



## Facultad de ingeniería mecánica

Título: Análisis crítico de la generación, transporte y uso del vapor en la empresa Electroquímica de Sagua La Grande.

Autor: Jorge Luis Marrero García.

Tutores: Dr. Ángel Rubio Gonzáles.

Ing. Tatiana Rivero Fernández.

Curso: 2013-2014

## **Resumen**

El presente proyecto de curso titulado análisis crítico de la generación, transporte y uso del vapor en la empresa Electroquímica se Sagua, está conformado por tres capítulos. El primero tiene como tema principal la caracterización general de la instalación incluyendo la descripción de la sala de calderas. Se realizó una caracterización de los sistemas consumidores de vapor y se confeccionó el diagrama de flujo. El segundo capítulo aborda sobre el análisis crítico del sistema consumidor, centrándose en la evaluación del sistema de aislamiento térmico de tuberías y equipos. Se evaluó el estado en que se encontraban los salideros de vapor y se realizaron algunas recomendaciones para disminuir las pérdidas energéticas en el sistema consumidor. En el tercer capítulo se realiza un análisis crítico del consumo de combustible, y los gases de escape del generador, teniendo en cuenta la caracterización del combustible empleado, el estudio del consumo histórico, evaluación de la eficiencia térmica del generador, caracterización del sistema empleado para satisfacer la demanda de vapor y por último algunas recomendaciones para incrementar la eficiencia del generador. En el capítulo cuatro se analizaron por diferentes vías los posibles costos de una caldera para sustituir la actual en caso de ser necesario.

## **Abstract**

This ongoing project entitled critical analysis of generation, transmission and use of steam in the company is Sagua Electrochemistry, consists of three chapters. The first has as its main theme the general characterization of the facility including the description of the boiler room. Consumer characterization systems and steam was conducted flowchart was made. The second chapter focuses on the critical analysis of the consumer system, focusing on the evaluation of the thermal insulation system of pipes and equipment. The state in which the steam leaks were and some recommendations are made to reduce energy losses in the consumer system was evaluated. The third chapter, a critical analysis of fuel consumption, and exhaust gas generator, given the characterization of the fuel used, the study of historical use, evaluation of the thermal efficiency of the generator, the system used for characterization is performed meet the demand for steam and finally some recommendations to increase the efficiency of the generator. In chapter four possible costs of a boiler were analyzed in different ways to replace the current if necessary.



## **Introducción**

El siguiente proyecto de curso se realizó en la EMPRESA ELECTROQUÍMICA DE SAGUA perteneciente al MINISTERIO DE INDUSTRIAS. Su principal objetivo es producir, transportar, distribuir y comercializar de forma mayorista, el ácido clorhídrico, hidróxido de sodio, sosa cáustica, cloro líquido, hipoclorito de sodio, sulfato de aluminio, silicato de sodio líquido etc. Es un objetivo económico estratégico, por ser sus producciones únicas en el país con alta incidencia en sectores de la economía. Su producción es continua durante las 24 horas todo el año. Para la realización del presente trabajo hemos seleccionado una CALDERA DE VAPOR con una capacidad de generación de 2,5 t/h. La misma ha sido diseñada y construida en nuestro país por la empresa ALASTOR, especializada en la fabricación de estos equipos. Esta caldera es del tipo piro-tubular, se encuentra montada y prestando servicio en la Planta Elpidio Sosa perteneciente a la empresa mencionada al inicio. Donde genera el vapor que se demanda en los procesos de las diferentes instalaciones que componen esta industria química, como son en la producción de silicatos y en el área de mantenimiento es empleado en una autoclave que es utilizada para vulcanizar goma etc.

### **Objetivo General del Proyecto**

- Realizar un análisis crítico de la generación transporte y uso del vapor en la empresa.

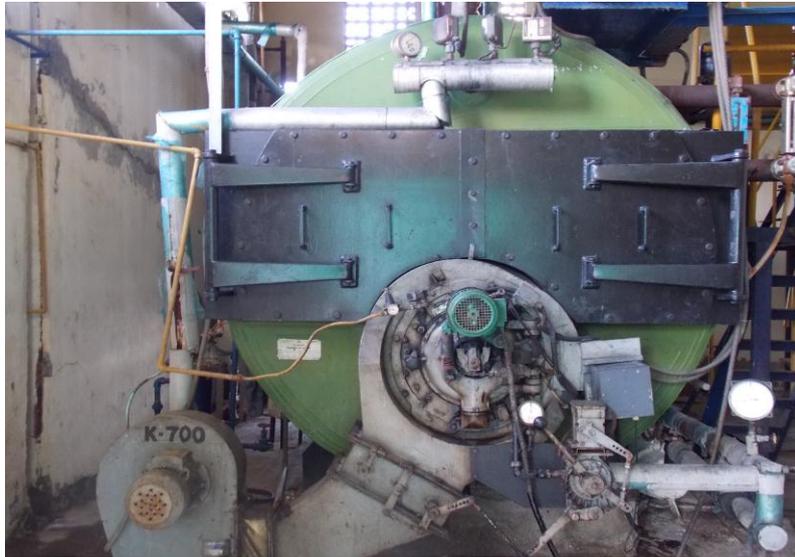
### **Objetivos Específicos del Proyecto**

- Evaluar la eficiencia de la generación de vapor.
- Analizar el estado técnico del sistema de transporte del vapor.
- Estudiar el empleo del vapor generado.
- Valorar alternativas de evaluación del costo de calderas para una posible sustitución.

## Capítulo #1 Caracterización general de la instalación.

### 1.1-Descripción de la sala de calderas y su equipamiento.

Este es el generador de vapor que se encuentra instalado en la industria, con una capacidad de generación de  $2,5 \frac{t}{h}$ .



Generador de vapor.

La bomba que se muestra a continuación succiona el agua de los tanques de tratamiento y después la inyecta a la caldera.



Bomba eléctrica encargada de inyectar el agua a la caldera.

En esta imagen se muestra el cabezal, que es el encargado de distribuir el vapor hacia las diferentes áreas de consumo.



Cabezal.

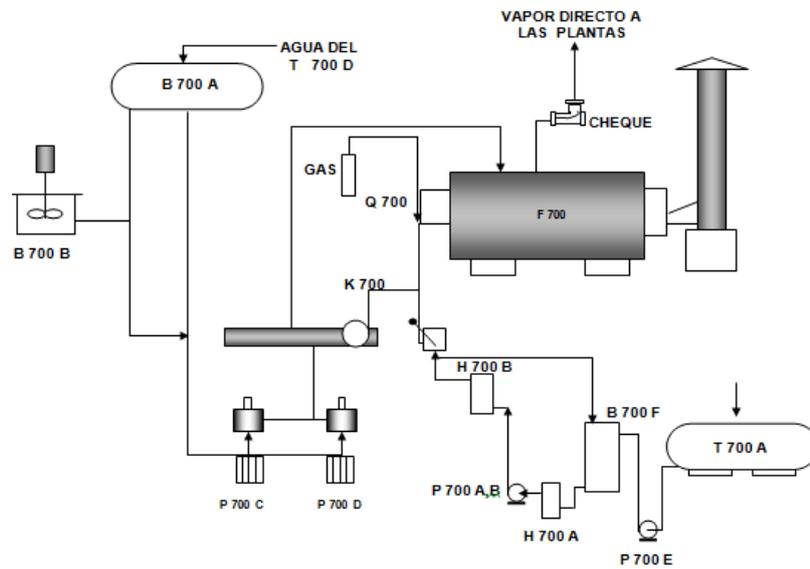


Diagrama de flujo.

Leyenda:

Equipos

Códigos

Caldera de vapor

F 700

Soplador de aire

K 700

Calentadores eléctricos	H 700 A , B
Calentador de vapor	H 700 C
Filtros de petróleo	S 700 A,B,C
Tanque dosificador de reactivos	B 700 B
Agitador tanque de reactivos	A 700
Tanque precalentador	B 700 A
Tanque de recepción de combustible	T 700 A
Tanque de alimentación de combustible	B 700 F
Quemador	Q 700
Bombas de petróleo	P700 A, B, E
Bombas de agua de alimentación	P 700 C, D

## **1.2-Characterización del sistema consumidor.**

El sistema consumidor está constituido por dos autoclaves, una pequeña y otra grande, la pequeña está ubicada en la planta de producción de silicatos líquidos, y con el vapor que es producido por el generador se emplea para diluir en el interior de la autoclave, las pastillas sólidas de silicato de sodio, el cual se licua, logrando la concentración de los parámetros establecidos. También el vapor se utiliza en algunos procesos auxiliares que se llevan a cabo en las instalaciones de mantenimiento y apoyo a la producción, como por ejemplo en una autoclave de gran tamaño para la vulcanización de componentes engomados.

### 1.3-Datos de chapa del generador de vapor y equipos consumidores.

<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>PARÁMETROS</b>
Fabricante	ALASTOR
Modelo	PKM 2,5
Año de fabricación	1998
Producción de vapor nominal	2500 kg/h
Superficie de calefacción	87 m <sup>2</sup>
Volumen de agua nivel normal	7,95 m <sup>3</sup>
Rendimiento térmico	89 %
Temperatura de trabajo máxima	194 °C
Temperatura de agua a alimentar	60 °C
Temperatura de los gases	250 °C
Presión de trabajo en la fábrica	10 kgf/cm <sup>2</sup>
Presión de trabajo máxima	13 kgf/cm <sup>2</sup>
Presión de disparo (Timbre)	13,2 kgf/cm <sup>2</sup>
Temperatura de vapor saturado	184,18 °C
Tipo de Combustible	Fuel – Oil
Valor calórico inferior del combustible.	9500 kcal/ kg
Consumo de combustible nominal	183 kg/h
Peso de la caldera seca	13000 kg
Peso de la caldera en operación	22000 kg
<b>DIMENSIONES PRINCIPALES</b>	
Largo total de la caldera (aproximado.)	6200 mm
Ancho total de la caldera (aproximado.)	3200 mm
Altura total de la caldera (aproximado.)	3600 mm
Longitud del hogar	3945 mm
Diámetro interior del hogar	792 mm
Tubos de fuegos	Ø 57 x 3 mm
Cantidad de tubos de fuego	136
<b>CONEXIONES</b>	
Salida de Vapor	DN 125 (5")
Válvula de Seguridad	DN 40 (1 1/2")
Entrada de agua de alimentación	DN 50 (2")
Purga	DN 25 (3/4")
Extracción de Fondo	DN 50 (2")
Diámetro de la chimenea	500 mm

Tabla-1: Datos del generador de vapor.

Autoclave estática para licuar silicatos. Productos que manipula: Silicatos, Vapor y Sosa Caústica.

<b>Presión de trabajo</b>	<b>10kg/cm<sup>2</sup></b>
<b>Diámetro del tanque</b>	<b>1000mm</b>
<b>Altura</b>	<b>2800mm</b>
<b>Espesor de la pared</b>	<b>12mm</b>
<b>Volumen</b>	<b>2m<sup>3</sup></b>
<b>Material base</b>	<b>Acero 20k</b>
<b>Material del rolo</b>	<b>H-11segon DIN17/25</b>

**Tabla-2:** Datos de los equipos consumidores de vapor (Autoclave).

Esta autoclave es uno de los equipos consumidores de vapor, encargado de producir silicato líquido.



Autoclave estática.

<b>Volumen</b>	<b>38m<sup>3</sup></b>
<b>Presión total</b>	<b>5kgf/cm<sup>2</sup></b>
<b>Sustancia con las que trabaja</b>	<b>Vapor y aire comprimido</b>

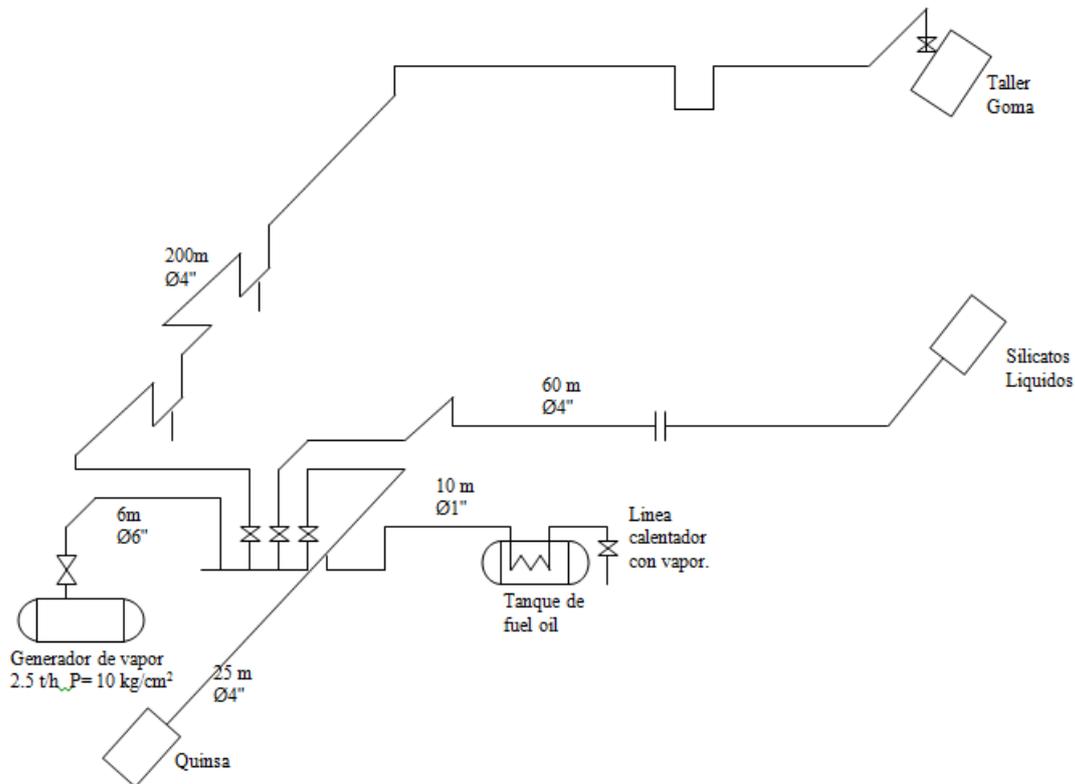
**Tabla-3:** Datos de los equipos consumidores de vapor (Autoclave para vulcanizar goma).

Esta imagen muestra el mayor equipo consumidor de vapor en la fábrica que es el encargado de vulcanizar todos los compuestos engomados.



Autoclave de vulcanizar goma.

## 1.4-Esquema monolineal y líneas de vapor a equipos consumidores.



En esta fábrica el sistema de generación de vapor se realiza de la siguiente manera:

El fuel oil es succionado del tanque de recepción de combustible por una bomba y lo descarga hacia el tanque de alimentación, después del tanque de alimentación baja por gravedad hacia un calentador de combustible, pero en este momento el calentador no funciona ya que tiene la resistencia rota. Luego el combustible que sale del calentador se succiona con otra bomba que lo impulsa por una tubería que va hasta el quemador. Posteriormente se enciende el quemador y a partir de ahí es que se comienza a calentar el agua que se encuentra dentro del generador hasta que se convierte en vapor. El mismo va por una serie de tuberías hasta las diferentes líneas de producción, donde es empleado para vulcanizar goma en una autoclave y además para la realización de silicato, en otra autoclave más pequeña.

Datos que se tuvieron en cuenta para buscar los parámetros del vapor:

- Presión= $10 \frac{kgf}{cm^2}$
- Temperatura de saturación= $184^\circ C$

Conversiones:

$$1 \frac{kgf}{cm^2} = 100 Kpa = 0,1 Mpa$$

$$10 \frac{kgf}{cm^2} = 1000 Kpa = 1 Mpa$$

Parámetros del vapor saturado:

$$\text{Volumen específico (v)} = 197,42 \times 10^3 \frac{m^3}{kg}$$

$$\text{Energía interna específica (u)} = 2593,6 \frac{kJ}{kg}$$

$$\text{Entalpía (h)} = 2791,0 \frac{kJ}{kg}$$

$$\text{Entropía (s)} = 6,6148 \frac{kJ}{kg \cdot K}$$

Nota: Estos parámetros fueron sacados de Steam-Table (Joseph.Keenan.)

## Capítulo #2 Análisis crítico del estado del sistema consumidor.

### 2.1. Evaluación del sistema de aislamientos de tuberías y equipos.

El sistema de tuberías por donde se transporta el vapor producido por el generador, tiene partes que se encuentran en buen estado como por ejemplo la tubería que se extiende hasta la autoclave de vulcanizar goma. Hay otra que está en mal estado ya que no tiene ningún tipo de recubrimiento. Esta parte tiene una longitud de 3m aproximadamente y es la que se extiende hacia la autoclave más pequeña, por tanto eso trae como consecuencia que haya mayores pérdidas de vapor por radiación y por conversión libre al medio ambiente.

La imagen muestra el estado en que se encuentra la tubería de transporte de vapor, que va hacia la autoclave de silicato, que está sin recubrimiento.



Tramo de tubería que no tiene recubrimiento.

Tramo que sale del generador de vapor hacia el cabezal.

Datos:

$$d = 0,1524 \text{ m}$$

$$L = 6 \text{ m}$$

$$t_{\text{superficie}} = 40 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$t_{\text{aire}} = 27 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$A = \Pi * d * L = \Pi * 0,1524\text{m} * 6\text{m} = 2,87\text{m}^2$$

Superficie recubierta con una chapa galvánica.

$$\varepsilon = 0,25$$

**Calor perdido por convección libre**

$$h = 1,13 * \left( \frac{\Delta t}{d} \right)^{0,25} = 1,13 * \left( \frac{40^{\circ}\text{C} - 27^{\circ}\text{C}}{0,1524\text{m}} \right)^{0,25} = 3,43 \frac{\text{kCal}}{\text{m}^2 - \text{hr} - ^{\circ}\text{C}}$$

$$h = 3,43 \frac{\text{kCal}}{\text{m}^2 - \text{hr} - ^{\circ}\text{C}} * 4,1858 \frac{\text{kJ}}{\text{kCal}} * \frac{1\text{hr}}{3600\text{s}} = 4 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 - ^{\circ}\text{C}}$$

$$Q = A * h * (t_{sup} - t_{aire}) = 2,87m^2 * 4 \frac{W}{m^2 * ^\circ C} * (40 - 27)^\circ C$$

$$Q = 0,15kW$$

### Calor perdido por radiación

$$Q = \varepsilon * A * \sigma * (T_{sup}^4 - T_{surr}^4)$$

$$Q = 0,25 * 2,87m^2 * 5,67 * 10^{-8} \frac{W}{m^2 * K^4} * (313K^4 - 300K^4)$$

$$Q = 0,06094 kW$$

### Calor total perdido en un año

$$Q_t = Q_{conv} + Q_{rad}$$

$$Q_t = 0,15kW + 0,06094kW = 0,21 kW$$

Estas tuberías trabajan:

1 hora al día.

5 días a la semana.

11 meses al año.

4 semanas al mes.

$$Q_{anual} = 0,21 \frac{kJ}{s} * \frac{3600s}{h} * \frac{1h}{día} * \frac{5días}{sem} * \frac{4sem}{mes} * \frac{11mes}{año} = 1,67 * 10^5 \frac{kJ}{año}$$

Tramo del cabezal hacia la autoclave de vulcanizar goma.

Datos:

$$d = 0,1016 m$$

$$L = 200 m$$

$$t_{superficie} = 40^\circ C$$

$$t_{aire} = 27^\circ C$$

$$A = \Pi * d * L = \Pi * 0,1016m * 200m = 63,84m^2$$

Superficie recubierta con una chapa galvánica.

$$\varepsilon = 0,25$$

Este valor de la emisividad se obtuvo de un material complementario de aislamiento de tuberías.

### Calor perdido por convección libre

$$Q = A * h * (t_{sup} - t_{aire})$$

Para calcular el coeficiente de convección libre (h) se utiliza la ecuación 24.12 pág. 718 Termodinámica, Virgil Moring Faireis.

$$h = 1,13 * \left( \frac{\Delta t}{d} \right)^{0,25} \left[ \frac{kCal}{m^2 - hr - ^\circ C} \right]$$

$$h = 1,13 * \left( \frac{\Delta t}{d} \right)^{0,25} = 1,13 * \left( \frac{40^\circ C - 27^\circ C}{0,1016m} \right)^{0,25} = 3,8 \frac{kCal}{m^2 - hr - ^\circ C}$$

$$h = 3,8 \frac{kCal}{m^2 - hr - ^\circ C} * 4,1858 \frac{kJ}{kCal} * \frac{1hr}{3600s} = 4,42 \frac{W}{m^2 - ^\circ C}$$

$$Q = A * h * (t_{sup} - t_{aire}) = 63,84m^2 * 4,42 \frac{W}{m^2 * ^\circ C} * (40 - 27) * ^\circ C$$

$$Q = 3,67kW$$

### Calor perdido por radiación

$$Q = \varepsilon * A * \sigma * (T_{sup}^4 - T_{surr}^4)$$

$$A = 63,84m^2$$

$$\sigma = 5,67 * 10^{-8} \frac{W}{m^2 - K^4}$$

$$T_{sup} = 40 + 273 = 313K$$

$$T_{surr} = 27 + 273 = 300K$$

$$\varepsilon = 0,25$$

$$Q = 0,25 * 63,84m^2 * 5,67 * 10^{-8} \frac{W}{m^2 * K^4} * (313K^4 - 300K^4)$$

$$Q = 1,36kW$$

### Calor total perdido en un año

$$Q_t = Q_{conv} + Q_{rad}$$

$$Q_t = 3,67kW + 1,36kW = 5,03kW$$

Estas tuberías trabajan:

4 horas al día.

1 día a la semana.

11 meses al año.

1 semana al mes.

$$Q_{\text{anual}} = 5,03 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} * \frac{3600\text{s}}{\text{h}} * \frac{4\text{h}}{\text{día}} * \frac{1\text{día}}{\text{sem}} * \frac{1\text{sem}}{\text{mes}} * \frac{11\text{mes}}{\text{año}} = 7,96 * 10^5 \frac{\text{kJ}}{\text{año}}$$

Se pierden a través de las tuberías con aislante  $7,96 * 10^5$  kJ de calor al año.

Tramo que sale del cabezal hacia la autoclave pequeña.

- Parte con recubrimiento de asbestocemento hasta el tramo que no tiene aislante.

Datos:

$$d = 0,1016 \text{ m}$$

$$L = 12 \text{ m}$$

$$t_{\text{superficie}} = 40 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_{\text{aire}} = 27 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$A = \Pi * d * L = \Pi * 0,1016\text{m} * 12\text{m} = 3,83\text{m}^2$$

Superficie recubierta con asbestocemento.

$$\varepsilon = 0,90$$

**Calor perdido por convección libre**

$$h = 1,13 * \left( \frac{\Delta t}{d} \right)^{0,25} = 1,13 * \left( \frac{40^\circ\text{C} - 27^\circ\text{C}}{0,1016\text{m}} \right)^{0,25} = 3,43 \frac{\text{kCal}}{\text{m}^2 - \text{hr} - ^\circ\text{C}}$$

$$h = 3,8 \frac{\text{kCal}}{\text{m}^2 - \text{hr} - ^\circ\text{C}} * 4,1858 \frac{\text{kJ}}{\text{kCal}} * \frac{1\text{hr}}{3600\text{s}} = 4,42 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 - ^\circ\text{C}}$$

$$Q = A * h * (t_{\text{sup}} - t_{\text{aire}}) = 3,83\text{m}^2 * 4,42 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 * ^\circ\text{C}} * (40 - 27)^\circ\text{C}$$

$$Q = 0,22\text{kW}$$

**Calor perdido por radiación**

$$Q = \varepsilon * A * \sigma * (T_{\text{sup}}^4 - T_{\text{surr}}^4)$$

$$Q = 0,90 * 3,83m^2 * 5,67 * 10^{-8} \frac{W}{m^2 * K^4} * (313K^4 - 300K^4)$$

$$Q = 0,29 kW$$

### Calor total perdido en un año

$$Q_t = Q_{conv} + Q_{rad}$$

$$Q_t = 0,22007kW + 0,292kW = 0,51 kW$$

Estas tuberías trabajan:

1 hora al día.

5 días a la semana.

11 meses al año.

4 semanas al mes.

$$Q_{anual} = 0,51 \frac{kJ}{s} * \frac{3600s}{h} * \frac{1h}{día} * \frac{5días}{sem} * \frac{4sem}{mes} * \frac{11mes}{año} = 4,05 * 10^5 \frac{kJ}{año}$$

- Tramo que no tiene aislante

Datos:

$$d = 0,1016 m$$

$$L = 6,73 m$$

$$t_{superficie} = 130 °C$$

$$t_{aire} = 27 °C$$

$$A = \Pi * d * L = \Pi * 0,1016m * 6,73m = 2,15m^2$$

$$\varepsilon = 0,79 \text{ Acero oxidado.}$$

Este valor de la emisividad se obtuvo de un material complementario de aislamiento de tuberías.

### Calor perdido por convección libre:

$$Q = A * h * (t_{sup} - t_{aire})$$

Para calcular el coeficiente de convección libre (h) se utiliza la ecuación 24.12 pág. 718 Termodinámica, Virgil Moring Faires.

$$h = 1,13 * \left( \frac{\Delta t}{d} \right)^{0,25} \text{ ----- } \left( \frac{kCal}{m^2 - hr - ^\circ C} \right)$$

$$h = 1,13 * \left( \frac{\Delta t}{d} \right)^{0,25} = 1,13 * \left( \frac{130^\circ C - 27^\circ C}{0,1016m} \right)^{0,25} = 6,38 \frac{kCal}{m^2 - hr - ^\circ C}$$

$$h = 6,38 \frac{kCal}{m^2 - hr - ^\circ C} * 4,1858 \frac{kJ}{kCal} * \frac{1hr}{3600s} = 7,42 \frac{W}{m^2 - ^\circ C}$$

$$Q = A * h * (t_{sup} - t_{aire}) = 2,15m^2 * 7,42 \frac{W}{m^2 * ^\circ C} * (130 - 27)^\circ C$$

$$Q = 1,64kW \quad \text{qqq}$$

Calor perdido por radiación:

$$Q = \varepsilon * A * \sigma * (T_{sup}^4 - T_{surr}^4)$$

$$A = 2,15m^2$$

$$\sigma = 5,67 * 10^{-8} \frac{W}{m^2 - K^4}$$

$$T_{sup} = 130 + 273 = 403 K$$

$$T_{surr} = 27 + 273 = 300 K$$

$$\varepsilon = 0,79$$

$$Q = 0,79 * 2,15m^2 * 5,67 * 10^{-8} \frac{W}{m^2 - K^4} * (403K^4 - 300K^4)$$

$$Q = 1,76 kW$$

**Calor total perdido en un año**

$$Q_t = Q_{conv} + Q_{rad}$$

$$Q_t = 1,643116 + 1,76 kW = 3,40 kW$$

Estas tuberías trabajan:

4 horas al día.

1 día a la semana, solo se descansan los sábados y domingos.

11 meses al año porque tienen un mes de vacaciones.

1 semana al mes.

$$Q_{\text{anual}} = 3,40 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} * \frac{3600\text{s}}{\text{h}} * \frac{4\text{h}}{\text{día}} * \frac{1\text{día}}{\text{sem}} * \frac{1\text{sem}}{\text{mes}} * \frac{11\text{mes}}{\text{año}} = 5,38 * 10^5 \frac{\text{kJ}}{\text{año}}$$

Se pierden a través de las tuberías sin aislante  $5,38 * 10^5$  kJ de calor al año.

- Parte con recubrimiento de asbestocemento hasta la autocalve pequeña.

Datos:

$$d = 0,1016 \text{ m}$$

$$L = 41,27 \text{ m}$$

$$t_{\text{superficie}} = 40 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_{\text{aire}} = 27 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$A = \Pi * d * L = \Pi * 0,1016\text{m} * 41,27\text{m} = 13,17\text{m}^2$$

Superficie recubierta con asbestocemento.

$$\varepsilon = 0,90$$

#### Calor perdido por convección libre

$$h = 1,13 * \left( \frac{\Delta t}{d} \right)^{0,25} = 1,13 * \left( \frac{40^\circ\text{C} - 27^\circ\text{C}}{0,1016\text{m}} \right)^{0,25} = 3,43 \frac{\text{kCal}}{\text{m}^2 - \text{hr} - ^\circ\text{C}}$$

$$h = 3,8 \frac{\text{kCal}}{\text{m}^2 - \text{hr} - ^\circ\text{C}} * 4,1858 \frac{\text{kJ}}{\text{kCal}} * \frac{1\text{hr}}{3600\text{s}} = 4,42 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 - ^\circ\text{C}}$$

$$Q = A * h * (t_{\text{sup}} - t_{\text{aire}}) = 13,1728\text{m}^2 * 4,42 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 * \text{C}^\circ} * (40 - 27)^\circ\text{C}$$

$$Q = 0,76\text{kW}$$

#### Calor perdido por radiación

$$Q = \varepsilon * A * \sigma * (T_{\text{sup}}^4 - T_{\text{surr}}^4)$$

$$Q = 0,90 * 13,1728\text{m}^2 * 5,67 * 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 * \text{K}^4} * (313\text{K}^4 - 300\text{K}^4)$$

$$Q = 1,00692 \text{ kW}$$

#### Calor total perdido en un año

$$Q_t = Q_{\text{conv}} + Q_{\text{rad}}$$

$$Q_t = 0,75691\text{kW} + 1,00692\text{kW} = 1,76 \text{ kW}$$

Estas tuberías trabajan:

1 hora al día.

5 días a la semana.

11 meses al año.

4 semanas al mes.

$$Q_{\text{anual}} = 1,76383 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} * \frac{3600\text{s}}{\text{h}} * \frac{1\text{h}}{\text{día}} * \frac{5\text{días}}{\text{sem}} * \frac{4\text{sem}}{\text{mes}} * \frac{11\text{mes}}{\text{año}} = 1,39 * 10^6 \frac{\text{kJ}}{\text{año}}$$

Mediante la suma del calor perdido en las tuberías que tienen aislante y en las tuberías sin aislantes, se obtiene el calor perdido al año, como se muestra a continuación.

$$Q_{\text{Total}} = Q_{\text{con aislante}} + Q_{\text{sin aislante}}$$

$$Q_{\text{Total}} = 2,92 * 10^6 \frac{\text{kJ}}{\text{año}} + 5,38 * 10^5 \frac{\text{kJ}}{\text{año}}$$

$$Q_{\text{Total}} = 3,4 * 10^6 \frac{\text{kJ}}{\text{año}}$$

$$\text{Calor de combustión (H): } 9500 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} = 39774,6 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$Q_{\text{perdido}} = m_{\text{com.perd.}} * H$$

$$m_{\text{com.perd.}} = \frac{Q_{\text{perdido}}}{H} = \frac{3,4 * 10^6 \frac{\text{kJ}}{\text{año}}}{39774,6 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = 85,48 \frac{\text{kg}}{\text{año}}$$

$$\text{Precio del fuel oíl} = 0,78 \frac{\text{cuc}}{\text{kg}}$$

$$\text{Costo de las pérdidas} = 85,482 \frac{\text{kg}}{\text{año}} * 0,78 \frac{\text{cuc}}{\text{kg}} = 66,7 \frac{\text{cuc}}{\text{año}}$$

## 2.2. Evaluación crítica de salideros de vapor.

$$Q_t = D_v * [h_v - h_{lso}] * T$$

$$D_v = 0,4 * d^2 * \sqrt{P[P + 1]}$$

$Q_t$ : Calor perdido,  $\frac{kJ}{año}$ .

$D_v$ : Flujo de vapor fugado,  $\frac{kg}{h}$ .

$d$ : Diámetro de la fuga,  $mm$ .

$P$ : Presión de vapor,  $\frac{kgf}{cm^2}$ .

$h_v$ : Entalpía del vapor a los parámetros de trabajo,  $\frac{kJ}{kg}$ .

$h_{iso}$ : Entalpía del líquido saturado a la temperatura ambiente,  $\frac{kJ}{kg}$ .

$T$ : Tiempo de operación,  $\frac{h}{año}$ .

Nota: El tiempo de trabajo de esta tubería es de 1 hora diaria.

Datos:

$$T = \frac{1h}{día} * \frac{5días}{sem} * \frac{4sem}{mes} * \frac{11mes}{año} = 220 \frac{h}{año}$$

$$\emptyset = 2mm$$

$$P = 10 \frac{kgf}{cm^2}$$

$$h_v = 2791,0 \frac{kJ}{kg} \text{ -----Tabla de vapor.}$$

$$h_{isa} = 113,90 \frac{kJ}{kg} \text{ -----Tabla de vapor.}$$

$$D_v = 0,4 * d^2 * \sqrt{P[P + 1]}$$

$$D_v = 0,4 * 2^2 * \sqrt{10[10 + 1]}$$

$$D_v = 17 \frac{kg}{h}$$

$$Q_t = D_v * [h_v - h_{iso}] * T$$

$$Q_t = 17 * [2791 - 113,90] * 220$$

$$Q_t = 10,01 * 10^6 \frac{kJ}{año}$$

Costo de las pérdidas producto a salideros de vapor.

$$Q_{\text{perdido}} = m_{\text{com.perd}} * H$$

$$m_{\text{com.perd}} = \frac{Q_{\text{perdido}}}{H} = \frac{10,01 * 10^6}{39774,6} = 251,67 \frac{\text{kg}}{\text{año}}$$

Precio del fuel oil=0,78CUC

$$\text{Costo de las pérdidas} = 251,67 \frac{\text{kg}}{\text{año}} * 0,78 \frac{\text{CUC}}{\text{kg}} = 196,30 \frac{\text{CUC}}{\text{año}}$$

Las pérdidas al año producto a los salideros son de 251,67 kg de combustible, 196,30  $\frac{\text{CUC}}{\text{año}}$ .

### 2.3. Recomendaciones para disminuir las pérdidas energéticas en el sistema consumidor.

- Recubrir el tramo de tubería que no está aislado térmicamente.
- Darle un mantenimiento periódico a todas las tuberías de vapor, para eliminar el salidero existente y reemplazar los tramos de aislante que estén en mal estado.

## Capítulo 3. Análisis crítico del consumo de combustible y la combustión en la caldera.

### 3.1 Caracterización del combustible empleado.

Fuel Oil mediano (Bajo vanadio)

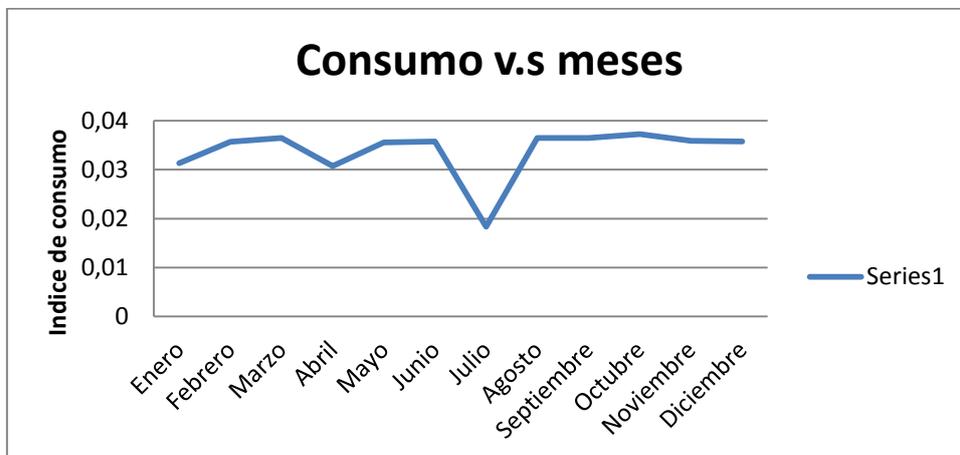
Parámetros	Valor	U.M
Punto de inflamación	62	°C
Viscosidad a 50°C	181	mm <sup>2</sup> /s
Azufre total	2.6	%m/m
Temperatura. fluidez	16	°C
Carbón conradso	15	%m/m
Ceniza	0.10	%m/m
Densidad a 15 °C	0.9959	g/cm <sup>3</sup>
Agua de destilación	1.5	%v/v

Vanadio	180	ppm
Asfalteno	10	%m/m
Aluminio +Silicio	80	ppm
Sodio	40	ppm
Gravedad a 15 °C	10.5	API
Valor calórico Inferior	9500	Kcal/kg

### 3.2- Estudio del consumo histórico de combustible de la sala de calderas durante dos años.

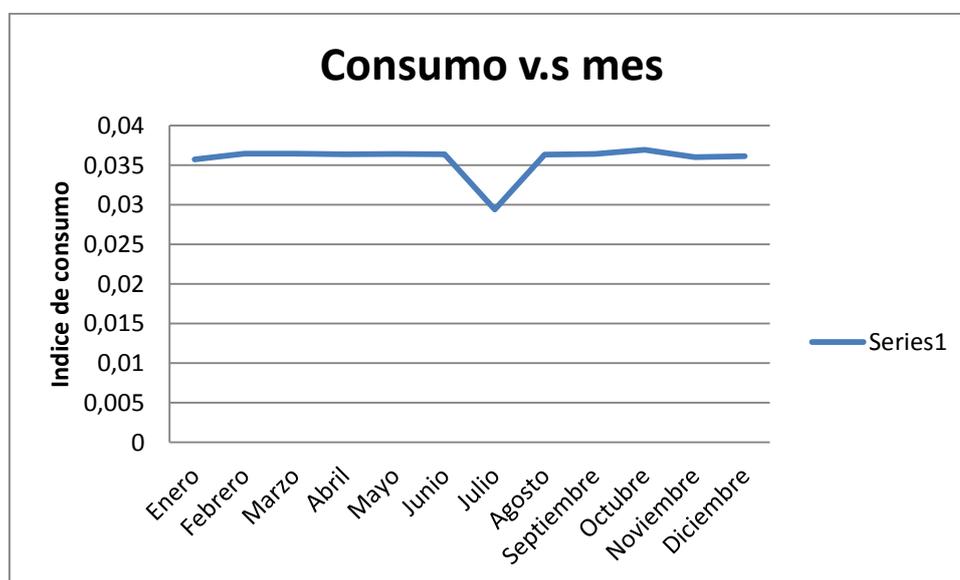
Mes y Año	Consumo (Ton)	Cantidad de Silicato (Ton)	Mes y Año	Consumo (Ton)	Cantidad de Silicato (Ton)
Enero 2012	3,8	121,4	Enero 2013	4,33	121,2
Febrero 2012	4,57	128,2	Febrero 2013	4,56	125,2
Marzo 2012	4,75	130,4	Marzo 2013	4,6	126,2
Abril 2012	4,23	137,8	Abril 2013	4,28	117,7
Mayo 2012	4,24	119,2	Mayo 2013	4,37	120,1
Junio 2012	3,8	106,4	Junio 2013	4,5	123,7
Julio 2012	2,20	120	Julio 2013	3,09	105,1
Agosto 2012	3,02	82,8	Agosto 2013	3,37	92,8
Septiembre 2012	4,72	129,5	Septiembre 2013	4,9	134,6
Octubre 2012	2,37	63,6	Octubre 2013	4,9	132,7
Noviembre 2012	4,74	132,1	Noviembre 2013	4,815	133,8
Diciembre 2012	3,28	91,7	Diciembre 2013	0,860	23,8

En el presente gráfico se analiza el comportamiento que tuvo el índice de consumo por mes, y se puede apreciar como en el mes marzo hubo un ascenso y en el mes de julio un descenso. Esto se manifiesta producto a que cuando hay ascenso no se cumple la eficiencia en el proceso productivo y cuando hay descenso el aprovechamiento de la eficiencia es mejor.



Gráfica-1: Consumo de combustible mensual del año 2012.

En este gráfico se puede observar como en el año 2013 el índice de consumo comienza a aumentar en el mes de enero y a partir de marzo hasta junio se mantiene estable, ya en el mes de julio comienza a descender cumpliendo la eficiencia en el proceso de producción. En el mes de agosto va ascendiendo y la eficiencia disminuyendo.

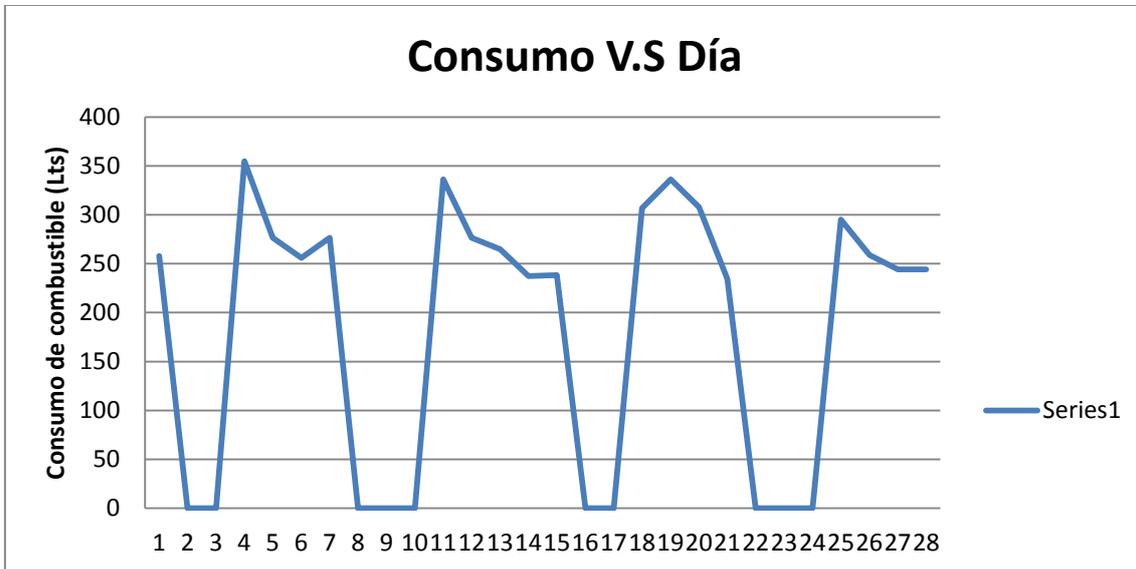


Gráfica-2: Consumo de combustible mensual del año 2013.

Estudio del consumo histórico de combustible de la sala de calderas durante el mes de Febrero del 2013.

Días de la Semana	Días del Mes	Consumo Fuel Oil
	Febrero del 2013	Lts
<b>Viernes</b>	<b>1</b>	257,89
<b>Sábado</b>	<b>2</b>	0
<b>Domingo</b>	<b>3</b>	0
<b>Lunes</b>	<b>4</b>	354,97
<b>Martes</b>	<b>5</b>	276,52
<b>Miércoles</b>	<b>6</b>	255,93
<b>Jueves</b>	<b>7</b>	276,52
<b>Viernes</b>	<b>8</b>	0
<b>Sábado</b>	<b>9</b>	0
<b>Domingo</b>	<b>10</b>	0
<b>Lunes</b>	<b>11</b>	336,34
<b>Martes</b>	<b>12</b>	276,52
<b>Miércoles</b>	<b>13</b>	264,75
<b>Jueves</b>	<b>14</b>	237,30
<b>Viernes</b>	<b>15</b>	238,28
<b>Sábado</b>	<b>16</b>	0
<b>Domingo</b>	<b>17</b>	0
<b>Lunes</b>	<b>18</b>	306,92
<b>Martes</b>	<b>19</b>	336,34
<b>Miércoles</b>	<b>20</b>	307,90
<b>Jueves</b>	<b>21</b>	234,36
<b>Viernes</b>	<b>22</b>	0
<b>Sábado</b>	<b>23</b>	0
<b>Domingo</b>	<b>24</b>	0
<b>Lunes</b>	<b>25</b>	295,15
<b>Martes</b>	<b>26</b>	258,87
<b>Miércoles</b>	<b>27</b>	244,16
<b>Jueves</b>	<b>28</b>	244,16

En el presente gráfico de consumo de combustible por días se puede observar que hay mayor consumo en determinados días, es porque la autoclave trabaja más horas para incrementar la producción y cuando disminuye hacia cero es fin de semana y no trabaja.



Gráfica-3: Consumo de combustible diario del mes de Febrero 2013 .

### 3.3 Evaluación de la eficiencia térmica del generador de vapor.

#### Datos de la Prueba Termotecnia.

Estos datos del análisis de gases a la salida del G.V se obtuvieron de una prueba que se había hecho.

$$CO_2 = 13\%$$

$$CO = 0,219\%$$

$$O_2 = 3,5 \%$$

Datos de operación

$$\theta_{sgv} = 250 \text{ } ^\circ\text{C}$$

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

$$\alpha = 1,201$$

$$B = 0,345 \frac{m^3}{h} * 962 \frac{kg}{m^3} = 331,89 \frac{kg}{h}$$

$$p_v = 10 \frac{kgf}{cm^2}$$

$$t_{aa} = 30 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_s = 40 \text{ } ^\circ\text{C}$$

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

Determinación del calor disponible.

$$Q_d = Q_i + Q_c$$

$$Q_i = 42360 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$Q_c = C_c * T_c$$

$$C_c = 1,738 + 0,0025 * T_c = 1,738 + 0,0025 * 30 = 1,81 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} * ^\circ\text{C}}$$

$$Q_c = 1,81 * 30 = 54,3 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$Q_d = 42360 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} + 54,3 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 42414,3 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Determinación de la demanda de vapor.

Asumiendo  $\eta = 80\%$

$$D_v = \frac{Q_{d_2} * \eta}{h_v - h_{aa}}$$

$$\text{Para } p_v = 10 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} = 1 \text{ MPa}$$

$$i_v = 2778,1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Para  $t_{aa} = 30^\circ\text{C}$

$$i_{aa} = 125,79 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$Q_{d_2} = Q_d * B_c = 42414,3 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} * 0,345 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 14632,93 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

$$D_v = \frac{14632,93 * 0,80}{2778,1 - 125,79} = 4,41 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Determinación de la eficiencia mediante el método indirecto.

Pérdida de calor sensible con los gases de salida ( $q_2$ ).

$$q_2 = k * \frac{\theta_{sgv} - t_a}{CO_2 + CO}$$

$K=0,58$  Coeficiente de Hassinten fue tomado del Texto Combustión y Generación de vapor. A. Rubio Cap III Balance térmico del generador de vapor Pág 71.

$$q_2 = 0,58 * \frac{250 - 30}{13 + 0,219} = 9,7 \%$$

Pérdida de calor por incombustión química.

$$q_3 = \frac{60 * CO}{CO_2 + CO} = \frac{60 * 0,219}{13 + 0,219} = 0,99 \%$$

Pérdida por combustible no quemado.

Índice de Bacharach = 3, por lo tanto según la tabla 3.2 pág. 86 del texto Combustión y generación de vapor de A. Borroto y A. Rubio:

$$q_4 = 0,4\%$$

Pérdida de calor por radiación al medio.

La pérdida de calor por radiación al medio se determina mediante las figuras 3.3 y 3.4 Cap. III del texto GV de A. Rubio, y para operar con ellas son necesarios los parámetros siguientes:

Calor útil nominal

$$Q_{un} = D_{vm} * (i_v - i_{aa})$$

$$\text{Para } p_v = 10 \frac{kgf}{cm^2} = 0,1 MPa$$

$$i_v = 2778,1 \frac{kJ}{kg}$$

$$\text{Para } t_{aa} = 30^{\circ}C$$

$$i_{aa} = 125,79 \frac{kJ}{kg}$$

$$Q_{un} = 2500 * (2778,1 - 125,79)$$

$$Q_{un} = 6,63 * 10^6 \frac{kJ}{h}$$

Diferencia de temperatura.

$$\Delta t = t_s - t_a$$

$$\Delta t = 40^{\circ}\text{C} - 30^{\circ}\text{C} = 10^{\circ}\text{C}$$

Calor útil de operación.

$$Q_{uop} = Q_{un} = D_{vn} (i_v - i_{aa}) = 4,414 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * (2778,1 - 125,79) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 1,17 * 10^4 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

$$Q_{un} = 6,63 * 10^6 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

$$Q_{uop} = 1,17 * 10^4 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

$$N_p = 4$$

Se obtiene  $q_5 = 3\%$  Este valor se tomó de la gráfica 3.2 pérdidas por radiación que se encuentra en el capítulo III pág. 69 del texto G.V de A. Rubio.

Pérdida de calor con los residuos del horno.

$$q_6 = (0)$$

Pérdida de calor con las extracciones (purgas).

$q_7 = 1,55\%$  Este valor se tomó de un balance que se había hecho hace unos años atrás.

Sumatoria de pérdidas

$$\Sigma q_p = q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6 + q_7$$

$$\Sigma q_p = 9,7 + 0,99 + 0,4 + 3 + 0 + 1,55 = 15,64\%$$

Cálculo de la eficiencia bruta

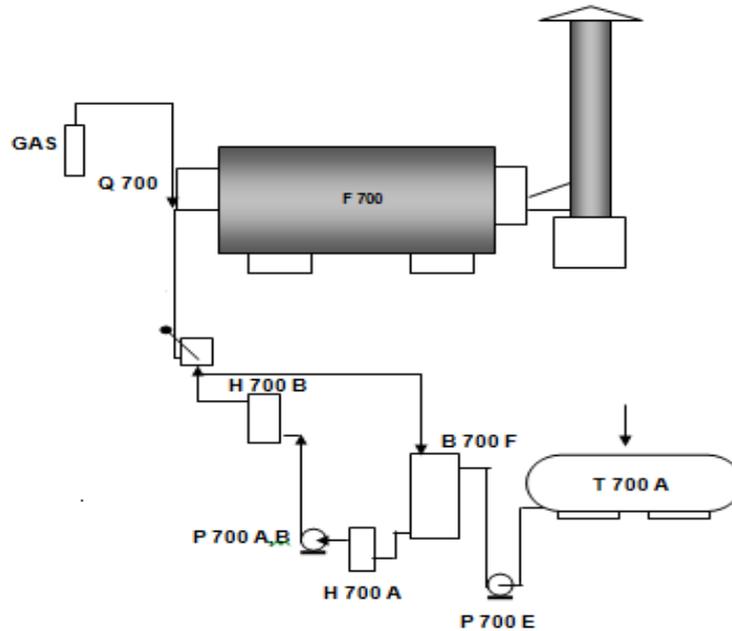
$$\eta = 100 - \Sigma q_p$$

$$\eta = 100 - 15,64$$

$$\eta = 84,36\%$$

La eficiencia calculada es de 84,36% y la de la chapa es de 89% esto quiere decir que la caldera no está del todo eficiente producto a que el calentador de combustible no funciona y no se recupera condensado.

### 3.4 Caracterización del sistema de combustión.



Leyenda:	Códigos
Tanque de recepción de combustible	T700A
Bomba de Fuel Oil	P700A B E
Tanque de alimentación de combustible	B700F
Calentadores eléctricos	H700A B
Quemador	Q700
Generador de vapor	F700

El sistema de combustión está estructurado de la siguiente manera el combustible es almacenado en el tanque de recepción, después es bombeado hacia el tanque de combustible donde baja por gravedad hacia el calentador y por último se bombea hacia el quemador. En este sistema de combustión existe una deficiencia que repercute en la eficiencia del generador y es que el calentador de combustible no funciona.

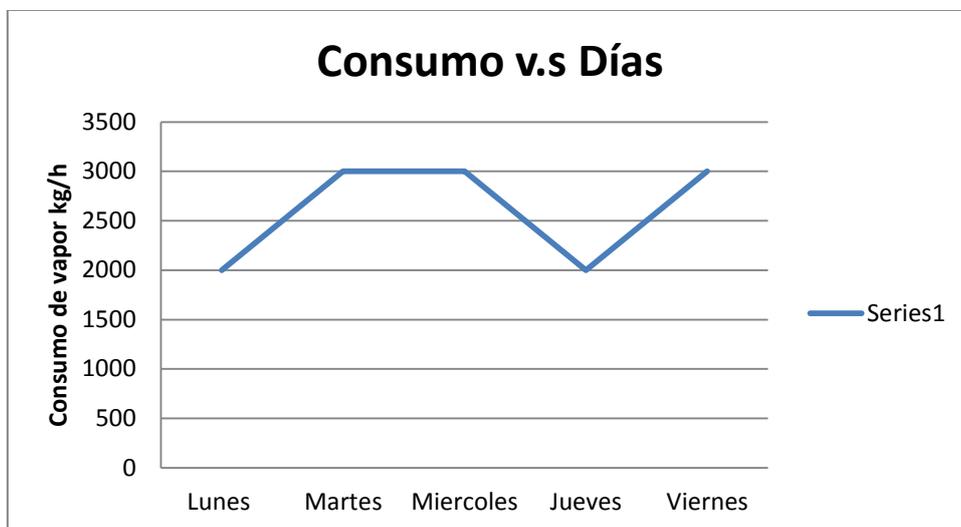
### 3.5- Caracterización del sistema empleado para satisfacer la demanda de vapor.

En cuanto al sistema empleado para satisfacer la demanda de vapor se puede decir que es un generador de vapor pirotubular de una capacidad de generación de  $2,5 \frac{t}{h}$ , que cuenta con un sistema automático que es el encargado de encender y apagar en dependencia de la demanda de vapor. En la fábrica donde se encuentra el mismo se puede decir que para el uso que le dan al vapor no tiene mucha demanda y esto trae como consecuencia que hay un sobredimensionamiento ya que el consumo es ínfimo y no es permanente. Esto tiene cierta repercusión desde un punto de vista económico, porque no es rentable y el gasto de combustible es mayor.

Estudio del consumo de vapor durante una semana del mes de febrero del 2013.

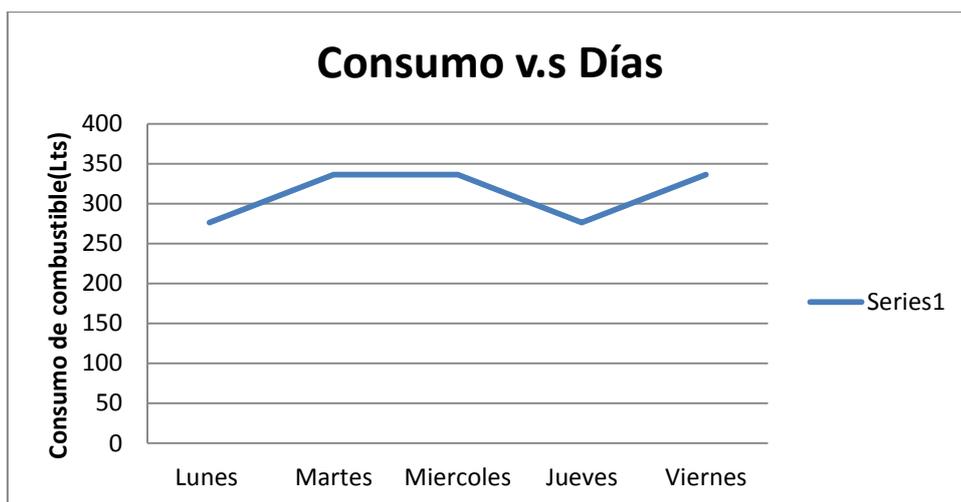
Días de la semana	Consumo de vapor (kg/h)	Consumo de comb (Lts)
<b>lunes</b>	<b>2000</b>	<b>276,52</b>
<b>martes</b>	<b>3000</b>	<b>336,34</b>
<b>miércoles</b>	<b>3000</b>	<b>336,34</b>
<b>jueves</b>	<b>2000</b>	<b>276,52</b>
<b>viernes</b>	<b>3000</b>	<b>336,34</b>

En la gráfica se muestra el consumo de vapor por días, donde al inicio de semana se ve un incremento después se estabiliza y hay un solo día que el consumo desciende. Esto quiere decir que al final de la semana la capacidad de producción disminuye.



Gráfica-4: Consumo de vapor v.s por días.

En esta gráfica el consumo de combustible por días se comporta de la manera siguiente al inicio de semana hay un incremento a la mitad se mantiene estable y al final un descenso. Esto quiere decir que al final de la semana la capacidad de producción disminuye.



Gráfica-5: Consumo de combustible v.s por días.

### 3.6 Recomendaciones para incrementar la eficiencia del generador de vapor.

- Reparar el calentador de combustible.
- Realizar recuperación de condensado.

## Capítulo 4. Valoración de costos de calderas para una posible sustitución.

El presente capítulo abordará la valoración de los costos de una caldera para una posible sustitución, en la empresa electroquímica de Sagua, se analizarán por diferentes vías los costos de dicha caldera. Ya que la instalada está sobredimensionada producto a que la demanda de vapor es pequeña.

Cálculo de un estimado de la demanda de vapor en el mes de febrero del 2013.

Consumo de combustible promedio es de  $178,67 \frac{Lts}{días}$ .

Producción de vapor por días

$$Producción_{vapor} = \frac{Consumo * \rho_{fuel\ oil}}{1000} = \frac{178,67 \frac{Lts}{días} * 0,97 \frac{kg}{Lts}}{1000} = 0,17 \frac{t}{días}$$

$$Producción_{vapor\ por\ horas} = \frac{Producción_{vapor} * Indice}{Horas\ de\ trabajo\ al\ día}$$

$$Producción_{vapor\ por\ horas} = \frac{0,17 \frac{t}{días} * 13}{4 \frac{h}{días}} = 0,55 \frac{ton_{vapor}}{h}$$

Con los resultados obtenidos de la generación de vapor por horas proponemos una caldera que produzca  $1 \frac{ton_{vapor}}{h}$ , teniendo en cuenta las pérdidas y el aumento de la demanda.

Características	Parámetros
Producción nominal de vapor saturado	$1000 \frac{kg}{h}$
Presión de trabajo	$10 \frac{kgf}{cm^2}$
Temperatura del vapor saturado	184,18°C
Tipo de combustible	Fuel-Oil
Tipo de caldera	Piro-tubular

Tabla-4: Datos del nuevo generador de vapor.

a) Cálculo del costo de una caldera consultado por la bibliografía titulada Procesos de Ingeniería Química, autor Gael Ulrich.

$$C_N = C_R * \frac{I_N}{I_R}$$

$C_N$ : Costo nuevo.

$C_R$ : Costo de referencia.

$I_N$ : Índice nuevo.

$I_R$ : Índice de referencia.

$$C_R = C_P * F_P * F_T * F_{BM}$$

$C_P$ : Precio de compra.

$F_P$ : Factor de presión.

$F_T$ : Factor de temperatura.

$F_{BM}$ : Factor de módulo simple.

$$C_R = 11000 * 1 * 1 * 1,8 = 19800CUC$$

El costo de referencia, el precio de compra, factor de presión, factor de temperatura y el factor de módulo simple se busca en la bibliografía titulada Procesos de Ingeniería Química Cap5, p320, en la figura 5-4.

El valor de índice nuevo y el de referencia se obtuvo de la revista Chemical Engineering., Economic Indicator, p60, volumen121, #6, June2014.

El índice de referencia

$$C_N = 19800 * \frac{570}{315} = 35829 CUC$$

b) Cálculo del costo de una caldera consultado por la bibliografía Diseño de Plantas del autor Peter&Timmerhaus, p.238, figura: B-3.

$$C_N = C_R * \frac{I_N}{I_R}$$

$$C_N = 19800 * \frac{570}{391} = 28864 CUC$$

c) Este valor del costo se obtuvo preguntándole a los compañeros de ALASTOR, es de 40000CUC aproximadamente.

Con los cálculos realizados por los métodos empleados se determinó que el costo de una caldera de esa capacidad de generación oscila en un rango de 20000 a 40000CUC.

## Conclusiones Generales

Mediante el análisis crítico de la generación transporte y uso del vapor se detectó que existen reservas de eficiencias que pueden ser explotadas en beneficio de la empresa y el país.

La caldera no está a su máxima eficiencia porque se detectaron una serie de problemas que la hacen ineficiente estos son:

- Calentador de combustible no está en funcionamiento.
- No hay recuperación de condensado.

El estado técnico del sistema de tuberías no está bien porque presenta salideros, hay un tramo que no tiene aislante. Estas deficiencias se encuentran en la tubería que va hacia la autoclave de producción de silicato.

La posible sustitución de una caldera  $2,5 \frac{t}{h}$  por una de  $1 \frac{t}{h}$  trae beneficios para la empresa porque la actual está sobredimensionada, ya que la demanda de vapor en la instalación es pequeña y eso trae como consecuencia, que hay un gasto de combustible grande pudiéndose evitar. Esta caldera su costo oscila sobre los 40000CUC.

El vapor que sale del generador es saturado a una presión de  $10 \frac{kgf}{cm^2}$ . Pero su uso no es adecuado porque una parte se pierde por salideros que tiene la tubería que va hacia la autoclave de silicato. No llega a su destino final con la temperatura requerida porque hay una sección de la tubería que no tiene aislante.

Mediante las alternativas que fueron tomadas para la determinación del costo de una caldera de  $1 \frac{t}{h}$  se obtuvieron como resultado que el costo de una caldera oscila sobre 20000 a 40000CUC.

## **Recomendaciones Generales**

Para lograr un mejor funcionamiento de la caldera y el sistema de tuberías se recomienda:

- 1- Reparar el calentador de combustible.
- 2-Realizar recuperación de condensado.
- 3-Reparar la tubería que tiene salidero.
- 4-Ponerle aislamiento térmico al tramo de tubería que le falta.

## Bibliografía

- 1- Rubio González, A. Generadores de Vapor. Funcionamiento y Explotación.
- 2- Keenan. Tablas de propiedades del agua y su vapor.
- 3- Rubio González, A. Instalación de Máquinas Industriales.
- 4- Borroto Nordelo, A; Rubio González, A. "Combustión y generación de vapor."
- 5- Chemical Engineering. Economic Indicator, p60, volumen121, #6, June2014.
- 6- Peters&Timmerhaus., Diseño de Plantas, p238.
- 7- Geal Ulrich., Thermal Desaing and Optimization, p337.
- 8- Alastor, Costos de Calderas.

## Anexos

AÑO 2013									
No	Equipos	Nivel de Actividad. Real horas	Consumo. Real ( lts)	Combustible que Debió Consumir. ( Lts)	Indice consumo real l/mts	Indice. Cons.Normado. l/h	Diferencias en Consumo (litros).	% Desviacion del indice normado.	Desv. Abs.
1	VSU 229	1509	12842,04	12524,7	8,51	8,30	317,34	-2,53	2,53
2	VSU 183	843	6100	6996,9	7,24	8,30	-896,90	12,82	12,82
3	mc-6	533,8	1315	4430,5	2,46	8,30	-3115,54	70,32	70,32
4	mc 2 turul	292,5	870	2427,8	2,97	8,30	-1557,75	64,16	64,16
5	mc 1	347	920	2880,1	2,65	8,30	-1960,10	68,06	68,06
6	mc 5 cmesa	1017,9	3234,99	8448,6	3,18	8,30	-5213,58	61,71	61,71
7	mc 4 e sosa	617	1618	5121,1	2,62	8,30	-3503,10	68,41	68,41
8	mc 3 c sosa	1546,5	3950	12836,0	2,55	8,30	-8885,95	69,23	69,23
9	ZLM 40E	1203	13332,16	9984,9	11,08	8,30	3347,26	-33,52	33,52
10	VOLVO	375	3895,8	3112,5	10,39	8,30	783,30	-25,17	25,17
11	Tractor 088	112,17	590	931,0	5,26	8,30	-341,01	36,63	36,63
12	Tractor 087	110	555	913,0	5,05	8,30	-358,00	39,21	39,21
13	Fundición	120	1890	996,0	15,75	8,30	894,00	-89,76	89,76
14	HUW 985	32	190	265,6	5,94	8,30	-75,60	28,46	28,46
15	HUG 357	10,5	140	87,2	13,33	8,30	52,85	-60,64	60,64
		<b>8669,37</b>	<b>51442,99</b>	<b>71603,0</b>	<b>0,17</b>				0,00

Consumo de diesel para producción.

AÑO 2013									
No	Equipos	Nivel de Actividad. Real horas	Consumo. Real ( lts)	Combustible que Debíó Consumir. ( Lts)	Indice consumo real h/lts	Indice. Cons.Normado. l/h	Diferencias en Consumo (litros).	% Desviación del indice normado.	Desv. Abs.
1	VSW 490	0,0	0,0			0			0,00
2	VSW 759	736793,0	31860,7	31860,7	0,0432	0,04324236			0,00
3	VSW 105	870345,0	44374,8	44374,8	0,0510	0,05098528			0,00
4	VSW 472	0,0	0,0			0			0,00
5	VSW 758	0,0	0,0			0			0,00
6	VSW 487	315834,6	17843,7	17843,7	0,0565	0,05649706			0,00
7	VSW 468	470116,0	21245,7	21245,7	0,0452	0,04519254			0,00
8	VSW 469	382953,8	23084,7	23084,7	0,0603	0,06028064			0,00
9	VSW 017	338963,0	23926,6	23926,6	0,0706	0,07058759			0,00
10	VSW 465	525262,8	25226,5	25226,5	0,0480	0,04802636			0,00
11	VSW 476	62568,0	841,0	841,0	0,0134	0,01344138			0,00
12	VSW 477	465286,0	23798,6	23798,6	0,0511	0,05114837			0,00
13	VSW 467	470701,6	24637,2	24637,2	0,0523	0,05234142			0,00
14	VSW 022	448148,0	14371,0	14371,0	0,0321	0,03206753			0,00
15	VSW 023	2481949,0	21523,1	21523,1	0,0087	0,00867184			0,00
16	VSW 760	856395,0	36642,1	36642,1	0,0428	0,04278645			0,00
17	VSW 096	581309,0	34545,0	34545,0	0,0594	0,0594263			0,00
18	VSW 768	836099,0	41585,2	41585,2	0,0497	0,04973719			0,00
19	VSW 769	599583,0	29797,3	29797,3	0,0497	0,04969665			0,00
20	VSW 770	0,0	0,0			0			0,00
21	VSW 771	582761,0	31083,0	31083,0	0,0533	0,05333747			0,00
22	VSW 099	528079,0	29515,3	29515,3	0,0559	0,0558918			0,00
23	VSW 100	704778,2	40235,3	40235,3	0,0571	0,0570893			0,00
24	VSG 030	7471,0	1432,4	1432,4	0,1917	0,19173069			0,00
25	VSL 295	11070,0	1311,0	1311,0	0,1184	0,11842909			0,00
26	VSW 107	72839,0	10300,0	10300,0	0,1414	0,14140776			0,00
27	VST 931	38293,5	6520,0	6520,0	0,1703	0,17026439			0,00
28	VST 290	54878,0	7229,3	7229,3	0,1317	0,13173423	0,00		0,00
29	VSV 677	0,0	0,0			0			0,00
30	VSS 380	43723,0	7192,4	7192,4	0,1645	0,16449841			0,00
31	VSL 216	50309,0	5636,6	5636,6	0,1120	0,11203977			0,00
32	VST 932	50066,0	6108,9	6108,9	0,1220	0,1220169			0,00
33	VSS 391	0,0	0,0			0			0,00
34	VSW 167	163605,0	21268,5	21268,5	0,1300	0,12999919			0,00
35	VST 944	8381,0	1472,6	1472,6	0,1757	0,17570218			0,00
36	VSW 119	90544,0	5587,7	5587,7	0,0617	0,0617121			0,00
37	B014932	1680,0	490,0	490,0	0,2917	0,29166667	0,00		0,00
		<b>12850784,4</b>	<b>590686,1</b>	<b>590686,1</b>				<b>0,00</b>	<b>0,00</b>

Consumo de diesel por transportación de carga.

AÑO 2013									
No	Equipos	Nivel de Actividad. Real horas	Consumo. Real ( lts)	Combustible que Debíó Consumir. ( Lts)	Indice consumo real km/L	Indice. Cons.Normado. Km/L	Diferencias en Consumo (litros).	% Desviacion del indice normado.	Desv. Abs.
1	VSE 188	49199	4457,89	4685,6	11,04	10,5	-227,73	-5,11	5,11
2	VSD 595	33720	3568,619	3948,5	9,45	8,54	-379,86	-10,64	10,64
3	VSE 948	25326	3579,511	3088,5	7,08	8,2	490,97	13,72	13,72
4	VSE 949	43522	5384,87	6112,6	8,08	7,12	-727,77	-13,52	13,52
5	VSG 396	22011	1705,955	1735,9	12,90	12,68	-29,93	-1,75	1,75
6	VSZ 837	54277	5241,753	5184,0	10,35	10,47	57,70	1,10	1,10
7	VSG 371	25331	2170	2319,7	11,67	10,92	-149,69	-6,90	6,90
8	VSG 569	29959	2733,35	2246,6	10,96	13,335	486,71	17,81	17,81
		283345	28841,948						0,00

Consumo de por área administrativa.

No	Equipos	Nivel de Actividad. Real Km	Consumo. Real ( lts)	Combustible que Debió Consumir. ( Lts)	Indice consumo real (Ton Km)/lts	Indice. Cons.Normado. Km/lts	Diferencias en Consumo (litros).	% Desviacion del indice normado.	Desv. Abs.
1	VTA 135	4842	383,0	371,9	12,64	13,02	11,11	2,90	2,90
2	VSG 090	41247	5229,2	5030,1	7,89	8,2	199,05	3,81	3,81
3	VTB 619	2801	70,0	400,1	40,01	7	-330,14	-471,63	
4	VSF 813	18922	2577,4	2522,9	7,34	7,5	54,48	2,11	2,11
5	VSL 213	41230	7631,3	7607,0	5,40	5,42	24,27	0,32	0,32
6	VSU 069	16523	2293,8	2272,8	7,20	7,27	21,09	0,92	0,92
7	VSL 425	25572	4844,0	4880,2	5,28	5,24	-36,15	-0,75	
8	VSZ 836	42564,9	5066,8	5067,2	8,40	8,4	-0,48	-0,01	0,01
9	VSL 216	14263,0	2666,0	2593,3	5,35	5,5	72,73	2,73	2,73
10	VST 932	2952,0	630,0	630,8	4,69	4,68	-0,77	-0,12	0,12
11	VSU 167	3713,0	1150,2	1197,7	3,23	3,1	-47,58	-4,14	4,14
12	VSW 759	1145,2	473,0	477,2	2,42	2,4	-4,17	-0,88	0,88
13	VSX 105	378,0	185,5	189,0	2,04	2	-3,50	-1,89	1,89
14	VSW 487	1514,5	680,9	658,5	2,22	2,3	22,39	3,29	3,29
15	VSW 468	1215,2	583,6	578,7	2,08	2,1	4,94	0,85	0,85
16	VSW 469	1288,0	828,2	536,7	1,56	2,4	291,53	35,20	
17	VSX 017	1274,9	779,5	579,5	1,64	2,2	200,00	25,66	
18	VSW 465	1032,3	531,4	448,8	1,94	2,3	82,60	15,54	
19	VSW 477	1712,0	788,2	778,2	2,17	2,2	10,00	1,27	1,27
20	VSW 467	2670,0	1114,0	1112,5	2,40	2,4	1,50	0,13	0,13
21	VSX 022	169,0	75,2	75,1	2,25	2,25	0,09	0,12	0,12
22	VSX 096	2695,6	1347,8	1347,8	2,00	2	0,02	0,00	0,00
23	VSW 771	836,0	418,0	418,0	2,00	2			0,00
24	VSV 759	251,0	104,9	104,6	2,39	2,4	0,32	0,30	0,30
25	VSW 760	1222,0	531,6	531,3	2,30	2,3	0,30	0,06	0,06
26	VSX 023	1091,3	442,0	441,8	2,47	2,47	0,20	0,04	0,04
27	VSW 769	2497,0	1208,0	1189,0	2,07	2,1	18,93	1,57	1,57
28	VSX 099	6445,0	2893,0	2890,1	2,23	2,23	2,88	0,10	0,10
29	VSX 100	260	130,0	130,0	2,00	2			0,00
30	VSG 030	24274,694	3395,9	3325,3	7,15	7,3	70,56	2,08	2,08
31	VSL 295	0	0,0			2,75		100,00	
32	VST 931	7139,9	2650,4	2577,6	2,69	2,77	72,82	2,75	2,75
33	VST 290	2327,17	930,5	887,2	2,50	2,623	43,29	4,65	4,65
34	VST 944	27031	4218,1	4402,4	6,41	6,14	-184,31	-4,37	4,37
35	VSS 380	1246	553,7	566,4	2,25	2,2	-12,68	-2,29	2,29
36	VSW 490	41	60,2	20,2	0,68	2,03	40,03	66,47	66,47
37	VSW 768	200	100	100,0	2,00	2			0,00
38	VSU 107	557	173	173,0	3,22	3,22	0,02	0,01	0,01
		<b>305143,6</b>	<b>57738,3</b>	<b>57112,9</b>					

Consumo de diésel por servicios.

