

CONVENIENCIA DEL USO DEL GAS NATURAL EN PROCESOS DE ESTERILIZACIÓN CON VAPOR

Alvaro Delgado Mejía¹, Juan Fernando Madrigal Mesa²

Resumen. En este artículo se presentan los resultados de un proyecto de investigación que muestra la conveniencia de emplear un proceso de combustión con gas natural, como sustituto de la electricidad, en un proceso de esterilización con vapor húmedo. Para tal fin se efectuaron una serie de ensayos en un equipo comercial, donde se midieron los consumos energéticos para el caso eléctrico y para el caso de combustión general; al llevar estos consumos a costo de operación del equipo, puede establecerse la indiscutible ventaja de emplear recursos fósiles para estos procedimientos en lugar de energía eléctrica, de por sí de mayor calidad.

La diferencia a favor del gas natural no solo se ve reflejada en el menor costo de operación del equipo, sino además en un menor tiempo del proceso de esterilización, lo que permitiría una mayor frecuencia de utilización y por lo tanto una mayor productividad del mismo. Las conclusiones obtenidas se han respaldado con un análisis estadístico, cuyos principales resultados se muestran al final.

Palabras clave. Autoclave, esterilización, uso racional de la energía, gas natural

Abstract. This paper presents the results of a research project that shows the utility of using a combustion process with natural gas as a substitute for electricity in a process of wet steam sterilization. For this purpose a series of tests conducted in a commercial team, which measured the energy consumption for the electric case and the overall combustion event, to bring this consumption to cost to operate the computer, you can set the indisputable advantage of using fossil resources for these procedures instead of electricity, already of higher quality.

The difference in favor of natural gas is reflected not only in the lowest cost to operate the equipment but also in less time in the sterilization process, allowing more frequent use and therefore greater productivity thereof. The conclusions obtained have been backed by statistical analysis, the main results were shown last.

Keywords. Autoclave, sterilization, Rational energy use, Natural gas

INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia la combustión ha jugado un papel trascendental en el desarrollo de la cultura material y la calidad de vida. Con el descubrimiento del fuego el hombre pudo disponer del calor en un sitio determinado y en cualquier instante para la calefacción y atenuar las inclemencias del clima, para cocción de alimentos lo cual favorecerá la diversificación de su canasta alimenticia y su metabolismo, para la fusión de los metales que le permitió la fabricación de artefactos aplicables en múltiples actividades (agricultura, caza y defensa).

Con la aparición de la máquina de vapor a partir de finales del siglo XVIII el carbón se estableció como el principal soporte del paradigma energético para esa época. No obstante, la combustión seguiría siendo en el siglo XIX el fenómeno que garantiza la liberación en forma de calor de la energía primaria, para usarse directamente o transformarse a otras formas de energía, incluida la eléctrica, que prácticamente se ha convertido en la forma esencial de energía, ya que la mayor parte de electrodomésticos, sistemas de iluminación, motores de maquinaria industrial, etc. funcionan gracias a ella.

¹ Ingeniero Mecánico, Docente investigador Tecnológico Pascual Bravo, Institución Universitaria

² Ingeniero en Instrumentación y Control, Docente investigador Tecnológico Pascual Bravo, Institución Universitaria

No obstante esta dependencia de la energía eléctrica, se tienen algunas aplicaciones tanto domésticas como industriales, en las que sería mucho mejor utilizar una fuente de energía primaria, como la quema de combustibles fósiles, en lugar de desperdiciar una forma de energía de mayor calidad como la eléctrica. Entre estas aplicaciones se tienen los procesos cocción de alimentos y de calentamiento de fluidos, como es el caso de un proceso de esterilización con vapor saturado de agua.

Aunque desde hace mucho tiempo se ha probado la ventaja de emplear combustibles fósiles (carbón, gasolina, diesel, gas natural, GLP entre otros) en esta oportunidad se quiere mostrar las bondades del gas natural vs la electricidad, no con la intención de desacreditar la electricidad, sino para resaltar el hecho de que se puede tener un proceso de esterilización más barato, en menor tiempo y prácticamente con la misma eficiencia de esterilización, ya que esta es independiente de la fuente de energía empleada.

A continuación se describen los equipos e instrumentos utilizados en los ensayos, así como la forma en que se determinaron las variables que permitieron hacer las respectivas comparaciones entre una y otra fuente energética

EL AUTOCLAVE O ESTERILIZADOR

El equipo de esterilización con vapor que se utilizó para las pruebas, es un recipiente cilíndrico de aluminio fundido, con una capacidad de 24 litros, el cual tiene incorporada en su parte inferior (dentro del recipiente) una resistencia eléctrica sumergible que se encarga de vaporizar constantemente agua durante el tiempo que dure la sesión de esterilización, que usualmente oscila entre 20 y 30 minutos. Para las pruebas en modo de combustión no se energizó la resistencia sino que el recipiente se ubicó sobre un quemador de gas natural que hizo las veces de fuente de calor para la vaporización del agua. Las principales características técnicas del equipo son:

Marca: All American
Fabricante: Wisconsin Aluminum Foundry
Modelo 25X - 120 pressure sterilizer

Material: Aluminio
Capacidad bruta: 24 litros
Altura: 425 mm
Diámetro interior 321 mm
Espesor: 3.2 mm (1/8 pulg)
Peso: 11.8 kg (sin agua y sin los implementos a esterilizar)
Voltaje de operación: 115 V AC +/- 10%
Frecuencia de operación 50/60 Hz
Corriente eléctrica nominal: 8.75 amp.
Potencia nominal consumida: 1050 W
Temperatura de trabajo: 5 a 40 °C

QUEMADOR DE GAS NATURAL

Tipo: quemador de baja presión de aire inducido
Potencia térmica: 8 kW
Cabezal de tambor cilíndrico con 3 filas de orificios radiales

QUEMADOR DE GAS NATURAL

Tipo: quemador de baja presión de aire inducido
Potencia térmica: 7 kW
Cabezal de tambor cilíndrico con 2 filas de orificios radiales

METODOLOGÍA DE LOS ENSAYOS

Para el ensayo en modo eléctrico, luego de haber llenado el equipo con la cantidad de agua sugerida por el fabricante y tras cerrar herméticamente la unidad, con el selector de potencia en la posición 7 y con la válvula de control abierta, se procede a pasar el interruptor de paso de corriente eléctrica a la posición "ON", y en este momento se comienza a medir el tiempo del proceso de esterilización, durante el cual se monitorean a ciertos intervalos de tiempo las variables de voltaje de suministro, corriente eléctrica y potencia consumida.

Aproximadamente a los 38 minutos se empieza a observar producción de vapor a través de la válvula de control; esta situación se mantiene durante un tiempo aproximado de 5 minutos con el fin de garantizar la total evacuación del aire que pudiera estar dentro del esterilizador y que podría afectar las condiciones de esterilización. Cabe recordar que la eficiencia del proceso de esterilización con vapor

depende en gran medida de la cantidad de aire que pudiera haber quedado adentro del recipiente, ya que este al mezclarse con una mezcla saturada de vapor de agua puede disminuir la temperatura de saturación a valores en los que no se garantiza una esterilización completa.

A continuación se procede a cerrar la válvula de control, ante lo cual comienzan a aumentar progresivamente la presión y temperatura dentro del equipo hasta llegar a las condiciones de esterilización, que para la altitud a la que se encuentra la ciudad de Medellín son aproximadamente 120 kPa manométricos y 120 °C (alrededor de 18 psig y 250° F según el indicador del equipo de esterilización).

Como tanto la presión y la temperatura siguen aumentando constantemente, se comienza a interrumpir y permitir sucesivamente el paso de corriente eléctrica al equipo con el fin de que la presión se mantenga en torno a los 120 kPa (17 psig) pero sin aumentar demasiado de manera que se alcance una condición de operación peligrosa (El sensor de presión del equipo tiene marcada una zona roja a partir de los 21 psig que indica una condición de operación peligrosa que podría hacer saltar la válvula de seguridad). Esta acción se efectúa manualmente y se tiene en cuenta que el tiempo durante el cual el interruptor de paso de corriente eléctrica está en la posición "OFF" no se contabiliza para el cálculo de consumo de potencia eléctrica pero sí para el tiempo de esterilización, el cual se predeterminó en 20 minutos.

Una vez alcanzado el tiempo de esterilización se procede a apagar definitivamente la unidad y se da por concluido el ensayo. Luego se totaliza el tiempo durante el cual el equipo estuvo demandando corriente eléctrica y se calcula el consumo eléctrico o potencia como el de un sistema eléctrico puramente resistivo:

$$\text{Potencia Eléctrica} = V * I$$

Donde V es el voltaje de suministro, I la corriente eléctrica en Amperios y la potencia eléctrica está en Watts.

Por su parte el consumo de Electricidad se obtiene como:

$$\text{Consumo} = \text{Potencia Eléctrica} * \text{tiempo}$$

Donde t es el tiempo en horas medido durante el ensayo, la potencia eléctrica es la que se calculó en el paso anterior y el consumo viene dado en Watts - hora.

De esta forma el costo de operación del equipo en una sesión de esterilización típica se obtiene involucrando el valor del kW-hora que tiene estipulado en nuestro caso las *Empresas Públicas de Medellín ESP*, para cada uno de los estratos que se tienen.

$$\text{Costo de operación} = \text{Consumo} * \text{Valor del kW} - H$$

Como se mencionó antes, el equipo fue diseñado de fábrica para trabajar en modo eléctrico, pero para los ensayos en modo de combustión se sustituyó la energía eléctrica por calor originado en la llama de un quemador, utilizando como combustibles el gas natural.

Aunque el obviar la alimentación eléctrica implica que la resistencia eléctrica está imperante, no afecta para nada las variables de presión y temperatura que indica el equipo de esterilización, ya que el proceso de vaporización del agua dentro del recipiente se efectúa de la misma manera, sólo que con otra fuente de energía.

En estas condiciones el procedimiento es totalmente análogo al descrito en el apartado anterior, con la única diferencia de que en vez de cortar el suministro de energía eléctrica para evitar una presurización fuera del margen de seguridad del equipo, lo que se hace es interrumpir el paso de gas al quemador, mediante una válvula de paso; es decir que el control del proceso sigue siendo ON - OFF manual.

El consumo energético con gas, para fines de comparación con el caso eléctrico, se obtiene de la siguiente manera:

$$\text{Consumo Energético} = \text{Caudal de gas} * PCI$$

donde el caudal en m³/s de gas se obtiene de mediciones hechas durante el ensayo y PCI no es más que el poder calorífico del combustible expresado en base volumétrica (kJ/m³).

De esta forma el consumo energético de gas así obtenido queda en kW y permite ser comparado con el consumo eléctrico para determinar la conveniencia o no del uso de combustibles gaseosos como sustitutos de la electricidad en aplicaciones que involucren el calentamiento de sustancias, como es el caso de la esterilización con vapor.

Para comparar costos, se hace necesario emplear la siguiente relación:

$$\text{Costo de operación} = \text{Consumo de gas} * \text{Valor del m}^3$$

Donde nuevamente el consumo de gas son los m³ gastados en el proceso de esterilización en modo de combustión y que se obtuvieron mediante

mediciones, y el costo de gas natural es el que se tiene estipulado por parte de *Empresas Públicas de Medellín ESP*, para cada uno de los estratos.

RESULTADOS OBTENIDOS Y CONCLUSIONES

A manera de resumen se lista la siguiente tabla con los datos promedios de consumo para cada sesión de esterilización empleando las 3 fuentes de energía estudiadas. Tales resultados corresponden a una tarificación para el estrato 3, aunque se obtienen resultados de igual magnitud incluso para el estrato 6 o el industrial.

Fuente energética	Costo promedio (\$)	Varianza (\$)
Eléctrico	225.38	13.282
combustión de GLP	211.58	94.032
combustión de GN	146.9	4.125

Al efectuar un análisis de varianza simple (ANOVA), a los datos obtenidos se tratará de probar la validez de la siguiente hipótesis:

H₀ = el costo de operación promedio del equipo de esterilización es el mismo empleando como fuente de energía la electricidad, el GLP o el gas natural

Rechazar esta hipótesis equivale a afirmar que por lo menos una de las fuentes energéticas arroja un costo de operación significativamente distinto al de las otras dos.

Los resultados del ANOVA arrojan lo siguiente:

Niveles (Fuente de energía)	FACTOR (Costo del proceso de esterilización, \$)				
	R1	R2	R3	R4	R1
Eléctrico	223.2	230.2	222.6	222.5	228.4
combustión de GLP	201.4	219.2	214.1	221.8	201.4
combustión de GN	146.4	145.7	150.3	147	145.1

(Los valores anotados corresponden a los del estrato 3)

Como el valor de F obtenido es mayor que el valor tabulado para el estadístico de prueba F 0.05,2,12 se concluye que con un 95% de confiabilidad se rechaza la hipótesis nula (H₀) y por lo tanto se infiere que alguna de las fuentes energéticas es

diferente en términos estadísticos a las otras, para nuestro caso la operación del equipo de esterilización con gas natural como fuente de energía.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	17555.088	2	8777.544	236.296377	2.3058E-10	3.88529031
Dentro de los grupos	445.756	12	37.1433333			
Total	18000.844	14				

Según los resultados del análisis estadístico anterior pueden sacarse las siguientes conclusiones:

- El tiempo promedio de operación del equipo para una sesión de esterilización típica de 20 minutos, empleando electricidad, combustión con GLP y combustión con gas natural, fue respectivamente de 86 minutos, 62 minutos y 69 minutos.

Para el caso de utilizar como fuente energética la combustión, bien sea de GLP o de gas natural, se observa una reducción en el tiempo total de operación de entre el 20 y 30%; esto de por sí representa una mejora significativa, por cuanto se tiene una mayor rapidez del proceso de esterilización y a la vez se permite una mayor frecuencia de utilización del equipo, lo que de alguna manera mejora la productividad del mismo.

- El tiempo total del proceso de esterilización mencionado en el apartado anterior, está influenciado enormemente por la inercia térmica, es decir por qué tan rápido el agua alcanza el punto ebullición dentro del esterilizador, independiente de la fuente de energía utilizada. De los resultados se puede establecer que el tiempo necesario para alcanzar la zona verde o zona de esterilización es menor con GLP, seguida por el gas natural y por la energía eléctrica respectivamente, lo cual puede explicarse en términos del mayor poder calorífico del GLP respecto al gas natural, a pesar de la menor eficiencia de calentamiento del sistema de combustión comparado con el eléctrico.
- En términos de energía consumida en cada sesión de esterilización, se observa que para el caso eléctrico se consumen en promedio 1250 W-H, para el caso de combustión con GLP se

consumen en promedio 2500 W-H y para el caso de combustión con gas natural el promedio de consumo es de 2120 W-H.

En esta oportunidad se infiere que la electricidad sería la mejor opción ya que presenta el menor gasto energético, comparada tanto con el GLP y con el gas natural, sin embargo cuando este consumo se lleva a costo económico es cuando se establece la diferencia a favor de la combustión como se explica en el siguiente numeral.

El mayor consumo energético con GLP y gas natural puede explicarse al tener en cuenta las enormes pérdidas de calor por conducción, convección y radiación que se tienen en esta configuración, lo cual da como resultado que la eficiencia del proceso de combustión esté alrededor del 70%. Además la fuente de calor eléctrico se encuentra dentro del equipo mismo de esterilización, mientras que la llama sólo está en contacto con la parte inferior externa del equipo, de ahí que una buena solución podría ser tratar de aislar el cuerpo cilíndrico del autoclave con un material con baja conductividad térmica (lana mineral por ejemplo).

- Cuando se comparan los costos de operación del equipo en una sesión típica de esterilización, se observa que la mejor opción es la de la combustión con gas natural, la cual arroja en promedio un costo de \$147, contra \$211 y \$225 que se obtienen para la combustión de GLP y de electricidad, respectivamente.

Como se mencionó antes, estos valores corresponden al promedio de las tarifas que maneja *Empresas Públicas de Medellín* (estrato #3), sin embargo se tendrían ordenes de magnitud similares si se emplearan únicamente las tarifas del estrato 6 o las del sector industrial.

Aunque el ahorro con gas natural sería mayor al 50% comparándolo con el caso eléctrico, se nota que para el GLP el diferencial es de sólo 7%, que no deja de ser algo de ahorro. No obstante, de los resultados estadísticos se aprecia como la información relativa al GLP fue la que presentó mayor varianza, por lo que sería recomendable depurar dichos datos de consumo para definir si esta es la verdadera tendencia o si por el contrario se presentó algún evento o factor que arrojara tales resultados.

De todas formas, aunque no se tenga disponibilidad de gas natural por red, que puede ser el caso de municipios fuera del área metropolitana, una muy buena opción sería reemplazar la electricidad con GLP o propano, que es más asequible que el gas natural al ser comercializado en pipetas de diferentes denominación (20, 40 y 100 libras).

- Aunque hoy día es usual encontrar tomas de corriente eléctrica en casi cualquier parte, el hecho de poder hacer funcionar un equipo de esterilización con las características mencionadas, con gas natural o GLP, expande aún más el campo de acción de estos procesos, los cuales no son exclusivos únicamente del sector médico y hospitalario, sino también de algunos procesos alimenticios e industriales.

BIBLIOGRAFÍA

MONTGOMERY, Douglas C., "Diseño y Análisis de Experimentos", 2ª edición, Editorial Limusa S.A, México D.F, 2003.

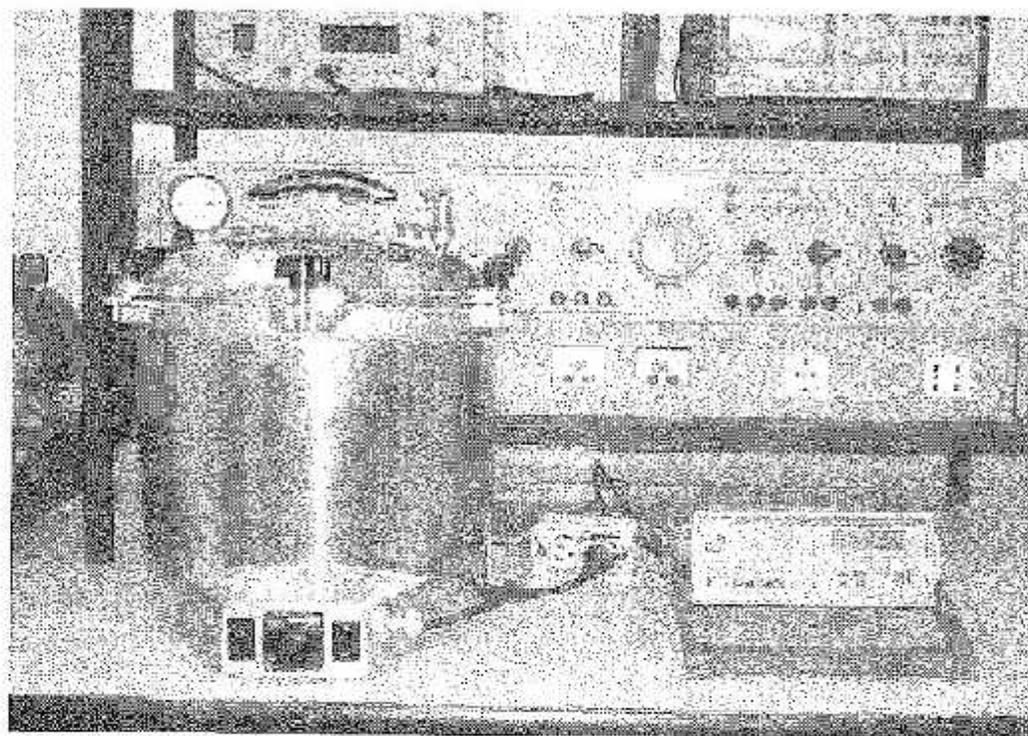
www.wafo.com, página web de la compañía "Wisconsin Aluminum Foundry"

www.eppm.com/epmcom/contenido/tarifas, página web de las *Empresas Públicas de Medellín*

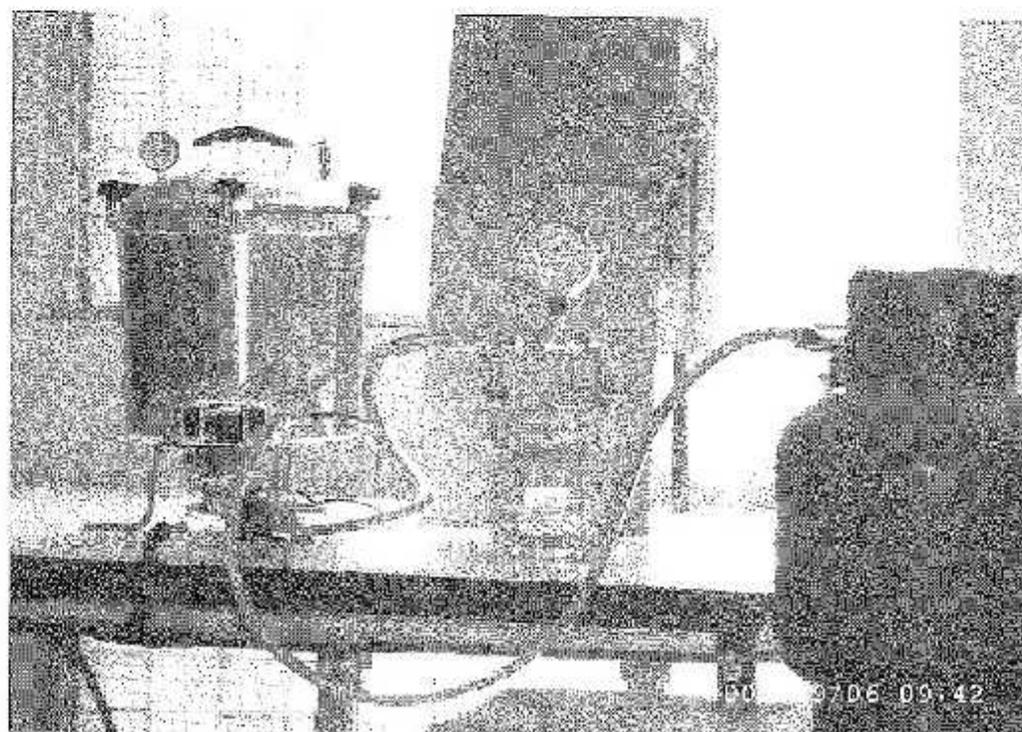
EMPRESAS PÚBLICAS DE MEDELLÍN, Gerencia del Gas, "Guía para el diseño e instalación de redes eléctricas de gas", Medellín, 1997.

ANEXO 1. ESQUEMA DEL MONTAJE PARA UNA SESIÓN DE ESTERILIZACIÓN

EN MODO ELÉCTRICO



EN MODO CON COMBUSTIÓN



ANEXO 2. TABLAS DE DATOS PARA LAS MEDICIONES

INSTITUTO TECNOLÓGICO PASCUAL BRAVO

Proyecto de investigación: ESTUDIO DEL FUNCIONAMIENTO EN MODO DUAL
(ELECTRICIDAD vs COMBUSTIBLE GASEOSO) DE UN EQUIPO DE ESTERILIZACIÓN CON VAPOR

Ensayo # 1 (Modo eléctrico)

Fecha: Agosto 9 de 2006

tiempo (HH:MM:SS)	Voltaje Voltios	Corriente Amperios	Potencia Watts	Observación
0:00:00	115	8.23	946	Inicio del ensayo
00:37:45	115	8.23	952	Comienza producción de vapor
00:42:00	115	8.22	950	Se cerró la válvula de control
01:04:00	115	8.22	949	Comienza proceso de esterilización
01:07:00	115	8.20	943	Interruptor en posición OFF
01:08:00	115	8.20	943	Interruptor en posición ON
01:11:10	115	8.21	943	Interruptor en posición OFF
01:12:40	115	8.21	943	Interruptor en posición ON
01:15:00	115	8.21	951	Interruptor en posición OFF
01:16:00	115	8.21	951	Interruptor en posición ON
01:19:00	115	8.21	951	Interruptor en posición OFF
01:20:15	115	8.21	943	Interruptor en posición ON
01:22:30	115	8.21	943	Interruptor en posición OFF
01:24:00	115	8.21	943	Interruptor en posición ON
01:25:00	115	8.19	941	Fin del ensayo

Tiempo total del proceso	01:25:00
Voltaje promedio	115 V
Corriente promedio	8.21 A
Potencia consumida (medida)	946.1 W (en promedio)
tiempo de consumo*	78.7 minutos
Potencia consumida (calculada)	1238.61 W-H
Consumo Eléctrico	122.5 \$ para el estrato 1 [3]
	147.0 \$ para el estrato 2
	223.2 \$ para el estrato 3
	262.6 \$ para el estrato 4
	315.1 \$ para el estrato 5
	315.1 \$ para el estrato 6

* es el tiempo durante el cual el equipo estuvo demandando energía eléctrica
(es decir mientras el interruptor estuvo en la posición ON)

INSTITUTO TECNOLÓGICO PASCUAL BRAVO

Proyecto de investigación: ESTUDIO DEL FUNCIONAMIENTO EN MODO DUAL (ELECTRICIDAD vs COMBUSTIBLE GASEOSO) DE UN EQUIPO DE ESTERILIZACIÓN CON VAPOR

Ensayo # 1 en modo Combustión con Gas Natural

Fecha: Agosto 16 de 2006

Tiempo (HH:MM:SS)	Presión kPa	Temperatura °C	Caudal (L/s)	Observación
0:00:00	2.0	24.0	516	Inicio del ensayo
00:30:00	2.0	24.0	-----	Comienza producción de vapor
00:35:00	2.0	24.0	-----	Se cierra la válvula de control
00:51:30	2.0	24.0	-----	Comienza proceso de esterilización
00:55:30	2.0	24.0	-----	Válvula en posición OFF
00:59:15	2.0	24.0	-----	Válvula en posición ON
01:02:30	2.0	24.0	-----	Válvula en posición OFF
01:04:10	2.0	24.0	-----	Válvula en posición ON
01:10:00	2.0	24.0	-----	Válvula en posición OFF
01:12:00	2.0	24.0	741	Fin del ensayo

Tiempo total del proceso	01:12:00
Presión promedio	2.0 kPa
Temperatura promedio	24.00 °C
densidad promedio del gas	0.78 kg/m ³
Volumen de gas consumido	225 L
tiempo de consumo*	65.4 minutos
Caudal consumido (medido)	5.73E-05 m ³ /s
Potencia consumida (calculada)	2135.2 W-H
Costo del gas	69.1 \$ según la tarifa para el estrato 1 80.9 \$ según la tarifa para el estrato 2 146.4 \$ según la tarifa para el estrato 3 146.4 \$ según la tarifa para el estrato 4 175.6 \$ según la tarifa para el estrato 5 175.6 \$ según la tarifa para el estrato 6

* es el tiempo durante el cual el equipo estuvo consumiendo gas (es decir mientras la válvula de paso estuvo abierta)

INSTITUTO TECNOLÓGICO PASCUAL BRAVO

Proyecto de Investigación: ESTUDIO DEL FUNCIONAMIENTO EN MODO DUAL
(ELECTRICIDAD vs COMBUSTIBLE GASEOSO) DE UN EQUIPO DE ESTERILIZACIÓN CON VAPOR

Ensayo # 1 en Modo Combustión con GLP

Fecha: Agosto 9 de 2008

Tiempo (HH:MM:SS)	Presión kPa	Temperatura °C	Caudal (L/s)	Observación
0:00:00	3.2	23.0	42	Inicio del ensayo
00:24:00	3.2	23.0	-----	Comienza producción de vapor
00:27:20	3.2	23.0	-----	Se cierra la válvula de control
00:38:15	3.2	23.0	-----	Comienza proceso de esterilización
00:39:40	3.1	23.0	-----	Válvula en posición OFF
00:41:30	3.1	23.0	-----	Válvula en posición ON
00:43:10	3.1	23.0	-----	Válvula en posición OFF
00:46:15	3.1	23.0	-----	Válvula en posición ON
00:47:30	3.1	23.0	-----	Válvula en posición OFF
00:50:20	3.1	23.0	-----	Válvula en posición ON
00:52:15	3.0	23.0	-----	Válvula en posición OFF
00:55:15	3.0	23.0	-----	Válvula en posición ON
00:58:30	3.0	23.0	-----	Válvula en posición OFF
00:59:35	3.0	23.0	-----	Válvula en posición ON
01:01:00	3.0	23.0	121	Fin del ensayo

Tiempo total del proceso	01:01:00
Presión promedio	3.1 kPa
Temperatura promedio	23.00 °C
densidad promedio del gas	1.53 kg/m ³
Volumen de gas consumido	79 L
tiempo de consumo*	49.2 minutos
Caudal consumido (medido)	2.68E-05 m ³ /s
Potencia consumida (calculada)	2515.5 W-H
masa consumida de gas	0.1208 kg
Costo del gas	201.4 \$ En relación con el de una pipeta de 40 Lb

* es el tiempo durante el cual el equipo estuvo consumiendo gas
(es decir mientras la válvula de paso estuvo abierta)