

# **Autoclaves de Media Capacidad: Aplicación a Manejo de Desechos Hospitalarios**

Alfredo Barriga Rivera, Phd  
Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción  
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)  
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral  
Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador  
abarriga@espol.edu.ec

Emerson Jaramillo Torres  
Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción  
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)  
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral  
Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador  
emejaram@espol.edu.ec

## **Resumen**

*El manejo de los residuos hospitalarios resulta un especial desafío, no solamente en lo pertinente a ingeniería técnica y desarrollo de dispositivos de control o metodologías de gestión, sino también en lo concerniente a las costumbres culturales, conocimiento y preparación con las que se administran dichas tecnologías por parte de los operadores. Es principal objetivo de este trabajo, analizar la problemática de la gestión de los residuos hospitalarios en la ciudad de Guayaquil, para luego de comparar los sistemas de desinfección en alta y baja temperatura, establecer la metodología correcta de esterilización con vapor, teniendo en cuenta los factores principales: temperatura, tiempo y presión.*

*De igual manera se analizan factores propios de la operación de los autoclaves, tanto sobre su estructura geométrica, si en el proceso se realiza vacío, como en el empaquetado de los desechos al interior del equipo si se realiza trituración, o si se modifica la estructura geométrica de este empaquetado.*

*Al final de este trabajo se muestra como la onda de calor y el camino térmico que debe recorrer el vapor, se ve claramente afectado por la variación en las propiedades termofísicas de los desechos hospitalarios, para distintos valores de conducción térmica, coeficiente de convección de transferencia de calor y distinta densidad, todo esto respecto del tiempo de esterilización.*

**Palabras Claves:** *Residuos Sólidos Hospitalarios (RSH), Autoclave*

## **Abstract**

*The hospital waste management is a particular challenge, not only in matters to technical engineering and development of control devices or management methods, but also regard to cultural practices, knowledge and preparation that these technologies are given by operators. Its main objective is to analyze the problem of hospital waste management in Guayaquil, and then compare the disinfection systems at high and low temperature, set the correct methodology for steam sterilization, taking into account main factors as: temperature, time and pressure.*

*Similarly analyze factors in the operation of autoclaves, both on its geometrical structure, if the process uses a vacuum system, as in the packaging waste within the equipment uses a shredder system, or modifying the geometric packaging structures.*

*At the end of this paper it will be explained how the heat wave and the steam thermal path, is clearly affected by variation in thermo physical properties of hospital waste, for different thermal conduction values, convective heat transfer coefficient and different densities, all this regarding the sterilization time.*

**Keywords:** *Hospital Waste (HW), Autoclave*

## 1. Introducción

La evolución y el desarrollo social no pueden alcanzarse sin individuos altamente comprometidos con el bienestar colectivo y sin acceso a una educación científico-holística. Entendiendo dichos requerimientos de una nueva sociedad, es que surge el tema de este trabajo, como una oportunidad para revertir al bienestar común mejoras considerables a la calidad de vida de la ciudadanía de nuestro país.

En la ciudad de Guayaquil existe una gran problemática respecto de la Gestión y tratamiento de los RSH. Actualmente se generan alrededor de 7 toneladas diarias de estos desechos, la mayoría son tratados mediante incineración y un valor no menor del 40% son de naturaleza infecciosa. Todo lo anteriormente expuesto, deriva en el estudio de una tecnología de baja temperatura para la desinfección de estos residuos, como alternativa a la incineración, esto es un autoclave utilizando vapor a 138 °C.

## 2. Tipología y Gestión de los Desechos

Los desechos o residuos sólidos comprenden todos los residuos que provienen de actividades animales y humanas, que normalmente son sólidos y que son desechados como inútiles o superfluos para el ser humano.

Los RSH son los desechos sólidos generados en los centros de atención a la salud durante la prestación de servicios de hospitalización, en las salas de atención a enfermedades infectocontagiosas, salas de emergencia, bancos de sangre, salas de maternidad, cirugía, morgues, radiología, entre otros, incluyendo los generados en áreas como los laboratorios clínicos.

Hay varios tipos de residuos que van desde inertes, reciclables, radioactivos, biodegradables, peligrosos, químicos (fármacos, citotóxicos, metales pesados) y de naturaleza infecciosa biopeligrosa, que son los que nos interesarán principalmente en este trabajo.

Varios estudios demuestran que aproximadamente el 40% de estos residuos, presenta características infecciosas pero debido a su inadecuado manejo, el 60% restante se contamina, incrementando los costos de tratamiento, los impactos y los riesgos tanto sanitarios como medio ambientales. La generación de RSH varía de un país a otro, pero más aún dependiendo de las diferentes regiones planetarias, sobre todo en consideración de las características socio-económicas y culturales. En la siguiente tabla se presentan diferentes rangos de generación media agrupada por regiones.

**Tabla 1.** Rangos de generación media agrupada por regiones

REGION	Kg/cama día
Norte América	7 - 10
América Latina	2.6 - 3.8
Europa Occidental	3 - 6
Europa Oriental	1.4 - 2

### 2.1 Residuos Infecciosos o de Riesgo Biológico

Los residuos infecciosos se generan en las diferentes etapas de la atención de salud (diagnóstico, tratamiento, inmunización, investigación, etc.) y contienen microorganismos patógenos tales como bacterias, parásitos, virus, hongos, virus oncogénicos y recombinantes como sus toxinas, con el suficiente grado de virulencia y concentración tal que pueden producir una enfermedad infecciosa en huéspedes susceptibles.

Todo residuo hospitalario y similar que se sospeche haya sido mezclado con residuos infecciosos (incluyendo restos de alimentos parcialmente consumidos o sin consumir que han tenido contacto con pacientes considerados de alto riesgo) o genere dudas en su clasificación debe ser tratado como tal. Estos residuos principalmente pueden ser: Materiales provenientes de salas de aislamiento de pacientes, materiales biológicos, sangre humana y productos derivados, residuos anatómicos patológicos y quirúrgicos, residuos punzocortantes, residuos de animales y desechos de laboratorios.

## 3. Gestión de los Residuos Sólidos Hospitalarios

La Gestión de los residuos hospitalarios se divide principalmente en dos grandes grupos:

- Gestión Interna y

- Gestión Externa

### 3.1 Gestión o Manejo Interno

El manejo interno comprende todas las operaciones que se realizan al interior del centro de atención de salud y tiene como objetivo garantizar un manejo seguro de los RSH. El manejo interno comprende las siguientes operaciones:

- Segregación, envasado y etiquetado

- Manipulación
- Almacenamiento

### 3.2 Gestión o Manejo Externo

El manejo externo se refiere a las operaciones efectuadas fuera del centro de atención a la salud, incluidas aquellas que realizan las empresas encargadas del transporte externo, el tratamiento y la disposición final. El manejo externo comprende las siguientes operaciones:

- Recolección y transporte externo
- Tratamiento (Puede formar parte de la Gestión Interna)
- Disposición final

Durante años recientes se está dando una tendencia que promueve la instalación de plantas de tratamiento de residuos al interior de las centros de atención a la salud.

### 3.3 Gestión de los Residuos Hospitalarios en Guayaquil

Santiago de Guayaquil es la ciudad más poblada de Ecuador, con un estimado de 2.306.479 habitantes (2010 según INEC). Pertenece a la región costa y se ubica en plena zona ecuatorial. La ciudad de Guayaquil se encuentra localizada en la margen occidental del río Guayas, a 4 metros sobre el nivel del mar en las zonas más bajas, tiene una superficie aproximada de 180 kilómetros cuadrados. Se encuentra conectado con el Océano Pacífico por el Estero Salado, un brazo de mar

#### 3.3.1 Población / demografía:

De acuerdo al VI Censo de Población y V de Vivienda, realizado en noviembre de 2001, la población de la ciudad de *Guayaquil* era de 1.985.379 habitantes, lo que representaba el 16.33% de la población total del Ecuador y un 60% de la población total de la provincia del Guayas.

Para el 2010 se estimaba que la población de Guayaquil fuera de 2.306.479 habitantes, teniendo en cuenta una tasa anual promedio de crecimiento poblacional de 2,50%, sin embargo se afirma que la población tuvo un crecimiento sensiblemente mayor al inicialmente estimado.

Además y según datos de la municipalidad, Guayaquil tiene una población flotante de 3.328.534 personas, quienes residen temporalmente durante la jornada laboral en la ciudad, pero habitan en

cantones colindantes, como Durán, Daule y Samborondón.

### 3.4 Diagnóstico Situacional y Manejo en Guayaquil

En el Ecuador de los 728 establecimientos de atención a la salud con internación, la segunda mayor proporción la tiene la provincia del Guayas con 16,62% esto representa 121 establecimientos, la lista está encabezado por la provincia de Pichincha con 125 establecimientos, correspondientes al 17,17%. El resto de provincias cuentan con valores muchos menores a los anteriormente mencionados. (Datos del Inec 2009)

Para el año 2000, existían en Guayaquil 84 centros de atención a la salud con internación, de los cuales podemos hacer la siguiente diferenciación, los hospitales generales, estos cubren los servicios básicos (clínica médica, cirugía, obstetricia, pediatría, etc.) mientras que los especializados cubren solo una especialidad, notándose mayormente la presencia de clínicas privadas (63), hospitales generales (11) y hospitales agudos (6).

**Tabla 2.** Principales hospitales especializados agudos y crónicos en Guayaquil

CENTROS DE ATENCIÓN A LA SALUD ESPECIALIZADOS		
Agudos		
Aislamiento	Maternidades	Pediátricos
Infectología (114*)	E. Sotomayor (551)	R. Gilbert (289)
	M. Infantil (40)	Del Niño (256)
	M. de Jesús (16)	L. Becerra (143)
Crónicos		
Psiquiátricos	Neumológicos	Solca
L. Ponce (1030)	A. Valenzuela (319)	Solca (127)

\* El número que acompaña a cada nombre es la cantidad de camas con las que cuenta cada institución.

Datos del Inec

### 3.5 Aplicaciones aisladas de modelos de gestión

En Guayaquil pocas son las instituciones que aplican la ley, el Reglamento de Manejo de Desechos Sólidos en los establecimientos de Salud, según el Registro Oficial 106, publicado en enero de 1997, detalla en su Art. 12 que “los desechos deben ser clasificados y separados después de su generación, en el lugar en el que se originan”. Entre estas pocas instituciones podemos citar algunos hospitales de la

Junta de Beneficencia de Guayaquil, el Hospital Abel Gilbert más conocido como Guayaquil y el Hospital del IESS.

**Tabla 4.** Tratamiento de RSH por autoclavado Hospital Abel Gilbert

<b>HOSPITAL GUAYAQUIL / ABEL GILBERT</b>			
<b>PROCESO DE AUTOCLAVADO</b>			
<b>Empaquetado</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Presión (lb/pul<sup>2</sup>)</b>	<b>Temperatura (°C)</b>
Fundas con RSH dentro de saquillos de yute con agujeros para ingreso de vapor	55	40	135

**Tabla 5.** Tratamiento de RSH por autoclavado Hospital del IESS

<b>HOSPITAL IESS</b>			
<b>PROCESO DE AUTOCLAVADO</b>			
<b>Empaquetado</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Presión (lb/ pul<sup>2</sup>)</b>	<b>Temperatura (°C)</b>
Fundas (32 micras de espesor) con RSH dentro de recipientes plásticos	40	N/A	100,7

**Tabla 6.** Tratamiento de RSH por autoclavado en Hospital Roberto Gilbert E.

<b>HOSPITAL Dr. ROBERTO GILBERT ELIZALDE</b>			
<b>PROCESO DE AUTOCLAVADO</b>			
<b>Empaquetado</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Presión (lbs/pul<sup>2</sup>)</b>	<b>Temperatura (°C)</b>
Fundas con RSH dentro de saquillos de yute agujereados para ingreso de vapor	70	100	130

### 3.6 Termorresistencia

La resistencia térmica de los microorganismos puede ser definido como el tiempo en minutos, a una cierta temperatura necesaria para destruir un 90% de los organismos de una población o, para reducir una población a un décimo del número original de microorganismos presentes en alimentos o residuos hospitalarios.

**Tabla 7.** Termorresistencia de algunos patógenos presentes en los RSH

<b>Bacterias</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Tiempo (minutos)</b>
Coliformes	60	20
Shigella sp.	60	20
Salmonella Typhi	55	60
<b>Otros bacilos gram negativos</b>		
Pseudomonas	121	9
<b>Cocos Gram Positivos</b>		
Estreptococos	54	10
Staphylococcus Aureus	60	15
<b>Hongos</b>		
Candida Albicans	80	30
<b>Virus</b>		
Polio Tipo I	60	5
Virus entéricos	60	10
Virus de Hepatitis A y B	90	1,5
Bacilo Tuberculoso de Koch	60	15

### 3.7 Autoclave

A nivel internacional se reconoce a la esterilización por autoclavado como una de las mejores tecnologías disponibles para el procesamiento de RSH infecciosos. Los autoclaves son recipientes metálicos de paredes resistentes y cierre hermético, que sirven para esterilizar los equipos, materiales reusables y los RSH, mediante la combinación de tiempo, calor y presión, ésta última proporcionada por el vapor de agua. Los parámetros usados son 121° C y 2 atmósferas durante un tiempo mínimo de 30 minutos. Se requiere realizar pruebas de eficiencia del proceso de esterilización mediante indicadores físicos o biológicos, (esporas de Bacillus stearothermophilus).

El costo de operación es menor que el de la incineración, ya que utiliza solamente agua y electricidad, pero el costo de la instalación puede ser igual o mayor. Su principal ventaja es que no se produce contaminación ambiental.

El autoclave no es útil para el tratamiento de los desechos o el instrumental con productos químicos que destruyen los gérmenes. El personal debe emplear equipo de protección que incluya: guantes, gafas y mascarilla específica.

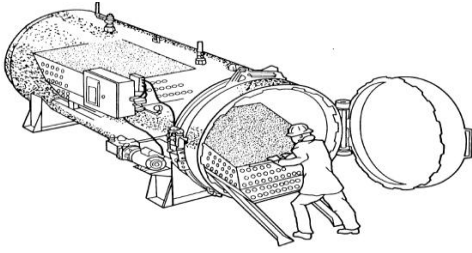


Figura 1. Autoclave de Amsco, Pa.

### 3.8 Operación del Sistema

Se trata de un proceso del tipo discontinuo, que comprende generalmente las siguientes etapas:

- Carga de los residuos
- Pre-vacío o desplazamiento del aire por gravedad
- Esterilizado con vapor (mantenimiento de temperatura y presión de diseño durante el tiempo establecido).
- Purga
- Post-vacío (solo en autoclaves de tipo pre-vacío)
- Descarga de los residuos

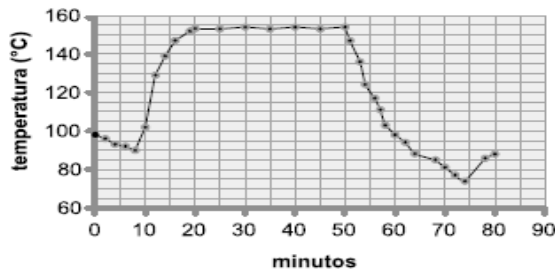


Figura 2. Cuadro de Temperatura vs Tiempo.

El aire desplazado tanto en los equipos de desplazamiento por gravedad como en los de pre-vacío debe ser esterilizado, ya que existe riesgo de arrastre de patógenos. Para esto se utiliza la inyección directa de vapor, intercambiadores de calor o calentadores.

Como fuera mencionado podría ser necesaria una etapa posterior de trituración de los residuos con la finalidad de dejarlos irreconocibles.

### 4. Análisis Térmico del Autoclave

Para poder analizar un autoclave desde el punto de vista térmico y teniendo como objetivo principal la desinfección de RSH, debe entenderse perfectamente su funcionamiento, en este caso

deberá analizarse el sistema encontrándose en estado transiente, dada esta consideración debemos tomar en cuenta varios aspectos.

- Cantidad de RSH cargados en el equipo
- Forma de empacado de los RSH
- Componentes al interior de las bolsas
- Propiedades térmicas de los residuos
- Materiales de construcción del equipo
- Propiedades térmicas de los materiales del Autoclave
- Forma geométrica de la cámara
- Dimensiones de la cámara
- Presión y temperatura del vapor
- Tiempo de exposición de los residuos al vapor

### 4.1 Cálculo de Energía Térmica para el Calentamiento de Masas del Autoclave

Para un flujo másico de 100 Kg/h, temperatura de vapor 138°C, el calor necesario para desinfectar los RSH en cada ciclo, sería:

$$Q_{RSH} = m_{RSH} * C_{P_{RSH}} * \Delta T$$

$$Q_{RSH} = (100 \text{ Kg})(1674,7 \text{ J/Kg}^\circ\text{C}) * (138^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C})$$

$$Q_{RSH} = 18086,76 \text{ KJ}$$

El calor necesario para calentar toda la estructura metálica del autoclave, acero 304 L, sería:

$$V_{\text{autoclave}} = \frac{V_{\text{basura}}}{n} - (V_{\text{basura}} * C)$$

Donde, C es la compresibilidad de la basura que es igual al 20% del volumen aparente y n es la eficiencia reportada para soldadura yuxtapuesta, por lo que se tiene:

$$V_{\text{autoclave}} = \frac{1,4 \text{ m}^3}{0,8} - (1,4 \text{ m}^3 * 0,2)$$

$$V_{\text{autoclave}} = 1,47 \text{ m}^3 \text{ [1]}$$

Tomo como criterio para el dimensionamiento del autoclave  $\frac{L}{D} = 2$  y considerándolo un cilindro, se tiene:

$$V = \frac{\pi}{4} D^2 L$$

Sustituyendo en L:

$$V = \frac{\pi}{2} D^3$$

Sustituyendo el valor de V y considerando un factor de 30% de aumento por las tapas del autoclave, se tiene:

$$D = 0,978 \text{ m} = 1 \text{ m}$$

$$L = 1,956 \text{ m} = 2 \text{ m}$$

$$\rho_{\text{acero}} = 7844 \text{ Kg/m}^3$$

$$V_{\text{acero}} = \pi \frac{L}{4} (d_e^2 - d_i^2)$$

$$V_{\text{acero}} = 1,3 \left( \pi \frac{2 \text{ m}}{4} \right) ((1 \text{ m})^2 - (0,993 \text{ m})^2)$$

$$V_{\text{acero}} = 0,0285 \text{ m}^3$$

$$m_{\text{acero}} = \rho_{\text{acero}} V_{\text{acero}}$$

$$m_{\text{acero}} = \left( 7844 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right) (0,0285 \text{ m}^3)$$

$$m_{\text{acero}} = 223,6 \text{ Kg}$$

$$Q_{\text{acero}} = m_{\text{casco y tapas}} * C_P_{\text{acero}} * \Delta T$$

$$Q_{\text{acero}} = (223,6 \text{ Kg}) * (477 \text{ J/Kg}^\circ\text{C}) * (138^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C})$$

$$Q_{\text{acero}} = 11512 \text{ KJ}$$

## 4.2 Modelación del Sistema

A continuación se muestran varias figuras, en ellas se puede notar la variación de la temperatura

respecto de modificaciones en las propiedades termofísicas de los RSH. Éstas se obtuvieron mediante la distribución de temperaturas en cualquier instante  $\theta^*$

$$\theta^* = \theta_o^* \frac{1}{\zeta_1 r^*} \text{Sen}(\zeta_1 r^*)$$

Donde

$$\theta_o^* = C_1 \exp(-\zeta_1^2 F_o)$$

Por lo que finalmente

$$\theta^* = T_\infty - (T_i - T_\infty) (C_1 \exp(-\zeta_1^2 F_o)) \frac{1}{\zeta_1 r^*} \text{Sen}(\zeta_1 r^*)$$

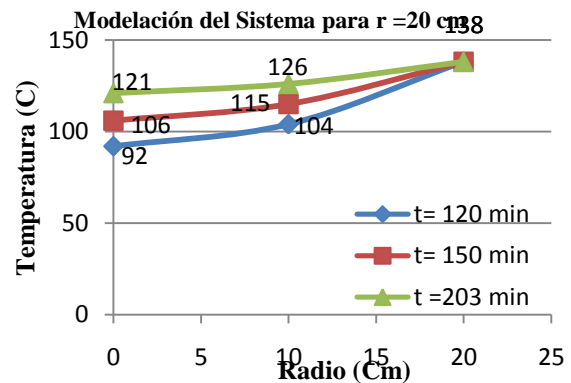
$$T_\infty = 138^\circ\text{C}$$

$$T_i = 30^\circ\text{C}$$

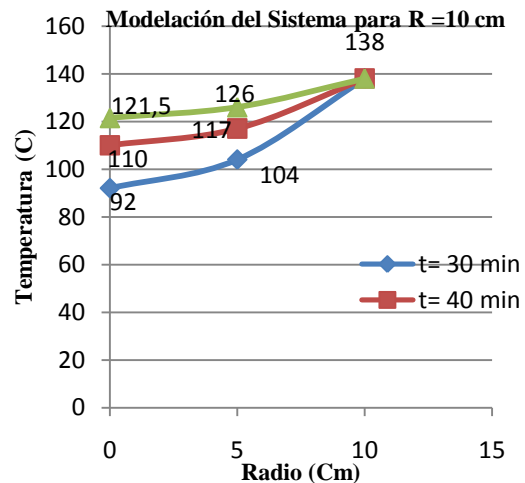
$$r^* = \frac{r}{r_0}$$

$r_0$  = Radio de la bolsa de RSH,

$r$  = Radio local



**Figura 3.** Curvas de Temperatura desde el exterior hacia el centro de la bolsa con RSH



**Figura 4.** Curvas de Temperatura desde el exterior hacia el centro de la bolsa con RSH

$t = 40 \text{ minutos}$

## 5. Efectos de Operación

### 5.1 Trituración

Determinación del número de Biot.

$$Bi = \frac{hL_c}{K}$$

$$L_c = \frac{r_o}{3}$$

$$L_c = \frac{0,06 \text{ m}}{3}$$

$$L_c = 0,02 \text{ m}$$

$$Bi = \frac{(25 \text{ W/m}^2\text{K})(0,02 \text{ m})}{0,3 \text{ W/mK}}$$

$$Bi = 1,667$$

Por tratarse de un valor superior a 0,1 descartamos el método de resistencia interna despreciable y consideraremos los efectos espaciales, donde los gradientes de temperatura al interior del medio son considerables.

$$F_0 = -\frac{1}{\zeta_1^2} \ln \left[ \frac{1}{C_1} X \frac{T(0, t_w) - T_w}{T_1 - T_\infty} \right]$$

De la tabla 5.1 Incropera, se obtienen los valores  $\zeta_1 = 1,5715$  y  $C_1 = 1,275$

$$F_0 = -\frac{1}{(1,5715)^2} \ln \left[ \frac{1}{(1,275)} X \frac{121 - 140}{30 - 140} \right]$$

$$F_0 = 0,81$$

$$\alpha = \frac{k}{\rho C_p}$$

$$\alpha = \frac{(0,3 \text{ W/mK})}{(150 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3})(1675 \frac{\text{J}}{\text{KgK}})}$$

$$\alpha = 1,194e - 6 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$t = \frac{F_0 r_o^2}{\alpha}$$

$$t = \frac{(0,81)(0,06 \text{ m})^2}{(1,194e - 6 \text{ m}^2/\text{s})}$$

Este valor nos demuestra la influencia directa del efecto de trituración sobre el tiempo de esterilización en un sistema de autoclavado.

### 5.2 Efecto de Ciclo Presión/Vacío sobre el Material del Autoclave

El autoclave que se considera en este trabajo está construido en acero AISI 304L, operará a una presión interior máxima de 3,4 atmósferas, con un diámetro de 1m (39,36 pulgadas) y una longitud de 2m (78,73 pulgadas) las características de este material son:

E= Módulo de elasticidad =  $28 \times 10^6$  psi

S= Esfuerzo máximo permisible en tensión =  $15,3 \times 10^3$  psi

Eweld= Eficiencia de soldadura = 0,7

El diseño de recipientes con presión interna de vapor está normado por las reglas de ASME sección VIII, División 1 “Boiler and Pressure Vessel Code”

#### 5.2.1 Análisis de Presión Externa

La presión máxima de operación externa se realiza siguiendo “UG 28” de la normativa anteriormente citada.

$D_o = 39,36''$

$t = 0,261''$  (espesor mínimo del casco a una presión externa de 14,7psi)

De la figura G, sección II, subparte 3, de la norma anteriormente mencionada obtenemos el valor de  $A = 0,000387$

$$P_{\text{ext}} = \frac{2AE}{3\left(\frac{D_o}{t}\right)}$$

$$P_{\text{ext}} = \frac{2(0,000387)(28 \times 10^6)}{3(150)}$$

$$P_{\text{ext}} = 43,55 \text{ psi} = 3 \text{ atm}$$

Este valor corresponde a la máxima presión externa permisible para el autoclave, al espesor dado.

#### 5.2.2 Análisis de Presión Interna

Primero calcularemos el espesor actual del autoclave, para una presión de operación de 50 psi.

$$P_d = 1,2 P_{\text{máxima operación}}$$

$$P_d = 1,2(50 \text{ psi})$$

$$P_d = 60 \text{ psi}$$

$$e_r = \frac{P_d R}{SE + 0,4P_d}$$

$$e_r = \frac{(60 \text{ lb/pul}^2)(19,68 \text{ pulg})}{(15601,3 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}) + 0,4(60 \frac{\text{lb}}{\text{pul}^2})}$$

$$e_r = 0,075 \text{ pulg}$$

$$e_d = e_r + e$$

El valor de e se estima en función del desgaste por corrosión y es de 5 milésimas de pulgada, ( $\frac{1}{16}$ " )

$$e_d = 0,075" + 0,0625"$$

$$e_d = 0,1375"$$

Este valor es menor que el mínimo normado para cascos con presión interna, por lo que tomamos  $e_d = 0,261"$  Una vez determinado el valor del espesor proseguimos a hacer el análisis interno de presión.

$$P_{int} = 60 \text{ psi}$$

$$t = 0,261"$$

$$R = (Do/2) - t = (39,36/2) - 0,261$$

$$R = 19,419"$$

$$S = 15,3 \times 10^3 \text{ psi}$$

$$t_{circum} = \frac{P_{int} R}{S \cdot E_{weld} - 0,6P_{int}}$$

$$t_{circum} = \frac{(60)(19,419)}{(15300)(0,7) - 0,6(60)}$$

$$t_{circum} = 0,109$$

$$t_{long} = \frac{P_{int} R}{2S \cdot E_{weld} + 0,4P_{int}}$$

$$t_{long} = \frac{(60)(19,419)}{2(15300)(0,7) + 0,4(60)}$$

$$t_{long} = 0,05"$$

Como  $t_{circum}$  es mayor que  $t_{long}$ , tomamos el primero como el espesor mínimo requerido, este valor es inferior tanto que el espesor de diseño ( $0,1375"$ ) como el espesor actual normado ( $0,261"$ ) por lo que el diseño es adecuado para tener vacío en su interior a las consideraciones físicas dadas.

## 6. Conclusiones

La conductividad térmica de los residuos sólidos hospitalarios es variable debido a que está compuesta de múltiples elementos, la mayoría de ellos son considerados aislantes, lo que resulta en una baja conductividad de los desechos, además dichos elementos (plásticos, vidrios, gasas, apósitos, guantes, etc.) Son colocados espaciadamente dentro de las bolsas, generando intersticios de aire al interior, traduciéndose esto en una baja densidad de los RSH, ambos factores son influyentes pues aumentan el tiempo de esterilización.

Tal como hemos visto una solución muy influyente para lograr bajos tiempos en los ciclos de esterilización sería disminuir el tamaño de las bolsas con residuos, un radio menor en las fundas se traduce en tiempos de esterilización, a  $121^\circ\text{C}$  en el centro, que fluctúan en casi la cuarta parte de lo que sería para una funda de 20 cm de radio.

## 7. Referencias

- [1] INCROPERA FRANK, Fundamentos de Transferencia de Calor, Cuarta Edición, Editorial Prentice Hall, México, 1999.
- [2] BOEHM ROBERT F., Design Analysis of Thermal Systems, First Edition, Wiley & Sons, USA, 1987.
- [3] MARTINEZ JAVIER, Guía para la Gestión Integral de Residuos Peligrosos, Primera Edición, Centro Coordinador del Convenio de Basilea para América Latina y el Caribe, Uruguay, 2005.
- [4] KERN DONALD Q., Procesos de Transferencia de Calor, Trigésima Primera Edición, Editorial Continental S.A., México, 1999.
- [5] CAO EDUARDO, Transferencia de Calor en Ingeniería de Procesos, Primera Edición, Editorial Argentina, Argentina, 2004.
- [6] TOLEDO MÓNICA Y MATUTE PATRICIO, Tesis de Graduación, Definición de Factores Homogéneos y Heterogéneos para la Medición de la Calidad de los Servicios Hospitalarios por Nivel Socioeconómico en la Ciudad de Guayaquil, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2002.