

***TITULO:***

**“ CALCULO Y DISEÑO DE UN CONDENSADOR DE  
BANCO DE TUBOS Y FLUJO CRUZADO PARA UNA  
PLANTA DE PRODUCCION DE GASOLINA  
NATURAL ”**

**AUTORES:**

Kedy Francis Quinde<sup>1</sup>, Ing. Marco Pazmiño.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ingeniero Mecánico de Termofluidos 2001

<sup>2</sup>Master en Ciencias 1974

<sup>2</sup>Director de Tesis, Ingeniero Mecánico de Termofluidos, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Postgrado EEUU, University of New Hampshire. 1974. Profesor de ESPOL desde 1974

-----  
KEDY FRANCIS

-----  
ING. MARCO PAZMIÑO

## RESUMEN

El presente trabajo consiste en el cálculo y diseño de un condensador de banco de tubos aleteados de flujo cruzado para la planta de producción de gasolina natural ubicada en los Yacimientos Petrolíferos del Campo Ing. Gustavo Galindo Velasco en la Península de Santa Elena.

Este trabajo consistirá en el cálculo de transferencia de calor para determinar las dimensiones físicas del condensador, las condiciones bajo las cuales se deberá realizar el montaje y el costo que representa incluyendo el tiempo requerido para la recuperación de la inversión

## INTRODUCCION

El trabajo tiene como objeto el cálculo y diseño de las partes constituyentes de un condensador de banco de tubos y flujo cruzado utilizado como parte de una planta de producción de gasolina natural.

Se la denomina gasolina natural ya que se le obtiene a partir del gas natural, mediante la recuperación de hidrocarburos que contiene dicho gas, como son  $C_5H_{12}$ ,  $C_6H_{14}$ ,  $C_7H_{16}$ ,  $C_8H_{18}$ ,  $C_9H_{20}$ ,  $C_{10}H_{22}$ , y otros. Los cuales según análisis realizados se encuentran en la gasolina natural en las siguientes proporciones:  $C_5$  -8.5%,  $C_6$  -16%,  $C_7$  -13.6%,  $C_8$  -20.5%,  $C_9$  -8.8%,  $C_{10}$  -3.2%, y otros en un 29.4%.

Actualmente el condensador de la planta de gasolina consta de tres bancos de tubos, el primer banco de tubos cumple el proceso de condensar la

gasolina que sale de la torre de destilación desde una temperatura de 200°F a 110°F, el segundo condensa un remanente de una mezcla líquido - vapor proveniente del tanque de reflujo desde 135°F hasta 110°F, y el tercer banco de tubos es utilizado para enfriar el aceite pobre producto de la destilación llevándolo desde 170°F hasta 100°F.

Debido a muchos factores como son: la corrosión, variaciones de presión, gradientes térmicos etc., el primer banco de tubos ha sobrepasado su vida útil de manera que su deterioro ha producido una gran reducción en la producción.

La importancia del diseño del condensador consiste en obtener la temperatura deseada en el menor espacio físico posible, lo que equivaldrá a utilizar una menor cantidad de material. Cabe indicar que para este diseño se ha tratado de utilizar la mayor cantidad de material ya existente en la empresa, de manera, que solo sea necesario comprar aquellos equipos y materiales cuyo uso sea imprescindible.

# CONTENIDO

## PROPIEDADES DE LA GASOLINA NATURAL

La gasolina es una mezcla de hidrocarburos, que destila entre los 30 y 200°C a la presión atmosférica y está constituida por hidrocarburos comprendidos entre C5 y C12 exclusivamente y pueden ser parafinas, oleofinas, naftenos y algunos aromáticos, que sirven como combustible en motores de combustión interna por encendido con chispa, teniendo un octanaje mínimo de 64.

## CARACTERISTICAS DEL CONDENSADOR

- *Tubos horizontales / aire ascendente vertical*

Los tubos por los cuales va a pasar el vapor estarán en posición horizontal sobre los ventiladores los cuales van a impulsar el aire en forma vertical ascendente a gran velocidad.

- *Aleta en L*

Tiene un “pie” en su base y se enrolla tensado sobre tubo de material moleteado.

La base en forma de L logra una gran área de contacto entre el tubo y la aleta, asegurando una transferencia de calor durable y efectiva, esta aleta se recomienda cuando los tubos y la aleta son del mismo material.

- *Cabezal de aluminio y de construcción soldada.*

El cabezal al igual que los tubos es fabricado de una aleación de aluminio y sus uniones estarán soldadas

- *Marcos de acero galvanizado estándar*

Este marco debe ser resistente y es construido por uniones soldadas o empernadas, este marco deberá ser tratado superficialmente (galvanizado , pintado, etc. ) para prevenir la corrosión, ya que esta expuesta al paso de un flujo de aire que en ciertos meses del año se encuentra altamente saturado.

- *Accesorios*

Los accesorios utilizados corresponden a los tramos de tubería que deberán añadirse además de los instrumentos de medición que se utilizarán para llevar un control detallado del funcionamiento del condensador

## **CAPACIDAD DEL VENTILADOR**

Para efectos de seleccionar el ventilador adecuado para el flujo que se necesita en el condensador a diseñar es necesario indicar que de dicho ventilador utilizaremos únicamente el 50 % de su flujo, es decir que en caso de requerir un ventilador individual su capacidad será aproximadamente menor en un 50%, con esto podemos proceder al cálculo del flujo de aire Gs de la siguiente manera.

1. Conocer el valor de la densidad y con ello la temperatura con que sale el aire.
2. Con este valor de temperatura, obtenemos la relación de densidad RDA

$$RDA = \rho_s / \rho$$

Donde  $\rho_s$  = densidad estándar = 0.075 lb/pie<sup>3</sup>

3. Para determinar el  $G_s$  (lb/h) de aire, se multiplica los PCM obtenidos por su densidad  $\rho$  a la temperatura de operación, es decir

$$G_s = PCM / \rho$$

Con este valor y utilizando una tabla de datos de ventiladores en función de  $G_s$  obtuvimos:

Diámetro del ventilador	12 pies
PCM	31000
Numero de aletas	6
Potencia del motor en HP	3.5 hp
RPM del motor	1765

Como solo dispondremos del 50% del flujo del ventilador el valor de los PCM será de 15500.

$$G_s = PCM \times \rho$$

$$G_s = 15500 \times 0.0735$$

$$G_s = 68355 \text{ lb/h}$$

Para efectos de cálculo asumiremos Gs como 50000 lb/h debido a las pérdidas que pudieren producirse.

**Tabla I : CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO DEL  
CONDENSADOR**

	Perspectivas de producción
Temperatura de entrada	200°F
Temperatura de salida	110°F
Presión de entrada	55 Psig
Presión de salida	50 Psig
Flujo de vapor a la entrada	1366.14 lb/h
Flujo de líquido a la entrada	0
Flujo de vapor a la salida	120 Lb/hr
Flujo de líquido a la salida	1166.14 Lb/hr
Gravedad específica	0.625
Vapor de agua entrada	56 Lb/hr
Vapor de agua salida	7.1 Lb/hr
Agua condensada	48.9 Lb/hr

### **METODOLOGIA DE CALCULO DEL CONDENSADOR**

Todas las ecuaciones desarrolladas previamente se combinarán para bosquejar la solución del condensador. Los cálculos consisten simplemente en computar  $h_o$  y  $h_i$  para obtener U. Permitiendo una razonable resistencia de obstrucción, se calcula un valor de  $U_d$  a partir del cual se puede encontrar la superficie usando la ecuación de Fourier  $Q = U_D A \Delta t$

De ordinario el primer problema es determinar el flujo que irá en el tubo. En el bosquejo siguiente, las temperaturas de flujo caliente y frío se representan con letras mayúsculas y minúsculas, respectivamente. Todas las propiedades de los fluidos se indican por la letra minúscula para eliminar la necesidad de una nueva nomenclatura.

Condiciones de proceso requeridas:

Fluido caliente:  $T_1, T_2, W, c, s$  o  $\rho, \mu, k, \Delta P, R_{do}$  o  $R_{di}$

Fluido Frío:  $t_1, t_2, W, c, s$  o  $\rho, \mu, k, \Delta P, R_{di}$  o  $R_{do}$

El diámetro de los tubos será dado o supuesto en base a lo existentes en el mercado.

El orden de cálculo conveniente es el siguiente:

1. Determinar la cantidad de calor a ser extraída
2. De  $T_1, T_2, t_1, t_2$ , compruebe el balance de calor,  $Q$ , Las pérdidas por radiación de los intercambiadores usualmente son insignificantes comparadas con la carga térmica transferida en el intercambiador.
3. MLTD, para flujo cruzado.
4. Para la determinación de  $\Delta t$  es necesario multiplicar el MLTD Por un factor de corrección  $F_T$  indicado. Si ninguno de los líquidos es muy viscoso en la terminal fría, digamos no más de 1.0 centipoise,  $\phi = (\mu/\mu_w)^{0.14}$  puede tomarse como 1.0.



### **Fluido exterior (aire)**

5. Area de flujo  $a_a$
6. Diámetro equivalente  $D_e$
7. Velocidad de masa  $G_a$
8. Obtener  $\mu$
9. Número de Reynolds  $Re_a$
10. Obténgase  $J_h$
11. Obtener  $k$
12. Coeficiente de transferencia de calor  $h_f$  ( $\phi = 1$ )
13. Coeficiente de transferencia de calor del lado de la aleta de tubería o tubo corregido para el factor de obstrucción.  $h'_f$ .
14. Obtener la conductividad térmica del Aluminio
15. determinación de  $h'_{fi}$  que representa la corrección de  $h'_f$  corregido a la superficie interior del tubo

### **Fluido interior (gasolina natural)**

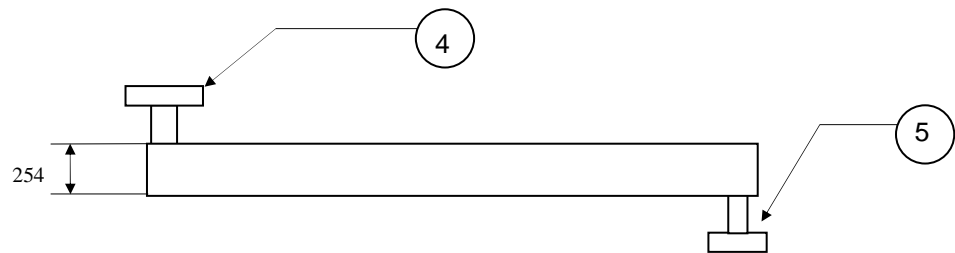
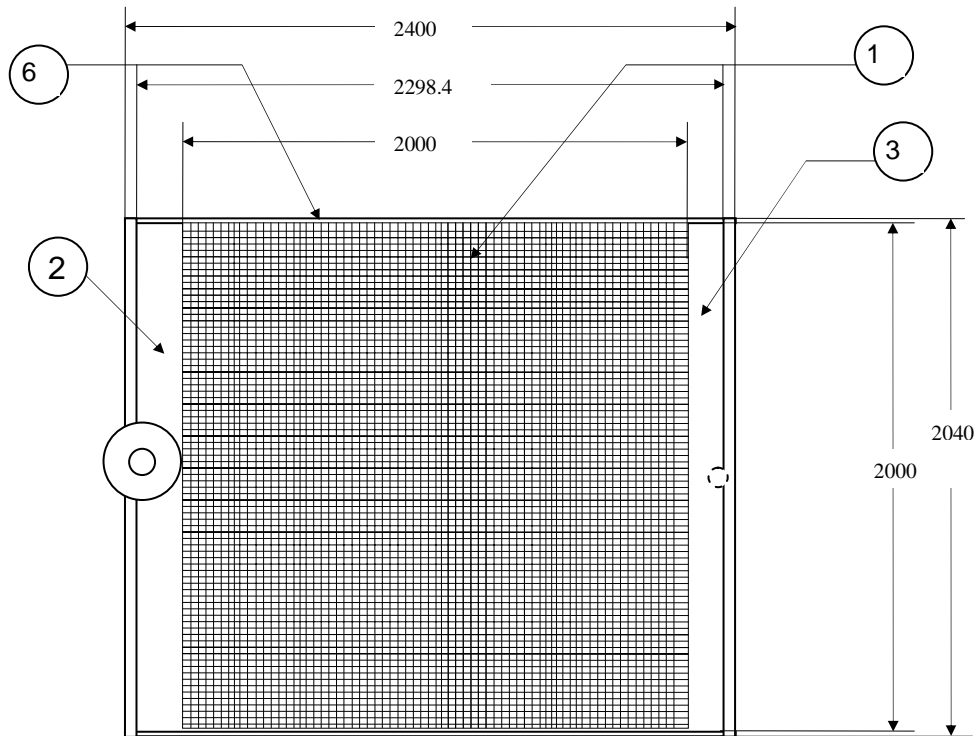
16. Area de flujo  $a_p$  cada banco llevara toda la gasolina
17. Velocidad de masa  $G_p$
18. Velocidad de flujo
19. Obtener  $\mu$
20. Número de Reynolds  $Re_p$
21. Obténgase  $J_h$
22. Obtener  $k$

23. Coeficiente de transferencia de calor  $h_i$
24. Coeficiente de transferencia al referirse al diámetro exterior del tubo  $h_{i0}$ .
25. Coeficiente total de diseño  $U_D$
26. Superficie interior total de los tubos  $A_i$
27. Superficie interior por banco.
28. Número de bancos de tubos del condensador
29. Determinación de las dimensiones del condensador

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- En base a los cálculos realizados, el condensador tendrá las siguientes características
  - Dimensiones 2 x 2 x 0.25 metros
  - Numero de bancos  $N = 3$
  - Flujo de aire  $G_s = 50000$  lb/h
  - Numero de tubos  $N_t = 34$  por banco
- El aire utilizado como elemento refrigerante permite una rápida transferencia de calor y su costo lo representa simplemente el consumo energético del ventilador utilizado para movilizar el flujo de aire requerido, claro esta que se encuentra restringido por la temperatura ambiente.
- No existe mecanismo capaz de considerar todas las variables para la optimización de un condensador pero el mecanismo que hemos utilizado es de gran utilidad para diseño de condensadores con un óptimo rendimiento.
- El calculo de la eficiencia es:  $e = (T_1 - T_2) / (T_1 - t_1) = (200^\circ\text{F} - 110^\circ\text{F}) / (200^\circ\text{F} - 80^\circ\text{F}) = 0.75$  que, de por si es un valor lo bastante alto y puede considerarse como una de las ventajas de este condensador





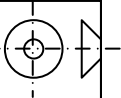
#	Denominación	Cant.	Material
1	Tubos aleteados	102	Aluminio
2	Cabezal de entrada	1	Acero
3	Cabezal de salida	1	Acero
4	Brida de entrada	1	Acero
5	Brida de salida	1	Acero
6	Marco	1	Acero Galvanizado

**FACULTAD DE INGENIERIA EN MECANICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN**

	FECHA	NOMBRE	CONDENSADOR	Escala 1:30
Dib.	10/11/00	K.FRANCIS		
Rev.	10/12/00	M.PAZMIÑO		
Apro.	12/12/00	M.PAZMIÑO		

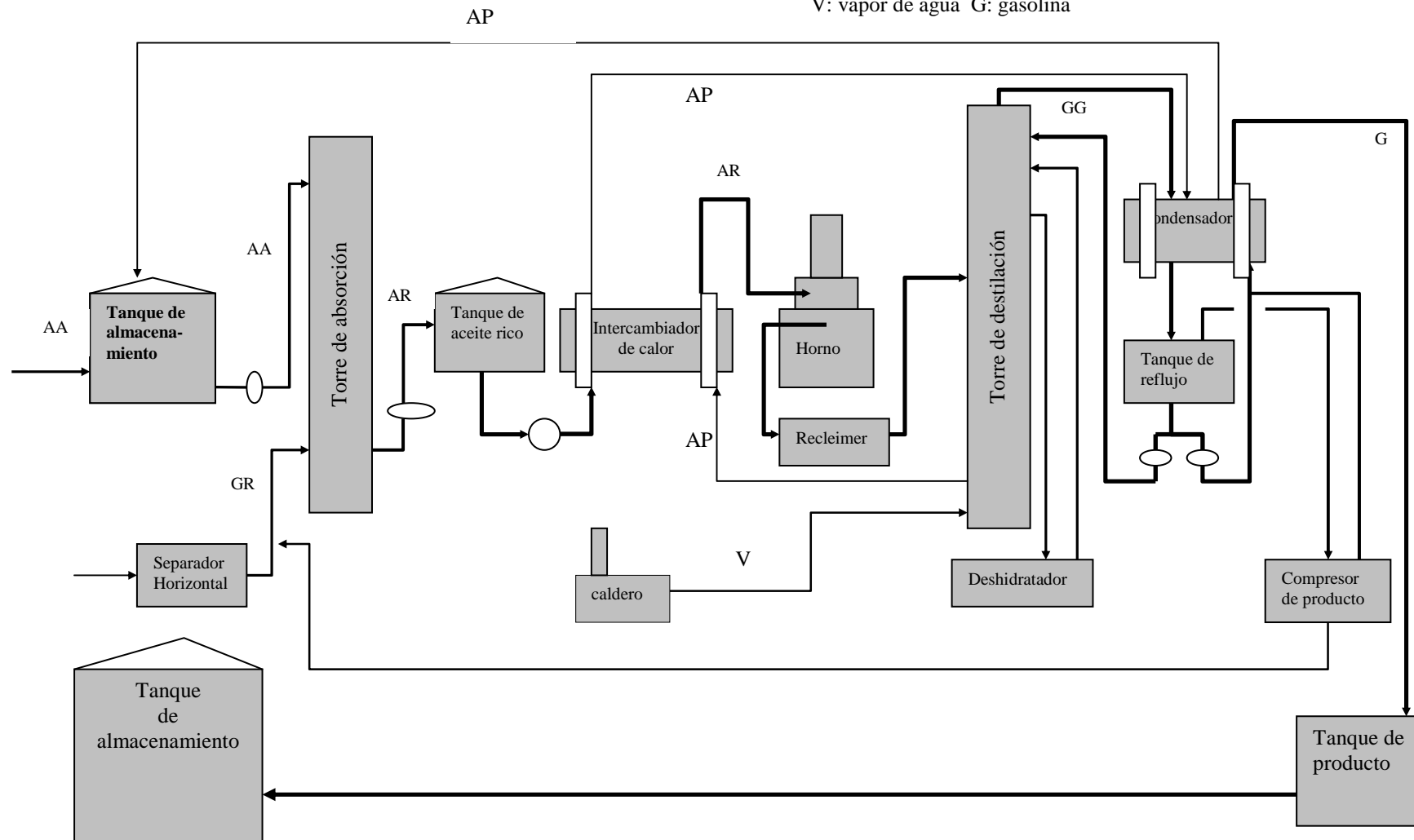
ESPOL

Plano n°: 1



## Diagrama de la planta de gasolina

AP: Aceite pobre AR: Aceite rico AA: Aceite absorbedor  
GG: Gasolina en forma de vapor GR: gas rico GP: Gas pobre  
V: vapor de agua G: gasolina



## REFERENCIAS

1. KEDY FRANCIS. "Cálculo y diseño de un condensador de banco de tubos y flujo cruzado para una planta de producción de gasolina natural". (Tesis, Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2001).
2. DONALD KERN, editor, McGraw-Hill. "Procesos de transferencia de calor", (Book Company, inc., 1942)
3. AMSTRONG, "Serpentines del serie 6000", Catálogo AH-315
4. INEN . Código de dibujo técnico mecánico
5. Alfredo Díaz y Víctor Aguilera .Editor, McGraw-Hill, "Matemáticas Financieras". ( marzo 1996).
6. ALI CARDENAS. "Diseño de un sistema de enfriamiento de aceite térmico para la elaboración de grasas". ( Tesis, Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción, ESPOL, 1999).