

"CALCULO SIMPLIFICADO DE LOS COEFICIENTES PROBABLES DE TRANSMISION DE CALOR POR RADIACION EN UN HORNO DE CRISOL PARA EVAPORAR Y FUNDIR SOSA CAUSTICA".

T E S I S

que presenta :

FEDERICO LOPERENA GUERRERO HECHT

en su

Examen Profesional
para obtener el titulo de
INGENIERO QUIMICO.

E. N. C. Q.

U. N. A. M.

1 9 5 5 .



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

D

A MI MADRE :

Como una pequeña muestra de gratitud,
por sus desvelos y penas que ha sufrido
por mi.

A MI PADRE Y

A MI HERMANO GUILLERMO.

A MI "E S C U E L A"

A MIS MAESTROS

A MIS CONDISCIPULOS Y

A MIS COMPAÑEROS.

AGRADEZCO SU AYUDA AL
SR. ROBERTO CARRERA ZAPATA,
POR EL INTERES TOMADO EN ESTE TRABAJO.

C A P I T U L O S .

- I.- INTRODUCCION.-
- II.- BREVE DESCRIPCION DEL HORNO.-
- III.- CALCULOS.-
 - A.- DEL COMBUSTIBLE.-
 - B.- DEL HORNO.-
- IV.- BALANCE DE CALOR.-
- V.- BIBLIOGRAFIA.-

CAPITULO I.

INTRODUCCION.-

En los procedimientos utilizados para la obtención de soda cáustica se llega a un punto, sea cual fuere el procedimiento, de hacer la concentración de soluciones ya sea por evaporación, en evaporadores calentados con vapor, en recipientes abiertos o al vacío; en ambos casos, hasta una concentración del 40 al 50 %, y raras veces hasta 75 %, (10,11), o por pulverización; o bien evaporación preliminar del agua y fusión posterior de la NaOH.

Este último procedimiento se lleva a cabo en hornos de crisol, donde se puede obtener NaOH en lentejas o escamas, que no es factible realizar por otros procedimientos debido a la alta temperatura necesaria para llevar a cabo la fusión, además de la corrosión de la NaOH sobre el metal.

La presente tesis trata del cálculo de los coeficientes locales de transmisión de calor probables, principalmente el de radiación que predomina sobre los otros, en la forma más sencilla posible, sin llegar al cálculo de estos coeficientes de radiación mediante factores de "proyección" o de "vista", de uso más complicado y complejo, aplicado a un modelo presentado por González del Tánago J. (5), tratando de mejorar y simplificar el modelo original, conservando en lo posible las características esenciales.

CAPITULO II.

DESCRIPCION DEL HORNO.-

Este horno o caldero de fusión consta de un crisol o caldero de fierro de paredes de 0.075 m de grueso, con su tapa de fierro y aislado con magnesia, con sus respectivos tubos de entrada para la solución y salida del vapor expulsado y canal de descarga de la NaOH fundida. El crisol está rodeado de un espacio por donde circulan los gases de combustión, antes de pasar a la chimenea. Está sostenido por dos muros paralelos, que son la prolongación de las paredes del hogar. A 90° de ambos lados la pared no es utilizada para sostener el crisol. Directamente abajo del crisol se encuentra el hogar del horno y entre éste y la parte inferior del crisol hay un ensanchamiento donde se desarrolla la flama que pasa lamiendo la parte inferior del crisol.

El hogar, de paredes refractarias está rodeado por las partes trasera, frontal, una lateral y el piso por "camas" de aire, con el objeto de precalentarlo y disminuir la pérdida de calor al exterior. Al lado izquierdo se encuentra una pequeña cámara con su respectiva puerta, con un orificio al centro para mira o colocación del pirómetro y además para la limpieza y encendido del horno.

La flama se desarrolla en el hogar del horno; el aire que se precalienta en las "camas" se mezcla en la tobera, reuniéndose con los primeros productos de combustión que salen del quemador, la flama se dirige hacia la parte superior del

hogar, pasando al ensanchamiento, lamiendo la parte inferior del crisol y luego a los lados de éste; los gases de combustión pasan a un canal que comunica a la chimenea por la parte inferior, es decir hacen un recorrido a contracorriente - con el sentido de la flama; saliendo de la chimenea los gases de combustión a la atmósfera.

CAPITULO III.

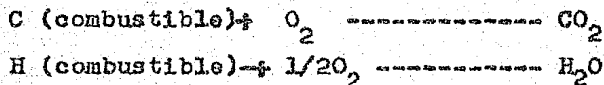
CALCULOS.-

A.- Combustibles.-

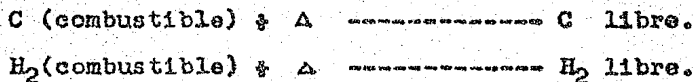
Primeramente se hará un bosquejo de lo que se entiende por combustible, el tipo de combustible, y el concepto de llama luminosa.

Los combustibles son las sustancias formadas principalmente de C, H y O, que reaccionan exotérmicamente en fase gaseosa, excepto en la combustión del carbono y algunos elementos; en el caso particular del petróleo, que es el utilizado en la presente tesis, se distinguen dos tipos de combustión:

1.- Combustión completa, con llama azul:



2.- Combustión incompleta, con llama amarillenta:



La flama debe ser luminosa con el objeto de tener una uniformidad de la temperatura e incrementar la radiación.

Las llamas luminosas se producen por restricción del aire, y al no encontrarse éste en la cantidad suficiente, los hidrocarburos a altas temperaturas se descomponen produciendo pequeñas partículas de carbón e hidrocarburos muy pesados, teniendo un tamaño inicial de 0.006 a 0.06 μ (7).

La luminosidad depende del tipo de hidrocarburos y del proceso de mezcla: aire- combustible; también de la rapidez -

con que se produce la combustión, además de otros factores -
(7).

1.- Composición del combustible:

El combustible utilizado en los cálculos es petróleo --
combustible de Petróleos Mexicanos, de las siguientes caracte-
rísticas:

° A.P.I.----- 18.8

Temperatura de ebullición 460°C.

Poder calorífico ----- 10556 Kcal/kg.

Viscosidad cinemática 50°C ----- 140 centistokes.

Composición aproximada:

C ----- 78.3%

H₂----- 13.4 %

O₂----- 5.4 %

S ----- 3.2 % (12)

Cálculo del aire teórico y con 20 % de exceso:

Base: 1 kg

C 0.0652 kg-mol

H₂..... 0.0670 kg-mol

O₂..... 0.001685 kg-mol

S 0.0010 kg-mol

Por un balance de oxígeno:

C 0.0652 kg-mol de CO₂

H₂..... 0.0335 kg-mol de H₂O

S 0.0010 kg-mol de SO₂

Total ----- 0.0997 kg-mol de O₂
- 0.0017 kg- mol de O₂ que se encuentra en el
----- combustible.
0.0980 kg-mol de O₂ teóricamente necesario.

Cantidad de aire teórico:

$$\frac{0.0980}{0.21} = 0.467 \text{ kg-mol de aire,}$$

más 20 % de exceso : 0.5705 kg-mol de aire.

Relación teórica aire-combustible 13.55

Relación aire- combustible (20%) 16.55

Composición de los productos de combustión, sin corregir por disociación del CO_2 y del H_2O , y por humedad del aire(4,6,9)

Composición en kg-mol		Composición en volúmen.	
CO_2	0.0652	10.71 %	
H_2O	0.0670	11.02 %	
SO_2	0.0010	0.16 %	
N_2	0.4529	74.91 %	
O_2	<u>0.0196</u>	<u>3.20 %</u>	
Total	0.6057	100.00 %	

Temperatura teórica de la flama, sin corregir, calculado de la capacidad Molal media calorífica y el poder calorífico: (6).

1800°C (2073°K).

Humedad del aire.- Tomando un valor arbitrario de 0.013 % - por el cambio continuo de condiciones, la cantidad total -- de aire es de 0.215 kg, que expresado en kg-mol es de - - - 0.01193 kg-mol (12).

De acuerdo con lo anterior el agua total es de: 0.0789 kg-mol; los gases de combustión, secos, expresados en -

mismas unidades: 0.5487.

Por lo tanto, su humedad molal = 0.144 . (6).

Cuyo punto de rocío = 12.2°C sin corregir por presión. Como la temperatura base se tomó de 15.8°C, para todos los cálculos, no hay condensación del agua. (6).

Composición en kg-mol		Composición en volúmen.	
(Corregidos por disociación)		(9).	
			%
CO ₂	0.06304	10.18	
CO	0.00217	0.35	
H ₂ O	0.07780	12.60	
SO ₂	0.00100	0.16	
N ₂	0.4529	73.10	
O ₂	0.02123	3.43	
N ₂	<u>0.001105</u>	<u>0.18</u>	
Total	0.619230	100.00	

Humedad Molal..... 0.144; el mismo punto de rocío (6)

2.- Cálculo de la temperatura teórica, corregida por disociación. La corrección por la humedad del aire no es necesaria, debido a que se condensa el agua abajo de la temperatura tomada como base.

Con el poder calorífico, corregido por disociación y utilizando las capacidades molales medias caloríficas de cada componente de los productos de combustión, se obtiene la temperatura teórica: (6)

Temperatura teórica 1702°C, obtenida de:

$5.962 T = 1729.54 = 10028.5$, despejando T, la cual da la temperatura teórica en grados Kelvin:

$$T = \frac{10028.5 + 1729.5}{5.9624} = 1975^{\circ}\text{K. Calculado a una temperatura base de } 15.8^{\circ}\text{C.}$$

Peso molecular de los gases $= 28.65$ (Calculado de la composición corregida).

B.- Cálculo del Horno.-

Para este cálculo se procedió a dividir el horno en cinco partes, con el objeto de obtener los coeficientes locales de transmisión de calor por radiación.

1.- Cálculo para el hogar del Horno.- El hogar se dividió en cinco partes, correspondiendo cada una de ellas a las caras.

a.- Determinación de la longitud de rayo de la radiación gaseosa; utilizando la ecuación 4-53 de (7).

$L^{\circ} = 4 V / A$; donde:

$L^{\circ} =$ longitud de rayo,

$V =$ Volumen del espacio gaseoso y

$A =$ área circundante (de las paredes) (4,7).

Las dimensiones son: 0.56 m, 0.56 m, por 1.310 m de altura media, entonces están en la proporción "a" X "a" X "2.37 a" substituyendo:

$$L^{\circ} = \frac{4 \cdot 2.37 a^3}{2 a^2 + 4(2.37 a^2)} = 0.825 a \text{ y de la ecuación de (4,7)}$$

$L' = 0.85 L^{\circ}$, substituyendo:

$L' = 0.85 (0.825) = 0.70$ como recomienda (4 y 7), en la tabla 4-2 (7) ó la tabla 42 (4) da la dimensión que debe multiplicarse para dar L, en este caso es 0.56 m efectuando operacio-

nes: $L = 0.70 \times 0.56 = 0.392$ m, para utilizar la gráfica de (7) hay que darlo en unidades inglesas, expresada ésta en ps., $L = 1.285$ ps. El producto de la presión parcial por la longitud de rayo es la corrección por composición del gas referente al contenido de CO_2 y H_2O . Con el valor de $P_g L$ en la gráfica 4-13 y 4-15, (7) corregidas con las gráficas - - 4-14 y 4-16 para una presión de 586 mm de Hg, los valores - - obtenidos son corregidos por la presencia de ambos mediante la gráfica 4-17 (7). Aplicando la ecuación 4-58 (7) con las emisividades de cada uno, obtenidas con las correcciones anteriores, se obtiene la emisividad del gas;

$$P_g L = 1.285 \times 0.1018 = 0.131$$

$$P_h L = 1.285 \times 0.1260 = 0.16225$$

De las gráficas correspondientes:

$$C_c = 0.042 \text{ a 1 atmósfera.}$$

$$C_h = 0.032 \quad " \quad "$$

$$C_c = 0.93 \text{ Corrección para 586 mm de Hg.}$$

$$C_h = 0.95 \quad " \quad " \quad "$$

$$A_c = 0.005$$

$$E_g = (0.042 \times 0.930) + (0.032 \times 0.95) - 0.005 = 0.0644.$$

El poder de absorción de los gases se calcula con las - mismas gráficas, corrigiendo el producto $P_g L$ por la relación de temperaturas de la superficie a la del gas; determinando con las gráficas 4-13 y 4-15 como si fueran emisividades, el valor obtenido se multiplica por la relación de temperaturas

absolutas de gas a superficie, elevada a una potencia de 0.65, para el anhídrido carbónico, y de 0.45 para el agua, corregido por el factor C correspondiente para una presión de 586 mm de Hg. El mismo factor de corrección, por la presencia de ambos, que se utilizó para las emisividades, se considera:

$$P_{cL}(T_1/T_g) = 0.131 \times (1064.5/3552) = 0.0606 \text{ ps-atm.}$$

$$P_{hL}(T_1/T_g) = 0.16225 \times (1064.5/3552) = 0.0753 \text{ ps-atm.}$$

$$\alpha_c = 0.061 \times (3552/1064.5)^{0.65} = 0.1002$$

$$\alpha_h = 0.0765 \times (3552/1064.5)^{0.45} = 0.1082$$

$$\alpha_g = (0.1002 \times 0.93) \div (0.1082 \times 0.95) - 0.005 = 0.191$$

Utilizando la ecuación 29 (4) ó la 4-57 (7)

$\sigma = 0.9$. Para las condiciones interiores del horno se considerarán como una buena aproximación. (4)

Substituyendo valores:

$$q/A = 0.171 \times 0.9 \left[0.0644 (3552/100)^4 - 0.191 (1064.5)^4 \right] = 15320 \text{ Btu/hr ps}^2$$

De la ecuación 1-4 (7) se despeja h_r , quedando:

$$h_r = \frac{q/A}{\Delta t} = \frac{15320}{3552-1064.5} = 6.18 \text{ h.t.u./hr ps}^2 \quad F \text{ ó } 30.2 \text{ Kcal/hr m}^2 \text{ C}$$

2.- Cálculo del ensanchamiento.

a.- Parte inferior.-

Esta sección se encuentra inmediatamente después del hogar. Es de forma de pirámide truncada. Para encontrar la longitud de

rayos:

$$V = V_1 - V_2$$

$$V_1 = \frac{1.160 \times 0.640 \times 0.420}{3} = 0.104 \text{ m}^3$$

$$V_2 = \frac{0.56 \times 0.56 \times 0.210}{3} = 0.022 \text{ m}^3$$

$$V_1 - V_2 = 0.104 - 0.022 = 0.082 \text{ m}^3$$

$$S = (0.56 \times 0.56) + (1.16 \times 0.64) + 2 \left(\frac{0.56 + 0.64}{2} \right) \times 0.39$$

$$+ 2 \left(\frac{1.16 + 0.56}{2} \right) \times 0.39$$

$$S = 2.1925 \text{ m}^2$$

$$I'' = \frac{4 \times 0.082}{S} = \frac{0.208}{2.1925} = 0.0949 \text{ m}$$

$$L' = 0.85 \times 0.0949 = 0.08055 \text{ m} \quad L' = 0.264 \text{ ps}$$

$$L = 0.264 \times 1.835 = 0.485 \text{ ps}$$

En la misma forma que en el paso anterior para el hogar, se determinan las emisividades:

$$P_{cL} = 0.485 \times 0.1018 = 0.0494$$

$$P_{hL} = 0.485 \times 0.1260 = 0.0611$$

$$\epsilon_c = 0.027$$

$$C_c = 0.935$$

$$\epsilon_h = 0.0125$$

$$C_h = 0.96$$

$$\Delta \epsilon = 0.0005$$

$$\epsilon_g = (0.02 \times 0.935) + (0.0125 \times 0.96) - 0.0005 = 0.03675$$

$$P_{cL}(T_1/T_g) = 0.0494 \times (1064.5/3552) = 0.02275$$

$$P_{hL}(T_1/T_g) = 0.0611 \times (1064.5/3552) = 0.0283$$

$$q_1 = 0.042 \times (3552/1064.5)^{0.65} \times (0.935) = 0.0644$$

$$q_2 = 0.040 \times (3552/1064.5)^{0.45} \times (0.96) = 0.0544$$

$$A_c = 0.0005$$

$$q_0 = 0.0644 + 0.0455 - 0.0005 = 0.1183$$

$$q/A = 0.171 \times 09 \left[0.03675 (35.52)^4 - 0.1183 (10.645)^4 \right] = 8740 \frac{\text{B.t.u.}}{\text{hr ps}^2}$$

$$h_1 = 8740 (3552-1064.5) = 3.51 \text{ B.t.u. / hr ps}^{20} \text{ F} = 17.15 \text{ Kcals/ hr m}^{20} \text{ C}$$

b.- Parte media.- De forma cilíndrica con un rectángulo ingcrito:

$$D_1 = 3.14 \times 1.80 = 5.65 \text{ m}$$

$$A_1 = (1.1045 \times 5.65) / 2 = 3.12 \text{ m}^2$$

$$D_2 = 3.14 \times 1.16 = 3.64 \text{ m}$$

$$A_2 = (0.717 \times 3.64) / 2 = 1.305 \text{ m}^2$$

$$A' = A_1 - A_2 = 3.12 - 1.305 = 1.3591 \text{ m}^2$$

$$A'' = (1/2) (0.22) (1.80 - 1.16) / 2 = 0.0352 ; 4A'' = 0.1408 \text{ m}^2$$

$$A''' = (0.56 + 0.64) / 2 (0.22) = 0.264 \text{ m}^2 ; 2A''' = 0.528 \text{ m}^2$$

$$A = 1.359 + 0.1408 + 0.528 = 2.0278 \text{ m}^2$$

$$V = V_1 - V_2 - V_3 = \frac{3.14 (1.80)^2 (0.64)}{4 \times 3} - \frac{3.14 (1.16)^2 (0.42)}{4 \times 3}$$

$$- (1.16 \times 0.64 \times 0.22) =$$

$$V = 0.231 \text{ m}^3 ; L^0 = 4 V/A \cdot L^0 = (4 \times 0.231) / 2.0278 = 0.456$$

$$L' = 0.85 \times 0.456 = 0.388 \text{ m} = 11.95 \text{ ps}$$

$$L = 0.388 \times 0.58 = 0.225 = 0.737 \text{ ps} ; (\text{por el radio como si fuera un semicilindro}).$$

$$P_c L = 0.0751 \quad \epsilon_c = 0.033 \quad C_c = 0.92$$

$$P_h L = 0.0930 \quad \epsilon_h = 0.019 \quad C_h = 0.95 \quad \Delta t = 0.0005$$

$$\epsilon_g = 0.0479$$

Poder de absorción:

$$P_c L (T_1/T_g) = 0.0348 \quad P_h L (T_1/T_g) = 0.0431$$

$$\alpha_c = 0.0732 \quad \alpha_h = 0.073 \quad \Delta \alpha = 0.0005$$

$$\alpha_g = 0.1457 \quad q/A = 11420 \text{ B.t.u./hr. } \text{ps}^2$$

$$h_r = 4.59 \text{ B.t.u./hr. } \text{ps}^2 \quad F = 22.4 \text{ Kcal/hr. m}^2$$

c.- Parte superior.- De forma cilíndrica con un rectángulo inscrito.

$$V = V_1 - V_2 = 0.0845 \text{ m}^3$$

$$V_1 = 0.785 \times (1.80)^2 \times 0.064 = 0.1625 \text{ m}^3; \quad V_2 = 1.80 \times 0.68 \times 0.064 = 0.078 \text{ m}^3$$

$$A = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 = 0.5414 \text{ m}^2$$

$$A_1 = 3.14 \times 1.80 \times 0.064 = 0.361 \text{ m}^2; \quad A_2 = 2 \times 0.32 \times 0.064 = 0.0410 \text{ m}^2$$

$$A_3 = 2 \times 0.24 \times 0.064 = 0.0307 \text{ m}^2; \quad A_4 = 2 \times 0.064 \times 0.68 = 0.0870 \text{ m}^2$$

$$A_5 = 0.34 \times 0.064 = 0.0217 \text{ m}^2$$

$$L^0 = (4 \times 0.045) / 0.5414 = 0.623; \quad L' = 0.85 \times 0.623 = 0.528$$

$$L = 0.528 \times 1.80 = 0.952 \text{ m}; \quad L = 3.135 \text{ ps.}$$

$$P_c L = 0.319; \quad \epsilon_c = 0.0605; \quad C_c = 0.945; \quad P_h L = 0.397$$

$$\epsilon_h = 0.064; \quad C_h = 0.955; \quad \Delta \epsilon = 0.031; \quad \epsilon_g = 0.087$$

Poder de absorción:

$$P_c L(T_1/T_g) = 0.1475 \quad ; \quad P_h L(T_1/T_g) = 0.184 \quad ; \quad \epsilon_g = 0.132$$

$$\alpha_{T_1} = 0.175 \quad ; \quad \Delta \alpha = 0.031 \quad ; \quad \alpha_{T_2} = 0.276 \quad ;$$

$$q/A = 20700 \text{ B.t.u./hr.ft}^2 \quad ; \quad h_T = 8.32 \text{ B.t.u./hr.ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$h_T = 40.55 \text{ kcal/hr.m}^2 \text{ } ^\circ\text{C.}$$

3.- Cálculo de la parte envolvente del crisol.- Esta parte es de forma cilíndrica, husca. Se divide en dos porciones: la inferior que no rodea totalmente al crisol; la superior rodea completamente al crisol.

a.- Parte inferior:

$$V = V_1 - V_2 - V_3 = 0.965 - 0.0103 - 0.799 = 0.1557 \text{ m}^3$$

$$V_1 = 0.785 \times 1.80 \times 1.80 \times 0.38 = 0.965 \text{ m}^3$$

$$V_2 = 0.34 \times 0.38 \times 0.08 = 0.0103 \text{ m}^3 \quad ; \quad V_3 = 0.78 \times 1.64 \times 1.64 \times 0.38 = 0.799$$

$$A = A_1 + A_2 + A_5 - A_3 - A_4 = 3.8998 \text{ m}^2$$

$$A_1 = 2.15 \text{ m}^2 \quad ; \quad A_2 = 1.96 \text{ m}^2 \quad ; \quad A_3 = 0.129 \text{ m}^2 \quad ; \quad A_4 = 0.142 \text{ m}^2$$

$$A_5 = 0.0608 \text{ m}^2 \quad ; \quad L^0 = 0.16 \text{ m} \quad ; \quad L' = 0.152 \text{ m} \quad ; \quad L = 0.01215 \text{ m} \\ = 0.4 \text{ ps}$$

$$P_c L = 0.04072 \quad ; \quad P_h L = 0.0504 \quad ; \quad \epsilon_g = 0.0212 \quad ; \quad C_c = 0.905$$

$$\epsilon_h = 0.0105 \quad ; \quad C_h = 0.95 \quad ; \quad \Delta \epsilon = 0.0005 \quad ; \quad \epsilon_g = 0.028675$$

Poder de absorción:

$$P_c L(T_1/T_g) = 0.01885 \quad ; \quad P_h L(T_1/T_g) = 0.02335 \quad ; \quad \alpha_g = 0.0572$$

$$\alpha_h = 0.0476 \quad ; \quad \Delta\alpha = 0.0005 \quad ; \quad \alpha_g = 0.1043$$

$$q/A = 6800 \text{ B.t.u./hr. ps}^2 \quad ; \quad h_p = 2.735 \text{ B.t.u./hr. ps}^2 \text{ F.}$$

$$h_x = 12.85 \text{ Kcal/hr m}^2 \text{ C.}$$

b.- Parte superior:

$$V = V_1 - V_2 = 0.23 \text{ m}^3 \quad ; \quad V_1 = 1.37 \text{ m}^3 \quad ; \quad V_2 = 1.14 \text{ m}^3$$

$$A = A_1 + A_2 + A_3 \quad ; \quad A_1 = 3.045 \text{ m}^2 \quad ; \quad A_2 = 2.775 \text{ m}^2 \quad ;$$

$$A_3 = 0.863 \text{ m}^2 \quad ; \quad A = 6.83$$

$$L^0 = 0.138 \text{ m} \quad ; \quad L^1 = 0.117 \text{ m} \quad ; \quad L = 0.0935 \text{ m} = 0.0307 \text{ ps.}$$

(la dimensión por la que debe multiplicarse L^e es la distancia entre las caras, que es 0.08 m)

$$P_c L = 0.00325 \quad ; \quad P_h L = 0.00387 \quad ; \quad \epsilon_g = 0.0043$$

$$C_c = 0.90 \quad ; \quad \epsilon_h = 0.0078 \quad ; \quad C_h = 0.94 \quad ; \quad \Delta\epsilon = 0.0002$$

$$\epsilon_g = 0.01101$$

Poder de absorción:

$$P_c L (T_1/T_g) = 0.001506 \quad ; \quad P_h L (T_1/T_g) = 0.001792 \quad ; \quad \alpha_g = 0.0114$$

$$\alpha_h = 0.00611 \quad ; \quad \Delta\alpha = 0.0002 \quad ; \quad \alpha_g = 0.01731$$

$$q/A = 2650 \text{ B.t.u./hr. ps}^2 \quad ; \quad h_p = 1.068 \text{ B.t.u./hr. ps}^2 \text{ F.}$$

$$h_3 = 5.21 \text{ Kcal/hr m}^2 \text{ C.}$$

4.- Cálculo del calor transmitido a través de las paredes.-

Para éste cálculo se utiliza la figura 51 (4), la ecuación 15 (4), dando un valor de $t = 5^\circ \text{C}$. El valor obtenido se divide entre estos 5°C para obtener un coeficiente de transmisión de calor por convección y poderlo utilizar en la ecuación 1-ld del (7). Así se obtienen las resistencias y se calcula -

con la gráfica 51 (4) las temperaturas exteriores, para poder calcular los coeficientes de radiación y convección de calor a la atmósfera ambiente por interpolación de los valores de la tabla 43 de (4), cuando se trata de ladrillo y la gráfica 50 cuando tenga una emisividad diferente, suponiendo que el aire se encuentre en reposo. En las capas de aire que rodean al hogar se procede como si fuera una serie de películas, multiplicando el coeficiente obtenido de la ecuación 15 (4) por su espesor, el valor inverso es la resistencia que se toma para aplicarla a la ecuación 1-1d (7). Resumiendo:

a.- Para la pared lateral derecha del hogar:

$$Q/A = \Delta t/R = 1684.2 / 4.9314 = 341 \text{ Kcal/hr.m}^2$$

b.- Para la pared trasera del hogar:

$$Q/A = \Delta t/R = 1684.2/7.2954 = 231 \text{ Kcal/hr. m}^2$$

c.- Para la cara lateral izquierda; se considera que los gases calientes llenan la sección (a) completamente. Véase figura del horno. Calculando como una cámara independiente:

1).- Para la puertas:

$$Q/A = \Delta t/rR = 1684.2/0.7399 = 2265 \text{ Kcal/hr.m}^2$$

2).- Para las paredes laterales:

a).- $Q/A = 1684.2/234 = 722 \text{ Kcal/hr.m}^2$

b).- $Q/A = 1684.2/1.5085 = 1120 \text{ Kcal/hr.m}^2$

c).- $Q/A = 1684.2/1.8047 = 933 \text{ Kcal/hr m}^2$

3).- Para el piso:

a).- $Q/A = 1602/2.04 = 788 \text{ Kcal/hr.m}^2$; como una regla --

práctica para pisos secos, la pérdida de calor es del 50% (12), .°.

$$Q/A = 394 \text{ Kcal/hr.m}^2.$$

b).- $Q/A = 2585/1.76 = 900 \text{ Kcal/hr.m}^2$. Por la misma causa anterior:

$$Q/A = 450 \text{ Kcal/hr.m}^2$$

d.- Para el piso del hogar:

$$Q/A = 1616/2.4468 = 662 \text{ Kcal/hr.m}^2$$
 . Por la misma razón:

$$Q/A = 331 \text{ Kcal/hr.m}^2$$

e.- Para la pared frontal del hogar:

1).-

$$Q/A = 1684.2/4.1394 = 409 \text{ Kcal/hr.m}^2$$

$$2).- Q/A = 1684.2 / 1.973 = 853 \text{ Kcal/hr.m}^2$$

$$3).- Q/A = 1684.2/0.7947 = 2120 \text{ Kcal/hr.m}^2$$

$$4).- Q/A = 1684.2/4.6992 = 358 \text{ Kcal/hr.m}^2$$

$$5).- Q/A = 1684.2/1.9817 = 849 \text{ Kcal/hr.m}^2$$

f.- Para el ensanchamiento.- Se considerará que no hay conducto que comunica a los gases a la chimenea, con el objeto de simplificar el cálculo:

1).- Parte inferior:

$$Q/A = 1684.2/2.05065 = 821 \text{ Kcal/hr. m}^2$$

2).- Parte media:- (Se despreciará la curvatura exterior para facilitar el cálculo).

$$Q/A = 1684.2/1.0288 = 1638 \text{ Kcal/hr.m}^2$$

$$b).- Q/A = 1684.2/1.172 = 1440 \text{ Kcal/hr.m}^2$$

3).- Parte superior.-

a).- $Q/A = 1684.2 / 1.1125 = 1513 \text{ Kcal/hr.m}^2$

b).- $Q/A = 1684.2 / 1.0329 = 1630 \text{ Kcal/hr.m}^2$

g.- Parte envolvente del crisol:

1).- $Q/A = 1684.2 / 1.039 = 1620 \text{ Kcal/hr.m}^2$

2).- $Q/A = 1684.2 / 1.1502 = 1460 \text{ Kcal/hr.m}^2$

3).- $Q/A = 1684.2 / 1.73 = 975 \text{ Kcal/hr.m}^2$ (Correspondiente a la cara superior que mira hacia arriba).

5.- Cálculo de las superficies para determinar las pérdidas de calor a través de las paredes.

a.- Para el hogar.- Por la forma de un paralelepípedo, se utiliza la corrección a las áreas, para las doce aristas y ocho esquinas sustituyendo en la ecuación 2-18a (1,7) los valores de X, Y, y A con los siguientes coeficientes: 0.54 para X Y y 1.2 para X^2 , debido a que todas las dimensiones interiores están dentro de 1/5 y el doble del espesor X de las paredes.

$A_m = A \div 0.54 X Y \div 1.2 X^2$; sustituyendo valores:

$$A = (0.56 \times 0.56 \times 2) \div (0.56 \times 0.72 \times 4) = 2.237 \text{ m}^2$$

$$X = 0.95 \text{ m}; \quad Y = 0.56 \div 0.56 \div 0.72 = 1.84 \text{ m.}$$

$$A_m = 2.237 \div (0.54 \times 0.95 \times 1.84) \div (1.2 \times 0.95 \times 0.95) = 4.262 \text{ m}^2$$

Para la mitad:

$$\frac{A_m}{2} = 2.131 \text{ m}^2; \quad A_m/16 = 0.53275 \text{ m}^2 \text{ de donde:}$$

$$A = 2.237 \text{ m}^2; \quad A_m = 4.262 \text{ m}^2 \text{ . .}$$

$$2.237 : 4.262 = 1 : x; \quad x = 1.905 \text{ m}^2$$

1).- Pared lateral derecha:

$$Am(A) = 0.347 \times 1.905 = 0.66 \text{ m}^2$$

2).- Pared trasera:

$$Am(B) = 0.347 \times 1.905 = 0.66 \text{ m}^2$$

3).- Pared lateral izquierda:

a).- Puertas:

$$Am(C_1) = 0.42 \times 0.51 \times 1.905 = 0.407 \text{ m}^2$$

b).- Paredes laterales:

$$Am(C_2) = 0.26 \times 0.41 \times 1.905 = 0.2025 \text{ m}^2$$

$$Am(C_3) = (0.46 \times 0.41 - 0.26 \times 0.41) \times 1.905 = 0.156 \text{ m}^2$$

$$Am(C_4) = 0.156 \text{ m}^2$$

c).- Pisos:

$$Am(C_5) = 0.27 \times 0.51 \times 1.905 = 0.262 \text{ m}^2$$

$$Am(C_6) = 0.15 \times 0.51 \times 1.905 = 0.1455 \text{ m}^2$$

4).- Piso del hogar:

$$Am(D) = 0.56 \times 0.56 \times 1.905 = 0.596 \text{ m}^2$$

5).- Pared Frontal:

$$Am(E) = \left(0.56 \times 0.64 - 0.785 \times \frac{0.35 - 0.29}{2.3 \log 0.35/0.29} \right. \\ \left. \times \frac{0.35 - 0.29}{2.3 \log 0.35/0.29} \right) \times 1.905$$

$$Am(E) = 0.67 \text{ m}^2$$

$$Am(F) = 0.56 \times 0.13 \times 1.905 = 0.1385 \text{ m}^2$$

$$Am(G) = 0.56 \times 0.13 \times 1.905 = 0.1385 \text{ m}^2$$

$$Am(H) = 0.56 \times 0.13 \times 1.905 = 0.1385 \text{ m}^2$$

$$Am(I) = 0.56 \times 0.13 \times 1.905 = 0.1385 \text{ m}^2$$

b.- Para el ensanchamiento.- Para esta sección no se utiliza la misma ecuación para corrección de aristas y esquinas.

1).- Parte superior,-- Para esta parte el area de transmisión de calor, por la forma, se utiliza la media logarítmica:

$$Am(2) = 0.21 \times 3.14 \times \left(\frac{0.58 - 0.28}{2.3 \log 0.58/0.28} \right) \times \left(\frac{0.58 - 0.28}{2.3 \log 0.58/0.28} \right) =$$

$$Am(2) = 0.113 \text{ m}^2$$

2).- Parte media.-- Esta sección consta de dos partes o secciones:

a).- De forma rectangular:

$$Am(3a) = 0.64 \times 0.22 \times 2 = 0.282 \text{ m}^2$$

b).- De la misma forma que la parte inferior, por lo tanto, el area es, la media logarítmica de los perímetros medios y logarítmicos por la altura:

$$Am(3b) = 0.21 \times \left(\frac{P_1 - P_2}{2.3 \log P_1/P_2} \right) \times Am(2)$$

$$P_1 = 3.14 \times 2.46 = 7.85 \text{ m}$$

$$P_2 = 3.14 \times 2 \times \left(\frac{0.90 - 0.58}{2.3 \log 0.90/0.58} \right) = 0.73 \times 2 \times 3.14 = 4.59 \text{ m}$$

$$Am(3b) = 0.21 \times \left(\frac{7.85 - 4.59}{2.3 \log 7.85/4.59} \right) \times 0.113 = 1.167 \text{ m}^2$$

3).- Parte superior.--

a).-

$$S = r A = \quad ; A = \frac{0.68}{1.64} = 0.415 \text{ (el mismo obtenido para --$$

calcular el coeficiente de radiación correspondiente).

$$r_m = \left(\frac{1.23 - 0.58}{2.3 \log 1.23/0.58} \right) = 0.865 \text{ m} ; S = 0.415 \times 0.865 = 0.359 \text{ m}$$

$$Am(4a) = 2S h = 2 \times 0.359 \times 0.07 = 0.05025 \text{ m}^2$$

b).-

$$Am(4b) = 3.14 \times \left(\frac{2.46 - 1.80}{2.3 \log 2.46/1.80} \right) \times 0.07 = 0.4675 \text{ m}^2$$

c.- Parte envolvente del crisol.-

1).- Parte inferior.-

$$Am(5a) = A_1 - A_2$$

$$A_1 = 3.14 \frac{(2.46 - 1.80)}{2.3 \log 2.46/1.80} = 6.68 \text{ m}^2$$

$$A_2 = 2.125 \times 0.415 = 0.882 \text{ m}^2 ; Am(5a) = 6.68 - 0.882 = 5.798 \text{ m}^2$$

2).- Parte superior.-

$$Am(5b) = 3.14 \times 2.125 \times 0.55 = 3.66 \text{ m}^2$$

3).- Parte superior, que "mira" hacia arriba al exterior.

$$Am(5c) = A_1 - A_2$$

$$A_1 = 0.785 \frac{(2.46 - 1.80)}{2.3 \log 2.46/1.80} \times \frac{(2.46 - 1.80)}{2.3 \log 2.46/1.80} = 3.55 \text{ m}^2$$

$$A_2 = 0.785 \times 1.65 \times 1.65 = 2.14 \text{ m}^2$$

$$Am(5c) = 3.55 - 2.14 = 1.41 \text{ m}^2$$

6.- Pérdidas de calor a través de las paredes del horno.

a.- Para el hogar.-

$$Q(A) = 0.66 \times 341 = 225.5 \text{ Kcals/hr.}$$

$$Q(B) = 0.66 \times 231 = 152.5 \text{ Kcals/hr.}$$

$$Q(C1) = 0.407 \times 2265 = 920 \text{ Kcals/hr.}$$

$$Q(C2) = 0.2025 \times 722 = 146.5 \text{ Kcals/hr.}$$

$$Q(C3) = 0.156 \times 1120 = 175.0 \text{ Kcals/hr.}$$

$$Q(C4) = 0.156 \times 933 = 145.5 \text{ Kcals/hr.}$$

$$Q(C5) = 0.262 \times 394 = 103.0 \text{ Kcals/hr.}$$

$$Q(C6) = 0.1455 \times 450 = 65.5 \text{ Kcals/hr.}$$

$$Q(D) = 0.596 \times 331 = 179.5 \text{ Kcals/hr.}$$

$$Q_{(E)} = 0.67 \times 409 = 274.0 \text{ Kcal/hr.}$$

$$Q_{(F)} = 0.1385 \times 853 = 118.0 \text{ Kcals/hr.}$$

$$Q_{(G)} = 0.1385 \times 2120 = 293.5 \text{ Kcals/hr.}$$

$$Q_{(H)} = 0.1385 \times 358 = 49.5 \text{ Kcals/hr.}$$

$$Q_{(I)} = 0.1385 \times 849 = 117.5 \text{ Kcals/hr.}$$

b.- Para el ensanchamiento y la sección envolvente del crisol.

$$Q_{(2)} = 0.113 \times 821 = 92.8 \text{ Kcals/hr.}$$

$$Q_{(3a)} = 0.282 \times 1638 = 461.5 \text{ Kcals/hr.}$$

$$Q_{(3b)} = 1.167 \times 1440 = 1680.0 \text{ Kcals/hr.}$$

$$Q_{(4a)} = 0.05025 \times 1513 = 76.0 \text{ Kcals/hr.}$$

$$Q_{(4b)} = 0.4675 \times 1630 = 761.0 \text{ Kcals/hr.}$$

$$Q_{(5a)} = 5.798 \times 1620 = 9360.0 \text{ Kcals/hr}$$

$$Q_{(5b)} = 3.66 \times 1460 = 5345.0 \text{ Kcals/hr}$$

$$Q_{(5c)} = 1.41 \times 975 = 1375.0 \text{ Kcals/hr.}$$

c.- Pérdida de calor total a través de las paredes del horno.

$$Q_{(T)} = 22116.8 \text{ Kcal/hr.}$$

d.- Temperaturas exteriores:

1).- Para el hogar.-

$$T_A = 80.2^\circ\text{C} \quad ; \quad T_B = 15.8^\circ\text{C} \quad ; \quad T_{C_1} = 221^\circ\text{C} \quad ; \quad T_{C_2} = 107.5^\circ\text{C}$$

$$T_{C_3} = 138^\circ\text{C} \quad ; \quad T_{C_4} = 116.5^\circ\text{C} \quad ; \quad T_{C_5} = 98^\circ\text{C} \quad ; \quad T_{C_6} = 115^\circ\text{C}$$

$$T_D = 84^\circ\text{C} \quad ; \quad T_E = 15.8^\circ\text{C} \quad ; \quad T_F = 106.5^\circ\text{C} \quad ; \quad T_G = 201^\circ\text{C}$$

$$T_H = 15.8^\circ\text{C} \quad ; \quad T_I = 107^\circ\text{C}$$

2).- Para el ensanchamiento y la sección envolvente del crisol.

$$T_2 = 104^\circ\text{C} \quad ; \quad T_{3a} = 176^\circ\text{C} \quad ; \quad T_{3b} = 172^\circ\text{C} \quad ; \quad T_{4a} = 167^\circ\text{C}$$

$$T_{4b} = 176^{\circ}\text{C} ; T_{5a} = 175^{\circ}\text{C} ; T_{5b} = 163.5^{\circ}\text{C} ; T_{5c} = 121^{\circ}\text{C}$$

Todas las temperaturas anteriores fueron calculadas a partir de la resistencia al calor y la temperatura interior del horno, mediante la gráfica 51 (4).

7.- Cálculo del calor transmitido a través del crisol.-

a.- Cálculo del coeficiente de película por el lado de la sosa caústica.-

Para este cálculo se tomaron los siguientes datos (8):

Coef. total de transmisión de calor ; Concentración de NaOH en %.

414 B.T.U./hr ps ² F	:	10
280 "	:	20
86 "	:	30
63 "	:	40
41 "	:	50

Trazando una gráfica con los valores anteriores: Logaritmo del coeficiente total de transmisión de calor, contra logaritmo de la concentración, se obtiene una recta (Véase gráfica adjunta); obteniendo la ecuación de la tabla de valores anteriores y aplicando la fórmula general 76 (6), basada en el principio de los cuadrados mínimos, se procede de la siguiente manera:

$$y = ax + b ; y = \log C ; x = \log U$$

$$nb + a x - y = 0 ; b x + a x^2 - yx = 0$$

LOGARITMICO
GRADUATO A BASE 10
DE 1 A 1000

358-110

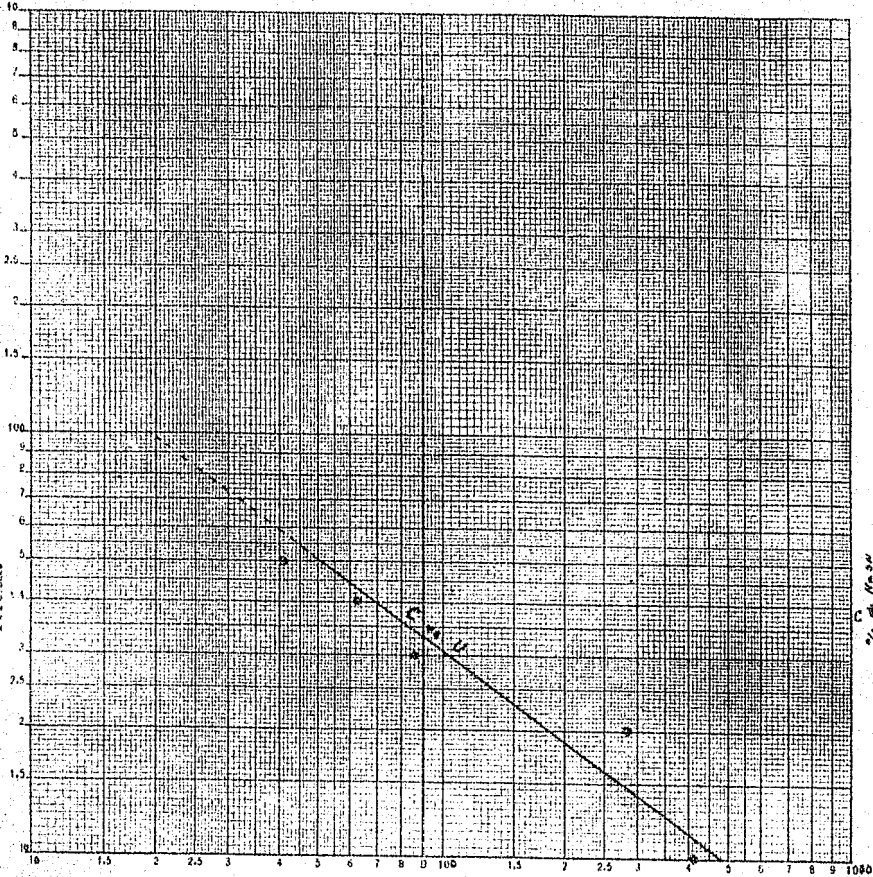


Gráfico 1

D.L. 1000

y	x	x ²	xy
1.000	2.616	6.84	2.616
1.301	2.446	5.97	3.175
1.477	2.935	3.745	2.855
1.602	1.799	3.235	2.800
1.699	1.6125	2.600	2.744

$$7.079 \quad ; \quad 10.4075 \quad ; \quad 22.390 \quad ; \quad 14.190$$

$$5b + 10.4075a - 7.079 = 0 \quad ; \quad 10.4075b + 22.39a - 14.19 = 0$$

$$b = 1.416 - 2.0815 a \quad ; \quad b = 1.365 - 2.1500a$$

$$b = 0.051 + 0.0685a$$

$$a = \frac{-0.051}{0.0685} = -0.7445 \quad ; \quad b = 1.416 + 2.0815 \times 0.7445 = 2.966$$

$$\log C = -0.7445 \log U + 2.966$$

$$\log U = \frac{-\log C + 2.966}{0.7445}$$

Por extrapolación o por la ecuación anterior para una concentración 100 %, se obtiene un coeficiente total de calor $U = 19.2 \text{ B.t.u./hr m}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$ ó $U = 93.6 \text{ Kcal/hr m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$; como:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_v} + \frac{x}{k} + \frac{x_1}{k_1} + \frac{x_2}{k_2} + \frac{1}{h_n}}$$

Como h_n es el coeficiente de película que controla la transmisión de calor en un evaporador calentado por vapor condensante, a falta de datos, se tomará este valor.

Groeso del crisol = 0.075 m . Por lo tanto para la parte inferior del crisol:

$$q/A = \frac{t}{\frac{1}{h_r} + \frac{1}{h_m} + \frac{x_1}{k_1} + \frac{1}{h_n}} = 12350 \text{ Kcal/hr.m}^2$$

$$1/h_r = 0.0246 \quad ; \quad 1/h_c = 0.0748 \quad ; \quad x_1/k_1 = 0.00193 \quad ;$$

$$1/h_n = 0.01068$$

$$h_c = \frac{2.2 (1700 - 318.4)}{1700 - 318.4} = 13.375 \text{ Kcal/hr.m}^2 \text{ } ^\circ\text{C, de la ecuación 15 (4);}$$

$$A_m = 0.785 s^2 \quad ; \quad S = 1.33 \times 1.1644 = 1.549 \text{ m}; \quad A_m = 1.882 \text{ m}^2$$

$$Q_n = 12350 \times 1.882 = 23250 \text{ Kcal/hr}$$

Para la sección intermedia (parte curva) del crisol:

$$h_r = 12.85 \quad ; \quad 1/h_r = 0.0778 \quad ; \quad 1/h_c = 0.0859 \text{ (un valor intermedio de la ecuación 15)} \quad ; \quad x_1/k_1 = 0.00193 \quad ; \quad 1/h_n = 0.01068$$

$$S = r A = 0.429 \text{ m} \quad ; \quad A = 0.816 \text{ radianes} \quad ; \quad 2S = 0.858 \text{ m}$$

$$D' = \frac{3.14 \times 0.22 \times 2}{4} = 0.365 \text{ m} \quad ; \quad D_{may.} = 2 \times 0.525 + 0.73 = 1.78 \text{ m}$$

$$A_1 = (0.785 \times 1.78 \times 1.78) - (0.785 \times 1.05 \times 1.05) = 1.62 \text{ m}^2$$

$$A_2 = \left[(1.62 \times 0.858) / 3.14 \right] \times 1.05 = 0.422 \text{ m}^2$$

$$A_m = 1.62 - 0.422 = 1.198 \text{ m}^2 \quad ; \quad q/A = 1381.6 / 0.17631 = 7895 \text{ Kcal/hr.m}^2$$

$$Q_{n1} = 7895 \times 1.198 = 9450 \text{ Kcal/hr}$$

$$P_1 = 3.14 \times 1.62 = 5.085 \text{ m}$$

$$P_m = \frac{(5.085 - 4.625)}{2.3 \log \frac{5.085}{4.625}} = 4.88 \text{ m}$$

$$P_2 = 3.14 \times 1.47 = 4.625 \text{ m}$$

$$D = P_m - S = 4.88 - 0.43 = 4.45 \text{ m}$$

$$A_m = 0.14 \times 4.45 = 0.622 \text{ m}^2$$

$$q/A = 1381.6 / 0.1652 = 8425 \text{ Kcal/hr.m}^2$$

$$1/h_r = 0.0778 ; 1/h_c = 0.0748 ; x_1/k_1 = 0.00193 ; 1/h_m = 0.01068$$

$$Q_{n2} = 8425 \times 0.622 = 5240 \text{ Kcal/hr.}$$

$$A_m = 4.88 \times 0.55 = 2.68 \text{ m}^2 ; q/A = 1381.6 / 0.2794 = 4990 \text{ Kcal/hr.m}^2$$

$$1/h_r = 0.192 ; 1/h_c = 0.0748 ; x_1/k_1 = 0.00193 ; 1/h_m = 0.01068$$

$$Q_{n3} = 4990 \times 2.68 = 13360 \text{ Kcal/hr}$$

Suma total del calor transmitido al crisol:

$$Q_1 = 23250 \text{ Kcal/hr} ; Q_2 = 9450 ; Q_3 = 5240 ; Q_4 = 13360$$

8.- Cálculo del calor necesario para evaporar el agua de la solución y fundir la sosa caústica.-

El calor necesario para evaporar el agua y fundir la sosa será:

q_1 = Cantidad de calor para elevar la temperatura de la solución desde la temperatura base de 15.8°C hasta la temperatura de ebullición de la solución a una presión de 586 mm de H_g , ó sea 110.5°E. (2)

q_2 = Cantidad de calor para evaporar el agua (calor latente de evaporación) a una temperatura de 92.85°C .

q_3 = Cantidad de calor para elevar la temperatura del vapor de agua desde 92.85°C hasta 318.4°C (4).

q_4 = Calor de solución (6).

q_5 = Cantidad de calor para elevar la temperatura de la sosa

caústica desde la temperatura de ebullición hasta la temperatura de fusión de la sosa caústica (anhidra).

q_6 = Cantidad de calor para fundir la sosa (calor latente de fusión)

Entonces el calor total es la suma de todos los calores - antes mencionados, que se calculan como sigue:

Para el cálculo se tomará como base 1 kg de solución de sosa caústica al 40 % (11).

a.- Cantidad de calor para elevar la temperatura de la solución desde 15.8° hasta 110.5°C .

Mediante el Diagrama Entalpia-Concentración para soluciones acuosas de sosa caústica (2), se obtienen las siguientes entalpias:

Para 110.5°C ---- 123 Kcal/kg. de sol.

Para 15.8°C ---- 35 Kcal/kg. de sol.

88 Kcal/kg. de sol.

b.- Calor latente de evaporación del agua a 92.85°C .

$543.4 \text{ Kcal/kg. de NaOH} \cdot 0.6 = 543.3 \times 0.6 = 326.04 \text{ Kcal/kg de sol.}$

c.- Cantidad de calor para elevar la temperatura del vapor - de agua desde 92.85°C hasta 318.4°C .

Utilizando las Capacidades molales medias caloríficas:

(6) para una temp. de 318.4°C ---- 8.252 Kcal/ kg-mol.

$8.252/18 = 0.4573$; $q_3 = 0.4573 \times 0.6 \times (318.4 - 92.85) =$
 $= 61.86 \frac{\text{Kcal}}{\text{kg. de sol.}}$

d.- Calor de solución.- De la pág. 275 de (6), se calcula el

calor de solución: 7600 Kcal/kg-mol ; $7600/40 = 190$ Kcal/kg de NaOH, de donde:

$$q_4 = 190 \times 0.4 = 76.0 \text{ Kcal/kg de sol.}$$

e.- Cantidad de calor para elevar la temperatura de la sosa caústica (anhídrica) desde la temperatura de ebullición de la solución hasta la de fusión de la sosa (anhídrica).

Empleando la Regla de Kopp a falta de datos de calores específicos, para calcular el calor específico, en la forma siguiente: (6)

Na ... 6.2

$$O \dots 4.0 \quad 12.5 \text{ Kcal/kg-mol.} \quad ; 12.5/40 = 0.3125 \text{ Kcal/kg. de NaOH}$$

$$H \dots \frac{2.3}{12.5} \quad q_5 = 0.3125 \times 0.4 \times (318.4 - 110.5) = 24.8$$

$$(6) \quad q_5 = 24.8 \text{ Kcal/kg de sol.}$$

f.- Calor latente de Fusión de la sosa caústica (anhídrica).

De (6), se tiene: 1600 Kcal/kg-mol. ; $1600/40 = 40$ Kcal/kg de NaOH . $40 \times 0.4 = 16.0$ Kcal/kg. de sol.

q_T = Suma de los calores necesarios para evaporar y fundir la NaOH.

$$q_T = 88.0 + 326.04 + 61.86 + 76.0 + 24.8 + 16.0 = 592.70 \text{ Kcal/kg. de sol.}$$

9.- Cálculo de la pérdida de calor de la masa fundida de NaOH al aire.

a.- Si está descubierto el crisol (Modelo original).-

1).- Pérdida por radiación:- A falta de datos correctos se supone que la masa fundida tiene una emisividad de 0.8 ; utilizando la figura 50 (4) y una temperatura de la superficie ex-

puesta de la masa de 318.4°C , se tiene que la pérdida por radiación, en kilocalorías por hora y metro cuadrado de superficie, es de 4620;

$$A = 0.785 \times 1.5 \times 1.5 = 1.766 \text{ m}^2 ; Q_r = 4620 \times 1.766 = 8155 \text{ Kcal/hr.}$$

2).- Pérdida por convección.- Para calcular esta pérdida se utiliza la misma figura 50 (4) obteniéndose un valor de -- 7320 Kcal/hr.m² ; como está referida a 21°C , entonces:
 $7320/194 = 37.7 \text{ Kcal/hr.m}^2{}^{\circ}\text{C} ; Q_c = 37.7 \times 1.766 \times (318.4 - 15.8) = Q_c = 20150 \text{ Kcal/hr}$

3).- Pérdida por radiación y convección.- Esta pérdida es -- la suma de los valores obtenidos anteriormente.- Entonces:

$$Q_{rc} = 8155 + 20150 = 28305 \text{ Kcal/hr}$$

b.- Con tapa aislada (modificación).-

1).- Pérdida por radiación.- Cálculo del áreas:

$$S = r A = 1.28 \times 6.25 \times 2 = 1.595 \text{ m}$$

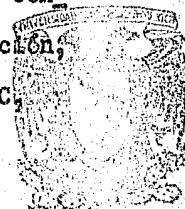
$$A_m = 0.785 \times 1.595 \times 1.595 = 2.00 \text{ m}^2$$

Cálculo de las resistencias:

$$x_1 = 0.0127 \text{ m} ; K_1 = 38.9 ; x_2 = 0.0254 \text{ (aproximadamente una pulgada de espesor con aislante de magnesita) (3).}$$

$$k_2 = 0.057 \text{ (conductibilidad de la magnesita).}$$

Despreciando $1/h_r$, $1/h_c$ y x_1/k_1 , suponiendo que la temperatura exterior del aislante es de 104°C , de acuerdo con la figura 51 (4), el coeficiente de convección y radiación, calculado con la figura 50 (4) es de $11.75 \text{ Kcal/hr.m}^2{}^{\circ}\text{C}$.



su inversa es de 0.0783, de donde $(Q/A)_{rg} = 302.6/0.5238$
 $= 578 \text{ Kcal/hr.m}^2$

$$Q_{rg} = 578 \times 2.00 = 1156 \text{ Kcal/hr.}$$

10.- Pérdidas de calor en los gases de salida.- Suponiendo que los gases salen a la temperatura del crisol de la última sección en que está en contacto con ellos, mediante la ecuación 2-13 (7), substituyendo en ésta:

$$4990 = \frac{t - 318.4}{0.0126}$$

$$t = 4990 \times 0.0126 + 318.4 = 381.3^{\circ}\text{C}$$

entonces con las capacidades medias molales caloríficas, de (6), se calcula el calor perdido en los gases de salida, que es :

CO ₂ ...	10.416 x (654.4 - 288.7) x 0.063	=	240.0	Kcal
CO ...	7.109 x (654.4 - 288.7) x 0.00217	=	5.335	"
H ₂ O ...	8.328 x (654.4 - 288.7) x 0.077795	=	236.5	"
SO ₂ ...	10.850 x (654.4 - 288.7) x 0.001	=	3.97	"
N ₂ ...	7.081 x (654.4 - 288.7) x 0.4529	=	1195.0	"
O ₂ ...	7.378 x (654.4 - 288.7) x 0.02123	=	57.5	"
H ₂ ...	6.978 x (654.4 - 288.7) x 0.001105	=	<u>2.82</u>	"
	Total		1741.135	"

de donde el calor que sale con los gases es: 1741.135Kcal/
 el calor desprendido de la combustión corregida es:
 10044.87 Kcal/kg (pág. 6).

El calor útil cedido por el combustible es:

$$10044.87 - 1741.135 = 8303.735 \text{ Kcal/kg}$$

11.- Cantidad de combustible necesario.-

Calor perdido a través de las paredes: 22116.8 Kcal/hr.
Calor perdido que pasa a través del crisol: 51300.0 Kcal/hr.
TOTAL : 73416.8 Kcal/hr.

Si un kilo de combustible suministra 8303.74 Kcal, entonces:

1 ----- 8303.74

x_1 ----- 73416.8 $\therefore x_1 = 8.845$ kg/hr. de combustible.

12.- Cantidad de sosa fundida.- Conocidos los calores que pasan al crisol y el calor perdido por radiación y convección.

a.- Cantidad de sosa fundida, en el caso de estar descubierta.-

Calor transmitido al crisol ... 51300.0 Kcal/hr

Calor perdido por radiación y
convección ... 28305.0 Kcal/hr

Calor utilizado por la solución,
para su evaporación y fusión: 22995.0 Kcal/hr

el calor utilizado por Kg de sol. es de: 592.7 Kcal/

por lo tanto:

1 kg. de sol. ----- 592.7 Kcal

x_2 ----- 22995.0 Kcal/hr

$\therefore x_2 = 22995.0/592.7 = 38.8$ kg de sol./hr, 15.522 kg de NaOH/hr.

b.- Cantidad de sosa fundida, en el caso de estar el crisol con su tapa aislada.

Cantidad de calor transmitido al crisol : 51300 Kcal/hr.

Calor perdido por radiación y convección : 1156 Kcal/hr.

Calor utilizado por la solución para su
evaporación y fusión de la NaOH : 50144 Kcal/hr
de la misma forma se tiene:

1 kg de sol. $\frac{50144}{592.7}$ 592.7 Kcal.

x_3 $\frac{50144}{592.7}$ 50144.0 Kcal/hr

por lo tanto $x_3 = \frac{50144.0}{592.7} = 84.3$ Kg de sol./hr, 33.72
kg. de NaOH
hr

13.- Relación de Solución de NaOH a Cantidad de Combustible.-

a.- Si se necesitan 8.845 kg de Combustible/hr y la cantidad
de solución que evapora y funde es de: 38.8 kg/hr, por lo
tanto 1 kg de combustible evapora el agua y funde la NaOH de:
 $\frac{38.8}{8.845} = 4.395$ kg de sol. al 40%/kg de combustible, -
para el primer caso.

b.- En el segundo caso (aislado y tapado), la misma cantidad
de combustible y la cantidad de solución que le evapora el
agua y funde la NaOH es de 84.3 kg de sol/hr, entonces 1 kg.
de combustible le evapora y funde el agua y la NaOH respecti-
vamente:

$\frac{84.3}{8.845} = 9.545$ kg de sol. al 40 %/kg de combustible.

CAPITULO IV.

BALANCE DE CALOR.-

El calor cedido por el combustible, es igual a la suma de los calores perdidos a través de las paredes del horno, pérdida de calor por radiación y convección de la superficie de la masa fundida en el caso de un crisol abierto (sin tapa), calor que sale con el vapor, calor que sale con la sosa cáustica fundida, y calor que sale con los gases de combustión; en el caso de crisol tapado es la suma de los calores perdidos a través de las paredes del horno, pérdida de calor por radiación y convección del aislante de la tapa del crisol, calor que sale con el vapor, y calor que sale con la masa de sosa fundida, además del calor que sale con los productos de combustión:

De una manera cuantitativa se puede, expresar todo lo anterior en la forma siguiente:

Calor cedido por el combustibles

$10044.87 \text{ Kcal/kg.de comb.} \times 8.845 \text{ kg.de comb./hr} = 88850 \text{ Kcal/hr}$

Calor perdido a través de las paredes del horno:

22116.8 Kcal/hr.

Calor perdido por radiación y convección:

a.- Sin tapa : 28305 Kcal/hr

b.- Con Tapa : 1156 Kcal/hr

Calor perdido en el vapor de agua y la sosa fundidas:

a.- Sin tapa : 27916 Kcal/hr

b.- Con tapa : 49966 Kcal/hr

Calor perdido en los gases de combustión de salidas

15400 Kcal/hr.

Expresado en porcentajes:

a.- Sin tapas	:	b.- Con tapas :	
De las paredes.-	24.90 %	De las paredes.-	24.90 %
Por radiación y convección	31.85 %	Por radiación y convección	1.30 %

Vapor de aguas

$$q_a = 326.04 + 61.86 + (0.6 \times 1.0 \times (92.85 - 15.3)) = 434.1 \text{ Kcal/kg de sol.}$$

a.- Sin tapas

$$434.1 \times 38.8 = 17220.0 \text{ Kcals/hr ; expresado en \% : 19.35}$$

b.- Con tapas

$$434.1 \times 84.3 = 37400 \text{ Kcals/hr ; expresado en \% : 41.00}$$

En la sosa fundida:

$$q_{sa} = 592.70 - 434.1 = 158.6 \text{ Kcal/kg. de sol.}$$

a.- Sin tapas

$$158.6 \times 38.8 = 6150 \text{ Kcals/hr ; expresado en \% : 6.90}$$

b.- Con tapas

$$158.6 \times 84.3 = 13380 \text{ Kcals/hr ; expresado en \% : 15.05}$$

Total, Sin tapas = 100.30 % ; Total, con tapas = 99.60 %

En el vapor y la sosa fundida:

a.- Sin tapas: 25.90 % b.- Con tapas : 56.45 %

En los gases de combustión de salida:

a.- 17.35 % b.- 17.35 %

Total 100.30 % Total 99.60 %

Una de las modificaciones que se hizo al modelo original, fué la tapa recubierta con aislante de 85 % de magnesia, bajando la pérdida por radiación y convección al ambiente (supg

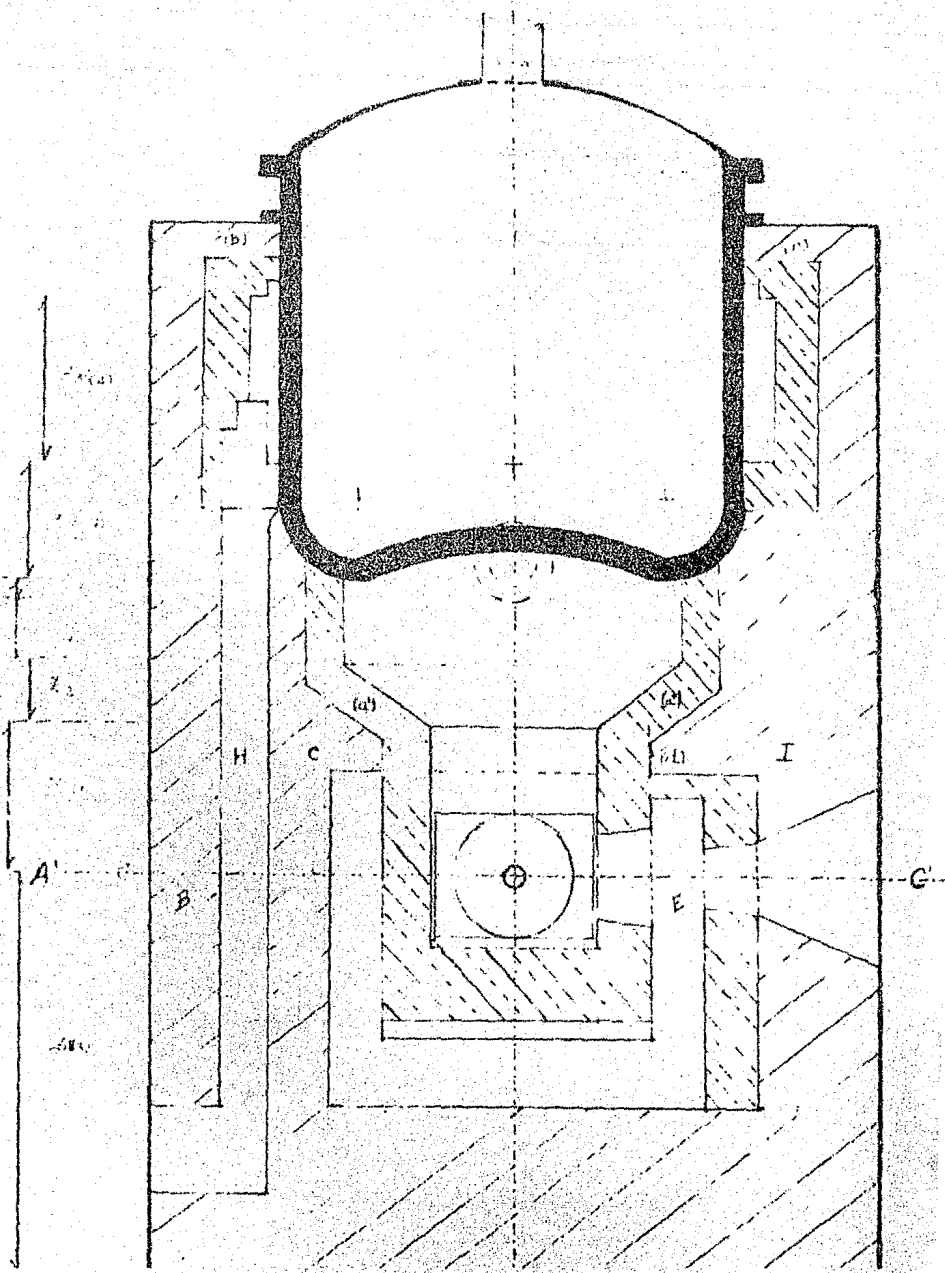
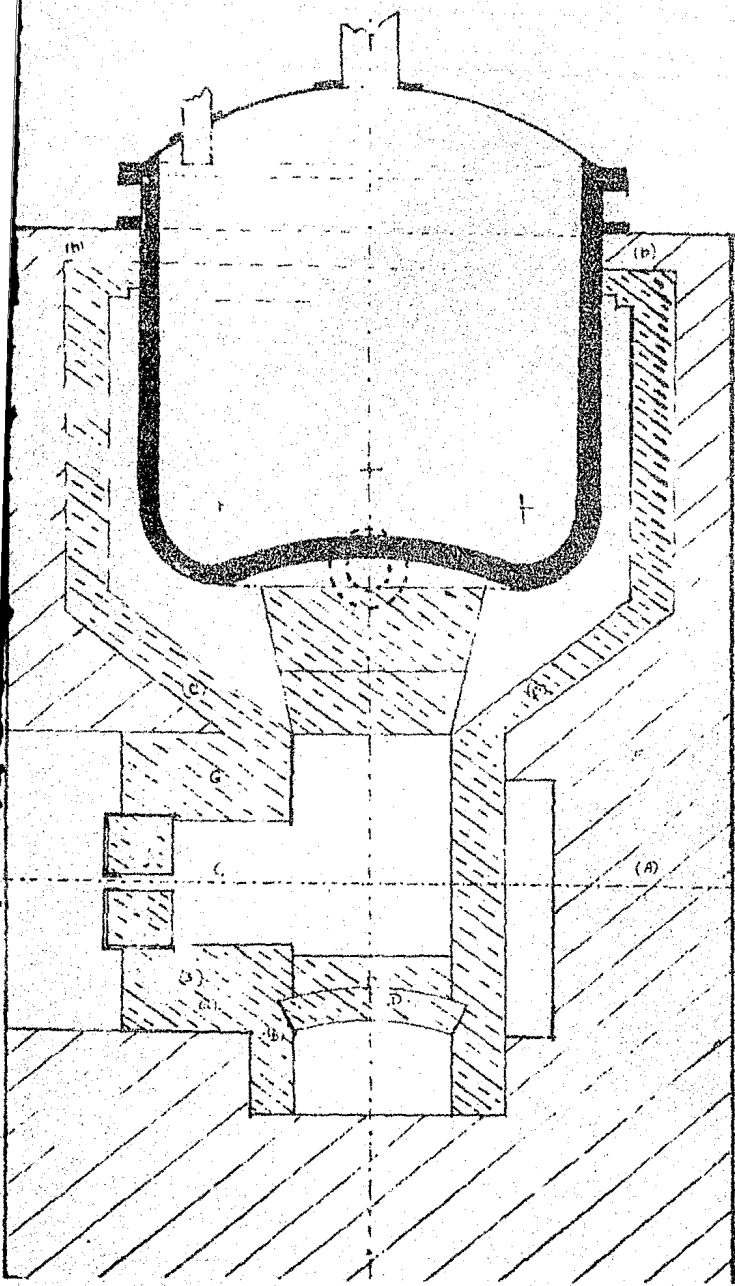
niendo el aire quieto) desde 31.85 por ciento hasta 1.30 %.
Este ahorro es aprovechado en evaporar y fundir la solución
de NaOH; aumentando de 38.8 kg de solución/hr. hasta 84.3 kg
de sol./hr.

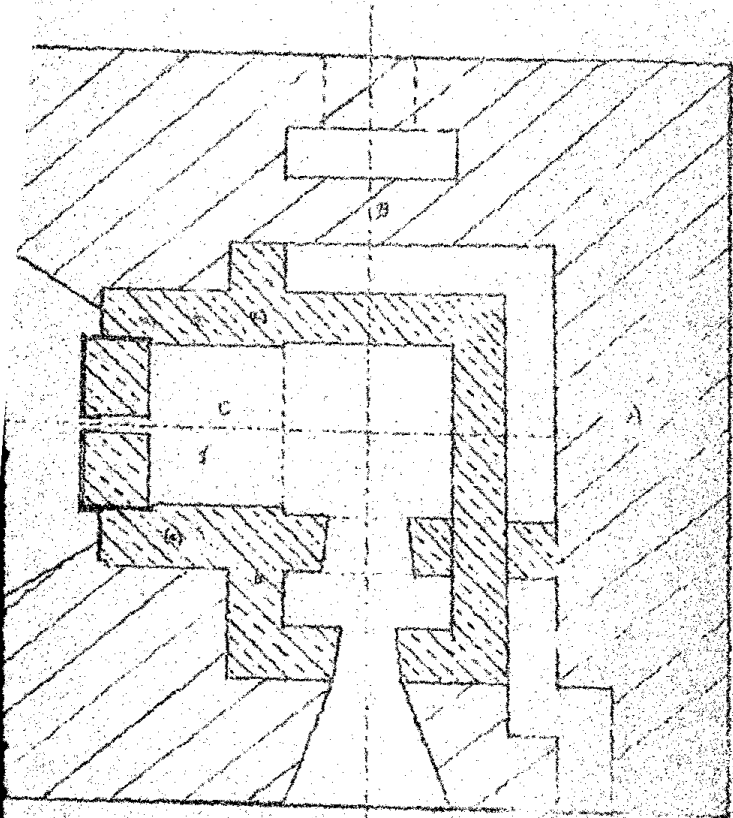
CAPITULO V.


BIBLIOGRAFIA.-


- 1.- BROWN G.G., "Unit Operations", Third Printing, John Wiley & Sons, Inc., New York, (1951).
- 2.- BROWN G.G., "Operaciones Básicas de la Ingeniería Química", Manuel Marín y Cia. ; Barcelona, España (1955).
- 3.- CERAMIC DATA BOOK, Thirteenth Edition, Industrial Publications, Inc., Chicago, Illinois, U.S.A., (1941).
- 4.- COMITE DE EFICIENCIA DEL COMBUSTIBLE del Ministerio Británico de Combustibles y Energía (Dirección del Sub-Comité de Educación), "La Utilización Eficiente de los Combustibles", Aguilar, S.A. Madrid, España (Copyright 1949).
- 5.- GONZALEZ DEL TANAGO J., "Evaporación y Cristalización", --- Editorial Dossat, S.A., Madrid, España (1954).
- 6.- ROUGEN OLAF A. and WATSON KENNETH, "Chemical Process Principles", Second Printing, John Wiley & Sons, Inc., New -- York (1950).
- 7.- MCADAMS H. W., "Heat Transmission", Third Edition, McGraw-Hill Book Co., Inc., New York (1954).
- 8.- MUGGENBERG MAX, "Estudio del Sistema de Evaporación ya Establecido en una Planta de Caustificación", Tesis, U.N.A.M., México (1942).

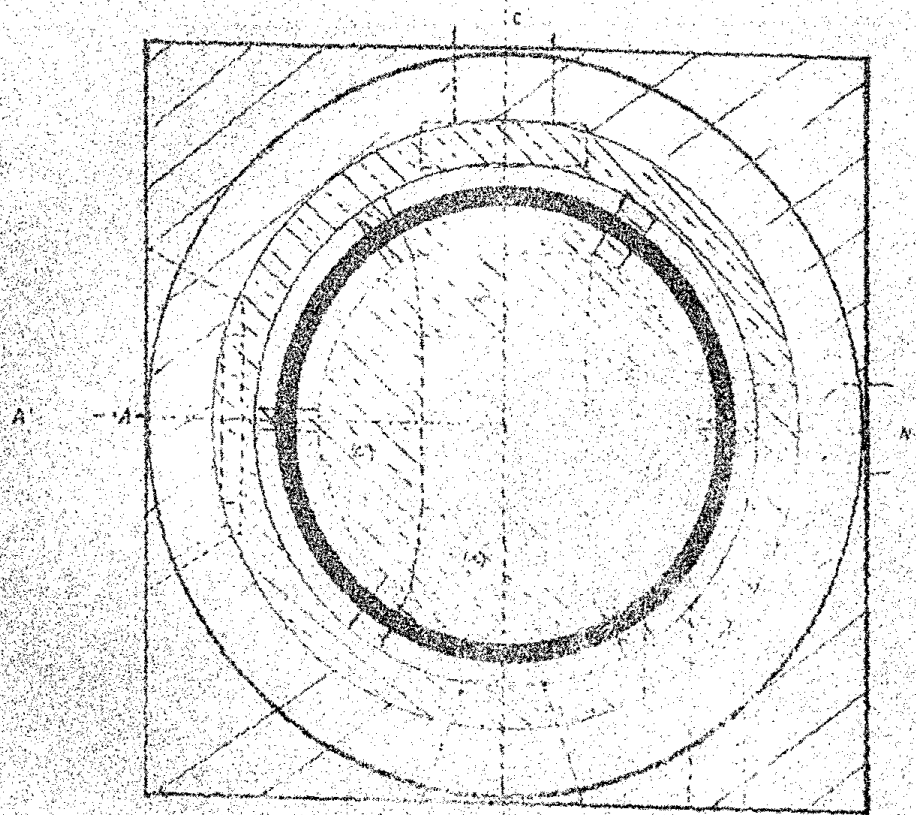
- 9.- PERRY H. JOHN, Editor-in-Chief, "Chemical Engineers' Handbook", Second Edition, Eighth Impression, McGraw-Hill Book Co., Inc., New York, (1941).
- 10.- TE-PANG HOU, Ph. D., "Manufacture of Soda", Second Edition Reinhold Publishing Corporation, New York, (1942).
- 11.- SIERRA E. H. Y ESPINOSA DE LOS REYES M., (Informe), "Fabricación de Alcalis Sódicos", Banco de México, S.A., Investigaciones Industriales, México, (1951).
- 12.- VELAZQUEZ O. JUAN, "Cálculo de un Horno Intermitente de Recocido para Fundiciones", Tesis, U.N.A.M., México, (1953).






 la drillo de
 fuego


 la drillo




 la drillo de
 fuego

Escala 1:20