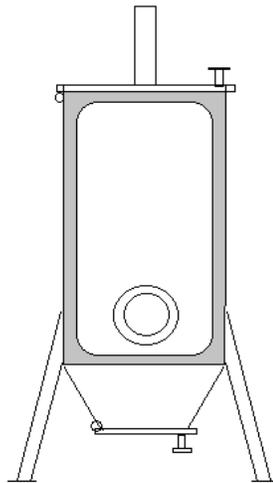
ALTERNATIVAS DE DISEÑO PARA PROTOTIPO

3.1 TIPO DE CAMARA

Horizontal



Vertical



Se decide por una cámara horizontal

3.2 MATERIAL

Hierro

Acero

Refractario

Se decide fabricarla de tubería de acero cedula 40 (Sección circular)

3.3 TIPO DE AISLANTE

Fibra de vidrio

Poliuretano

Arcilla refractaria

Se fabricara con aislante de arcilla refractaria

3.4 FORMACION DE PLASMA

Electrodos de grafito

Antorcha de plasma

Se usara Electrodos de grafito, por ser una alternativa más económica.

3.5 GAS PARA IONIZAR

Aire

Nitrógeno

Argón

Se usara Argón, para tener un proceso pirolítico.

3.6 TIPO DE ALIMENTACION DE RSH

Continuo

Por partes

Semi-continúo

Se decide una alimentación por partes con carga de 1kg.

3.7 TIPO DE DESECHOS

La caracterización de los RSH varia poco de un centro de salud a otro, se asume una composición en masa siguiente:

Se decide por la composición total en masa,

Papel y cartón (32%),

Vidrio (15%)

Metal..... (2%)

- Plástico (20%)
- Textiles, algodón..... (10%).
- Orgánicos..... (21%)

3.8 ACCESORIOS INCORPORADOS

- Amperímetro de 0 a 30 A.
- Visor para temperatura, tapa de la cámara
- Tablero de control con Termo magnético de 30 A.
- Cilindro de 1 pie³ de gas argón con regulador de presión y flujo.
- Ruedas para su desplazamiento



FIG. 25 TABLERO DE CONTROL ELÉCTRICO

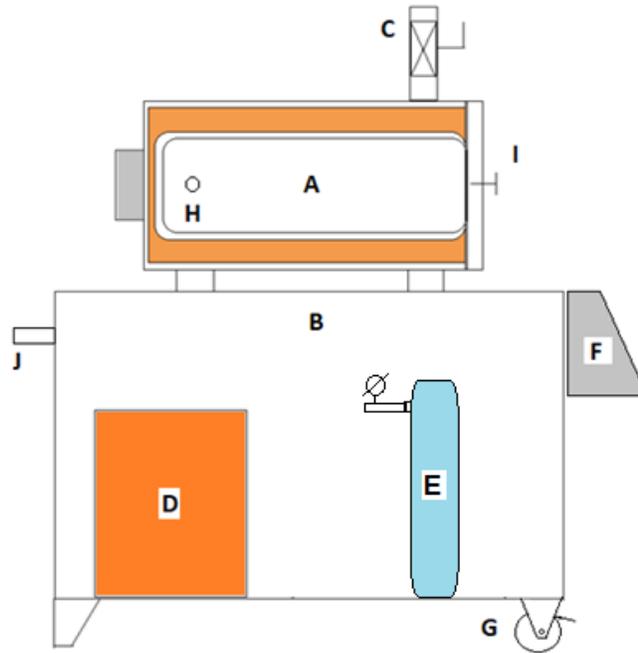
CAPITULO 4

DISEÑO DEL EQUIPO

4.1 CONSIDERACIONES DEL DISEÑO

- La capacidad de la cámara prototipo es de 1 kg de residuo sólido
- El proceso es por etapa, no continuo y se determinara el tiempo de incineración.
- Se colocara un sistema de desfogue para los gases producidos por el proceso, la chimenea tendrá una válvula de apertura y cierre.
- La energía eléctrica alimentara a los Electrodo de Arco para tener un proceso de Pirolisis con gas argón como elemento ionizante.
- El Horno tiene la forma cilíndrica con una tubería de acero interior concéntrico a la tubería exterior, con aislante térmico de material refractario en el medio.
- Se contempla un transformador de corriente alterna de 5 a 100 A. para el funcionamiento de los electrodos de carbón para formar el arco.
- La alimentación será con energía eléctrica 220 V, AC, 60Hz.
- Cuenta con un Amperímetro de 0 a 30 A. para el registro de la corriente, lo que determinara una potencia máxima del equipo de 5 kW.
- Cuenta con un cilindro de argón comprimido para formar el plasma, con regulador de presión.
- Este equipado con borneras para la conexión de los electrodos y un tablero de control.
- Cuenta con un visor que permitirá registrar la temperatura con un pirómetro láser externo.
- La tapa de carga y descarga de los desechos es de cierre hermético.

4.2 ARQUITECTURA DEL EQUIPO



PARTE	DENOMINACION	CARACTERISTICA
A	CAMARA	TUBO ACERO 4' SCHD 40
B	ESTRUCTURA BASE	PLANCHA METALICA 0,6 mm
C	CHIMENEA	TUBERIA 25 mm
D	TRANSFORMADOR	220 V 60 Hz. 5 kW
E	CILINDRO ARGON	MANOMETRO; REGULAD
F	TABLERO	TERMICOS Y AMPERIMETRO
G	RUEDA C/FRENO	10 mm /freno
H	ELECTRODOS	CARBON DE 6mm
I	TAPA DE CAMARA	ACERO CON SEGURO
J	JALADOR	TUBO ELECTROSOLD. 20 mm

FIG. 26 PARTES DEL EQUIPO PROTOTIPO

4.3 DISEÑO DE LA CÁMARA

4.3.1 CÁLCULO DEL ESPESOR DE PARED CÁMARA

$$t = \frac{PD}{2SE}$$

t = Espesor en pulg.

P = Presion en lb/pulg2

D = Diametro nom cilindro en pulg.

S = Esfuerzo diseño del acero lb/pulg2

E = Eficiencia junta

$$t = \frac{150 \times 4,5}{2 \times 18\,000 \times 0,6}$$

$$t = 0.0312 \text{ pulg}$$

$$t = 0,8 \text{ mm} \quad \times 1,5 \text{ por corrosion}$$

$$t = 1,2 \text{ mm}$$

Tubería Acero Cédula 40								
Cédula	Diámetro nominal		Diámetro ext.		Calibre	Espesor		Peso
	Pulg.	mm.	Pulg.	mm.		Pulg.	mm.	
40	1/2	12.70	0.840	21.34	12	0.105	2.66	1.27
	3/4	19.05	1.050	26.67	12	0.105	2.66	1.63
	1	25.40	1.315	33.40	10	0.135	3.42	2.53
	1 1/4	31.75	1.660	42.16	10	0.135	3.42	3.27
	1 1/2	38.10	1.900	48.26	10	0.135	3.42	3.79
	2	50.80	2.375	60.33	10	0.135	3.42	4.81
	2 1/2	63.50	2.875	73.03	3/16"	0.188	4.77	8.03
	3	76.20	3.500	88.90	4	0.224	5.69	11.67
	4	101.60	4.500	114.30	4	0.224	5.69	15.24
	6	152.40	6.625	168.28	0.280"	0.280	7.11	28.24

FIG. 27 CARACTERÍSTICAS TUBERIA SCH 40

4.3.2 CÁLCULO DEL ESPESOR DE LAS TAPAS PLANAS

Según norma ANSI se aplica la fórmula:

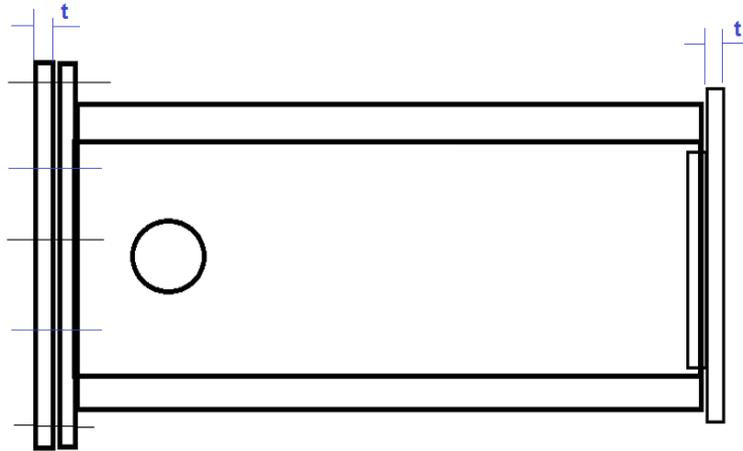


FIG. 28 CÁMARA CON TAPAS PLANAS

$$t = d \sqrt{C' P / S E}$$

t = Espesor sin considerar corrosión

C' = Factor de forma (Tabla 1)

P = Presión en lb/pulg²

S = Esfuerzo de diseño lb/pulg²

E = Eficiencia de junta

$$t = 4 \sqrt{0,3 \times 150 / 18\,000 \times 1}$$

$$t = 0,2 \text{ pulg}$$

$$t = 5,08 \text{ mm} \quad \times 1,5 \text{ corrosión}$$

$$t = 7,62 \text{ mm}$$

$$t = 8 \text{ mm}$$

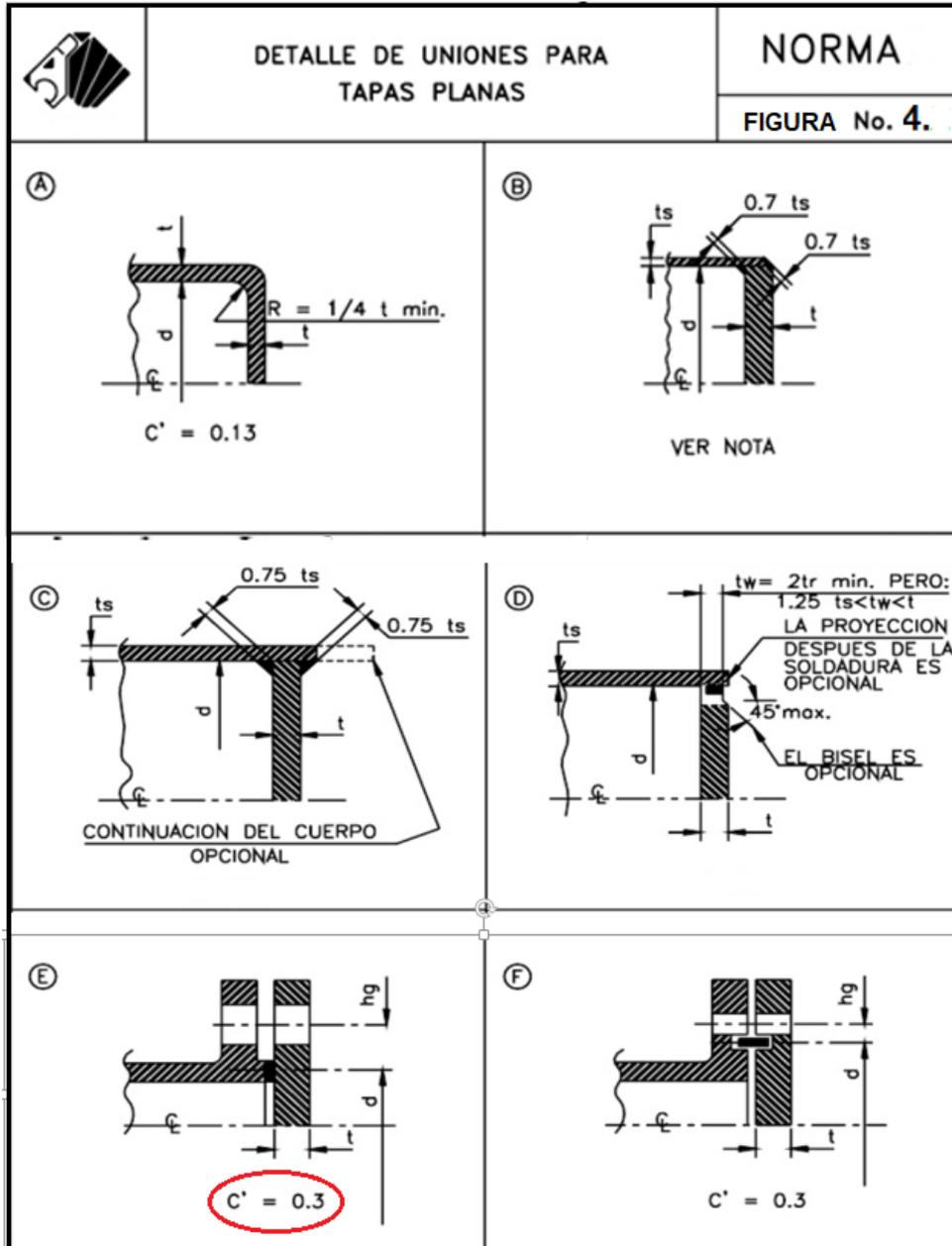


FIG. 29 FACTOR GEOMÉTRICO "C"

4.3.3 CÁLCULO DE LA UNIÓN EMPERNADA DE LA TAPA POSTERIOR

La tapa posterior que también incluye el visor esta ensamblada con pernos para facilitar el mantenimiento de la cámara interior.

od : Acero SAE 1020 = 27 500 lb/pulg² = 1 938 kg/cm²

$$A = 83.3 \text{ cm}^2$$

$$P = 150 \text{ PSI} = 10,3 \text{ kg/cm}^2$$

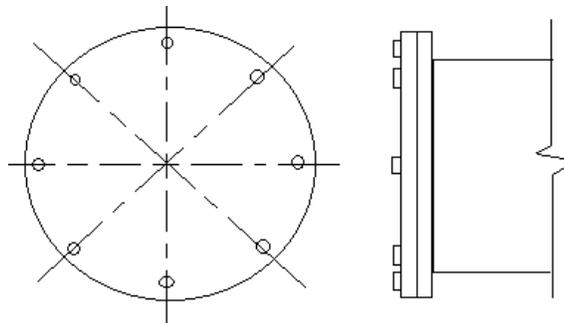
$$F = P \times A = 858 \text{ kgf.}$$

$$\sigma_d = 1\,938 \text{ kg/cm}^2 = F / \text{Apernos}$$

$$\text{Apernos} = 0,45 \text{ cm}^2$$

$$\text{Aperno } 6 \text{ mm} = 0,2 \text{ cm}^2$$

Se usaran 8 pernos de 6 mm x 25 mm



Propiedades mecánicas de algunos aceros al carbono							
Datos de varias fuentes. * Valores aproximados. Consulte a los fabricantes de los materiales para información más precisa							
Número SAE/AISI	Estado	Límite elástico a la tensión (convencional al 2%)		Resistencia máxima a la tensión		Elongación en 2 in %	Dureza Brinell -HB
		kpsi	MPa	kpsi	MPa		
1010	laminado en caliente	26	179	47	324	28	95
	laminado en frío	44	303	53	365	20	105
1020	laminado en caliente	30	207	55	379	25	111
	laminado en frío	57	393	68	469	15	131
1030	laminado en caliente	38	259	68	469	20	137
	normalizado @ 1 650°F	50	345	75	517	32	149
	laminado en caliente	64	441	76	524	12	149
	templado y revenido @ 1 000°F	75	517	97	669	28	255
	templado y revenido @ 800°F	84	579	106	731	23	302
	templado y revenido @ 400°F	94	648	123	848	17	495
1035	laminado en caliente	40	276	72	496	18	143
	laminado en frío	67	462	80	552	12	163
1040	laminado en caliente	42	290	76	524	18	149
	normalizado @ 1 650°F	54	372	86	593	28	170
	laminado en frío	71	490	85	586	12	170
	templado y revenido @ 1 200°F	63	434	92	634	29	192
	templado y revenido @ 800°F	80	552	110	758	21	241
	templado y revenido @ 400°F	86	593	113	779	19	262
1045	laminado en caliente	45	310	82	565	16	163
	laminado en frío	77	531	91	627	12	179

TABLA 3 RESISTENCIA ACERO SAE 1020



FIG. 30 PROTOTIPO DE CÁMARA PIROLITICA

4.4 CÁLCULO DE LA ENERGÍA NECESARIA

La cantidad de energía para que la cámara este a 1200 °C, ocurrirá para cuando cada parte en el interior alcance esta temperatura.

$$M_{total} = M_{acero} + M_{argón}$$

$$M_{acero} = M_{cilindro} + M_{tapas}$$

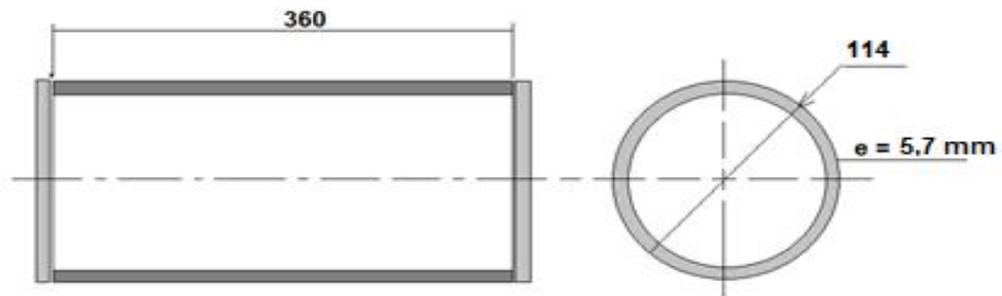
$$\text{Densidad del acero} = \rho_{acero} = 7870 \text{ kg/m}^3$$

CALOR ESPECÍFICO

Sustancia	Calor específico (J/kg·K)
Acero	460
Aluminio	880
Cobre	390
Estaño	230
Hierro	450
Mercurio	138
Oro	130
Plata	235
Plomo	130
Sodio	1300

$$c_e = \frac{Q}{m \cdot (t_2 - t_1)}$$

FIG. 31 CALOR ESPECÍFICO DE METALES



Volumen acero = V cilindro interior + V tapas

$$\text{Volumen acero} = \frac{\pi ((11,4)^2 - (10,3)^2)}{4} \times 36 + 2 \pi (11,4)^2 \times (0,8)$$

$$\text{Volumen acero} = 674,5 \text{ cm}^3 + 653 \text{ cm}^3$$

$$\text{Volumen acero} = 1\,328 \text{ cm}^3$$

$$\text{Masa de acero} = 1\,328 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \times 8759 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Masa de acero} = 11,62 \text{ kg}$$

$$Q = m C_e (T_2 - T_1)$$

$$Q = 11,62 \times 0,46 (1200 - 20)$$

$$C_e \text{ acero} = 0,46 \text{ kJ/kg K}$$

$$Q = 6\,307 \text{ kJ}$$

$$Q = 5\,973 \text{ BTU} \quad \text{Calor teorico para el acero}$$

Masa del gas Argón = Margón = ?

$P V = m \times R_{\text{argon}} \times T$ Formula para gases ideales

$$m = P V / R_{\text{argon}} \times T$$

$$V = A \times L$$

$$V = 83.3 \times 36 = 2\,998 \text{ cm}^3 = 0,002998 \text{ m}^3$$

$$m = 100 \times 0,002998 / 0,208 \times 293$$

$$m = 0,005 \text{ kg de Argón}$$

Argon (Ar)	
• <u>Masa atómica</u> : 39,948 u	Es el tercero de los <u>gases nobles</u> , incoloro e inerte
• <u>Radio atómico</u> : 1 pm	
• <u>Radio covalente</u> : 97 pm	• <u>R argón</u> : 0,208 kJ/kg K
• <u>Estado(s) de oxidación</u> : 0	• <u>Ce</u> : 0,30 kJ/kg K
• <u>Punto de fusión</u> : 83,8 K	
• <u>Punto de ebullición</u> : 87,3 K	

TABLA 4 PROPIEDAD DEL ARGÓN

$$Q = m \times C_e (T_2 - T_1)$$

$$Q = 0,005 \times 0,30 (1200 - 20)$$

$$Q = 1,74 \text{ kJ}$$

$$Q = 1,65 \text{ BTU}$$

$$Q_{\text{TOTAL}} = 5\,973 + 1,65$$

$$Q_{\text{total}} = 5\,974,65 \text{ BTU}$$

De la Tabla 4 para obtener 1 millón de BTU se requieren 290,7 Kw-h de energía eléctrica (Teórica)

Por lo tanto para elevar la temperatura en el interior del horno se requiere: 5 974,65 BTU

$$Q = 1,74 \text{ kW-h}$$

De acuerdo a una caracterización de los RSH

MATERIAL RESIDUO	% masa	Ce kJ/kg K	Ce Equivalente
Papel y cartón	32	1,90	0,60
Gasa algodón	10	1,2	0,12
Metales	2	0,46	0,0092
Vidrios	15	0,58	0,087
Plásticos	20	0,2	0,04
Orgánicos	21	3,0	0,63

TABLA 5 DETERMINACIÓN DEL CALOR ESPECÍFICO EQUIVALENTE

$$C_e \text{ equivalente} = 1,48 \text{ kJ/kg K}$$

Para incinerar 1 kg de residuos se requiere:

$$Q = C_e \text{ kg} (T_f - T_i)$$

$$Q = 1,48 \times 1 \times (1200 - 20)$$

$$Q = 1\,746,40 \text{ kJ}$$

$$Q = 1\,654 \text{ BTU}$$

$$Q = 0,48 \text{ kW-h}$$

Por lo tanto el total de energía para la incineración de 1 kg de RSH con el proceso Plasma es de:

$$Q = 2.22 \text{ kW-h}$$

4.5 CALOR PARA INCINERAR CON COMBUSTIBLE FÓSIL (PETRÓLEO)
HOSPITAL NACIONAL CARLOS ALBERTO SEGUIN ESCOBEDO
CUADRO RESUMEN DE INCINERACION

FECHA	CONSUMO DIARIO D-2		CONSUMO APROXIMADO	BOLSAS ROJAS		HRS (OPERACIÓN)	
	LECT. INICIAL (GAL)	LECT. FINAL (GAL)	DIESEL (GAL)	CANT.	KG	HORA INICIO	HORA FIN
1/01/2018	4382	4430	48	-	-		
2/01/2018	4430	4485	55	92	688.82	6:00	21:00
3/01/2018	4485	4530	45	75	533.7	6:00	21:00
4/01/2018	4530	4580	50	79	587.36	6:00	21:00
5/01/2018	4580	4663	83	100	745.65	6:00	21:00
6/01/2018	4663	4740	77	74	552.35	6:00	21:00
7/01/2018							
8/01/2018	4740	4819	79	101	743.34	6:00	21:00
9/01/2018	4819	4900	81	109	799.35	6:00	21:00
10/01/2018	4900	4980	80	107	786.52	6:00	21:00
11/01/2018	4980	5056	76	108	787.29	6:00	21:00
12/01/2018	5056	5132	76	107	789.1	6:00	21:00
13/01/2018	5132	5185	53	80	655.44	6:00	21:00
14/01/2018							
15/01/2018	5185	5252	67	100	727.01	6:00	21:00
16/01/2018	5252	5326	74	100	750.89	6:00	21:00
17/01/2018	5326	5391	65	100	739.78	6:00	21:00
18/01/2018	5391	5450	59	100	735.79	6:00	21:00
19/01/2018	5450	5504	54	86	636.96	6:00	21:00
20/01/2018	5504	5564	60	81	598.1	6:00	21:00
21/01/2018							
22/01/2018	5564	5630	66	102	731.72	6:00	21:00

23/01/2018	5630	5700	70	102	746.41	6:00	21:00
24/01/2018	5700	5780	80	103	749.57	6:00	21:00
25/01/2018	5780	5835	55	96	696.41	6:00	21:00
26/01/2018	5835	5895	60	102	720.43	6:00	21:00
27/01/2018	5895	5952	57	80	570.51	6:00	21:00
28/01/2018							
29/01/2018	5952	6038	86	99	744.48	6:00	21:00
30/01/2018	6038	6110	72	101	736.89	6:00	21:00
31/01/2018	6110	6184	74	100	725.91	6:00	21:00
TOTAL			1802	2484.00	18279.78		

TOTAL QUEMADO: 18279.78 Kg/mes

Nota: El 01/01/2018 se realizó el curado de la cámara primaria.

PROM. INCINERADO/DIA: 703.06 kg/día

PROMEDIO DE CONSUMO DE PETROLEO: 69.3 GALONES

Tabla 6 ESTADÍSTICAS DEL HOSPITAL SEGUIN ESCOBEDO

La cantidad de combustible necesario para incinerar 1 kg de RSH con petróleo D2

$$C = 69,3/703,06$$

$$C = 0,098 \text{ galones/kg RSH}$$

RECURSO	Gas Natural (m³)	GLP (gal)	Diesel 2 (gal)	Residual (gal)	Carbón (Kg)	Energía Eléctrica (Kw-h)
1MMBTU	28,3	10,4	7,6	6,9	34,4	290,7

TABLA 7 EQUIVALENCIA ENERGÉTICA

$$7,6 \text{ galones} \dots\dots\dots Q$$

$$0,098 \text{ galones} \dots\dots\dots 290,7 \text{ Kw-h}$$

Q = 3,74 kW - h

Los hornos para incineración con combustibles fósiles, como el petróleo, gas y carbón tienen eficiencias térmicas entre 60 al 75% de acuerdo al nivel de tecnología usada, la Figura 32 se muestra el diagrama de Sankey donde el calor útil representa aproximadamente el 70% del poder calorífico del combustible utilizado; en cambio en la Figura 33 muestra que cuando se usa energía eléctrica la transmisión de calor es más eficiente con las mismas características de construcción del horno.

El calor perdido se lo conoce como calor Q_B , es el calor perdido por la combustión incompleta, calor que se pierde en los gases de escape, calor radiante por sus paredes, calor del medio de refrigeración si es que lo tiene.

$$\eta_t = Q_U / Q_A$$

Q_U = Calor útil (Real)

Q_A = Calor entregado (Teórico)

Q_B = Calor perdido

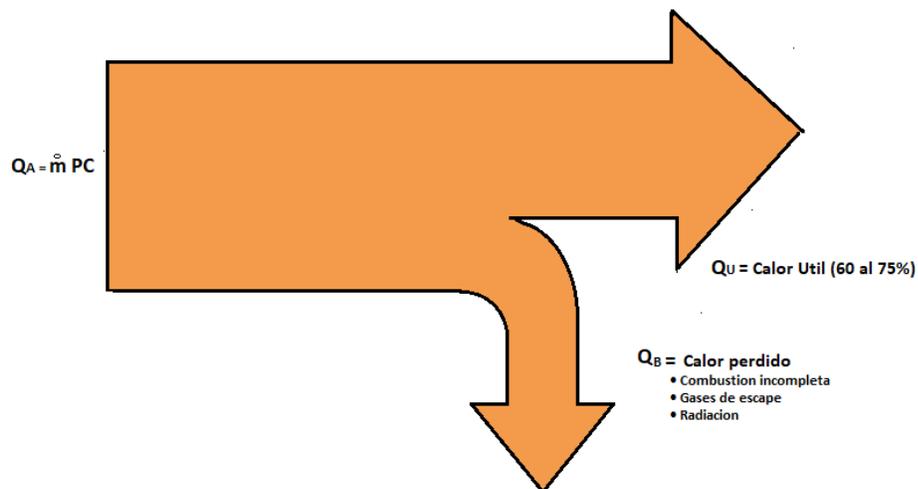


FIG. 32 DIAGRAMA SANKEY HORNO COMBUSTIBLE FÓSIL

En los hornos para incineración a altas temperaturas con energía eléctrica tiene menores pérdidas, teniendo eficiencias entre 80 al 95% dependiendo de la tecnología usada. Se lo aprecia en la Figura 33

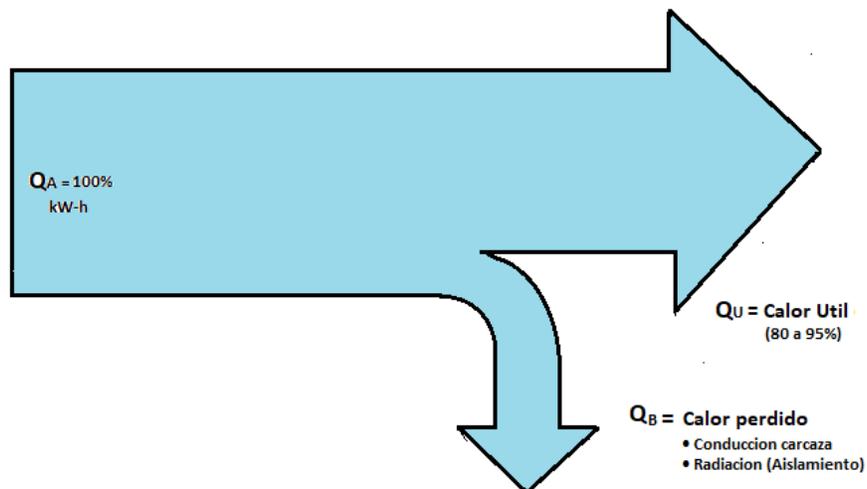


FIG. 33 DIAGRAMA SANKEY HORNO ELÉCTRICO POR PLASMA

HORNO	CALOR TEORICO kW-h	EFICIENCIA %	CALOR REAL kW-h
PLASMA	2,22	90	2,00
PETROLEO	5,35	70	3,74

Tabla 8 RESULTADOS CON PLASMA Y PETRÓLEO



El proceso de la cámara con energía eléctrica por plasma es más eficiente que la cámara con combustible fósil (Petróleo).

CAPITULO 5

PROTOCOLOS DE PRUEBAS Y RESULTADOS

Se ha diseñado un formato de protocolo de las pruebas, para que queden registrados los datos experimentales que se han realizado en la cámara prototipo diseñado que ha sido el objetivo del presente trabajo de investigación.

Se han realizado varias pruebas con el objetivo de encontrar el método más conveniente para lograr temperaturas sobre los 1200 °C y con el menor costo de la energía, solo se ha considerado la energía eléctrica y no se ha considerado combustibles fósiles, ya que se quería lograr plasma a través de la ionización de un gas.

El arco eléctrico que es uno de los factores para la formación del plasma se lo ha trabajado con electrodos de carbón y una fuente de corriente alterna variable regulada por un transformador de corriente y aire en un primer momento como gas ionizante y luego se probó con gas inerte como el argón logrando mejores resultados.

Se ha seleccionado las pruebas más representativas:

- 1.- Calentamiento con resistencia de 2 kW, 220 V AC incorporada dentro de la cámara o horno.
- 2.- Calentamiento con arco eléctrico de electrodos de carbón, con corriente constante a 15 A. y flujo de aire como gas ionizante.
- 3.- Calentamiento con arco eléctrico de electrodos de carbón, con corriente constante a 15 A. y flujo de gas inerte de argón como gas ionizante.
- 4.- Calentamiento con arco eléctrico de electrodos de carbón, con corriente constante a 15 A. y atmosfera de argón luego de extraer el aire de la cámara.

PROTOCOLO DE PRUEBAS

DESCRIPCION DE LA PRUEBA:

Calentamiento de la camara con resistencia electrica

CONDICIONES AMBIENTALES:

Temperatura Ambiente: 20 °C
Presión Atmosférica: 740 mmHg Altura: 2400 m.s.n.m.
Humedad Relativa: 45 %

OBJETIVO

Determinar la temperatura maxima alcanzada a determinado potencia y tiempo.

MATERIALES

Camara prototipo.
Resistencia electrica.

INSTRUMENTOS

Amperemetro
termometro
cronometro

PROCEDIMIENTO

Se conecta la resistencia dentro de la cámara y se toma registro de corriente y tiempo. Asi mismo se toma la temperatura.

RESULTADOS

	I (A)	T (min)	T (°C)
1	9	5	95
2	9	10	125
3	9	15	210
4	9	20	215
5	9	25	223

OBSERVACIONES:

Para tiempos sobre los 20 min el crecimiento de la temperatura es muy lento, resulta anti economico trabajar con este sistema.

Arequipa 30/03/2019



Tesista

Asesor

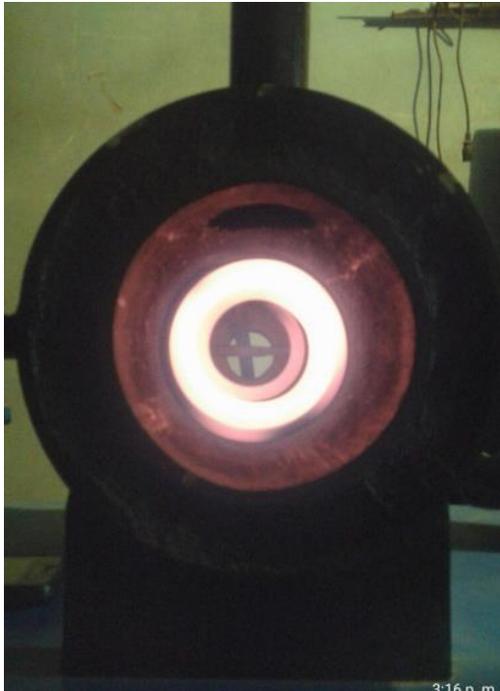
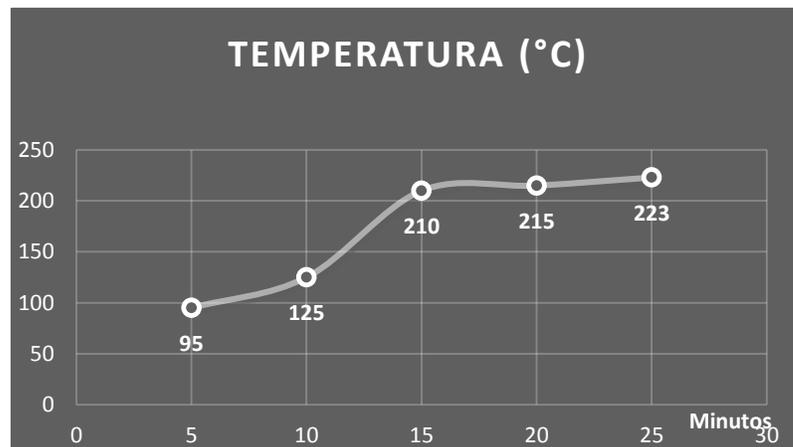


FIG. 34 RESISTENCIA ELÉCTRICA EN EL INTERIOR DE LA CÁMARA

TIEMPO (min)	TEMPERATURA (°C)
5	95
10	125
15	210
20	215
25	223



PROTOCOLO DE PRUEBAS

DESCRIPCION DE LA PRUEBA:

Calentamiento de la cámara con arco de plasma y aire como gas ionizante.

CONDICIONES AMBIENTALES:

Temperatura Ambiente: 20 °C
Presión Atmosférica: 740 mmHg Altura: 2400 m.s.n.m.
Humedad Relativa: 30 %

OBJETIVO

Determinar la temperatura máxima que se alcanza con electrodos de arco y flujo de aire.

MATERIALES

Cámara prototipo
Electrodos de carbón
Tram. formador de corriente

INSTRUMENTOS

Amperímetro
Termómetro
Cronómetro

PROCEDIMIENTO

Se regula la corriente del arco a 15A y se toma datos de temperatura y tiempo, se regula el flujo de aire al mínimo.

RESULTADOS

	t (min)	T (°C)
1	2	150
2	4	272
3	6	346
4	10	410
5	15	420

OBSERVACIONES:

La temperatura tiende a estabilizarse entre 420 e 430 °C; si se aumenta el flujo de aire se corta el arco.

Arequipa, 6/04/2019.

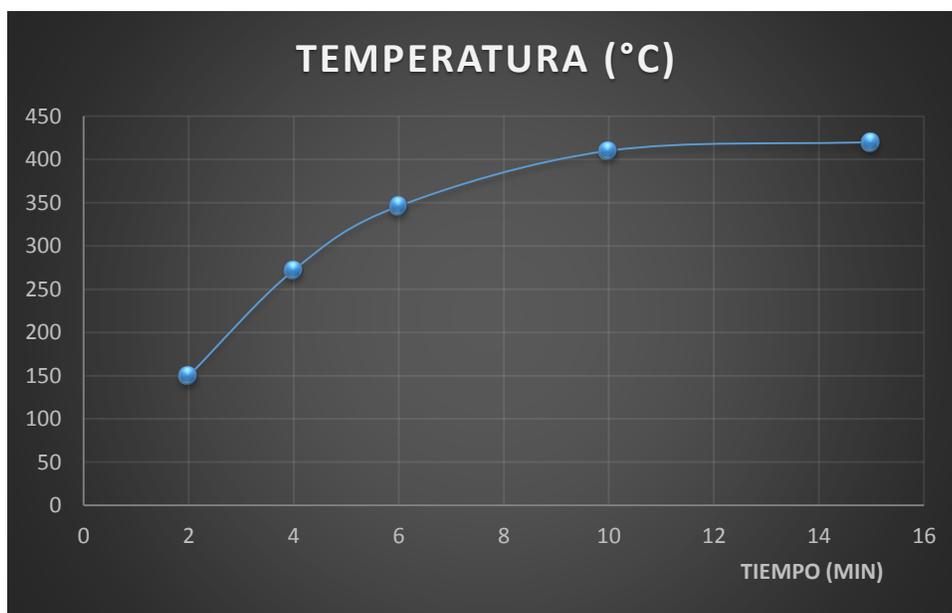
Testista

Aesor



FIG. 35 ARCO DE PLASMA CON AIRE

TIEMPO (min)	TEMPERATURA (°C)
2	150
4	272
6	346
10	410
15	420



PROTOCOLO DE PRUEBAS

DESCRIPCION DE LA PRUEBA:

Calentamiento de la cámara con arco de plasma y gas argón como gas ionizante.

CONDICIONES AMBIENTALES:

Temperatura Ambiente: 17 °C
Presión Atmosférica: 748 mmHg Altura: 2400 m.s.n.m.
Humedad Relativa: 17 %

OBJETIVO:

Determinar la temperatura máxima alcanzada con electrodos de arco y flujo de gas argón

MATERIALES

Cámara prototipo.
Electrodos de arco
Cilindro de gas argón

INSTRUMENTOS

Amperímetro
Termómetro
Cronómetro

PROCEDIMIENTO

Se regula la corriente que alimenta al arco a 15 A. y se regula el flujo de argón con un caudal mínimo

RESULTADOS

	t (min)	T (°C)
1	2	345
2	4	410
3	6	390
4	10	425
5	15	455

OBSERVACIONES:

La temperatura se mantiene en el orden de los 400 °C.

Arequipa, 4.05.2019

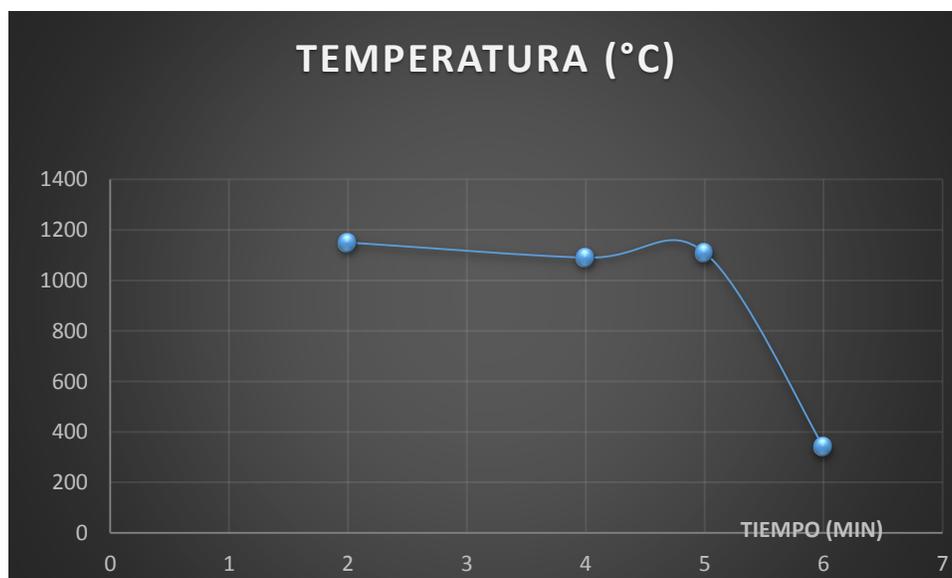
Testista

Asesor



FIG. 36 ARCO DE PLASMA CON ARGÓN

TIEMPO (min)	TEMPERATURA (°C)
5	150
10	272
15	346
20	410
25	420



PROCOLO DE PRUEBAS

DESCRIPCION DE LA PRUEBA:

Calentamiento de la cámara con arco de plasma y atmósfera de argón, sin aire, cámara hermética

CONDICIONES AMBIENTALES:

Temperatura Ambiente: 20 °C
 Presión Atmosférica: 740 mmHg Altura: 2400 m.s.n.m.
 Humedad Relativa: 15 %

OBJETIVO

Determinar la temperatura máxima alcanzada con electrodos de arco y atmósfera de argón

MATERIALES

Cámara prototipo
 Electrodos de arco
 Cilindro de gas argón

INSTRUMENTOS

Amperímetro
 Termómetro
 cronómetro

PROCEDIMIENTO

Se regula la fuente de corriente a 15 A; se hermetiza la cámara, se extrae el aire por aspirador de argón y se deja argón con determinada presión.

RESULTADOS

	t (min)	T (°C)
1	2	1150
2	4	1090
3	5	1110
4	6	340
5		

OBSERVACIONES:

Se elocjan temperaturas del orden de los 1200 °C; se cambia el visor y baja la temperatura.

Arequipa 22/06/2019



Estudiante

Asesor

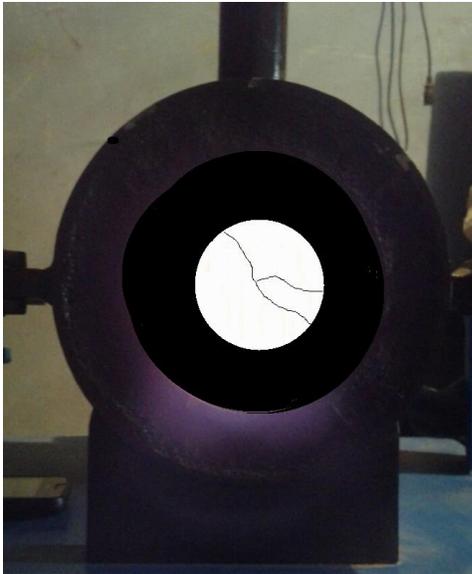
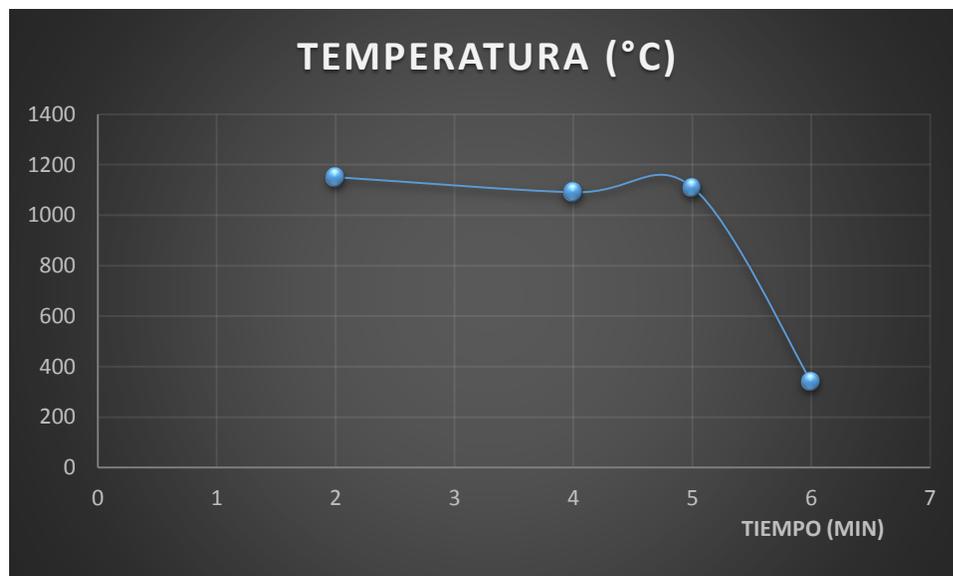


FIG. 37 ARCO DE PLASMA CON ÁTMOFERA DE ARGÓN

TIEMPO (min)	TEMPERATURA (°C)
2	1150
4	1090
5	1110
6	340



CONCLUSIONES

- 1.- Se ha logrado tener una cámara con arco de plasma y alcanzar temperaturas sobre los 1000 °C. Con argón como gas ionizante.
- 2.- La incineración de los residuos sólidos hospitalarios, así como también los residuos sólidos urbanos deberían ser tratados en cámaras pirolíticas para reducir su volumen en un 90% y tener menor impacto negativo al suelo donde van a ser enterrados.
- 3.- La incineración por plasma es un proceso mucho más eficiente desde el punto de vista energético y además evita que se quemem combustibles fósiles como el petróleo o gas, que incrementan el efecto invernadero en el mundo.
- 4.- La incineración por plasma puede ser un proceso autosostenible si es que se realiza la gasificación y posterior generación de energía eléctrica, teniendo un sistema aislado.
- 5.- En el Perú, recién se está tomando conciencia de los riesgos que existen sino se tratan los RSH como mandan las normas técnicas nacionales e internacionales; así mismo estas normas hay que actualizarlas a medida del desarrollo tecnológico.
- 6.- La tendencia de los países del primer mundo es la incineración por plasma con una gasificación para hacer autosostenible el proceso y disminuir los productos en un 90% de su volumen original y recurrir a rellenos sanitarios mínimos en volumen. En países en desarrollo o del tercer mundo recién se está realizando la tecnología de rellenos sanitarios ocupando grandes extensiones de terrenos que a la postre dará problemas de contaminación de suelos, agua y aire y se deja espacios contaminados para futuras generaciones.

RECOMENDACIONES

- 1.- Los órganos competentes de la supervisión y control del cumplimiento de las normas técnicas deben supervisar su cumplimiento no solo en los hospitales y centros de salud en las ciudades importantes sino se deben desplazarse a comunidades alejadas donde existan centros de salud y verificar su cumplimiento.
- 2.- La incineración es el sistema más común de tratamiento de los RSH en la mayoría de centros hospitalarios en el Perú, pero son realizados con combustibles fósiles como el petróleo y por la falta de supervisión estos son realizados sin alcanzar las temperaturas recomendadas de 800 °C en la cámara primaria y de 1200 °C en la secundaria.
- 3.- Se debe proponer la actualización de las normas técnicas nacionales que datan del año 2004 y que vayan de acuerdo con los últimos avances de la tecnología y que se considere la incineración por plasma en cámaras pirolíticas y que sean auto sostenible con una adecuada gasificación.

BIBLIOGRAFÍA

1. Ellyin, Claudine. 2012. "Small scale waste-to-energy technologies." Master Thesis, Columbia University. http://www.seas.columbia.edu/earth/wtert/sofos/Ellyin{_}Thesis.pdf.
2. Gong, Yan Meng, Shu Zhong Wang, and Xing Ying Tang. 2014. "Co-Pyrolysis of Polyethylene Plastic and Cellulose as Models for Medical Waste in Supercritical Water." *Advanced Materials Research* 1010-1012: 952– 55. doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.1010-1012.952.
3. Liu, Yangsheng, Lanlan Ma, Yushan Liu, and Guoxing Kong. 2006. "Investigation of Novel Incineration Technology for Hospital Waste." *Environmental Science & Technology* 40 (20): 6411–7. doi: 10.1021/es060190z.
4. Chen F. "Introduction to plasma physics". Plenum Press, 1974.
5. Thompson W. B. An introduction to plasma physics. Adisson – Wesley
6. M.Boulos, P. Fauchais, E. Pfender, "Thermal Plasmas, Fundamentals and Applications", Vol1, (Plenum Press, New York, 1994).
7. Knight H. de B. "The Arc Discharge "its application to power control". Chapmanand Hall Ltd. 1960.
8. Helmut Meyer. "Fundamentos y aplicaciones del soplete de plasma"
9. Penning F. M. "Electrical Discharges in Gases". Philips Technical Library. 1977.
10. Bolívar L. E. "Caracterización del plasma en atmósfera de oxígeno de alta presión utilizado para la producción de películas delgadas superconductoras."
11. Tesis (MSc en Ciencias Físicas) Universidad del Valle, Facultad Ciencias. 1993.
12. Alonso Lopez Medina, "Determinación de La Temperatura del Gas de una Descarga de Arco AC. a Presión Atmosférica en aire utilizando un interferómetro Mach" – Zehnder Javier; Universidad del Valle facultad de Ciencias; Program Académico de Física; Santiago de Cali. 2005
13. MINSA. 2004. "Norma técnica: Procedimientos para el manejo de residuos sólidos hospitalarios." Ministerio de Salud.
14. Manual de tecnología de Gasificación por Plasma de Westighouse 2014.

15. Miguel M. Empresa de Servicios Municipales de Limpieza de Lima:
Residuos sólidos hospitalarios. Lima: ESMLL; 1987.
16. Tello, P. Diagnóstico situacional de los residuos sólidos de hospitales en la ciudad de Lima Metropolitana. Lima, Perú; 1991.
17. Bellido, E. Diagnóstico situacional del saneamiento ambiental en los hospitales Arzobispo Loayza (Lima) y Daniel Alcides Carrión (Callao). Lima: MINSA; 2002
18. Ministerio de Salud. Diagnostico situacional del manejo de los residuos sólidos de hospitales administrados por el Ministerio de Salud. Lima: MINSA; 2004.
19. Ministerio de Salud. Tecnologías de tratamiento de residuos sólidos de establecimientos de salud. Lima: MINSA; 2004.
20. DHHS-NIOSH. Publication N° 2000-108. Preventing needlestick injuries in health care settings. Ohio: NIOSH; 1999.
21. Cointreau-Levine, Sandra. Occupational and environmental health issues of solid waste management. Estados Unidos de América; 2006.
22. Asociación Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Residuos de servicios de salud. Brasil: ABNT; 2004.
23. Ministerio de Salud - Ministerio del Medio Ambiente. Manual de procedimientos para la gestión integral de residuos hospitalarios.

PLANOS DEL PROTOTIPO

ANEXOS

- 1.- NORMA TÉCNICA DE SALUD “GESTIÓN Y MANEJO DE RS EN ESTABLECIMIENTOS DE SALUD” MINSA/DIGESA 2010**

- 2.- NORMA TÉCNICA: MANEJO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS HOSPITALARIOS MINSA 2004**

ANEXO 1

NORMA TÉCNICA DE SALUD "GESTIÓN Y MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS EN ESTABLECIMIENTOS DE SALUD MINSA/DIGESA 2010"

I. Finalidad.

Contribuir a brindar mayor seguridad al personal, pacientes y visitantes de los establecimientos de salud y servicios médicos de apoyo públicos y privados a nivel nacional con el manejo adecuado de los residuos, acorde con la normativa vigente, el nivel de complejidad de la institución y el entorno geográfico.

II. Objetivos.

Objetivo general.

Mejorar la calidad de los servicios que brindan los establecimientos de salud y los servicios médicos de apoyo públicos y privados, mediante la implementación de un sistema de gestión y manejo de residuos sólidos adecuado, a fin de minimizar y controlar los riesgos sanitarios y ocupacionales en dichas instituciones, así como el impacto en la salud pública y en el ambiente.

Objetivos específicos

1. Lograr que cada establecimiento de salud, EESS, y servicio médico de apoyo, SMA, a nivel nacional tenga una adecuada gestión y manejo de los residuos sólidos generados, dentro y fuera de los EESS y SMA.
2. Organizar y concientizar al personal de salud del país de los riesgos y costos que ocasiona el inadecuado manejo de residuos sólidos para las personas y para el ambiente; para que así implementen adecuadamente las etapas del manejo de los residuos sólidos.
3. Facilitar el proceso de control y evaluación del manejo de residuos sólidos en cada EESS y SMA.
4. Reducir la cantidad de residuos peligrosos existentes en las ciudades provenientes de los EESS y SMA al darles el tipo de tratamiento más adecuado (autoclave, incineración, microondas, entre otros) y promover el correcto

transporte y la disposición final de los residuos biocontaminados, minimizando el impacto que éstos pueden ocasionar al ambiente.

5. Mejorar las condiciones de seguridad del personal asistencial y de limpieza expuestos a los residuos sólidos desde la generación hasta la disposición final.

III. Ámbito de Aplicación.

Las disposiciones contenidas en esta Norma Técnica de Salud son de aplicación en todos los establecimientos de salud y servicios médicos de apoyo públicos y privados a nivel nacional, incluyendo a los de EsSalud, las Fuerzas Armadas, la Policía Nacional del Perú, los de los Gobiernos Regionales y los de los Gobiernos Locales.

IV. Base Legal.

Ley N° 27314, Ley General de Residuos Sólidos aprobada el 21 de julio del 2000.

Reglamento de la Ley N° 27314, aprobado mediante Decreto Supremo N° 057-2004PCM el 24 de julio del 2004.

Decreto Supremo N°013-2006-SA que aprueba el Reglamento de Establecimientos de Salud y Servicios Médicos de Apoyo.

Decreto Legislativo N°1065 Modificatoria de la Ley N°27314 del 28 de junio del 2008.

Resolución Ministerial N° 704-2006/MINSA, que aprueba el Documento Técnico "Catálogo de Unidades Productoras de Servicios en los Establecimientos del Sector Salud"

Resolución Ministerial N° 217-2004/MINSA, que aprueba la Norma Técnica N° 008MINSA/DGSP-V.O1: "Manejo de Residuos Sólidos Hospitalarios".

V. Disposiciones Generales.

V.1. Etapas que conforman el manejo de los residuos sólidos:

1. Acondicionamiento;
2. Almacenamiento Primario;

3. Segregación;
4. Almacenamiento Intermedio;
5. Transporte Interno;
6. Almacenamiento Central;
7. Tratamiento;
8. Recolección Externa; y,
9. Disposición final.

V.2. Definiciones Operativas.

1. Acondicionamiento: Consiste en preparar los servicios y áreas de los EESS y SMA con los materiales e insumos necesarios para descartar los residuos en recipientes adecuados; este acondicionamiento deberá ir de acuerdo con la clasificación de los residuos.
2. Almacenamiento primario: Es el depósito temporal de los residuos ubicados dentro del establecimiento, antes de ser transportados al almacenamiento intermedio o central.
3. Almacenamiento intermedio: es el lugar ó ambiente donde se acopian temporalmente los residuos generados por las diferentes fuentes de los servicios cercanos, distribuidos estratégicamente por pisos o unidades de servicio. Este almacenamiento se implementará de acuerdo al volumen de residuos generados en el EESS o SMA. El tiempo de almacenamiento intermedio no debe ser superior a doce horas.
4. Almacenamiento central: en esta etapa los residuos provenientes del almacenamiento intermedio son depositados temporalmente a nivel del establecimiento para acopiarlos en espera de ser transportados al lugar de tratamiento, reciclaje o disposición final. Los EESS y SMA que no tuvieran almacenamiento intermedio van directamente al almacenamiento central.
5. Botadero: Acumulación inapropiada de residuos sólidos en vías y espacios públicos, así como en áreas urbanas, rurales o baldías que generan riesgos sanitarios o ambientales y que carecen de autorización sanitaria.
6. Categoría: Es un atributo de la oferta, que considera al EESS y SMA

relacionado a sus recursos, nivel tecnológico, y su capacidad resolutive cualitativa y cuantitativa. Para efectos del presente documento normativo, la definición de categoría considera principalmente los elementos cualitativos de la oferta.

7. Contenedor: Caja o recipiente fijo o móvil en el que los residuos se depositan para su almacenamiento o transporte. Es de capacidad variable empleado para el almacenamiento de residuos sólidos.

8. Dirección General de Salud Ambiental DIGESA: Es el órgano técnico-normativo en los aspectos relacionados al saneamiento básico, salud ocupacional, higiene alimentaria, zoonosis y protección del ambiente. Norma y evalúa el Proceso de Salud Ambiental en el Sector. Concerta el apoyo y articulación para el cumplimiento de sus normas con los organismos públicos y privados que apoyan o tienen responsabilidades en el control del ambiente. Coordina el marco técnico-normativo con los Institutos Especializados, Organismos Públicos Descentralizados de Salud, Órganos Desconcentrados y con la Comunidad Científica Nacional e Internacional.

9. Disposición final: Etapa en la cual los residuos sólidos son llevados a una infraestructura o instalación debidamente equipada y operada para que permita disponer sanitaria y ambientalmente seguros los residuos sólidos, mediante rellenos sanitarios y rellenos de seguridad.

10. Empresa Prestadora de Servicios de Residuos Sólidos (EPS-RS): Persona Jurídica que presta servicios de residuos sólidos mediante una o varias de las siguientes actividades: limpieza de vías y espacios públicos, recolección y transporte, transferencia, tratamiento o disposición final de residuos sólidos.

11. Establecimientos de Salud, EESS: Son aquellos que realizan atención de salud con fines de prevención, promoción, diagnóstico, tratamiento y rehabilitación, dirigidas a mantener o restablecer el estado de salud de las personas, bajo el régimen ambulatorio o de internamiento.

12. Fuente de generación: Unidad o servicio del EESS o SMA que, en razón de sus actividades, genera residuos sólidos.

13. Incineración: Método de tratamiento de residuos sólidos que consiste en la oxidación química para la combustión completa de los residuos en instalaciones apropiadas, a fin de reducir y controlar riesgos a la salud y ambiente.

14. Infraestructura de disposición final: Instalación debidamente equipada y operada que permite disponer sanitaria y ambientalmente segura los residuos sólidos, mediante rellenos sanitarios y rellenos de seguridad.

15. Infraestructura de tratamiento: Instalación en donde se aplican u operan tecnologías, métodos o técnicas que modifiquen las características físicas, químicas o biológicas de los residuos sólidos, de manera compatible con requisitos sanitarios, ambientales y de seguridad.

16. Lixiviado. Líquido proveniente de los residuos sólidos, el cual se forma por reacción, arrastre o percolación o discurrimiento y que contiene, disueltos o en suspensión elementos o sustancias que se encuentran en los mismos residuos. Sinónimo de percolado.

17. Manejo de Residuos Sólidos: Toda actividad técnica operativa de residuos sólidos que involucre manipuleo, acondicionamiento, segregación, transporte, almacenamiento, transferencia, tratamiento, disposición final o cualquier otro procedimiento técnico operativo utilizado desde la generación hasta la disposición final.

18. Manifiesto: Documento técnico administrativo que facilita el seguimiento de todos los residuos sólidos peligrosos transportados desde el lugar de generación hasta su disposición final. Contiene información relativa a la fuente de generación, las características de los residuos generados transporte y disposición final consignados en formularios especiales que son suscritos por el generador y todos los operadores que participan hasta la disposición final de dichos residuos.

19. Reaprovechar: Volver a obtener un beneficio del bien, artículo, elemento o parte del mismo que constituye residuo sólido. Se reconoce como técnica de reaprovechamiento el reciclaje, recuperación o reutilización.

20. Residuos Sólidos de EESS y SMA: Son aquellos residuos generados en

las actividades de atención e investigación médica en establecimientos de salud y servicios médicos de apoyo. Estos residuos pueden estar contaminados con agentes infecciosos que pueden contener altas concentraciones de microorganismos que son de potencial peligro.

21. Recolección Externa: actividad implica el recojo de los residuos por parte de la empresa prestadora de servicios de residuos sólidos EPS-RS, debidamente registrada en la DIGESA y autorizada por la Municipalidad correspondiente, desde el EESS o SMA hasta su disposición final. Los residuos peligrosos en ningún caso deberán transportarse junto con los residuos municipales, se deben emplear vehículos especiales cerrados.

22. Relleno de seguridad. Relleno sanitario destinado a la disposición final adecuada de los residuos industriales o peligrosos.

23. Relleno sanitario. Técnica de ingeniería para el adecuado confinamiento de los residuos sólidos municipales. Comprende el esparcimiento, acomodo y compactación de los residuos, su cobertura con tierra u otro material inerte, por lo menos diariamente, y el control de los gases y lixiviados y la proliferación de vectores, a fin de evitar la contaminación del ambiente y proteger la salud de la población.

24. Residuos no peligrosos: Son aquellos producidos por el generador en cualquier lugar y en desarrollo de su actividad, que no presentan riesgo para la salud humana y/o el medio ambiente. Vale la pena aclarar que cualquier residuo de un EESS o SMA no peligroso sobre el que se presuma haber estado en contacto con residuos peligrosos debe ser tratado como tal.

25. Residuos Biodegradables: Son aquellos restos químicos o naturales que se descomponen fácilmente en el ambiente y que puedan ser transformados fácilmente en materia orgánica.

26. Residuos reciclables: Son aquellos que no se descomponen fácilmente y pueden volver a ser utilizados en procesos productivos como materia prima. Entre estos residuos se encuentran: algunos papeles y plásticos, chatarra, vidrio, telas, radiografías, partes y equipos obsoletos o en desuso, entre otros. 27. Residuos inertes: Son aquellos que no se descomponen ni se

transforman en materia prima y su degradación natural requiere grandes períodos de tiempo. Entre estos se encuentran: el “Tecknopor”, algunos tipos de papel como el papel carbón y algunos plásticos.

28. Residuos comunes: Son aquellos generados en el desempeño normal de las actividades. Estos residuos se generan en oficinas, pasillos, áreas comunes, cafeterías, salas de espera, auditorios y en general en todos los sitios del establecimiento del generador.

29. Residuos peligrosos. Son aquellos residuos que por sus características o manejo al que son o van a ser sometidos representan un riesgo significativo para la salud o el ambiente. Se consideran peligroso los que presenten por lo menos una de las siguientes características: auto combustibilidad, explosividad, corrosividad, reactividad, toxicidad, radiactividad o patogenicidad, los cuales pueden causar daño a la salud humana y/o al ambiente. Así mismo se consideran peligrosos los envases, empaques y embalajes que hayan estado en contacto con ellos.

30. Segregación. Es la acción de agrupar a determinados componentes o elementos físicos de los residuos sólidos para ser manejados en forma especial.

31. Servicios Médicos de Apoyo, SMA. Son unidades productoras de servicios que funcionan independientemente o dentro de un establecimiento con internamiento o sin internamiento, según corresponda, y que brindan servicios complementarios o auxiliares a la atención médica y que tienen por finalidad coadyuvar en el diagnóstico y/o tratamiento de los problemas clínicos. Son SMA: a) Patología Clínica, anatomía patológica y diagnóstico por imágenes.

b) Establecimientos que desarrollan subespecialidades o procedimientos especializados: medicina nuclear, radioterapia, medicina física, rehabilitación, hemodiálisis, litotripsia, medicina hiperbárica, endoscopías, colposcopías, otros.

c) Servicios de traslado de pacientes, atención domiciliaria o atención pre hospitalaria.

d) Establecimientos de recuperación o de reposo.

- e) Centros ópticos.
- f) Laboratorios de prótesis dental
- g) Ortopedias y servicios de podología.
- h) Centros de atención para dependientes a sustancias psicoactivas y otras dependencias.
- i) Centros de vacunación.
- j) Centros de medicina alternativa (acupuntura, holísticos, otros)

32. Tratamiento: es cualquier proceso, método o técnica que permita modificar las características físicas, químicas o biológicas del residuo, a fin de reducir o eliminar su potencial peligro de causar daños a la salud y el ambiente; así como hacer más seguras las condiciones de almacenamiento, transporte o disposición final.

33. Transporte interno: consiste en trasladar los residuos al almacenamiento intermedio o central, según sea el caso, considerando la frecuencia de recojo de los residuos establecidos para cada servicio. Las rutas deben estar correctamente señalizadas. Los vehículos para el transporte de residuos deben ser estables, silenciosos, higiénicos, de diseño adecuado y permitir el transporte con un mínimo de esfuerzo.

34. Unidad Productora de Servicios de Salud (UPS): Es la unidad básica de la oferta constituida por el conjunto de recursos humanos, físicos y tecnológicos, organizados para desarrollar funciones homogéneas y producir determinados servicios de salud, en relación directa con su complejidad.

35. Vector. Ser vivo que puede transmitir enfermedades infecciosas a los seres humanos o a los animales directa o indirectamente. Comprende a las moscas, mosquitos, roedores y otros animales.

V.3. Clasificación de los residuos sólidos.

Los residuos generados en los EESS y SMA se basan en su naturaleza y en sus riesgos asociados. Cualquier material del EESS o SMA tiene que considerarse residuos desde el momento en que se rechaza, o se usa, porque su utilidad y/o su manejo clínico se consideran acabados y sólo

entonces puede hablarse de residuo que puede tener un riesgo asociado.

Clase A: Residuos Biocontaminados

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



Tipo A.1: Atención al Paciente: Residuos sólidos contaminados con secreciones, excreciones y demás líquidos orgánicos provenientes de la atención de pacientes, incluyéndose los restos de alimentos. Incluye la nutrición parenteral y enteral. Así como los papeles usados en el secado de manos resultado de la actividad asistencial.

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

Tipo A.3: Bolsas conteniendo sangre humana y hemoderivados: Este grupo está constituido por materiales o bolsas con contenido de sangre humana de pacientes, con plazo de utilización vencida, serología positiva, muestras de sangre para análisis, suero, plasma y hemoderivados.

Tipo A.4: Residuos Quirúrgicos y Anátomo-Patológicos: Compuesto por tejidos, órganos, piezas anatómicas, restos de fetos muertos y residuos

sólidos contaminados con líquidos corporales (sangre, trasudados, exudados, etc.) resultantes de una cirugía, autopsia u otros procedimientos.

Tipo A.5: Punzo cortantes : Compuestos por elementos punzo cortantes que estuvieron en contacto con pacientes o agentes infecciosos, incluyen agujas hipodérmicas, jeringas, pipetas, bisturís, placas de cultivo, agujas de sutura, catéteres con aguja y otros objetos de vidrio enteros o rotos u objetos corto punzantes desechados.

Tipo A.6: Animales contaminados: Se incluyen aquí los cadáveres o partes de animales inoculados, expuestos a microorganismos patógenos o portadores de enfermedades infectocontagiosas; así como sus lechos o residuos que hayan tenido contacto con éste.

Clase B: Residuos Especiales

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

Tipo B.1: Residuos Químicos: Recipientes o materiales contaminados por sustancias o productos químicos con características tóxicas, corrosivas, inflamables, explosivos, reactivas, genotóxicos o mutagénicos; tales como quimioterápicos, productos químicos no utilizados; plaguicidas fuera de especificación, solventes, ácido crómico (usado en limpieza de vidrios de laboratorio), mercurio de termómetros, soluciones para revelado de radiografías, aceites lubricantes usados, tonner, pilas, entre otros.



RADIOACTIVO

Tipo B.2: Residuos Farmacológicos: Compuesto por medicamentos

vencidos; contaminados, desactualizados; no utilizados, provenientes de ensayos de investigación, entre otros.

Tipo B.3: Residuos radioactivos: Compuesto por materiales radioactivos o contaminados con radioisótopos de baja actividad, provenientes de laboratorios de investigación química y biología; de laboratorios de análisis clínicos y servicios de medicina nuclear. Estos materiales son normalmente sólidos o pueden ser materiales contaminados por líquidos radioactivos (jeringas, papel absorbente, frascos, heces, entre otros).

Clase C: Residuo común

Compuesto por todos los residuos que no se encuentran en ninguna de las categorías anteriores y que, por su semejanza con los residuos domésticos, pueden ser considerados como tales. En esta categoría se incluyen, por ejemplo los residuos generados en áreas administrativas entre otros, caracterizados por papeles, cartones, cajas, plásticos, los provenientes de la limpieza de jardines, patios, áreas públicas, restos de la preparación de alimentos y en general todo material que no puede clasificar en las clases A y B.

Tipo C1: Administrativos: papel no contaminado, cartón cajas, otros.

Tipo C2: Vidrio, madera, plásticos otros.

Tipo C3 Restos de preparación de alimentos, productos de jardín, otros.

VI. Disposiciones Específicas.

VI.1. Pasos para llevar a cabo una adecuada gestión de residuos sólidos en establecimientos de salud y servicios médicos de apoyo:

1. Educación, Concientización y Compromiso: para llevar a cabo el adecuado manejo de los residuos es importante el compromiso de la más alta dirección del EESS o SMA, de la administración y de todos los colaboradores o trabajadores. Para tal efecto es necesario la educación e información en el tema y su importancia, así como son los beneficios que se derivan de ella:

Incremento en los niveles de seguridad de todas las personas internas y

externas del EESS o SMA.

Reducción del impacto ambiental.

Mejora de las condiciones ambientales y estéticas del EESS o SMA.

Optimización de costos en el manejo de residuos.

1.1 Los EESS con categoría a partir de I-3, deben contar con un “Comité de Gestión y Manejo de Residuos Sólidos”. Los EESS de categorías I-1 y I-2 y los SMA deberán tener un responsable para el manejo de residuos sólidos.

1.2 Para tal efecto se informará al personal de las distintas áreas /unidades/servicios del EESS o SMA de estas designaciones a fin de que se les brinde el apoyo necesario para la formulación y ejecución del plan de gestión y manejo con el que debe contar toda institución.

2. Elaboración del Diagnóstico inicial para el Plan de manejo de residuos sólidos del EESS o SMA: El “Comité de Gestión y Manejo de Residuos Sólidos identificará en cada una de las áreas/servicios/unidades que integran el EESS o SMA a los actores a los que habrá de involucrar para la elaboración y el desarrollo del plan de manejo.

2.1 Para diseñar el plan se debe considerar en primer lugar el diagnóstico situacional inicial, elemento básico en la formulación. Por lo tanto será necesario involucrar a un responsable por área que pueda proporcionar la información. Para ello se debe listar en cada área, lo siguiente:

1. Clases (comunes, biocontaminados y especiales) y volúmenes de residuos sólidos generados en cada área/unidad/ servicio del EESS o SMA. • Para ello adjuntamos el formato en anexo N°1 para que identifiquen sus áreas o UPS en primer lugar y en segundo lugar, que clase y volumen de residuos generan cada una de ellas.

2. Observar la forma en que se recolectan los residuos.

3. Observar y apuntar los lugares en los que se suelen almacenar.

4. Tomar el tiempo que dura el almacenamiento de los residuos.

5. Conocer cuál es el porcentaje de residuos que se reciclan (si existiera) y si tuvieran beneficios derivados del mismo.

6. Conocer el porcentaje de las distintas clases de residuos que se tratan

internamente y que tipos de tecnologías son empleadas para dicho tratamiento. 7. Ubicación de las áreas de tratamiento de residuos.

8. Identificar al personal interno que se ocupa del manejo de las distintas clases de residuos y observar si tienen indumentaria o equipo de protección. Asimismo observar en forma directa y objetiva como manejan las distintas clases de residuos.

9. Averiguar si existen políticas y prácticas de adquisición de materiales que se convierten en residuos

10. Identificar si existen problemas en el manejo interno.

ANEXO 2

PROCEDIMIENTOS PARA EL MANEJO DE RESIDUOS HOSPITALARIOS

NORMA TÉCNICA MINSA 2004 Procedimientos para el Manejo de Residuos Sólidos Hospitalarios en el Perú.

PROCEDIMIENTOS GENERALES

A. DE LA GESTIÓN

En todo hospital, debe implementarse un Sistema de Gestión para el Manejo de Residuos Sólidos, orientado no solo a controlar los riesgos sino a lograr la minimización de éstos desde el punto de origen.

El director del hospital o quien por delegación haga sus veces, es responsable de la implementación, operación, mantenimiento y evaluación del Sistema de Gestión para el Manejo de Residuos Sólidos, quien podrá a su vez asignar al (los) coordinador(es) del Sistema, para lo cual dispondrá de los recursos necesarios para su buen funcionamiento, mediante los siguientes instrumentos técnico-administrativos: Plan de Manejo de Residuos Sólidos: documento que establece las estrategias, metodologías, recursos humanos, calendarización de actividades, acciones de contingencia y otras actividades técnico sanitario y ambiental que se implementen en el acondicionamiento, almacenamiento, limpieza, recolección, transporte, tratamiento y disposición final. Programa de Autocontrol del Sistema de Gestión de Residuos Sólidos: programación sistemática de auditorías basadas en análisis de riesgos, que deberán ser realizadas por entidades debidamente acreditadas por el Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual (INDECOPI), cuyo resultado será entregado tanto al responsable del hospital como al Director de Salud de la respectiva jurisdicción territorial. La documentación correspondiente al Sistema de Gestión para el Manejo de Residuos Sólidos Hospitalarios debe ser difundida a toda la comunidad hospitalaria.

B. DE LA ORGANIZACIÓN:

La Dirección del hospital debe establecer una política ambiental donde se asuma el compromiso ambiental, definiendo sus intenciones y principios con relación al manejo de los residuos sólidos. El hospital debe subdividirse por servicios especializados, identificar los riesgos en función a las actividades de cada uno de estos servicios, para luego implementar medidas adecuadas para el control de riesgos y las normas para el monitoreo y control eficaz de los procedimientos del sistema. Los responsables de la administración, encargados del manejo de los residuos y personal del hospital deben estar debidamente entrenados para participar en las actividades del manejo de los residuos sólidos. Asegurar la calidad ambiental tanto en la gestión como en el manejo de los residuos se estableciendo las pautas para el control del plan de acción, de la documentación utilizada, inspecciones, análisis periódico de la situación, entre otros.

C. DEL MANEJO

Aquí se consideran los procedimientos técnicos, equipos y tecnología para el manejo de los residuos sólidos en todas sus etapas.

C1. ACONDICIONAMIENTO

- Todos los ambientes del hospital, deben contar con los materiales e insumos necesarios para iniciar el manejo de los residuos sólidos de acuerdo a la actividad que realiza.
- Establecer la clasificación de residuos sólidos en función a su peligrosidad.

C2. ALMACENAMIENTO PRIMARIO

- Todo el personal debe participar de manera activa y consciente en colocar los residuos en el recipiente correspondiente.
- Todo residuo punzo cortante debe ser depositado en un recipiente rígido.

C3. ALMACENAMIENTO INTERMEDIO

- Los hospitales que por su complejidad y magnitud, generen durante la jornada grandes cantidades de residuos sólidos deben contar con un almacenamiento intermedio que concentre temporalmente los residuos de los servicios cercanos.

C4. RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE INTERNO

- Determinar horarios y rutas para el transporte de los residuos sólidos debidamente almacenados en recipientes de cierre hermético, considerando el volumen, tipo de residuo y horas o rutas donde hay menor presencia de pacientes y visitas.
- El traslado debe realizarse en medios tales que garanticen en todo momento la estanqueidad, seguridad, higiene y la total asepsia en las operaciones de carga, descarga y transporte propiamente dicho.

C5. ALMACENAMIENTO CENTRAL

- Todo hospital, debe contar con una instalación adecuada para centralizar los residuos provenientes de todos los servicios y áreas del hospital, que permita almacenar los residuos sin causar daños al ambiente y al personal que allí labora. La misma que deberá contar con dos áreas independientes: una para residuos comunes y otra para residuos biocontaminados.
- Los lugares destinados al almacenamiento final de residuos sólidos deben estar aislados de las salas de hospitalización, cirugía, laboratorio, toma de muestras, banco de sangre, preparación de alimentos y en general lugares que requieran completa asepsia, minimizando de esta manera posibles riesgos de contaminación cruzada con microorganismos patógenos.

C6. TRATAMIENTO

- Todo hospital, debe implementar un método de tratamiento para los residuos sólidos acorde con su magnitud, nivel de complejidad, ubicación geográfica, recursos disponibles y viabilidad técnica, que facilite la

disposición final en forma eficiente, segura y sanitaria.

- Para cualquier método de tratamiento empleado debe realizarse una verificación periódica de los parámetros críticos (temperatura, humedad, volumen de tratamiento, tiempo de permanencia del residuo en el sistema, entre otros).
- Todas las instalaciones de tratamiento de residuos de hospitales deberán contar con la autorización del Ministerio de Salud, conforme se establece en el artículo 50º del Reglamento de la Ley General de Residuos Sólidos, aprobado por Decreto Supremo N° 057-2004-PCM.
- El tratamiento que se realiza fuera del hospital debe ser realizado por una Empresa Prestadora de Servicios de Residuos Sólidos (EPS-RS), registrada en la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA) y autorizada por la Municipalidad provincial.

C7. RECOLECCIÓN EXTERNA Y DISPOSICIÓN FINAL

- El transporte de residuos sólidos fuera del hospital, debe ser realizado por una Empresa Prestadora de Residuos Sólidos (EPS-RS) que además de cumplir con los requisitos mencionados en el literal 3 del ítem TRATAMIENTO, debe contar con la constancia de habilitación expedida por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones que certifique que las unidades de transporte cumplen con los requisitos técnicos para el transporte de residuos sólidos peligrosos.
- Los residuos luego del proceso de tratamiento, podrán ser dispuestos en rellenos sanitarios debidamente registrados en la DIGESA y autorizados por la municipalidad provincial, debiendo estos contar con celdas de seguridad que permitan el confinamiento seguro de los residuos.

CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES

Los hospitales son organizaciones complejas, en el cual se desenvuelven diversos procesos para generar bienes y servicios de salud, por eso la importancia de la optimización de cada uno de estos procesos, para obtener productos de salud con calidad; este proceso de control de riesgos asociados a los residuos sólidos es un componente importante en la organización hospitalaria que contribuye para generar hospitales de calidad. • En este documento se describen los procesos, procedimientos, y actividades para el manejo de los residuos sólidos que se generan en hospitales y el cumplimiento de lo establecido en la normatividad vigente. • El propósito del documento es dar a conocer a los responsables de la administración, encargados del manejo de los residuos y al personal del hospital, los criterios técnicos organizativos y operativos para realizar el manejo apropiado de los residuos, acorde con la normativa vigente, el nivel de complejidad del hospital y el entorno geográfico. • Estos procedimientos técnicos son de cumplimiento obligatorio para todos los hospitales dentro del territorio nacional. • La responsabilidad ante posibles daños causados por el manejo inadecuado de los residuos sólidos será del hospital, salvo que éste lo haya entregado a una EPS-RS observando las respectivas normas sanitarias y ambientales.

1.1 Antecedentes: El Manejo de los Residuos Sólidos Hospitalarios (MRSH) en nuestro país es uno de los aspectos de la gestión hospitalaria, que recién a partir de los últimos años ha concitado el interés de las instituciones públicas y privadas, impulsado por el desarrollo de la seguridad y salud en el trabajo hospitalario, la protección al ambiente y la calidad en los servicios de salud. En 1987, la Empresa de Servicios Municipales de Limpieza de Lima (ESMLL), realizó un estudio sobre los residuos sólidos hospitalarios en Lima Metropolitana que incluyó 35 hospitales, en el cual se determinó que la cantidad de residuos producidos por hospital varía según el tamaño y complejidad del mismo. Para hospitales con más de 1,000 camas la generación oscila entre 4.1 y 8.7 kg/cama/día; en hospitales de menos de 300 camas oscila entre 0.5 y 1.8 kg/cama/día y en clínicas particulares de 100 camas

oscila entre 3,4 y 9 kg/cama/día. El estudio concluyó que "el manejo de los residuos sólidos hospitalarios es una preocupación para los administradores de dichos establecimientos, pero lo cierto es que su manejo es tan precario que las consecuencias resultantes pueden ser imprevisibles". En 1991 se inició en el Perú la epidemia del cólera afectando en su mayoría a la población más pobre del país; en estas circunstancias se evidenció la vulnerabilidad de las condiciones sanitarias en hospitales, generando situaciones de riesgo para la población atendida y el personal de trabajo. Era evidente que la administración hospitalaria no consideraba a los residuos sólidos como un potencial peligro; toda vez que, estos eran manejados como residuos domiciliarios generándose riesgos ocupacionales, sanitarios y ambientales.

Esta crisis confirmó una falta de metodología e instrumentos de evaluación tanto en saneamiento ambiental como en el sistema de manejo de residuos sólidos hospitalarios. En un estudio realizado en 1991 por P. Tello, se evidenció que el 85,5 % de los centros hospitalarios, tanto públicos como privados tenían un servicio de limpieza propio, con personal carente de capacitación; por lo que esta actividad se estaría realizando en forma improvisada en todas sus etapas, además de la existencia de insuficiente material y equipos de protección personal. En 1992, E. Bellido realizó el "Diagnostico Situacional del Saneamiento Ambiental en dos centros hospitalarios" en Lima Metropolitana: el Hospital Arzobispo Loayza de Lima y el Hospital Daniel Alcides Carrión del Callao. Se determinó la generación de residuos sólidos unitaria para cada hospital, en promedio el Hospital Loayza genera 1.55 Kg/cama/día y el Hospital D.A. Carrión 1.97 Kg/cama/día; y en cuanto a la generación promedio diaria según clasificación fue la siguiente: contaminados (57%), comunes (42%) y especiales (1%) en ambos nosocomios. En este estudio se llegó a la conclusión que el 50% de los residuos generados son contaminados con materiales o secreciones generados durante el proceso de atención médica a los pacientes, pero al ser manejados inadecuadamente son mezclados con el resto de los residuos, ocasionando que el total de éstos se contaminen. El Ministerio de Salud, en el marco del Programa de Fortalecimiento de los Servicios de Salud, realizó en el año 1995, un "Diagnóstico Situacional del Manejo de Residuos Sólidos

en Hospitales Administrados por el Ministerio de Salud”. Para este trabajo se realizaron encuestas y la caracterización de los residuos en 06 hospitales de distintas ciudades del interior del país. Este estudio permitió demostrar el estado precario del saneamiento ambiental en los seis centros hospitalarios en su componente de manejo de residuos sólidos. (4) También dentro del Programa de Fortalecimiento de los Servicios de Salud, el MINSA, en 1998 desarrolló un documento técnico sobre “Tecnologías de Tratamiento de Residuos Sólidos de Establecimientos de Salud”. Este documento identifica las 04 tecnologías de tratamiento para residuos sólidos hospitalarios más empleadas en el ámbito mundial: la incineración, esterilización a vapor (autoclave), desinfección por microondas y tratamiento químico.

1.2 Marco Legal

- i. Reglamento de la Ley N° 27314, aprobado mediante Decreto Supremo N° 057-2004PCM el 24 de julio del 2004;
- ii. Modifican reglamento de la Ordenanza N° 295 MML “Sistema Metropolitano Gestión de Residuos Sólidos”, aprobado por Decreto de Alcaldía N° 093 el 28 de febrero del 2003;
- iii. Ley N° 27314, Ley General de Residuos Sólidos aprobada el 21 de julio del 2000;
- iv. Sistema Metropolitano de Gestión de Residuos Sólidos, aprobado por Ordenanza Municipal N° 295 en noviembre del 2000;
- v. Sistema Metropolitano de Gestión de Residuos Sólidos, aprobado por Decreto de Alcaldía N° 147-Municipalidad Metropolitana de Lima;
- vi. Norma del IPEN-Manejo Seguro de los Desechos Radiactivos, aprobada por Resolución Presidencial N° 009 -95 IPEN/ANM, el 19 de julio de 1995;
- vii. Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación adoptado por la conferencia de plenipotenciarios del 22 de marzo de 1989, entró en vigor el 05 de mayo de 1992;
- viii. Reglamento General de Hospitales del Sector Salud, aprobado por Decreto Supremo N° 005-90-SA el 27 de octubre de 1990;
- ix. Código del Medio ambiente - Salubridad Pública, aprobado mediante Decreto Legislativo 613 aprobado el 08 de setiembre de 1990;

- x. Normas y Procedimientos para la Baja y Eliminación de Medicamentos de la Dirección General de Medicamentos, Insumos y Drogas, aprobado por Resolución Directoral N° 107-93-DGMID-DG el 10 de diciembre de 1993; y,
- xi. Reglamento para la Disposición de Basuras mediante el empleo del método de Relleno Sanitario, aprobado por Decreto Supremo N° 006-STN el 09 de enero de 1964.

MARCO TEÓRICO

La higiene de un ambiente hospitalario considera el establecimiento de planes y operaciones en las áreas de abastecimiento de agua, incluyendo todo el sistema hidráulico, saneamiento básico, manejo de residuos líquidos y sólidos, control de la contaminación del aire, control de vectores y esterilización. El residuo que usualmente recibe mayor atención es el manejo de los residuos líquidos, sobre todo los provenientes de aquellas personas portadoras de enfermedades infecciosas. Sin embargo, estos residuos una vez generados son eliminados inmediatamente por las redes de desagüe del hospital, operación que imposibilita cualquier contacto con la población hospitalaria. El manejo de los residuos sólidos en cambio presenta una diferencia fundamental con relación a los residuos líquidos; toda vez que, desde el punto de origen se mantiene un contacto directo con el personal responsable del manejo y en general en forma indirecta con la población hospitalaria. Los procesos operativos para el manejo de los residuos sólidos redundan en la presencia de un riesgo permanente que puede movilizarse por todo el hospital durante las etapas de generación, almacenamiento (primario, intermedio y final), transporte interno y tratamiento. Los residuos sólidos que se generan en los hospitales, producto de las actividades asistenciales constituyen un peligro para la salud de las personas si en circunstancias no deseadas, la carga microbiana que contienen los residuos biocontaminados ingresa al organismo humano ó en el caso de los residuos especiales cuando ingresan mediante vía respiratoria, digestiva o dérmica. Los residuos sólidos hospitalarios incluyen un componente importante de residuos comunes y una pequeña proporción de residuos peligrosos (biocontaminados y especiales). La naturaleza del peligro de estos residuos sólidos, está determinada

por las características de los mismos que se podrían agrupar básicamente en: (1) residuos que contienen agentes patógenos, (2) residuos con agentes químicos tóxicos, agentes genotóxicos, o farmacológicos, (3) residuos radiactivos y (4) residuos punzo cortantes. Todos los individuos en un hospital, están potencialmente expuestos en grado variable a los residuos peligrosos, cuyo riesgo varía según la permanencia en el hospital, la característica de su labor y su participación en el manejo de los residuos.

La exposición a los residuos peligrosos involucran, en primer término, al personal que maneja dichos residuos sólidos tanto dentro como fuera de los hospitales, personal que de no contar con una adecuada capacitación y entrenamiento o de carecer de facilidades e instalaciones apropiadas para el manejo y tratamiento de los residuos, así como de herramientas de trabajo y de elementos de protección personal adecuados, puede verse expuesto al contacto con gérmenes patógenos. El personal asistencial de los hospitales (médicos, enfermeras, técnicos, auxiliares, entre otros) también están en riesgo de sufrir algún daño potencial como consecuencia de la exposición o contacto a residuo peligrosos, destacándose los residuos punzo cortantes como los principalmente implicados en los “accidentes en trabajadores de salud”, aunque la gran mayoría de accidentes por pinchazos con material punzo cortante ocurre durante la realización de algún procedimiento asistencial y antes de ser desechado, donde el “material médico implicado” aún no es considerado un residuo. (6) Los residuos biocontaminados pueden contener una gran variedad y cantidad de microorganismos patógenos. Con solo una hora de persistencia del microorganismo vivo en el residuo, sobre todo los patógenos, ya debe considerarse la existencia de riesgo potencial; toda vez que dependerá de la oportunidad que tenga este para entrar en el ciclo de infecciones hospitalarias o la existencia de otros factores epidemiológicos para desencadenar en algún huésped vulnerable. Por otro lado para valorar el peligro se debe considerar además la supervivencia de los microorganismos patogénicos en el ambiente, que es limitada a excepción de alguno de ellos. Cada microorganismo tiene una tasa de mortalidad específica según su resistencia a las condiciones del ambiente tales como temperatura, humedad, disponibilidad de materia orgánica y radiaciones de rayos

ultravioleta. El rol de vectores tales como los insectos también debe ser considerado en la evaluación de la supervivencia y expansión de los microorganismos patogénicos en el medio ambiente. Esto resulta de interés en el manejo de residuos tanto interno como externo de los hospitales. Otro aspecto que merece atención son los accidentes ocurridos por el manejo de residuos hospitalarios. Los residuos punzo cortantes contaminados han sido asociados con la transmisión de enfermedades infecciosas. Datos disponibles bien documentados muestran que las lesiones por pinchazos reportados con más frecuencia afectan al personal de enfermería, laboratorio, médicos, personal de mantenimiento, personal de limpieza y otros trabajadores sanitarios. Algunas de estas lesiones exponen a los trabajadores a patógenos contenidos en la sangre que pueden transmitir infecciones. Los patógenos más importantes entre estos son los virus de la hepatitis B (VHB), virus de la hepatitis C (VHC), virus de la inmunodeficiencia humana (VIH). Las infecciones producidas por cada uno de estos patógenos pueden poner en peligro la vida, pero son prevenibles.

OBJETIVO DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS

OBJETIVO GENERAL

Mejorar la calidad de los servicios hospitalarios, mediante un sistema eficaz y eficiente de administración de residuos en el ámbito intra nosocomial, que asegure el manejo adecuado de los residuos sólidos generados en los hospitales, a fin de minimizar y controlar los riesgos sanitarios y ocupacionales de la población hospitalaria, así como los impactos en la salud pública y el ambiente.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Establecer e implementar los procedimientos básicos en cada una de las etapas del manejo de los residuos sólidos hospitalarios.
2. Facilitar el proceso de control y evaluación del manejo de residuos sólidos hospitalarios.
3. Mejorar las condiciones de seguridad del personal asistencial y de limpieza expuestos a los residuos sólidos desde la generación hasta la disposición final.
4. Definir los criterios técnicos para la selección del tipo de tratamiento a adoptar

(autoclave, incineración, microondas, entre otros).

5. Contribuir con las acciones, que el hospital debe realizar para el control de los daños al ambiente.

CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS HOSPITALARIOS

El manejo sanitario de los residuos sólidos debe comenzar desde el punto de origen mediante la clasificación de los residuos como parte del concepto de minimización de residuos peligrosos; esta práctica trae como beneficio:

- i. Minimizar los riesgos para la salud, mediante la separación de residuos contaminados con agentes patógenos o tóxicos, a fin de no contaminar el resto de residuos;
- ii. Reducir costos operativos en el manejo de residuos peligrosos; y,
- iii. Reutilizar residuos que no requieren tratamiento.

La clasificación es fundamental para que el sistema de manejo de residuos sólidos hospitalarios sea eficaz en el control de riesgos para la salud, siendo indispensable la participación permanente y consciente del personal del hospital. La clasificación de los residuos sólidos generados en los hospitales, se basa principalmente en su naturaleza y en sus riesgos asociados, así como en los criterios establecidos por el Ministerio de Salud. Cualquier material del hospital tiene que considerarse residuo desde el momento en que se rechaza, porque su utilidad o su manejo clínico se consideran acabados y sólo entonces puede empezar a hablarse de residuo que tiene un riesgo asociado. La norma Brasileira “Residuos de Servicios de Salud” de la Asociación Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) del año 1994 clasifica a los residuos en tres categorías:

Clase A: Residuo Biocontaminado;

Clase B: Residuo Especial; y,

Clase C: Residuo Común.

CAPÍTULO II

CICLO DEL MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS

El manejo técnico de los residuos sólidos hospitalarios comprende una serie de procesos, que se inician con la etapa de generación, donde se deben realizar actividades para minimizar la cantidad de residuos peligrosos hasta el almacenamiento final y recolección externa, que significa la evacuación de los residuos al exterior para su disposición final. El riesgo asociado a los diferentes tipos de residuos condiciona las prácticas operativas internas y externas que se deberán realizar en cada una de las etapas del manejo de los residuos.

2.1 Sistema de Gestión de Residuos Sólidos

Para diseñar un sistema de gestión de residuos sólidos hospitalarios, es necesario realizar las siguientes actividades operativas: planeamiento y coordinación, y diagnóstico inicial a fin de conocer los aspectos técnicos y administrativos del manejo de los residuos, la cantidad que se genera en todo el hospital y por cada servicio, así como la composición de cada uno de ellos. Un manejo sanitario de los residuos desde el origen mediante la clasificación y segregación como parte del concepto de minimización de residuos peligrosos trae como beneficio:

- i. Minimizar los riesgos para la salud, por la separación de residuos contaminados de modo que el resto de residuos no se vea afectado;
- ii. Reducir costos operativos del manejo de residuos peligrosos; y,
- iii. Reutilizar los residuos que no requieren tratamiento.

2.1.1 Planeamiento y coordinación Esta primera actividad operativa debe preparar la organización del estudio de diagnóstico:

- i. Informar, coordinar y comprometer al personal asistencial y administrativo del hospital para cooperar con el estudio de diagnóstico;
- ii. Visitar el área de estudio para un análisis rápido;
- iii. Elaborar un plan operativo;
- iv. Adquirir equipos y materiales; y,
- v. Entrenar al personal responsable del manejo. Como segundo paso se debe

identificar tres áreas de intervención: Áreas médicas; donde se ejecutan acciones de salud constituida principalmente por unidades de internamiento, ambulatorios, departamentos médicos y el conjunto de unidades destinadas a la atención del paciente interno o ambulatorio; áreas de servicios médicos; se encuentran la mayoría de servicios que complementan el diagnóstico o ayudan a la recuperación de la salud de la persona; y, Área administrativa o general; donde se encuentran los servicios de alimentación, transporte, energía, entre otros.

2.1.2 Diagnóstico: El estudio de diagnóstico del manejo de los residuos sólidos hospitalarios forma parte de la planificación de todo hospital para implementar o mejorar las actividades técnicas operativas de residuos sólidos utilizadas en todas sus etapas. El diagnóstico es un proceso de recolección, análisis y sistematización de la información acerca de la cantidad, características, composición y tipo de residuos generados en los servicios, y de las condiciones técnico operativas del manejo de dichos residuos en el hospital. El procedimiento a realizar comprende:

- i. Identificar las fuentes principales de generación y las clases de residuos (biocontaminados, especiales y comunes) que se generan en cada una de ellas;
- ii. Determinar en promedio la cantidad por tipo de residuo generado en los diferentes servicios, mediante muestreos.
- iii. Analizar cualitativamente la composición (materia orgánica, plásticos, vidrios, metal, entre otros).
- iv. Obtener información de los aspectos administrativos y operativos del manejo de los residuos sólidos en el hospital. Los instrumentos técnicos y métodos a emplear para elaborar el diagnóstico serán: encuestas, inspecciones sanitarias, observaciones planeadas, toma de muestras y la revisión de archivos, entre las principales. La información básica a obtener será la siguiente: Acerca del manejo de residuos:
 - i. Recursos asignados (instalaciones, insumos, entre otros);
 - ii. Responsables;
 - iii. Normas aplicables, manuales de procedimientos, entre otros; y,
 - iv. Control de las actividades

Acerca de la caracterización:

- i. Cantidad de residuos generados por tipo de servicios y clase de residuos;
- ii. Características físico químicas de los residuos. Es necesario considerar que la cantidad y clase de residuos generados está en relación directa con el tamaño del hospital y su nivel de complejidad. El riesgo y la naturaleza de los residuos generados presentan diferencias apreciables entre los diferentes servicios. Es importante considerar el apoyo técnico de la autoridad de salud de la jurisdicción con relación a labores de asesoramiento y capacitación.

2.2 Etapas del Manejo de los Residuos Sólidos Hospitalarios: El manejo apropiado de los residuos sólidos hospitalarios sigue un flujo de operaciones que tiene como punto de inicio el acondicionamiento de los diferentes servicios con los insumos y equipos necesarios para realizar seguidamente la segregación de residuos, que es una etapa fundamental; toda vez que, requiere del compromiso y participación activa de todo el personal del hospital.

El transporte interno, almacenamiento y tratamiento son operaciones que ejecuta generalmente el personal de limpieza, para lo cual se requiere de la logística adecuada y personal debidamente entrenado. Las etapas que conforman el manejo de los residuos sólidos y que se utilizan desde la generación hasta la disposición final, son las siguientes:

- i. Acondicionamiento;
- ii. Segregación y Almacenamiento Primario;
- iii. Almacenamiento Intermedio;
- iv. Transporte Interno;
- v. Almacenamiento Final;
- vi. Tratamiento;
- vii. Recolección Externa; y,
- viii. Disposición final.

ANEXO N° 1
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS
RECIPIENTES PARA RESIDUOS COMUNES BIOCONTAMINADOS Y
ESPECIALES

ITEM	ALMACENAMIENTO PRIMARIO	ALMACENAMIENTO INTERMEDIO	ALMACENAMIENTO CENTRAL
Capacidad	Variable de acuerdo al área de generación, con capacidad mínima de 30 lts.	No menor de 130 lts, ni mayor de 160 lts.	Contenedores o recipientes no menores de 130, ni mayor de 160 litros.
Material	Polietileno de alta densidad sin costuras.	Polietileno de alta densidad sin costuras.	Polietileno de alta densidad sin costuras.
Espesor	No menor a 2 mm.	No menor a 7.5 mm.	No menor a 7.5 mm.
Forma	Tronco cónico invertido	Tronco cónico invertido.	Tronco cónico invertido
Color	De preferencia claro	De preferencia claro	De preferencia claro
Requerimientos	Con tapa en forma de embudo invertido, resistente a las perforaciones, y filtraciones, material que prevenga el crecimiento bacteriano, con mecanismo que imposibilite el derrame de su contenido para el mejor control de riesgos sanitarios, lavable.	Con tapa removible, con ruedas de jebe o estable. Lavable, resistente a las perforaciones, filtraciones y sustancias corrosivas, material que previene el crecimiento bacteriano, con mecanismo que imposibilite el derrame de su contenido para el mejor control de riesgos sanitarios, lavable. Altura no mayor a 110 cm.	Con tapa removible, con ruedas de jebe o estable. Lavable, resistente a las perforaciones, filtraciones y sustancias corrosivas, material que previene el crecimiento bacteriano, con mecanismo que imposibilite el derrame de su contenido para el mejor control de riesgos sanitarios, lavable. Altura no mayor a 110 cm.

ANEXO Nº 2
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS
RECIPIENTES RIGIDOS PARA RESIDUOS PUNZOCORTANTES

Ítem	Características
Capacidad	No menor a 2,0 lts.
Material	Rígido, impermeable, resistente al traspaso por material punzo cortante, fracturas y pérdidas del contenido al caer.
Forma	Variable.
Rótulo	"Residuo Punzo cortante" Límite de llenado Símbolo de Bioseguridad
Requerimientos	Con tapa de cierre hermético para evitar derrames, con abertura a manera de alcancía, que impida introducir las manos.

ANEXO Nº 3
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS
BOLSAS PARA REVESTIMIENTO

ITEM	ALMACENAMIENTO PRIMARIO	ALMACENAMIENTO INTERMEDIO	ALMACENAMIENTO CENTRAL
Capacidad	20 % mayor al recipiente seleccionado	20 % mayor al recipiente seleccionado	20 % mayor al recipiente seleccionado
Material	Polietileno	Polietileno	Polietileno
Espesor	2 mil (1 mil = 1/1000 de pulgada)	3 mil (1 mil = 1/1000 de pulgada)	3 mil (1 mil = 1/1000 de pulgada)
Color	R. Común: bolsa negra R. Biocontaminado: bolsa roja R. Especial: bolsa amarilla	R. Común: bolsa negra R. Biocontaminado: bolsa roja R. Especial: bolsa amarilla	R. Común: bolsa negra R. Biocontaminado: bolsa roja R. Especial: bolsa amarilla
Resistencia	Resistente a la carga a transportar.	Resistente a la carga a transportar.	Resistente a la carga a transportar.

ANEXO Nº 4
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS
ALMACENAMIENTO INTERMEDIO

1. Área a determinar considerando el volumen de residuos de la unidad generadora, recomendándose un área mínima de 4 m² y previéndose espacio suficiente para la entrada de los vehículos de recolección.
2. Piso y paredes revestidos con material liso, resistente, lavable e impermeable. 3. Puerta dotada de protección inferior para dificultar el acceso a vectores.
4. Ventilación a través de ductos, o aberturas con mínimo 1/20 del área del piso y no inferior a 0.20 m² localizados a 20 cm del piso y a 20 cm del techo; debidamente protegidos con mallas que impidan el ingreso de los vectores.
5. Poseer punto de luz, hermético, contra atmósferas explosivas.
6. Situada lejos de los almacenamientos de comida fresca o áreas de preparación de comida y de fácil acceso para el personal encargado de la labor.

ALMACENAMIENTO CENTRAL

1. Las dimensiones del almacenamiento central deben estar en función al volumen total y tipo de residuos generados en el hospital, será diseñada para almacenar el equivalente a 2 días de generación de residuos.
2. Ubicación que permita fácil acceso, maniobra y operación del vehículo recolector externo y los vehículos de recolección interna. Además contiguo al ambiente de tratamiento de residuos.
3. Construido de material noble, protegido de la intemperie y temperaturas elevadas, que no permita el acceso de animales, dotado de ductos de ventilación o de aberturas con área mínima correspondiente a 1/20 del área del piso y no inferior a 0.20 m², cubiertas con mallas y localizadas a 20 cm. del piso y a 20 cm. del techo. y ubicada donde no haya riesgo de inundación.
4. Revestido internamente (piso y paredes) con material liso, resistente, lavable, impermeable y de color claro.
5. Piso con pendiente del 2% dirigida al sumidero y en sentido contrario a la entrada.

6. El área de almacenamiento debe estar señalizada de acuerdo a la clase de residuo y en lugares de fácil visualización.
7. La unidad de almacenamiento central de residuos dispondrá de un ambiente apropiado para guardar los utensilios, materiales, equipos de limpieza o cualquier otro objeto utilizado en la higienización de los contenedores y de las instalaciones de la unidad de almacenamiento.
8. Puerta con abertura hacia afuera, dotada de protección inferior para dificultar el acceso de los vectores.
9. Dotado de punto de agua (fría y caliente) y bajo presión, sistema de drenaje e iluminación artificial interna y externa.
10. Destinar un área para la higienización de los vehículos de recolección interna y demás equipos utilizados que tengan las siguientes características: techado, iluminación artificial, punto de agua (con presión no menor a 16 lb/plg²), piso impermeable con sistema de drenaje conectado a la red de alcantarillado.
11. Destinar un ambiente de servicios higiénicos y vestidores para el personal, de tal manera que permita su aseo personal.
12. La unidad de almacenamiento debe contar con un sistema de extintores para casos de emergencia.
13. El Contenedor utilizado en la unidad de almacenamiento debe reunir las siguientes características:
 - i. Estanque, constituido de material rígido, lavable e impermeable, con bordes romos;
 - ii. Poseer tapa articulada en el propio cuerpo del equipo;
 - iii. Provisto de dispositivos para drenaje;
 - iv. Con ruedas de tipo giratorio, con banda de rodaje y jebe maciza o material equivalente;
 - v. De color claro, ostentando en lugar visible el símbolo del tipo de residuo de acuerdo a la clasificación establecida en el presente manual de procedimientos;
 - vi. La tapa del contenedor permanece cerrada sin arrumar los residuos embalados sobre la misma; y,
 - vii. Inmediatamente después de ser vaciado el contenedor recibe limpieza y

desinfección.

ANEXO Nº 5
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS
VEHÍCULOS DE TRANSPORTE INTERNO

Item	Especificaciones
Capacidad del contenedor	Volumen máximo de 200 litros
Material	De polietileno de alta densidad, lavable, superficies internas lisas, con bordes romos y dotado de tapa articulada.
Espesor	No menor de 7 mm.
Forma	Variable
Requerimientos	Tipo coche, con ruedas de tipo giratorio, estable, tapa hermética, impermeable, lavable y de color claro. Cuando la carga sea manual, la altura de carga debe ser inferior a 1.20 m y cuando posea sistema mecánico de carga y descarga, éste debe operar de forma que no permita el rompimiento de los recipientes.

ANEXO Nº 6
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS
EQUIPOS DE PROTECCION PERSONAL

ETAPA	EQUIPO
Acondicionamiento en el punto de generación	<ul style="list-style-type: none"> a) Uniforme; pantalón largo, chaqueta con manga larga, gorro de material resistente e impermeable y de color claro. b) Guantes; de PVC impermeables de color claro y resistentes a sustancias corrosivas; a) Zapatos; impermeables, resistentes a sustancias corrosivas o botas cortas de color claro, preferentemente blanco;
Transporte interno	<ul style="list-style-type: none"> b) Uniforme; pantalón largo, chaqueta con manga larga, de material resistente e impermeable y de color claro; c) Guantes; de PVC, impermeables de color claro, preferentemente blanco; d) Zapatos; impermeables, resistentes a sustancias corrosivas o botas cortas de color claro, preferentemente blanco; e) Máscara de tipo semifacial e impermeable, y que permita la respiración natural; y, f) Lentes panorámicos incoloros, de plástico resistente, con armazón de plástico flexible con protección lateral y válvula para ventilación.
Almacenamiento central	<ul style="list-style-type: none"> a) Uniforme; pantalón largo, chaqueta con manga larga, de material resistente e impermeable y de color claro; b) Guantes; de PVC, impermeables de color claro, preferentemente blanco; c) Botas de seguridad, impermeables y resistentes a sustancias anticorrosivas, de color claro, preferentemente blanco, con caña mediana; d) Gorro color blanco, de forma que proteja los cabellos; e) Máscara de tipo semifacial e impermeable, y que permita la respiración natural; y, f) Lentes panorámicos incoloros, de plástico resistente, con armazón de plástico flexible con protección lateral y válvula para ventilación.

ANEXO Nº 7
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS
EQUIPOS DE PROTECCION PERSONAL

ETAPA	EQUIPO
Tratamiento autoclave	<ul style="list-style-type: none"> a) Uniforme; pantalón largo, chaqueta con manga larga, de material resistente e impermeable y de color claro; b) Guantes; de nitrilo y de cuero; c) Botas de seguridad con suela antideslizante, resistentes a sustancias corrosivas, de color claro preferentemente blanco; d) Gorro color blanco, de forma que proteja los cabellos; e) Respirador; contra aerosoles sólidos de alta eficiencia y válvula de exhalación, que cuente con certificación internacional; y, f) Lentes panorámicos incoloros, de plástico resistente, con armazón de plástico flexible con protección lateral y válvula para ventilación.
Tratamiento incineración	<ul style="list-style-type: none"> a) Uniforme; pantalón largo, chaqueta con manga larga, de material resistente e impermeable y de color claro. En el caso de cargas mayores a 2TM se deberá utilizar traje aluminizado; b) Guantes; de nitrilo y guantes de cuero; c) Botas de PVC, impermeables y resistentes, de color claro, preferentemente blanco, con caña mediana y anticorrosivos; d) Gorro color blanco, de forma que proteja los cabellos; e) Respiradores de media cara; y, f) Lentes para radiaciones

ANEXO Nº 8
INSTRUCCIONES DE LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN
ALMACENAMIENTO INTERMEDIO Y CENTRAL

La frecuencia de limpieza se realizar en forma diaria al final de la jornada laboral o toda vez que existan derrames. El procedimiento será el siguiente:

- 1) Retirar los recipientes del almacenamiento;
- 2) Lavar las paredes con agua y detergente utilizando escobillas de arriba hacia abajo;
- 3) Lavar el piso con agua y detergente utilizando escobillones y secar los pisos;
- 4) Desinfectar con lejía al 1% (o algún otro desinfectante) las paredes y los pisos;
- 5) Lavar y desinfectar el equipo de limpieza (escobillas, escobillones, entre otros) con lejía al 1%.

RECIPIENTES

- 1) Trasladar los recipientes al cuarto de lavado después de cada uso;
- 2) Lavar los recipientes contenedores de desechos con detergente utilizando escobillas luego desinfectar con lejía al 1% u otro desinfectante y secarlo; y,
- 3) Retornar los recipientes al almacén secundario y acondicionar con bolsas.