

INGENIERÍA BÁSICA Y DE DETALLE DE UNA CALDERA PIROTUBULAR PARA CALENTAMIENTO DE 5 GALONES DE AGUA POR MINUTO CON QUEMADOR PARA COMBUSTIBLE A DIESEL, PARA LA EMPRESA: SERVICIOS INDUSTRIALES INTEGRALES

Rosa Paredes Terán, Ing. Fernando Montenegro, Ing. Oswaldo Mariño

*Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica,
Escuela Politécnica del Ejército*

ivett27@hotmail.com

RESUMEN

Este proyecto de grado se basa en la Ingeniería Básica y de Detalle de una Caldera Piro-tubular para calentamiento de 5 galones de agua por minuto quemador para Combustible a Diesel, para obtener un estudio completo del desempeño del equipo, su rendimiento y seguridad; lo que se desea implementar es un nuevo modelo de fácil instalación y sea viable para los hogares, con lo de deja a un lado los sistemas comunes que como calefones o calentadores eléctricos.

1. ANTECEDENTES

El proyecto se basa en la Ingeniería Básica y de Detalle de una Caldera Piro-tubular para calentamiento de 5 galones de agua por minuto quemador

para Combustible a Diesel, para obtener un estudio completo del desempeño del equipo, su rendimiento y seguridad; con el fin de dar una solución más rentable para la producción de energía debido a la situación actual del país.

2. OBJETIVO

2.1. OBJETIVO GENERAL

- Desarrollar la ingeniería básica y de detalle de un sistema cerrado Piro-tubular para calentamiento de agua de 5 galones de agua por minuto con un quemador a combustible a diesel, evaluando algunos parámetros como su eficiencia y su factibilidad de construcción

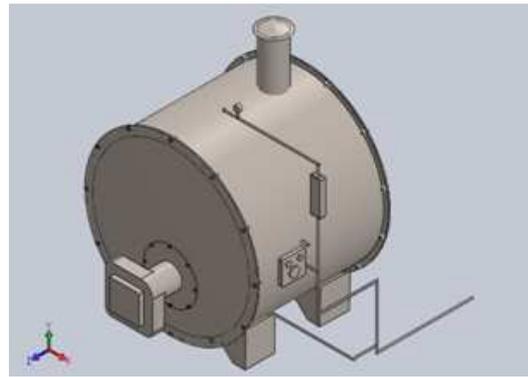
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar los diferentes sistemas de calentamiento de agua, calderas, quemadores, materiales e instrumentación que se utiliza actual.
- Realizar el diseño de la caldera, mediante los cálculos del diseño de estructura, del térmico y el sistema de alimentación de agua.
- Realizar la evaluación energética, mediante la medición de consumo de combustible, de agua y determinar la eficiencia de la caldera.

3. CALDERA

Como en el país la demanda de la energía continúa subiendo, los generadores de vapor crecen en importancia como un medio de transformación de energía en los procesos industriales y de calentamiento de espacios.

A medida que pasa el tiempo los diseños de los generadores fueron evolucionando, aprovechando la energía colocando tubos dentro del recipiente.



4. DISEÑO DE LA CALDERA

4.1. DISEÑO TÉRMICO

El proyecto se enfoca en el desarrollo de un modelo que cumpla los siguientes especificaciones como: la distribución de la temperatura de los gases de combustión, eficiencia de operación de la caldera y temperatura de salida de los gases de combustión, capacidad y presión de operación de la caldera pirotubular que debe calentar 5 galones de agua por minuto con quemador a combustible a diesel.

Datos :

Temperatura de entrada del agua 15 °C

Temperatura de salida del agua 65 °C

Temperatura promedio 40°C

Se debe suministrar calor a esa agua a razón de

$$\dot{Q} = \dot{m}_{agua} \cdot c_p \cdot \Delta T$$

donde:

\dot{Q} Calor suministrado en KW

\dot{m}_{agua} Flujo de masa en kg/s

c_p Calor específico en $J/kg \cdot ^\circ C$

ΔT Variación de temperatura $^\circ C$

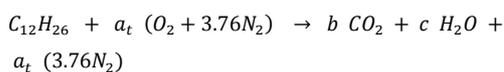
$$\dot{Q} = 65.297 \text{ KW}$$

4.2 ANÁLISIS DEL COMBUSTIBLE

Ecuación Estequiometría

La reacción química de la combustión, en la práctica los combustibles hidrocarburos se modelan así: C_xH_y . En este caso, el combustible que se utilizará en la caldera es el Diesel que tiene como fórmula química $C_{12}H_{26}$ (Dodecano).

La reacción del combustible en situación ideal, es decir, utilizar la mínima cantidad de aire que es el 100%, para oxidar todos los elementos del combustible.



Temperatura de la Flama Adiabática

Es la temperatura máxima que alcanza la flama al reaccionar el combustible con el comburente, siempre y cuando allí no

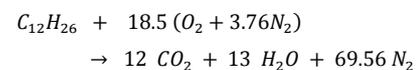
exista transferencia de calor hacia los alrededores y la combustión sea completa ($Q_{sist} = 0$).

Para poder determinar esta temperatura se considera un proceso de combustión de flujo permanente y en condiciones normales (temperatura del ambiente $25^\circ C$).

$$Q_{sist} = H_{Prod} \cdot H_{Reac}$$

$$H_{Prod} = H_{Reac}$$

La ecuación del proceso de combustión es



Los valores \bar{h}_f° y \bar{h}° de diversos componentes a $298^\circ K$, lo que produce es:

$$12 \bar{h}_{CO_2} + 13 \bar{h}_{H_2O} + 69.56 \bar{h}_{N_2} = 8419025.64 \text{ KJ}$$

Mediante un proceso iterativo y por interpolación la temperatura de flama adiabática es

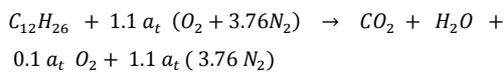
$$T_{prod} = 2413.6^\circ K$$

La temperatura real de combustión es

$$T_{comb} = 1569^\circ K$$

Combustión con exceso de aire.

Es la combustión que se lleva a cabo con una cantidad de aire superior a la estequiométrica. Esta combustión tiende a no producir inquemados. Es típica la presencia de O_2 en los humos. La combustión en la cámara tendrá un 10 por ciento de exceso de aire



Lo que produce es:

$$12 \bar{h}_{CO_2} + 13 \bar{h}_{H_2O} + 1.87 \bar{h}_{O_2} + 76.516 \bar{h}_{N_2} = 8495562.544$$

Tabla: Factores de cálculos exceso de aire

| Factores calculados | Respuestas obtenidas |
|------------------------------|---|
| Relación Aire - Combustible | $m_{aire} = 2811.87 \text{ kg}$ $m_{comb} = 170 \text{ kg}$ $AC = 16.5 \frac{\text{kg de aire}}{\text{kg de comb}}$ |
| Flujo másico del combustible | $\dot{m}_{comb} = 2.030 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$ |

| | |
|---------------------------------|--|
| Flujo másico del aire | $\dot{m}_{aire} = 0.0334 \text{ kg/s}$ |
| Temperatura de llama adiabática | $T_{prod} = 2265^\circ K$ |
| Temperatura real de combustión | $T_{comb} = 1472^\circ K$ |

La densidad del diesel es 0.805 kg/L y se hace las conversiones se puede transformar el valor del caudal másico a su equivalente en caudal volumétrico que da un valor de 2.2 GPH.

Para determinar la temperatura máxima de salida de los gases por la chimenea se asume la temperatura a $T_{S \text{ gases}} = 200^\circ C$

Temperatura de entrada del combustible
744 °C

Temperatura promedio de los gases
472 °C

Intercambiador de Calor

Se conoce que el calor necesario es

$$\dot{Q} = U_o \cdot A \cdot DMLT$$

Se determina la diferencia de la temperatura media logarítmica 380 °C

El coeficiente global de transferencia de calor es el valor menor posible, para de esta manera aprovechar al máximo el calor disponible en la cámara de combustión.

$$U_o = \frac{1}{\frac{1}{h_i \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_i \cdot L} + \frac{\ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)}{2 \cdot r_i \cdot L \cdot k_{tubo}} + \frac{1}{h_o \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_o \cdot L}}$$

Se utiliza tubo sin costura cédula 40 Acero ASTM- A53 de $1\frac{1}{2}$ "

Según el diseño de caldera se ubican los tubos los cuales comprenden de dos etapas. El primer paso son 13 tubos alrededor del hogar y el segundo paso son 42 tubos, distribuidos 21 tubos a cada lado.

Coefficiente de transferencia de calor por convección

Se debe determinar el valor de los coeficientes de transferencia de calor internos por convección (h_i), porque la transferencia de calor a través de un fluido es mucho mayor que por conducción. La transferencia de calor desde el tubo por unidad de longitud

$$h_i = 115,63 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Para determinar el coeficiente de transferencia de calor por convección externo (h_o), se calcula el área de a transferencia de calor desde el tubo por unidad de longitud

$$h_o = 98.9 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Se reemplaza en la ecuación y se obtiene:

$$U_o = 59.17 \frac{\text{KW}}{\text{m}^2 \text{C}}$$

4.3 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA

4.3.1 PRESIÓN ADMISIBLES DE LOS TUBOS

La presión interna que soporta la tubería está dada por la temperatura del fluido que recorrerá internamente por esta. De acuerdo a esta, se realiza el análisis mecánico correspondiente:

$$P_{i_tubo} = 4 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} = 56.89 \text{ Psi}$$

Datos de la tubería:

Tubo sin costura cédula 40 Acero ASTM-A53 de $1\frac{1}{2}$ "

Se calcula la Presión de Diseño:

$$P_{d_{tubo}} = P_{i_{tubo}} + 0.1 P_{i_{tubo}}$$

$$P_{d_{tubo}} = 62.58 \text{ Psi}$$

Presión máxima admisible

$$P_{max_t} = \frac{S \cdot E \cdot e_t}{r_e - 0.4 \cdot e_t}$$

$$P_{max_t} = 3.52 \times 10^3 \text{ Psi}$$

4.3.2 DIMENSIONADO DEL RECIPIENTE

Se debe tomar en cuenta el tipo de material y los esfuerzos a los que va a estar sometido durante el trabajo de la maquina, el acero que se va a utilizar es SA 516 Gr 70.

Se calcula el espesor del cuerpo para el caldero, dentro del cálculo del espesor del caldero, es la corrosión admisible, la

misma que de acuerdo con normativas puede variar, y dependerá del fluido interno de trabajo, y el medio al que se encuentra expuesto el recipiente.

$$t_c = \frac{P_d \cdot Re}{S \cdot E + 0.4 \cdot P_d} + CA$$

$$t_c = 0.242 \text{ in}$$

El espesor comercial es de 6 mm

Presión máxima admisible

$$P_{max} = \frac{S \cdot E \cdot t_c}{Re - 0.4 \cdot t_c}$$

$$P_{max} = 105.15 \text{ Psi}$$

Presión Hidrostática

$$P_h = 114.4 \text{ Psi}$$

5. FUNCIONAMIENTO Y OPERACIÓN

5.1 Funcionamiento

El combustible se prepara y quema en un quemador, en el que se mezcla el combustible con la cantidad precisa de aire y se impulsa dentro del hogar

mediante un ventilador. Cuando el combustible es líquido (gasóleo) es necesario pulverizarlo para conseguir la mezcla. Los combustibles gaseosos también deben mezclarse con el aire, aunque no es necesario pulverizarlos.

5.2 OPERACIONES PERIÓDICAS

- Limpieza y revisión del cartucho del filtro de gasoleo, y del filtro interno de la bomba
- Desmontaje, revisión y limpieza de la cabeza de combustión, durante el montaje
- Revisión electrodos de encendido y su correspondiente aislamiento cerámico, sin pieza inspección y si es necesario sustituir
- Verificación que la serie de termostatos den señal de funcionamiento al quemador.

6. NORMAS

Los Códigos para calderas y tanques de presión, contenidos en “ASME Boiler and Pressure Vessel Code”, obliga a tener en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Presiones máximas de diseño de operación.
2. Fórmulas de diseño y métodos de computación incluyendo esfuerzos de trabajo permitidos, resistencia de los

materiales, y espesor mínimo de los tubos y placas de metal.

3. Especificación de construcción incluyendo: sección de material, técnicas de formación y fabricación, soldadura por fusión o remache.

7. ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO

7.1 ANÁLISIS ECONÓMICO

El análisis económico determina los costos totales en que incurrirá el proyecto categorizando los costos directos e indirectos.

Por tanto se determina los ingresos y egresos que tiene el proyecto, dando así alternativas para determinar si el proyecto es factible y rentable.

Resumen de Costos

| | | |
|------|-----------------------|---------|
| 1.1. | COSTOS DIRECTOS | 8490,80 |
| 1.2. | COSTOS INDIRECTOS | 55,25 |
| 1.3. | COSTOS ESPECIALIZADOS | 300,00 |
| | COSTOS D+I+E | 8846,05 |
| | Imprevistos 5% | 442,30 |
| | COSTO TOTAL | 9288,35 |

7.2 ANALISIS FINANCIERO

Para el Análisis Financiero del presente proyecto, se utilizara dos de las principales herramientas para la Evaluación Financiera de Proyectos, que son el Valor Actual Neto (VAN) y de la Tasa Interna de Retorno, los cuales nos ayudaran a tomar decisiones de aceptación o rechazo y perspectiva del proyecto en términos financieros.

Tabla: Indicadores

| | |
|------------------|-------|
| INFLACION | 5,41% |
| VAN | 25,12 |
| TIR | 1,57% |

7.3 DEPRECIACIÓN

El porcentaje anual de depreciación de una caldera y accesorios es del 5% y su tiempo de útil de trabajo es de 10 años con una adecuada mantenimiento y operación del equipo.

8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 CONCLUSIONES

- En base a los cálculos realizados y analizando la disponibilidad de

mercado se determina los equipos adecuados para el correcto funcionamiento de la caldera siempre y cuando se respete las indicaciones del fabricante.

- Este proyecto se puede realizar ya que en el mercado existen calderas similares, y cumple con normas de seguridad, que dentro los parámetros de fabricación según Normas.

8.2 RECOMENDACIONES

- Es necesario tener las normas tanto de construcción como de los equipos que se van a utilizar para el equipo, ya que esto da la seguridad de que funcione con normalidad
- Para un mayor tiempo de vida del sistema y por ende de todos los elementos de este, se recomienda seguir el manual de operación y mantenimiento.

9. BIBLIOGRAFÍA

- CENGEL, Y. y BOLES, M., “TERMODINÁMICA”, 6ta ed., Traducido del inglés por Virgilio González, McGRAW- Hill, México DF.
- INCROPERA F., “Fundamentos de la Transferencia de Calor”, Traducido

del inglés por Ricardo Cruz,
PRENTICE HALL, 4ta. ed., México.

- EUGENE F. MEGYESY, “The Pressure Vessel Handbook”, PRESSURE VESSEL PUBLISHING, INC., 12va. ed., USA.
- KOHAN ANTHONY L., “MANUAL DE CALDERAS”, Primera Edición, McGRAW- HILL, España
- MONTENEGRO, F., “Diseño de un Secador de madera utilizando un intercambiador de calor de flujo cruzado”, Tesis Ing. Mec. Quito, Escuela Politécnica del Ejército.
- HERRERA, M, Selección de Equipos y Diseño del Sistema para Calentamiento de Agua en un Hotel Cinco Estrellas, Tesis Ing. Mec , Guayaquil, ESPOL.
- LATRE, Francisco, Manual DISEÑO DE CALDERAS PIROTUBULARES, España.