



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería Mecánica



"DISEÑO DE EVAPORADOR PARA CARBON"

INFORME TECNICO
Previo a la obtención del Título de:
INGENIERO MECANICO

Presentado por:
Oscar Eggeling Núñez

Guayaquil - Ecuador
1991

DEDICATORIA

A MIS PADRES

A MIS HERMANOS

A MIS HIJOS

Y ESPECIALMENTE A MI ESPOSA

DECLARACION EXPRESA

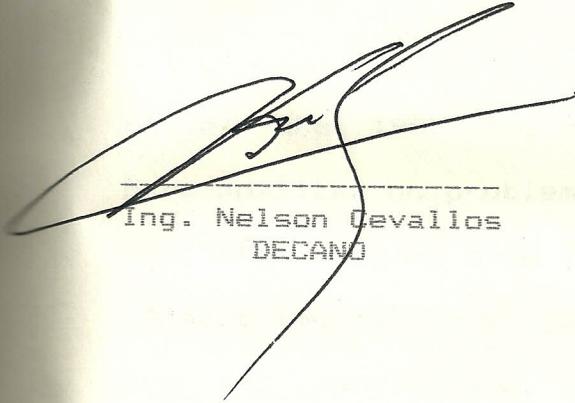
DECLARO QUE:

" Este Informe Técnico corresponde a la resolución de un problema práctico relacionado con el perfil profesional de la Ingeniería Mecánica".

(Reglamento de Graduación mediante la elaboración de Informes Técnicos).



Oscar Eggeling Nuñez



Ing. Nelson Devallos
DECANO



Ing. Ernesto Martinez
DIRECTOR INFORME



Ing. Jorge Duque
MIEMBRO TRIBUNAL

RESUMEN

En el año 1985 fui contratado por la Empresa PRONACAR para analizar un problema de secado de carbón, al revisar las instalaciones pude comprobar que existía instalado un secador incompleto e ineficiente. En el presente informe doy una descripción teórica que relaciona el problema, determino las posibles soluciones y luego diseño el evaporador que era necesario para solucionar el problema. Describo sus partes componentes y parámetros físicos necesarios, las dimensiones finales, el material a usar y el costo del mismo.

Después de terminado el diseño, procedí a la construcción de las partes, el ensamblaje de los componentes y las pruebas de funcionamiento y eficiencia.

ANTECEDENTES

A principios del año 1985 la empresa PRONACAR (Productora Nacional de Carburo de Calcio) por medio del Ing. Civil J. G. Derpich solicitó mis servicios para construir un horno evaporador para carbón cocke, el mismo que se usaría en la producción de C_2Ca que ya trabajaba con una planta piloto muy elemental, de capacidad bastante reducida debido a que se estaba esperando el financiamiento para llevar a cabo el proyecto total. Se estaban produciendo cantidades muy limitadas y se encontraban con grandes problemas, derivados de un secado ineficiente por lo rústico del sistema con que contaban, el que les representaba económicamente un gasto indiscriminado de combustible y carbón en condiciones que mermaban productividad. Este evaporador tiene una importancia vital en la producción de C_2Ca ya que el carbon que sale seco es el que se usa como materia prima para elaborar este producto. Nos interesa mejorar la ley del cocke que fluctúa desde 60 a 72% de carbón fijo, que es la cantidad de carbón puro por kilogramo de carbón cocke.

Se está suponiendo que un carbón cocke seco, con una humedad del orden del 6 a 8% debe tener un 75% de carbono fijo o más, entonces el evaporador debe ser capaz de secar 20 Ton diarias de cocke y dejarlo con esa humedad para garantizar el 75% o más de carbono fijo.

3.2.- ENSAMBLAJE DE LOS COMPONENTES 89

3.3.- PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y EFICIENCIA 91

^o CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 93

APENDICES 95

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS 97

INDICE DE FIGURAS

- 1.1. Variación del peso específico del aire con la temperatura.
- 1.2. Variación del calor con la temperatura
- 1.3. Tensión de vapor de agua
- 2.1. Tolva de alimentación
- 2.2. Horno
- 2.3. Quemador
- 2.4. Superficie de contacto
- 2.5. Distribución hemisférica
- 2.6. Distribución elíptica en el ancho $2b$
- 2.7. Valor de los componentes de tensión
- 2.8. Ciclón

CAPITULO I

FUNDAMENTOS TEORICOS

1.1. MEDICIONES

A continuación se describirá las mediciones que se realizaron.

Se tomaron medidas de temperatura y humedad antes y después del secado, se tomó la temperatura de los gases calientes al abandonar el secador a diferentes horas y diferentes días, para con estos datos sacar un promedio representativo de estas condiciones y así hacer un cuadro que nos permita ver lo que está sucediendo y mejorar el diseño. Ver tabla 1.

HORA	ANTES		DESPUES		GASES ESCAPE
	TEMP °C	HUM %	TEMP °C	HUM %	TEMPERATURA °C
11	16.0	27.0	63.0	15.9	120
13	18.7	25.0	62.0	14.6	120
15	19.1	25.0	64.0	13.8	110
17	19.6	23.0	63.5	14.0	125
PROM	18.4	25.0	63.1	14.6	119

TABLA 1.- MEDICIONES DE TEMPERATURA Y HUMEDAD ANTES Y DESPUES DEL SECADO Y TEMPERATURA DE LOS GASES CALIENTES.

En esta tabla se ve claramente que el secador no cumplía con el objetivo de obtener carbón con una humedad del 6 a 8% como máximo y hay que tomar en cuenta además que en periodos de lluvia este problema probablemente se verá acentuado puesto que existe una excesiva humedad en el aire ambiente.

A continuación se expone la tabla 2, en la que se muestran los promedios de las mediciones realizadas para las temperaturas de bulbo húmedo y bulbo seco.

HORA	SECO °C	HUMEDO °C
8	12	9.1
10	15	11.6
11	18	14.8
13	26	19.8
15	29	22.1

TABLA 2.- MEDICIONES DE TEMPERATURA DE BULBO SECO Y BULBO HUMEDO

MAXIMA HUMEDAD RELATIVA 88%

MINIMA HUMEDAD RELATIVA 60%

1.2. GASTO DE COMBUSTIBLE

El gasto de combustible repercute en la economía de cualquier empresa, por lo que es necesario controlar este gasto de manera que solo se consuma el combustible realmente necesario para la producción

del elemento deseado.

En la tabla 3, se puede observar la cantidad en litros, el tiempo y el gasto de combustible en distintas fechas, lo cual dará una idea del consumo indiscriminado que existía.

FECHA	CANTIDAD (lts)	TIEMPO (hrs:min)	GASTO (lts/hr)
30/01/86	200	7:40	26.3
04/02/86	200	7:45	25.9
07/02/86	260	8:50	29.4
11/02/86	135	5:40	23.5
21/02/86	200	7:40	26.3
PROMEDIO			26.25

PROMEDIO PRODUCCION DIARIA(Carbón seco): 1200 Kg/día
66% (C.F.= 792 Kg)

TABLA 3.- GASTO DE COMBUSTIBLE

1.3. CONDICIONES DE SECADO EFICIENTE

El secado es una operación frecuentemente necesaria en el tratamiento industrial de materiales. Muchos materiales que se secaban anteriormente en condiciones atmosféricas naturales se secan ahora artificialmente puesto que las condiciones naturales de temperatura, humedad y viento son variables y lentas para poder cubrir las necesidades actuales.

90

4

25

4000

25

20000

8000

10.0000

En el secado artificial pueden controlarse las condiciones de temperatura, velocidad, paso de aire y humedad para asegurar el secado rápido sin deterioro del material a secar. //

Algunos materiales han de secarse por ser necesario o para separar la humedad, pero generalmente, y en especial en los alimentos, el secado sirve para esterilizar el material de forma que pueda conservarse durante mucho tiempo sin deteriorarse.

// Es de importancia primordial que el material se seque uniforme y convenientemente, y que no esté sujeto a condiciones tales que perjudiquen su estructura y su naturaleza. //

// El material a secar puede calentarse por convección, conducción, radiación o por combinación de estos métodos. Además del calentamiento, es necesario arrastrar la humedad desprendida mediante una corriente de aire o gas que fluye sobre el material. //

En la mayor parte de los secadores el material a secar se calienta por convección de una corriente de aire o gas caliente que pasa sobre el material, y que al mismo tiempo arrastra la humedad liberada.

En algunos secadores, principalmente en los del tipo de envolvente de vapor, el material a secar se apila, calentándose por conducción en el contacto directo con las superficies calientes. Otro ejemplo de este tipo es el secador de capas, en el cual se esparce el material plástico o semilíquido sobre un cilindro calentado por vapor y el material se calienta por conducción desde la superficie caliente del cilindro.

El calentamiento por radiación se emplea raramente como medio principal, aunque en todos los secadores el material se calienta en parte por radiación de las superficies del secador. El material se calienta por el calor radiante de elementos de calefacción adecuados, adyacentes al material, pero no en contacto con él.

La esencia del secado satisfactorio consiste en secar uniformemente sin perder durante el proceso ninguna de las propiedades requeridas. Evidentemente será difícil secar uniformemente el material que está en trozos de diferentes tamaños, pues el calor penetra en los trozos pequeños y los seca rápidamente, recalentándolos antes de que puedan secarse los trozos mayores, así mismo cuando existen diferentes superficies, unas lisas y otras rugosas.

El material de naturaleza fibrosa puede estar más denso en unas que en otras zonas, y las fibras sueltas se secarán y recalentarán antes de que lleguen a secarse las fibras agrupadas. La temperatura a que puede efectuarse el secado depende de la naturaleza y estructura del material, de su humedad y del tipo de secado.

CONTENIDO DE HUMEDAD DEL MATERIAL SECADO

Cuando se dice que un material está seco no quiere decirse que no tiene nada de humedad. Muchas materias orgánicas cuando se secan por debajo de un cierto contenido de agua pueden reabsorber la humedad de la atmósfera, en cantidad que varía del 12 al 16% para los diferentes materiales.

Generalmente no conviene secar el material más allá del punto en el cual volverá a reabsorber humedad de la atmósfera, al mismo tiempo que puede ser perjudicial para la estructura y la naturaleza del material al secarlo completamente.

Las sustancias inorgánicas tales como mineral de hierro, arena, etc., se secan hasta contenidos en humedad inferiores al 1%.

VELOCIDAD DEL AIRE

La velocidad de los gases calientes sobre las superficies afecta a la velocidad de secado; cuanto mayor es la velocidad más rápida será la evaporación.

Hay limitaciones de la velocidad en relación con la naturaleza del material. En los secadores rotatorios, cuando se seca un material ligero o polvoriento, o que se hace polvoriento al secarlo, se debe conservar la velocidad del gas caliente a través del secador por debajo de 0.30 a 0.20 m/seg, y si se trata de materiales pesados que no tienen tendencia a pulverizarse pueden emplearse velocidades de gases hasta de 4 a 5 m/seg.

TEMPERATURAS DE SECADO

Es muy importante que ninguna zona de la sustancia quede sometida a temperaturas que afecten adversamente, durante el secado, a su estructura o sus cualidades.

La temperatura y velocidad del secado vienen determinadas por la estructura y naturaleza del material, tanto como por la humedad, la conductividad y lo que podemos llamar tendencia a liberar la humedad.

Cuando el material que contiene humedad está rodeado por gases calientes, su temperatura debe aproximarse a la de los gases hasta que empiece a estar seco, puesto que el calor se absorbe como calor latente para evaporar humedad y no como calor sensible para elevar la temperatura. Es menos perjudicial someter a algunos materiales a temperaturas de 600 a 700°C durante poco tiempo en los momentos iniciales de secado, que secarlos a temperaturas de 140°C durante mucho tiempo. En los secadores de altas temperaturas el material está raramente en contacto con los gases de temperatura superior a 500°C durante más de 8 segundos, mientras que en los secadores de temperatura baja puede estar en contacto con gases a 140°C durante 30 ó 40 minutos.

Por esto muchas sustancias que contienen y ceden humedad pueden someterse a altas temperaturas durante mucho tiempo sin efectos perjudiciales.

Existen, sin embargo, algunas excepciones, por ejemplo, algunas sustancias sometidas inicialmente a temperaturas elevadas tienden a aglomerarse, formando una costra externa que impide la liberación de la humedad y como consecuencia puede quemarse el material exteriormente sin que llegue a secarse el centro.

Otro ejemplo es el de los granos; al secar el grano

que ha de emplearse en la siembra, si en las etapas iniciales se somete a temperaturas demasiado elevadas, se destruirá su capacidad germinativa, pero a medida que se deseca puede aumentar la temperatura sin efectos perjudiciales.

En resumen podemos decir que las condiciones para el secado eficiente vienen determinadas por los siguientes parámetros:

1. Tipo de instalación de secado
2. Velocidad de paso del material a través del secador
3. Temperatura de los gases de secado
4. Velocidad de los gases de secado a través del material
5. Control de humedad

Hay varios métodos de control para los diferentes materiales y tipos de instalaciones. El método más corriente consiste en mantener constantes la temperatura y la velocidad de los gases y controlar el secado por variación de la velocidad de paso del

material, ajustándolo de modo que la descarga del material se haga con el grado correcto de sequedad. Sin embargo, hay muchos materiales que han de calentarse o secarse lentamente en las etapas iniciales, puesto que el secado rápido tiende a cerrar la superficie impidiendo la salida de humedad del interior. Esto se evita por alguno de los siguientes métodos de control.

- a. Reduciendo la velocidad del gas caliente
- b. Empezando a secar a baja temperatura, y aumentando ésta progresivamente
- c. Por recirculación parcial o total de los gases calientes a través del secador en las etapas iniciales, de modo que se eleve su humedad y haga disminuir la velocidad de liberación de la humedad del material.

Hay casos especiales como el secado de vigas de madera, en el que hay que realizar un proceso especial; si en las etapas iniciales, se evapora muy rápidamente la humedad superficial de la estructura exterior, ésta se contrae, originando tensiones que producen la rotura de la viga.

Un ejemplo análogo es el del cuero, que también ha de secarse muy lentamente, pues de otro modo se hace frágil y se destruyen sus propiedades características y por otra parte si se seca muy lentamente se forman mohos. Por esto es necesario controlar la circulación de gas caliente, la temperatura y la humedad para asegurar el secado satisfactorio.

Otro ejemplo es el secado de machos de fundición, si se secan muy rápidamente puede quedar muy bien seca la superficie mientras que el interior contiene todavía demasiada humedad, originándose grietas. Si al hacer la colada hay demasiada humedad presente, puede producirse vapor en el molde, el mismo que se deforma e inutiliza, al mismo tiempo que se ataca el metal. El medio correcto de secar los machos consiste en recircular los gases calientes de forma que aumente la humedad en la cámara que regula la velocidad de evaporación en las primeras etapas de secado. A medida que procede el secado, se va disminuyendo la humedad.

De estos ejemplos puede apreciarse que es muy difícil generalizar sobre las condiciones y los métodos de control que abarcan la amplia serie de materiales que se secan con propósitos comerciales y

los diferentes tipos de instalaciones de secado empleados.

En nuestro caso específico trataremos de controlar el material manteniendo constante la temperatura de los gases calientes y la velocidad de éstos y controlar el secado por variación de la velocidad de paso del material a través del secador, ajustándole de modo que la descarga se la realice con el grado de sequedad requerido.

1.4. CONDICIONES PARA OBTENER UN BUEN RENDIMIENTO TERMICO

Para lograr un buen rendimiento térmico o mejor aún para obtener un rendimiento máximo, tendremos que:

1. Los gases de secado han de descargarse próximos al punto de saturación.
2. El intervalo de temperaturas entre la entrada y la salida de los gases ha de ser máximo.
3. El paso de material ha de ser en dirección opuesta a la de los gases de secado.

Es impracticable el aplicar todos o algunos de los principios anteriores al secado de algunos

materiales y los límites de eficiencia vienen determinados por la necesidad de asegurar que el material se seque eficazmente, sin perder en el proceso alguna de sus propiedades convenientes.

Humedad del aire caliente descargado

Los gases calientes que abandonan el secador no han de descargarse a la atmósfera muy por debajo del punto de saturación. El grado de saturación a que pueden descargarse los gases depende en cierto modo del material a secar y del diseño particular del secador. Un proceso de secado puede considerarse eficiente si los gases abandonan el evaporador con una saturación del 80%.

Cuando se empieza a secar un material que tiene un gran contenido de humedad, los gases calientes que pasan a través de la substancia estarán casi saturados y pueden descargarse a la atmósfera sin pérdida de eficiencia, pero cuando el material está casi seco, los gases calientes adquieren muy poca humedad. Para obtener el grado de saturación requerido es corriente en algunas instalaciones hacer recircular los gases una vez recalentados, descargándose la cantidad de aire caliente y admitiéndose la de aire fresco necesaria para tener el grado de humedad correcto.

En muchos tipos de secadores no puede controlarse la humedad del gas extraído, dependiendo del diseño del aparato y de su conveniencia para el material particular a secar. En estos secadores debe mantenerse la temperatura de entrada correcta, controlándose el paso del material de manera que se descargue con el grado de humedad debido.

La recirculación de los gases calientes para evitar que salgan con humedad baja es usado en las cámaras y túneles de secado, pero no puede aplicarse a los secadores giratorios.

Para que el rendimiento térmico sea elevado, la caída de temperatura de los gases a través del secador ha de ser la máxima posible, pero la temperatura inicial está determinada por la que puede soportar el material sin dañarse.

La temperatura de secado del material debe fijarse con un margen de seguridad por debajo de aquella que pueda ser perjudicial de cualquier modo para el material.

Es evidente que cualquier elevación de temperatura por encima de ese valor puede ser nociva para el material, y el descenso de temperatura puede dar

lugar a que el material abandone el secador insuficientemente seco, reduciéndose considerablemente la producción. Por estas razones es de principal importancia el mantenimiento de una temperatura constante. Por lo tanto el diseño del horno ha de ser tal que proporcionen una producción de calor y una temperatura constante.

1.5. MEDIDAS DE CONTROL DE TEMPERATURA Y CALOR

Se debe instalar un termómetro de mercurio en acero para medir la temperatura de los gases calientes a la entrada del cilindro.

La temperatura debe mantenerse constante, puesto que un descenso de ésta puede significar que el material no salga lo suficientemente seco. Para esto se podría instalar un control termostático. La forma más sencilla de termostato es el de acción directa, que consiste en una parte o bulbo sensible, un tubo sensible y un fuelle, todo esto contendrá un líquido volátil, encerrado herméticamente. La variación de temperatura alrededor del bulbo origina un aumento o descenso en la presión del sistema, y el fuelle se contrae o dilata. El movimiento del fuelle se emplea para cerrar o abrir los reguladores

a la entrada de combustible, regulando de este modo la temperatura. Estos termostatos no son tan sensibles como los eléctricos que serían más eficaces para control de temperatura de secado dentro de un intervalo de 1.5 a 3 %. El termostato consta de un interruptor especial que funciona por contracción y dilatación de un elemento bimetálico; para variar la posición de la temperatura se provee generalmente de un indicador. La variación de la temperatura hace abrir y cerrar el circuito de un motor que acciona las válvulas o reguladores del horno.

Control de humedad

Su funcionamiento es muy parecido al del termostato, excepto en que el interruptor se acciona por un higróstato en vez del termostato.

Infiltraciones de aire

Han de evitarse las infiltraciones de aire en los secadores que funcionan con ventiladores de extracción y las pérdidas de gases calientes en aquellos que operan a presión.

Aislamiento térmico eficaz

El secador debe estar suficientemente aislado si se utiliza con temperaturas elevadas o en una cámara

con corrientes de aire, puesto que las pérdidas de calor serán mayores que en las de bajas temperaturas ó en los casos en que haya poco movimiento de aire.

1.6. RENDIMIENTO TERMICO DE LOS EVAPORADORES

Un secador es esencialmente una instalación para evaporar humedad y su rendimiento térmico se expresa sencillamente por la relación de combustible empleado a la cantidad de agua evaporada; pero, en algunos tipos de instalación, este rendimiento varía considerablemente con el del material a secarse.

Algunos materiales pueden calificarse como fáciles de secarse, pues debido a su forma y estructura, la humedad pasa fácilmente del centro a la superficie por influencia del calor y se obtiene entonces una mayor evaporación por Kg de combustible que cuando se secan otros materiales.

Las pérdidas de calor y el calor utilizado en varios tipos de instalaciones son del orden siguiente:

Calor sensible usado en calentar el material	3-25 %
Pérdida de calor en los gases de salida ..	7-25 %

Pérdidas de calor por radiación y otros .. 7-20 %

Calor efectivo usado en evaporar

humedad del material 40-72 %

La relación agua evaporada/combustible consumido, toma aproximadamente los valores dados en la tabla 4 para diferentes tipos de aparatos.

TIPO DE SECADOR	KG. AGUA EVAPORADA/KG COMBUST.	
	CALEFAC. DIRECTA	INDIRECTA
De bandeja sencilla sin recirculación	3.0 - 5.0	2.0 - 4.0
Cámara de desecación y secadores de transportador y de bandeja con recirculación	5.0 - 8.5	3.0 - 5.0
Rotatorios sencillos	3.5 - 6.0	2.0 - 4.0
Rotatorios de doble envolvente y otros giratorios patentados	5.0 - 8.5	2.5 - 5.0

TABLA 4.- RELACION AGUA EVAPORADA/COMBUSTIBLE

1.7. VOLUMEN DE GASES Y HUMEDAD EVAPORADA

Resumiremos aquí los datos técnicos especialmente aplicables a los problemas de secadores.

Peso del aire

El peso de 1m^3 de aire a la presión atmosférica y cualquier temperatura, puede calcularse por la fórmula siguiente:

$$\text{Peso del aire (Kg/m}^3\text{)} = 353.1/T$$

Siendo:

$$T = \text{Temperatura absoluta (Temp. centígrada} + 273)$$

En la figura 1.1, se da el peso del aire a la presión atmosférica y temperaturas que varían de 0°C a 1000°C .

Volumen del aire

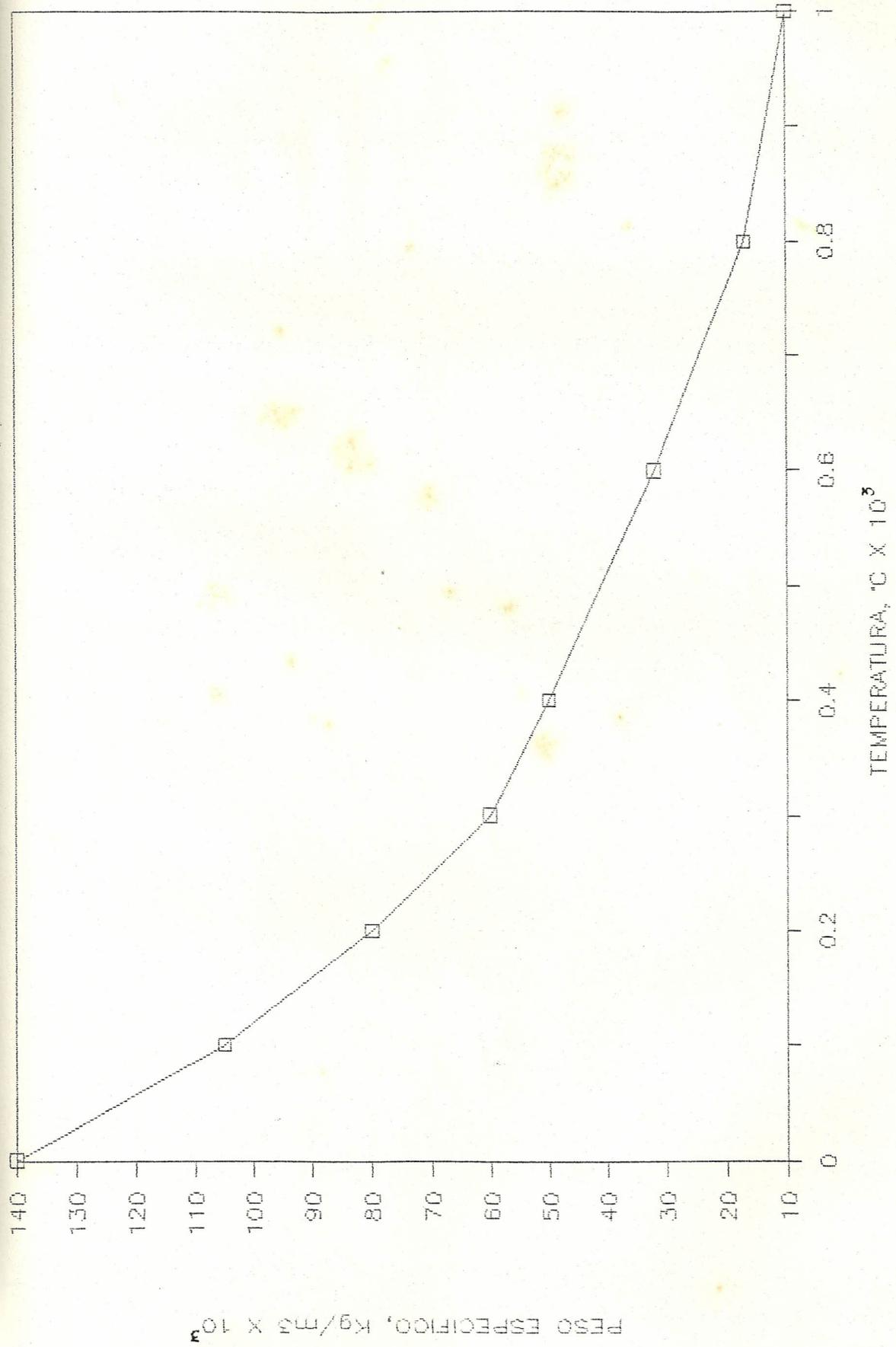
El volumen que ocupa un peso dado de aire a la presión atmosférica, puede calcularse en función de la temperatura, según:

$$\text{Volumen (m}^3\text{) a la temp. } T = [\text{Peso (Kg)} * T]/353.1$$

Variación del volumen con la temperatura

El volumen del aire varía proporcionalmente a la temperatura absoluta. Siendo V_1 el volumen a $t_1(^\circ\text{C})$, V_2 el volumen a $t_2(^\circ\text{C})$, y T_1 y T_2 las temperaturas absolutas respectivamente, tendremos:

DEL AIRE CON LA TEMPERATURA (2).



$$V_2 = V_1(T_1/T_2)$$

Calor necesario para calentar el aire

$$\text{Calor necesario} = W(t_2 - t_1) S$$

Siendo:

W = Peso del aire, Kg.

S = Calor específico, Kcal/Kg-°C.

Esta fórmula nos da el número de Kcal necesarias para calentar un peso determinado de aire, desde $t_1(^{\circ}\text{C})$ a $t_2(^{\circ}\text{C})$. También es conocido:

$$\text{Kcal} = V(t_1 - t_2) S$$

Siendo:

V = Volumen de aire en m^3 , y

S = Calor específico en Kcal/ m^3 -°C

El calor específico medio del aire a presión constante es:

$$0-100^{\circ}\text{C} \text{ ---- } 0.241 \text{Kcal}/^{\circ}\text{C-Kg} \text{ ---- } 0.311 \text{ Kcal}/^{\circ}\text{C-m}^3$$

$Q-200^{\circ}\text{C}$ ----- $0.242\text{Kcal}/^{\circ}\text{C-Kg}$ ----- $0.312\text{ Kcal}/^{\circ}\text{C-m}^3$

$Q-300^{\circ}\text{C}$ ----- $0.244\text{Kcal}/^{\circ}\text{C-Kg}$ ----- $0.314\text{ Kcal}/^{\circ}\text{C-m}^3$

Si se necesitan 100 m^3 de aire a 160°C , tomándolos a la temperatura inicial de 15.5°C . Para encontrar el calor necesario calcularemos primeramente el peso, que por la fórmula dada anteriormente resulta:

$$W = 100 [353.1/(273+160)] = 81.5\text{ Kg}$$

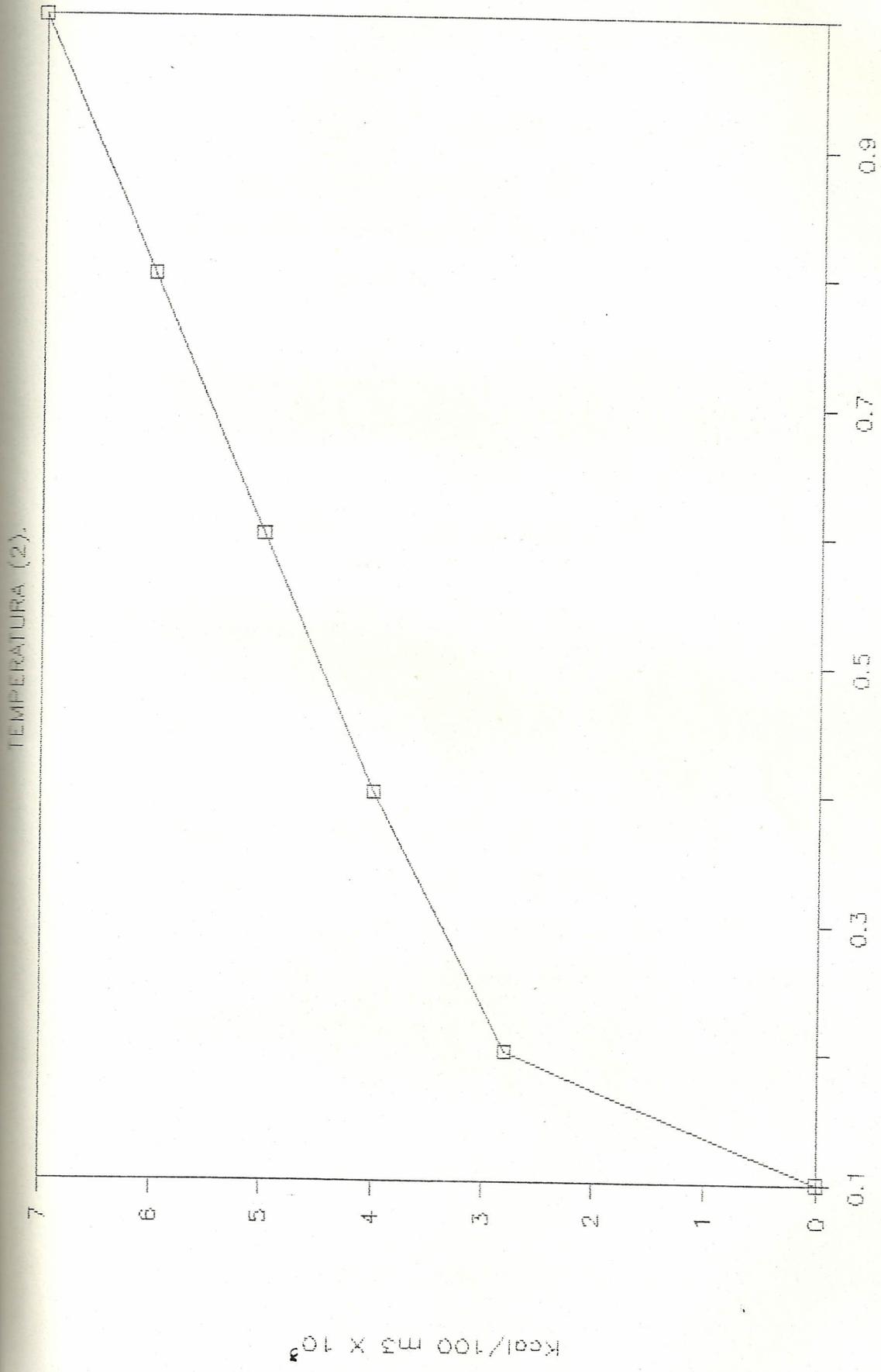
Y el calor será:

$$Q = 0.242*81.5(160 - 15.5) = 2850\text{ Kcal}$$

La figura 1.2, nos muestra el calor necesario para obtener 100 m^3 de aire a la temperatura $t^{\circ}\text{C}$ y presión normal a partir de la cantidad necesaria de aire tomada a 15.5°C .

1.8. SATURACION RELATIVA DEL AIRE

Las moléculas de los gases están en constante movimiento a una velocidad elevada. La presión ejercida por un gas o vapor proviene del bombardeo de las paredes continentales por las moléculas



gaseosas. En una mezcla de gases c/u de ellos contribuye a esta presión con una presión parcial que es el producto de su concentración en volumen por la presión total.

Así, si un vapor formado por 70% de Nitrógeno, 14.7% de Oxígeno y 15.3% de vapor de agua está a una presión total de 787 mm de Hg, las presiones parciales de los componentes serán:

Nitrógeno, 70% de 787	551 mm Hg
Oxígeno, 14.7% de 787	116 mm Hg
Vapor de agua, 15.3% de 787	120 mm Hg

Cuando el agua está en contacto con un gas sus moléculas pasan a éste en forma de vapor de agua, asimismo parte de las moléculas de vapor de agua del gas vuelven al líquido. Cuando las velocidades de estas dos reacciones son iguales se dice que el gas está saturado de vapor de agua; hasta que se logra la igualdad se evapora agua del líquido o se condensa del gas, según la reacción que predomine.

La presión parcial del vapor de agua en el espacio gaseoso en la saturación se conoce con el nombre de presión de saturación o tensión de vapor de agua; la tensión de vapor del agua es función de la

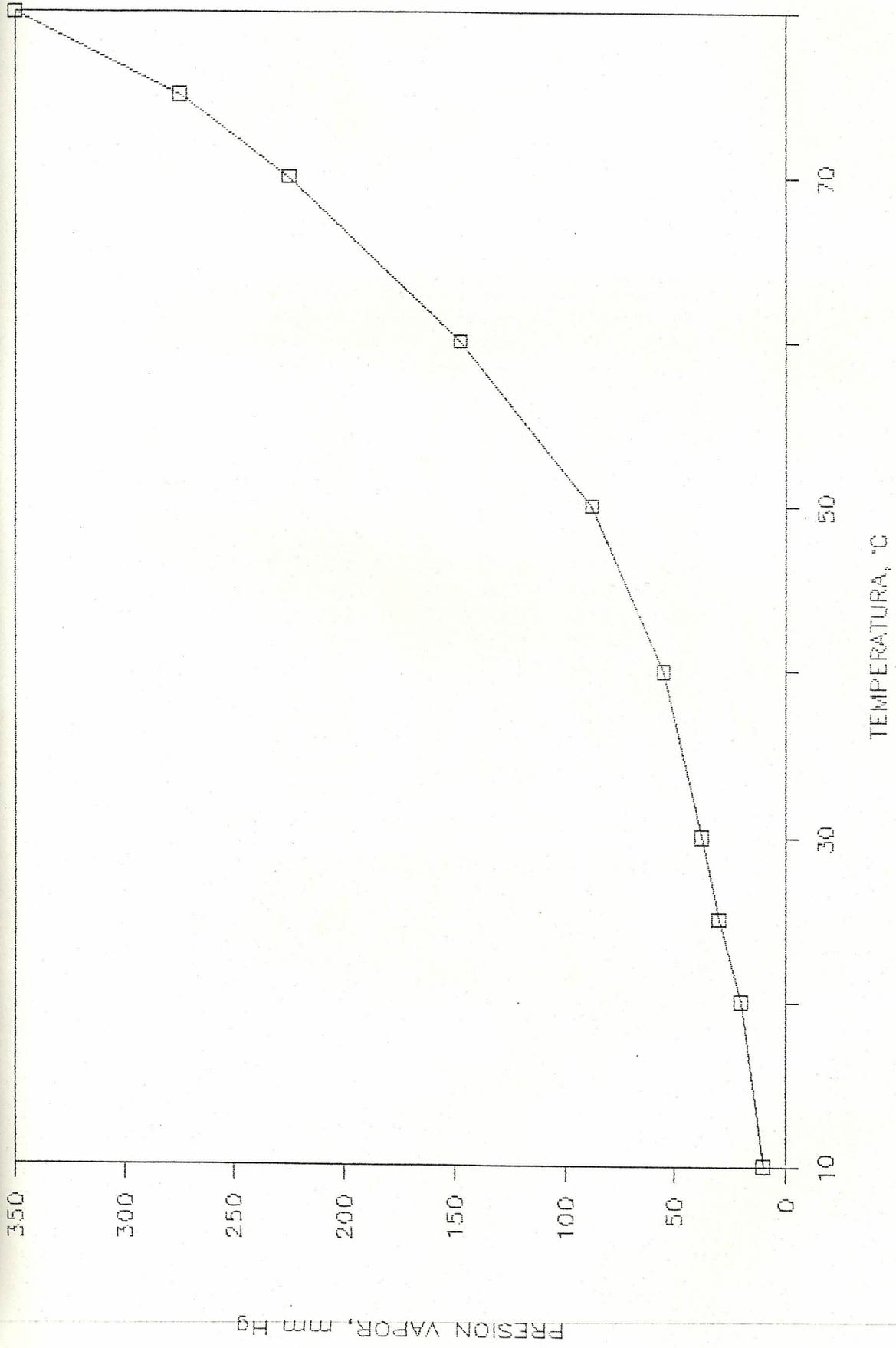
temperatura y se indica en la figura 1.3. Cuanto mayor es la temperatura mayor es la tendencia del agua a evaporarse, y más fácilmente se secarán las sustancias húmedas por evaporación del agua que contienen. Cuando la tensión de vapor del agua iguala la presión atmosférica que hay sobre ella, el agua hierve. La dependencia general de la temperatura de ebullición del agua con la presión puede verse en la tabla 5, de propiedades del vapor saturado.

La tensión de vapor se reduce por la presencia de sustancias disueltas, de forma que es más difícil secar un material humedecido por una solución que el que contiene agua pura, a igualdad de las restantes condiciones.

Estas leyes valen para los líquidos en general, aunque cada líquido tiene su curva de tensión particular. La figura 1.3 se ha dado solo para el agua, pues éste es el líquido problemático de secado.

Cuando una sustancia húmeda se pone en contacto con aire seco, las moléculas de agua abandonan la sustancia y pasan al aire. De este modo el aire que está junto a la superficie húmeda se satura de vapor de

FIG. 1. PRESSURE OF VAPOR OF WATER (1)



¡PRESION ¡ABSOLUTA Kg/cm ²	¡TEMPER. ¡DE EBULL. °C	¡ENTALPIA ¡DEL AGUA Kcal/Kg	¡CALOR LAT. ¡DE VAPOR. Kcal/Kg	¡ENTALPIA ¡DEL VAPOR. Kcal/Kg
0.00622	"	"	594.8	594.8
0.02380	20	20.05	584.3	604.3
0.07520	40	39.90	574.0	613.9
0.20280	60	59.90	562.9	622.8
0.48270	80	79.90	551.1	631.1
1.03330	100	100.00	538.7	638.7
2.02420	120	120.20	525.3	645.5
3.68350	140	140.70	510.9	651.6
6.29860	160	161.20	496.6	657.8
10.21500	180	182.00	482.2	664.2
15.93400	200	203.10	467.0	670.1
23.62000	220	224.60	450.2	674.9
34.17000	240	247.70	421.4	689.1
47.93000	260	271.00	395.4	666.4
65.51000	280	295.30	368.2	663.5
87.65000	300	321.20	335.0	656.2
225.40000	373.9	501.50	"	501.5

TABLA 5.- PROPIEDADES DEL VAPOR SECO Y SATURADO (2)

agua, y la sustancia no podrá perder más agua hasta que una parte de la cantidad ya perdida se difunda en el núcleo principal del aire. La difusión es un proceso lento y por esto conviene evidentemente que el aire esté en movimiento y la velocidad de secado aumentará con la velocidad del aire. La velocidad de secado depende también de la diferencia entre la concentración de vapor de agua en el aire y la concentración máxima en el punto de saturación. La velocidad es máxima cuando el aire está seco y es cero cuando se satura. Por esto el aire usado en el desecado debe abandonar el secador aún no saturado, es decir, conteniendo una cantidad de vapor de agua menor de la que teóricamente puede absorber. La cantidad máxima de vapor de agua que puede vaporizarse en el aire aumenta a temperaturas altas como se ve en la figura 1.3. En consecuencia, cuando las condiciones prácticas relacionadas con la naturaleza del producto lo permiten, se emplearán temperaturas elevadas para aumentar la velocidad de secado.

Cuando el contenido de agua en los gases es menor que la cantidad correspondiente a la saturación máxima, el grado de saturación se expresa como porcentaje en forma análoga a la fracción seca del vapor. Así a una temperatura determinada la presión de saturación es de 387 mm y el agua contenida en el

aire es de 28 Kg/100 m³ y si los gases abandonan el secador con saturación de 80%, la presión de vapor del agua que contiene será el 80% de 397 mm, o sea, 307.6 mm y su contenido de agua será el 80% de 28 Kg/100 m³, es decir, 22 Kg/100 m³.

La práctica general del secado consiste en calentar el material a una atmósfera que se mantiene por debajo de su punto de saturación, absorbiendo así la humedad del material. La velocidad de evaporación es proporcional a la diferencia entre la tensión de vapor del agua que se evapora y la presión del vapor circundante.

El proceso de secado puede dividirse en dos partes, en primer lugar la evaporación de la humedad superficial, que está determinada por condiciones exteriores al material, tales como humedad, temperatura y velocidad del aire que pasa sobre su superficie, en segundo lugar la penetración de calor en el material, con difusión de la humedad del interior hacia la superficie. Estos factores difieren con la estructura y naturaleza de los diversos materiales y por esta razón no puede tratarse el problema del secado por fórmulas simples termodinámicas o empíricas.

La capacidad del aire o del gas para absorber la

humedad aumenta rápidamente con el aumento de la temperatura. Como se muestra en la figura 1.3, la capacidad de absorción se hace unas 13 veces al aumentar la temperatura en unos 50°C.

La tabla 6 muestra la saturación del aire a diferentes temperaturas y la humedad absoluta por cada 100 m³ para diferentes grados de humedad, medidos con el higrómetro de temperatura seca y temperatura húmeda.

1.9. CANTIDAD DE AGUA EVAPORADA

Para encontrar la cantidad de gases que ha de pasar a través de un secador para evaporar una cantidad dada de agua, es necesario conocer la temperatura inicial y final, y la humedad de los gases. En las condiciones atmosféricas normales puede suponerse que el aire está a 15 ó 20°C y una humedad relativa del 40%, la cantidad de agua que arrastra por cada 100m³ puede verse en la tabla 6.

La tabla 6 muestra el porcentaje de saturación del aire y los pesos correspondientes de humedad por cada 100m³ de aire. Se aplica con un termómetro de bulbo seco y otro de bulbo húmedo.

SATURACION RELATIVA DEL AIRE, % KG DE AGUA POR 100 M³ DE AIRE (MEDIDOS A T°C)

DEPRESION: TERM. HUM.:	0°C	1°C	2°C	3°C	4°C	5°C	6°C	7°C	8°C	9°C
T(°C)										
10	100	88	76.5	65	54.5	44	33.5	23.5	---	---
	0.94	0.83	0.72	0.61	0.51	0.41	0.31	0.21	---	---
15	100	89.5	80	70.5	61.5	52.5	44	35.5	27.5	19.5
	1.28	1.15	1.02	0.9	0.79	0.67	0.56	0.45	0.35	0.25
20	100	91	82.5	74.5	66.5	59	51.5	44	37	30.5
	1.73	1.58	1.43	1.28	1.15	1.02	0.88	0.76	0.64	0.53
25	100	92	84.5	77	70	63	56.5	50.5	44.5	38.5
	2.3	2.12	1.96	1.78	1.61	1.46	1.31	1.16	1.02	0.88
30	100	93	86	79	73	67	61	56	50	44.5
	3.04	2.82	2.61	2.41	2.21	2.03	1.85	1.67	1.51	1.35
35	100	93.5	87	81	75	69.5	64	59	54	49
	3.96	3.7	3.44	3.2	2.97	2.75	2.54	2.33	2.13	1.94
40	100	94	88	82	77	72	66.5	62	57	53
	5.1	4.8	4.5	4.2	3.95	3.7	3.4	3.17	2.9	2.7
45	100	94	89	83	78.5	73.5	68.5	64	60	56
	6.55	6.15	5.8	5.4	5.2	4.8	4.5	4.2	3.9	3.65
50	100	94.5	89.5	84	79.5	75	71.5	66	62	58.5
	8.3	7.8	7.4	6.95	6.6	6.2	5.8	5.45	5.1	4.85
55	100	94.5	90	85	80.5	76	72	68	64	60.5
	10.4	9.8	9.35	8.8	8.35	7.9	7.5	7.05	6.65	6.3
60	100	95	90.5	86	81.5	77.5	73.5	70	66	62.5
	13	12.3	11.7	11.2	10.6	10	9.5	9.05	8.55	8.1
65	100	95	91	86.5	82	78	74.5	71	67.5	64
	16	15.2	14.6	13.9	13.9	12.5	11.9	11.4	10.8	10.3
70	100	95.5	91	87	83	79	75.5	72	68.5	65.5
	19.7	18.8	17.9	17.1	16.3	15.5	14.9	14.2	13.5	12.9
75	100	95.5	91.5	87.5	83.5	79.5	76	72.5	69.5	66.5
	24	22.9	22	21	20	19.1	18.2	17.4	16.7	16

TABLA 6.- SATURACION RELATIVA DEL AIRE A TEMPERATURAS DE 10°C A 75°C Y PESO CORRESPONDIENTE DE AGUA EN 100 MTS

Por ejemplo, si la temperatura es de 20°C y el termómetro de bulbo húmedo marca 14°C, la depresión es de 6°C y, la lectura tomando 20°C en horizontales y 6°C en verticales, nos da una saturación del 51.5%, correspondiente a una cantidad de agua de 0.88 Kg de agua por cada 100m³ de aire húmedo.

Un proceso de secado puede considerarse eficaz si los gases exhaustos abandonan el secador con una humedad relativa del 80%.

Para hallar la humedad evaporada por 100m³ de gases de salida que abandonan el evaporador a 60°C, con saturación del 80%, cuando el aire atmosférico está a 10°C, con saturación del 40%.

En la tabla 6, se encuentra que a 60°C y 80% de saturación, los gases calientes contienen 10.4 Kg de agua en 100m³.

El volumen de gases que entra al horno a 10°C será:

$$V = 100[(273+10)/(273+60)] = 85 \text{ m}^3$$

Mientras que la tabla 6 nos dá, para 10°C y 40% de saturación, un contenido de humedad de 0.38 Kg/100m³ o sea:

$$(85/100) 0.38 = 0.32 \text{ Kg en } 85\text{m}^3$$

De esta forma la cantidad de agua evaporada será $10.4 - 0.38 = 10 \text{ Kg}/100 \text{ m}^3$ de gases que abandonan el evaporador a 60°C y 80% de saturación. Este método de cálculo no es completamente exacto, puesto que los gases a 60°C con humedad relativa de 80% perderían parte de su humedad por condensación si se enfriaran hasta 10°C . El volumen de entrada calculado tiene unos 5m^3 sobre el valor real. Como el contenido de H_2O en los gases que entran es pequeño, el error no es serio generalmente.

CANTIDAD DE AGUA EVAPORADA

Al secar no es usual evaporar toda la humedad del material por las razones antes mencionadas. Para encontrar la humedad evaporada puede usarse la fórmula siguiente:

$(bc/100a) - (d/100) =$ relación de peso de agua evaporada a peso de material desecado.

a = Porcentaje de materia seca en el material de entrada.

b = Porcentaje de humedad en el material de entrada

c = Porcentaje de materia seca en el material de salida seco

d = Porcentaje de humedad en el material de salida seco

Por ejemplo, encontrar el peso de agua evaporada al secar un material con humedad inicial del 78% (y 22% materia seca), si el material de secado contiene 12% de humedad (y 88% de materia seca).

$[(78 \times 88) / (100 \times 22) - 0.12] = 3$ Kg de agua evaporada para producir 1 Kg de material desecado.

CALOR SENSIBLE

Este es el calor necesario para elevar la temperatura del material que pasa a través del evaporador y es equivalente a:

$W \times S(t_2 - t_1)$ = Calor sensible en Kcal, donde:

W = Peso del material, Kg

S = Calor específico, Kcal/Kg-°C

t_1 = Temperatura de entrada al evaporador, °C

t_2 = Temperatura de salida al evaporador, °C

Este calor sensible constituye una pérdida, pues la elevación de temperatura del material que abandona

el evaporador no sirve para un propósito útil en ningún proceso subsiguiente.

RENDIMIENTO TERMICO INTEGRAL

El rendimiento térmico integral de una instalación está dado por (η):

$$\frac{(\text{Kg de agua evaporada} \times \text{Calor latente de evaporación})}{(\text{Kg de comb. usado} \times \text{Potencia calorífica del comb.})}$$

PERDIDAS DE CALOR EN EL EVAPORADOR

1. Pérdidas de combustión y de radiación del horno
2. Pérdidas de calor sensible por la elevación de temperatura del material en el evaporador. Las pérdidas excesivas de calor sensible se deben generalmente a la sobrecarga del evaporador o a que se fuerza el paso de gases calientes a través del aparato a una velocidad que excede a la necesaria para su operación eficiente.
3. Pérdidas por radiación: En las superficies externas calientes de la instalación tienen lugar pérdidas por radiación y convección que pueden reducirse a proporciones razonables aislando adecuadamente.

4. Gases calientes que abandonan el evaporador:

Contienen todo el calor latente del agua evaporada y su propio calor sensible. Cuando los gases no contienen componentes corrosivos, tales como el dióxido de azufre, es posible recobrar en los procesos continuos una gran parte del calor contenido en ellos, pasándolos a través de un cambiador de calor en contracorriente con agua, que se empleará a continuación para la alimentación de una caldera, o la calefacción de oficinas, edificios, etc.

La temperatura de los gases no ha de ser superior a la necesaria para el correcto funcionamiento de la instalación. Las pérdidas excesivas pueden ser debidas a un diseño defectuoso de la instalación o al paso demasiado grande de gases calientes a través de él. Debe evitarse un exceso de gases sobre la cantidad necesaria para obtener una saturación de salida del 80%, por las mismas razones que se evita un exceso de aire en la práctica de la combustión.

CAPITULO II

DISEÑO DEL EVAPORADOR

2.1. PARTES COMPONENTES

1. TOLVA DE ALIMENTACION
2. HORNO
3. QUEMADOR
4. CONEXION HORNO-CILINDRO
5. CILINDRO ROTATORIO
6. VENTILADOR DE TIRO INDUCIDO
7. CICLON

2.2. DISEÑO DE LOS COMPONENTES

1. TOLVA DE ALIMENTACION

Como su nombre lo indica servirá para almacenar el material. Esta tolva es alimentada por una banda transportadora y mantiene entre 2 y 2.5 toneladas en su interior.

Se la diseñó con puertas corredizas, las mismas que sirven para regular la salida del material, o lo que es lo mismo, la entrada del carbón al cilindro

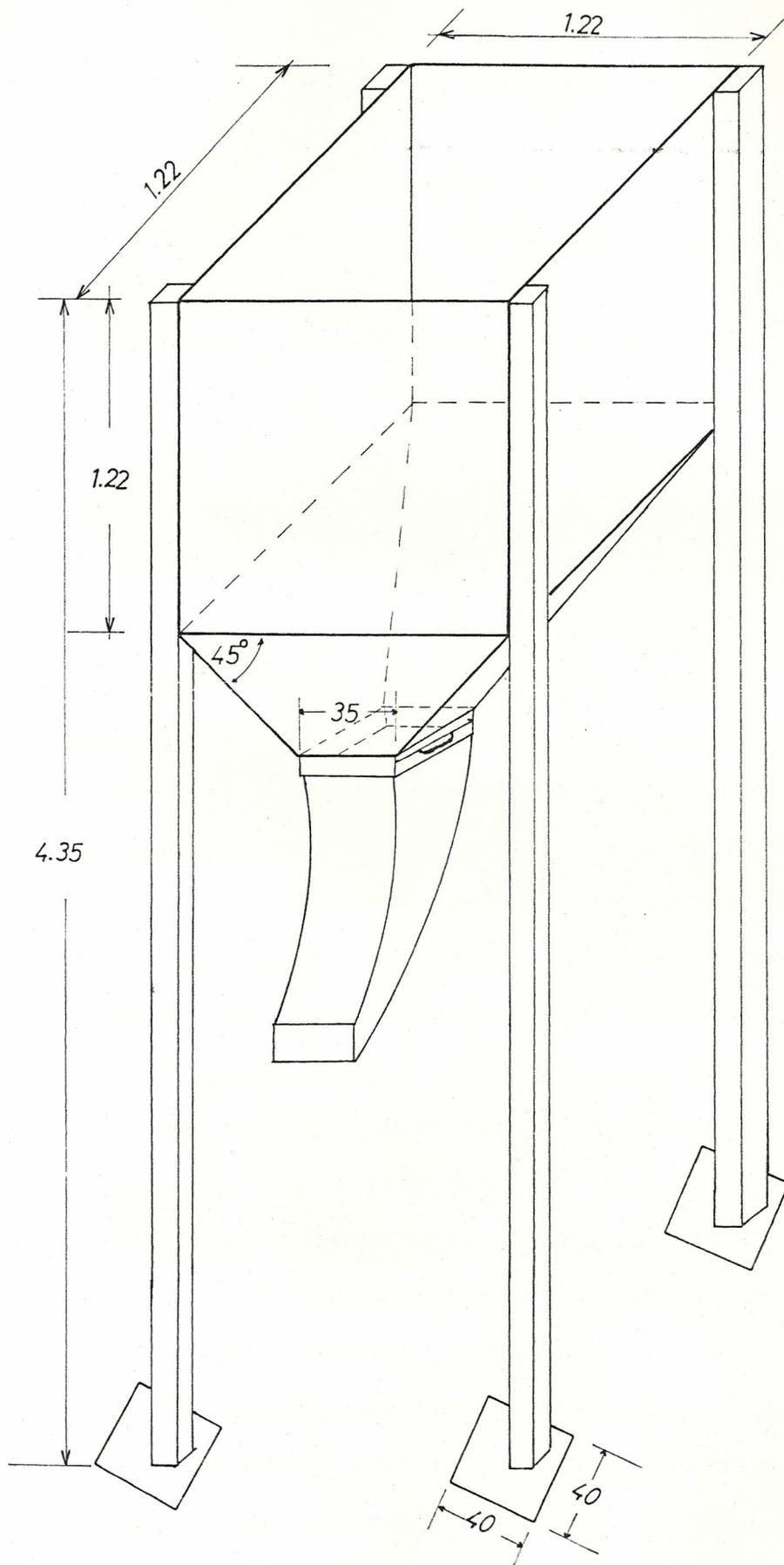


FIG. 2.1.- TOLVA DE ALIMENTACION

2. HORNO

Casi todos los métodos de secado necesitan la provisión de aire caliente o aire mezclado con los productos de combustión de un mechero.

Los factores que deciden el mejor método de calefacción son los siguientes:

a. Conveniencia y facilidad de control

Esto supone que pueda mantenerse continuamente la temperatura y la producción de calor requerida con un mínimo de trabajo y de atención. Es de importancia vital mantener la temperatura correcta de secado, pues ello asegura que el material se trate en las mejores condiciones de temperatura y que no se dañe ni estropee por las fluctuaciones de la misma. Para un peso determinado de material seco, el costo de combustible es aproximadamente proporcional a la cantidad de humedad que ha de evaporarse. Cuando solo se va a evaporar una pequeña cantidad de humedad, o bien cuando se secan productos valiosos, la conveniencia y facilidad de control pueden ser más interesantes que la eficiencia del combustible.

b. Eficiencia del combustible

En todas las operaciones de secado es conveniente el rendimiento térmico elevado y el bajo costo del combustible y particularmente donde el material a secar tenga un gran contenido de humedad y el valor del mismo no sea muy elevado.

c. Disponibilidad del combustible

En todas las operaciones de secado, los factores anteriores a y b, vienen determinados en un grado considerable por las disponibilidades y el costo relativo de los diferentes combustibles en el emplazamiento de la instalación de evaporación.

El horno de calefacción directa es el medio más eficiente para proveer aire caliente y gases para el secado. El aire se calienta mezclándolo con los productos de combustión de quemadores de gas o diesel. La cámara de combustión ha de ser de un tamaño adecuado para asegurar la combustión completa, así mismo el combustible debe garantizar una salida continua y el mechero debe asegurar una combustión sin humo. La cámara de combustión va revestida de refractario, hay un regulador para la admisión de aire frío, que gradúa la temperatura del aire caliente para la entrada en el secador. La velocidad de los gases debe ser suficientemente baja

para que la combustión se complete en la cámara de combustión.

El diseño de este horno, es quizás el factor más importante para la eficiencia de la instalación completa, es por esta razón que el mayor énfasis se pone en el diseño, construcción y montaje del horno propiamente dicho.

CONDUCCION

$$q = k(t_1 - t_2)A/l$$

$$q/a = H = k(t_1 - t_2)/l$$

Siendo:

q = Cantidad de calor que fluye por unidad de tiempo

t_1, t_2 = Temperaturas en las caras extremas

A = Superficie de conducción

l = Espesor de la pared

k = Conductividad térmica de la pared

A continuación en la tabla 7 puede observarse

algunos valores de conductividad térmica de materiales.

MATERIAL	TEMPERATURA, °C	COND. TERMICA Kcal/m-h-°C
Acero	100	38.5
Ladrillo refractario	300	0.91
	700	1.00
	1100	1.04
Ladrillo Aislante	0-200	0.090
	0-400	0.100
	0-600	0.111
	0-800	0.126

TABLA 7.- CONDUCTIVIDAD TERMICA DE MATERIALES

CONDUCTIVIDAD DE PAREDES COMPUESTAS

Para una pared que consta de tres capas de materiales diferentes como nuestro horno, la fórmula queda:

$$H = q/A = A(t_1 - t_2) / [(l_1/k_1) + (l_2/k_2) + (l_3/k_3)]$$

Así una pared que consta de:

34.5 cm de ladrillo refractario ($k = 1$)

11.5 cm de ladrillo aislante ($k = 0.153$)

0.30 cm de lámina de acero ($k = 38.5$)

Con temperaturas de 1300°C y 110°C , la cantidad de calor que pasa por m^2 y hora es:

$$q/A = 1086 \text{ Kcal/m}^2\text{-hr}$$

A continuación se muestra la figura 2.2, en la que se puede observar el horno con la distribución que se hizo para los tipos de ladrillo refractario.

El peso específico del ladrillo refractario normal es 1.95 Kg/dm^3 , y la dilatación a los 1000°C es 0.5%.

En la tabla 8 se ha condensado los valores de calor almacenado en la pared (para refractario solo y para refractario con aislante, en dos espesores diferentes y a 1000°C), concluyendo que el aislamiento externo aumenta la temperatura media del revestimiento refractario, aumentando el calor almacenado en la pared.

En la tabla 9 se muestra el calor almacenado al elevar la temperatura de la cara caliente a 1300°C .

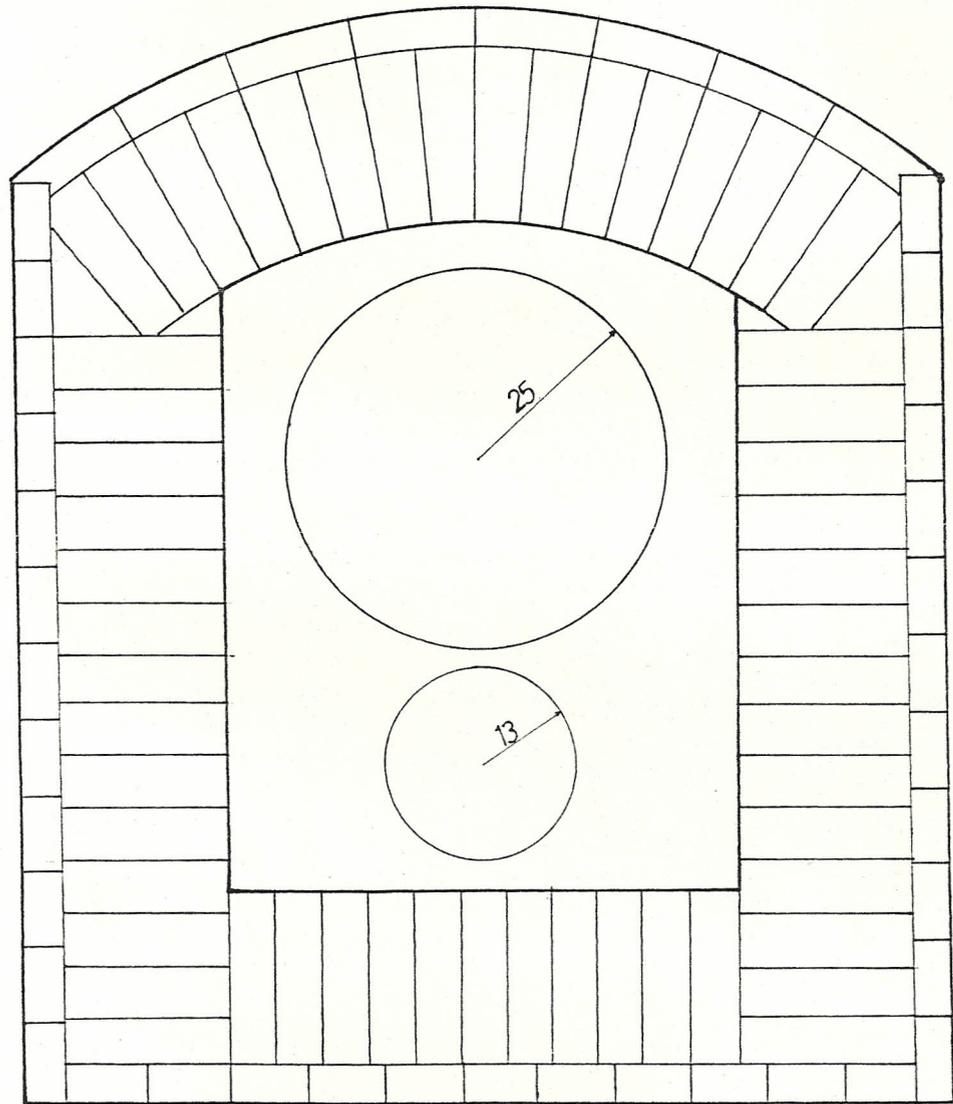


FIG. 2.2.- HORNO

COMPOSICION DE LA PARED DEL HORNO		TEMP. MEDIA DE LA PARED		CALOR ALMACENADO EN LA PARED EN KCAL/M ² DE SUPERFICIE INTERNA		
REF. (cm)	AIS. (cm)	REF. (°C)	AISL. (°C)	REF.	AISL.	TOTAL
22.5	----	676	---	70000	-----	70000
34.5	----	654	---	101500	-----	101500
22.5	11.5	998	507	103500	6500	110000
34.5	11.5	963	540	152500	6000	158500

TABLA 8.- EFECTO DEL AISLAMIENTO EXTERNO

TIPO DE PARED	ESPESES. (CM)		CALOR ALMACENADO (KCAL/M ²)		
	LAD.	AIS.	LAD.	AIS.	TOTAL
AISL. ALTA T.	22.5	---	40700	-----	40700
REF. RESPALDA DO CON AISLAN TE	22.5	11.5	127400	9000	136400
	34.5	11.5	183700	8200	191900

TABLA 9.- CALOR ALMACENADO AL ELEVAR LA TEMPERATURA DE LA CARA CALIENTE HASTA 1300 °C.

En la tabla 10, se ve el efecto del aislamiento en un horno.

	REVESTIMIENTO CON REFRACT.	REVESTIMIENTO CON AISLANTE
TIEMPO PARA ALCANZAR 1150°C DESDE T ₀	55 min	15 min
GAS USADO EN CALENT	11.3 m ³	2.55 m ³
VELCIDAD CONSUMO GAS	13.5 m ³ /h	10.6 m ³ /h
VEL.GAS PARA MANTE- NER 1150°C	9.9 m ³ /h	4.45 m ³ /h

TABLA 10.- EFECTO DEL AISLAMIENTO EN UN HORNO

En la tabla 11, se compara el rendimiento de un horno sin aislar con otros aislados, con simple y doble aislamiento.

METODO DE CONSTRUCCION	PERDIDA POR TRANSMISION Kcal/sem-m ²	PERDIDA DEL CALOR ALMACENADO Kcal/m ² -fin sem
22.5 refractario k = 0.97	397000	54500
22.5 aislante de alta temperatura. k = 0.235	106000	17700
22.5 aisl. alta temper. respaldado con 5 de aislante. k = 0.092	68400	18400

TABLA 11.- HORNO A 1000°C, CICLO DE 120 HRS, PARANDO 48 HORAS.

PERDIDAS DE CALOR POR LAS SUPERFICIES

La suma de radiación y convección se obtiene de la ecuación:

$$H_c + H_r = C (t_1 - t_2) 1.25 + (4.92 \times 10^{-8}) E (T_1^4 - T_2^4)$$

en Kcal/m²-hr

La temperatura de la superficie caliente viene determinada tanto por el carácter de la pérdida de calor por la superficie externa, como por la

conductibilidad a través de la pared.

En la tabla 12, se dan los valores calculados para las pérdidas por convección y radiación de la pared de un horno, situada en una atmósfera a 21°C. Estos resultados están basados en el coeficiente de emisividad E para el ladrillo y por tanto han de repetirse los cálculos si el material que recubre la pared tiene un coeficiente de emisividad diferente. El factor que determina las pérdidas de calor a través de la pared del horno es el carácter aislante de la misma.

Todas estas tablas nos indican:

- a. La eficacia relativa de aumentar el espesor de las paredes para evitar la pérdida de calor.
- b. El valor apropiado del ladrillo refractario para este propósito.
- c. El hecho de que un pequeño espesor de ladrillo refractario produce ya casi la mayor parte de la reducción de pérdidas posibles.

TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE		PERDIDAS DE CALOR (Kcal/m ² -hr)		
		HACIA ARRIBA	VERTICAL	HACIA ABAJO
°C	°F			
38	100	146	130	117
65.5	150	467	412	347
93	200	852	760	640
121	250	1340	1140	980
149	300	1880	1635	1420
176.5	350	2520	2280	1920
204.5	400	3230	2900	2520
232	450	4100	3680	3230
260	500	5020	4550	4020

TABLA 12.- PERDIDAS POR CONVECCION Y RADIACION DE LA RED DE UN HORNO SITUADO A 21°C.

Usaré por lo tanto refractario aislante de alta temperatura que es muy poroso, bastante resistente a la compresión y desconchamiento, utilizable hasta los 1300°C y será respaldado con aislante de diferente conductividad térmica k.

Cálculo final

$$H = q/A = (t_1 - t_2) / [(L_1/k_1) + (L_2/k_2) + (L_3/k_3)]$$

$$H = 839.5 \text{ Kcal/m}^2\text{-hr}$$

La diferencia es: 246.5 Kcal

$$A_{\text{total}} = 14 \text{ m}^2$$

$$\text{Ahorro} = 3.451 \text{ Kcal/hr}$$

$$\text{Ahorro total} = 414120 \text{ Kcal (1 semana)}$$

El horno tiene entonces:

1. Pérdidas por conducción : 840 Kcal/m²-hr
2. Pérdidas por conv. y radia.: 150 Kcal/m²-hr (Area superior-boveda)
3. Pérdidas por conv. y radia.: 135 Kcal/m²-hr (Areas verticales)
4. Pérdidas por conv. y rad.: 120 Kcal/m²-hr (piso)

La sumatoria de las pérdidas por convección, radiación y conducción, son:

$$\begin{aligned}
 840 \times 14.00 &= 11760.0 \\
 150 \times 3.22 &= 483.0 \\
 135 \times 7.80 &= 1053.0 \\
 120 \times 2.98 &= 357.6 \\
 \text{Total} &= 13653.6 \text{ Kcal/hr} = 5.1\%
 \end{aligned}$$

PERDIDAS DE CALOR SENSIBLE EN LOS GASES USADOS

El fuel oil utilizado está compuesto de 86% de carbono y 12% de hidrógeno, y la cantidad de aire requerida para 1 Kg de combustión es de 14 Kg (11.48 m³ a 15.5°C y 1 atmósfera).

El volumen de los gases de combustión a 15.5°C y 1 atmósfera es de 12.11 m^3 .

El porcentaje de composición de los gases de combustión es:

$$\text{CO}_2 = 14.1 \%$$

$$\text{N}_2 = 74.1 \%$$

$$\text{H}_2\text{O} = 11.4 \%$$

El porcentaje de CO_2 en los gases de combustión secos es de 15.9% , el poder calorífico del combustible es $\approx 9500 \text{ Kcal/lt}$, lo que multiplicado por 28 lts/hr nos da un calor sensible de 266000 Kcal/hr , que representado en porcentaje nos da 48.1% , que representa la potencia calorífica bruta.

Calor sensible en calentamiento del carbón

El flujo másico del carbón es 840 Kg/hr , el mismo que entra a una temperatura de 18°C y debe salir a 63°C , por lo tanto el Δt es igual a 45°C .

La humedad del coke debe ir de 25% a 7% , lo que indica que se debe eliminar 18% de humedad.

El calor específico del carbón es $0.25 \text{ Kcal/Kg}^{\circ}\text{C}$ en

intervalo de 0°C a 150°C.

Calor sensible = (840 Kg/hr)(0.25 Kcal/Kg-°C)(45°C)

Calor sensible = 9450 Kcal/hr

Lo que equivale al 3.6% del total.

Si X

PERDIDAS EN LOS GASES USADOS

Temperatura de salida de los gases: 120-150°C

80% de saturación

67.5% de humedad relativa promedio

El calor específico de los gases de combustión es 0.352 Kcal/m³-°C en intervalo de 0°C a 1000°C y a 1 atmósfera.

La densidad de los gases de combustión es 0.88 Kg/dm³ y el flujo másico de combustible es de 28 litros por hora.

Las pérdidas en los gases usados = 11448.73 Kcal/hr

Estas pérdidas equivalen al 4.8%.

Calor necesario para calentar el aire

Sabemos que se necesitan 56.6 Kg de aire por cada kilogramo de combustible, para 100 m³ a 15.5°C y 1 atmósfera, calculamos el peso:

A temperatura inicial de 15.5°C y para llevarlo a 800°C.

$$W = 100 [353.1 / (273 + 800)] = 32.9 \text{ Kg}$$

Calor necesario:

$$Q = 32.9 (800 - 15.5) (0.242) = 6.246 \text{ Kcal/100m}^3$$

Cantidad de agua evaporada

Material con humedad inicial de 25% (75% seco).

Si el material seco contiene 7% de humedad (93% seco), entonces:

$$[(25/100)(93/75)] - 0.07 = 0.24 \text{ Kg de agua evaporada para producir 1 Kg de material seco.}$$

$$(840)(0.24) = 201.6 \text{ Kg de agua evaporada para producir 840 Kg/hr de carbón seco.}$$

Humedad evaporada por 100 m³ de gases a 75°C (salida) con 80% de humedad y aire atmosférico a

15°C con 65% de humedad relativa.

En la tabla 6, encontramos que a 75°C y 80% de saturación, los gases calientes contienen 19.5 Kg de agua en 100 m³.

El volumen de los gases que entren al horno a 15°C será:

$$[100(273+15)/(273+75)] = 82.75 \text{ m}^3$$

La tabla 6 nos dá para 15°C y 65% de saturación un contenido de humedad de 0.845 Kg/100m³, o sea, $[(82.75/100)(0.845)] = 0.70 \text{ Kg}$ en 82.75 m³ y el agua evaporada será:

$19.5 - 0.7 = 18.8 \text{ Kg}$ por cada 100 m³ de gases que salen a 75°C y con 80% de saturación.

Para evaporar 201.6 Kg de agua se necesitan $10.72 \times 100 = 1.072 \text{ m}^3$ de gases ó 1072 m³/hr, esto es semejante a 3.875 CFM.

De catálogos encontramos un ventilador con 4.920 CFM, el cual usaremos para asegurarnos de tener el caudal requerido.

$$\eta_{\text{integral}} = \frac{[(201.6 \text{ Kg agua evap.} \times 539.7 \text{ Kcal/Kg})]}{[(24.64 \text{ Kg diesel} \times 10.750 \text{ Kcal/Kg})]}$$

$$\eta_{\text{integral}} = 41\%$$

Es decir se alcanzó a 8.18 Kg de agua evaporada por Kg de combustible.

PERDIDAS	%
Calor sensible usado en calentar el material	3.6
Pérdida de calor en gases de escape	4.8
Pérdida de calor en la estructura	5.1
Pérdida de calor sensible en gases usados	48.1
Calor efectivo usado en evaporar la humedad del material	38.4

Finalmente el horno fue construido de ladrillo empire de 22x11x5 cm, de conductividad térmica igual a 0.092 y con un peso específico de 1.2 Kg/dm³.

La capacidad final del horno fue de 1 m³ (interna) y la capacidad de secado fue de 1100 m³/hr.

Las medidas del horno fueron:

1.22m x 1.44m x 2.44m.

La temperatura de las paredes fue de 1200°C y la temperatura de llama alcanzó los 1350°C, el peso total del horno fue de 2800 Kg. ✓

El costo del horno fue de S/. 630000,00 sucres, incluido construcción y montaje. Ver tabla 12a.

En la figura 2.2 se puede observar el horno.

MATERIAL	CANTIDAD	C. UNIT. SUCRES	MEDIDAS Cm	C. TOT. SUCRES
- Lad. Boveda	175	175	22x22x8x6	30625
- Lad.ais. alta T.	950	165	22x11x7	56750
- Aislante normal	600	140	22x11x5	84000
- Cemento	4	14250	35Kg	57000
- Pl 3mm	7	4500	122 x 244	31500
- Soldadura	1/2 caja	4000	6011	2000
- M.O.D.				50000
- CALC.DIS.				135000
- Gast.IND.				10000
- Construc.				75000
TOTAL				631875

Tabla 12a.- MATERIALES UTILIZADOS.

✓ 3. QUEMADOR

El quemador fue seleccionado de acuerdo a la tabla 12b con un factor de seguridad de 2. A continuación se puede ver en la figura 2.3 el quemador seleccionado, el cual es de la marca GOLDEN.

Los parámetros físicos del quemador y del ventilador serán especificados en la sección 2.3.

El costo total del quemador fue de S/. 185.000,00 sucres y su peso fue de 45 Kg.

Las dimensiones de este quemador constan en la figura 2.3.

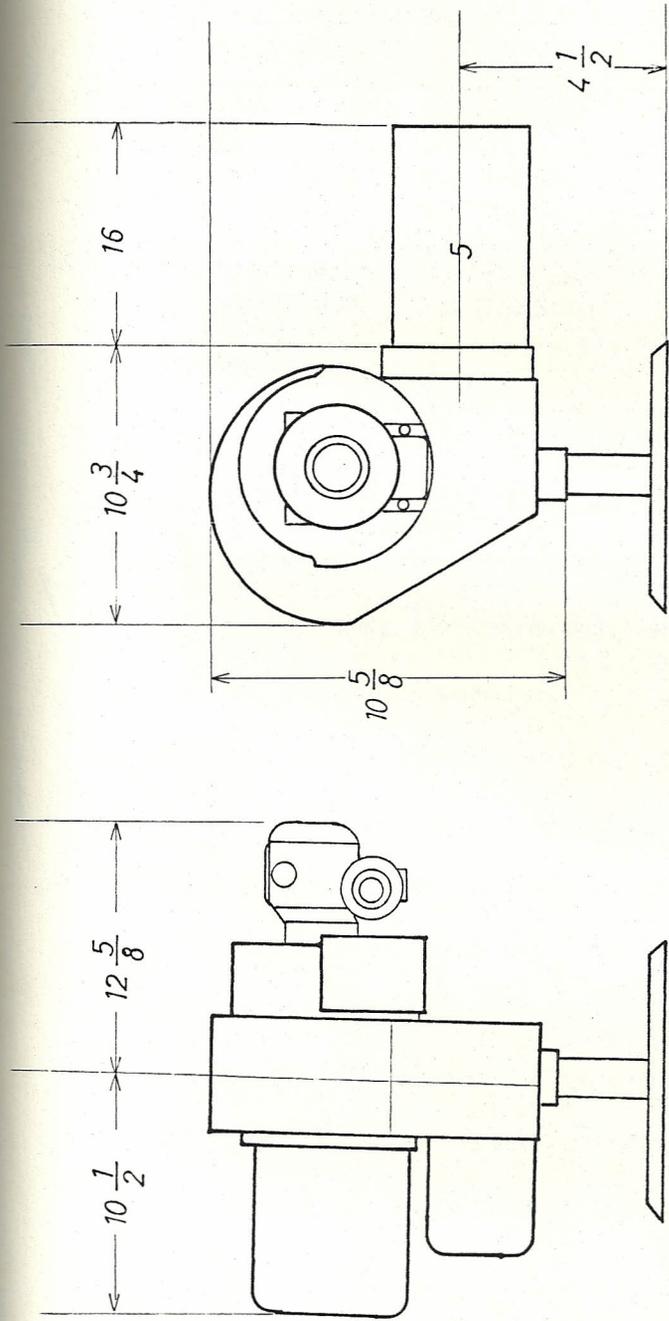


FIG. 2.3.- GUENADOR

MODELO DE QUEMADOR		HC-1	HC-34
CAPACIDAD, GPH [MIN,MAX]		2.0, 6.0	5.0, 14.0
MOTOR HP,RPM		1/6, 1725	1/3, 3450
UNID. COMB.	ESTANDAR OPCIONAL	1 parada 2 paradas	2 paradas
V. ESTANDAR OPCIONAL	H. O IGUAL H. O IGUAL	SI	SI
TRANSFORMADOR		RAZON CONST., 10000 VOL	

Tabla 12b.- ESPECIFICACIONES DE QUEMADORES SERIE HC

4. CONEXION HORNO CILINDRO

La conexión horno-cilindro fue hecha en plancha de 1/8" (3 mm) de hierro, en forma de tubo cilíndrico de 50 cm de diámetro.

El aislamiento fue hecho con lana de vidrio (3 cm) y 1.32 m de largo, se aseguró a la torre de la tolva por medio de pernos, en el lado del cilindro rotatorio se usó un anillo para cerrar el espacio libre de 48 cm, y en el lado del horno esta conexión penetra 10 cm. Ver figuras 2.3a y 2.3 b.

El costo de esta conexión fue de S/. 25.000,00 sucres y el peso de 90 Kg.

5. CILINDRO ROTATORIO

Se trata de obtener carbón suficientemente seco para ser utilizado en la producción de carburo de calcio (C_2Ca), carbón que deberá previamente ser procesado y salir seco de su tratamiento puesto que es el que

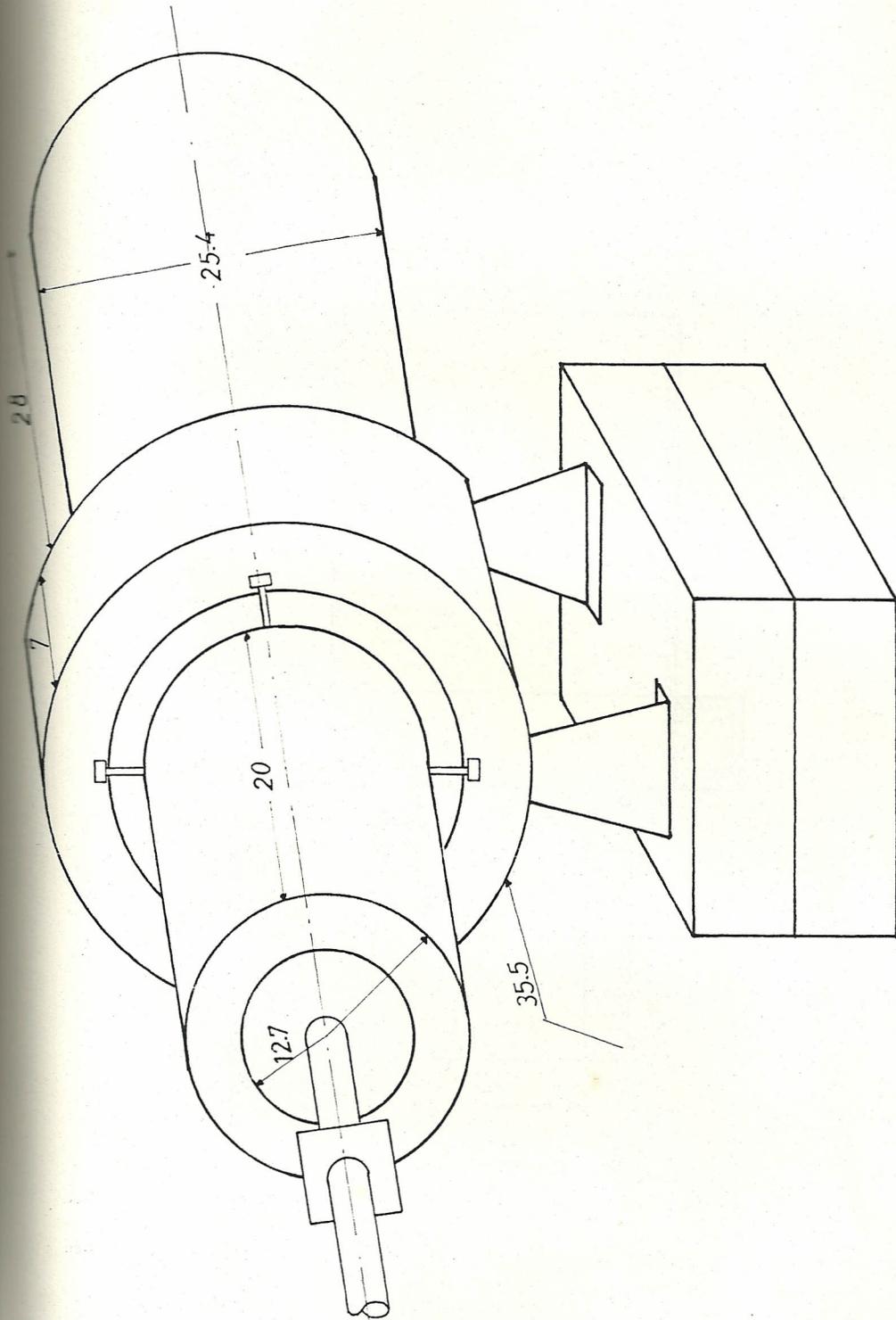


FIG. 2.3a.- CONEXION HORNO CILINDRO

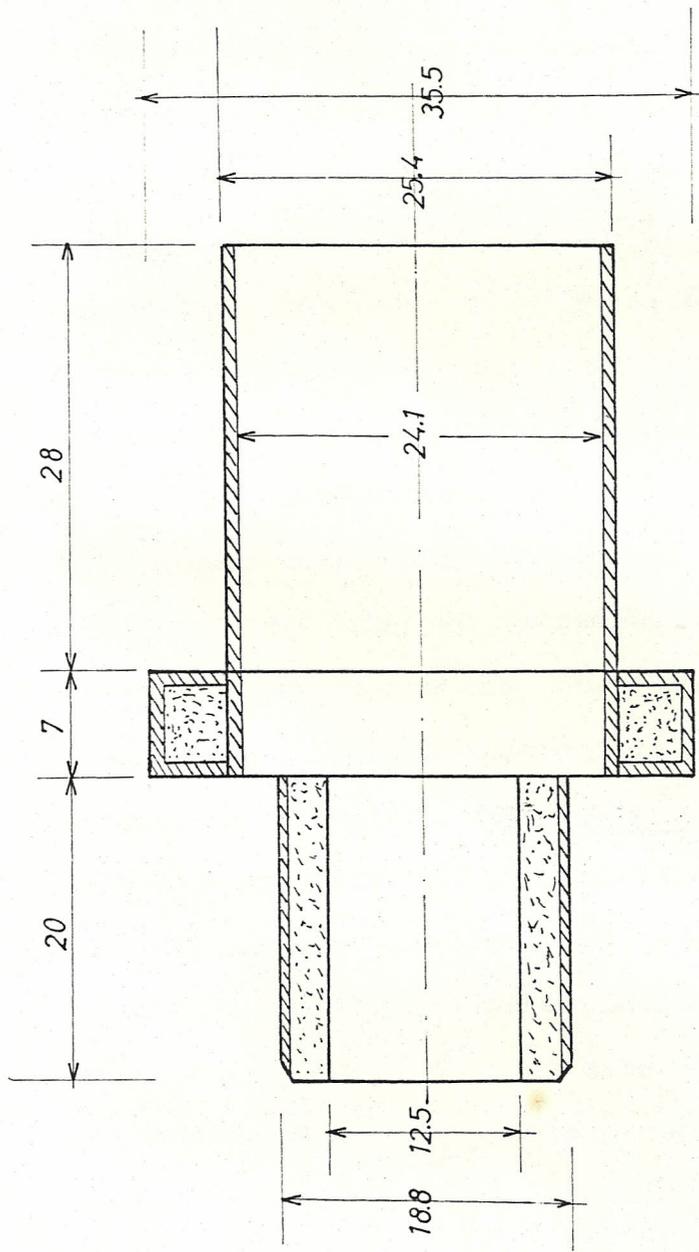


FIG. 2.36.- VISTA LATERAL CONEXION HORNO-CILINDRO

se usa como materia prima para elaborar este producto. Ahora bien, si este carbón no sale suficientemente seco, el agua que está en exceso debe ser evaporada en los hornos mismos con el consiguiente desperdicio de energía. Cuando se produce carburo de calcio, en la carga del horno se mezcla cal viva con carbón y si esté carbón va con exceso de humedad, lo cual sucede a veces (hay variaciones que van desde un 15% a un 25% de humedad en algunas ocasiones), la cal viva se transforma en cal apagada o hidróxido de calcio al que habría que disociar, lo que es altamente costoso en energía puesto que se trata de una reacción endotérmica. Además hay que considerar la conductibilidad del carbón que también varía con la humedad. Se ha determinado ésta como máxima en 8%, por lo tanto nuestro secador deberá ser capaz de secar 20 toneladas diarias de coke y dejarlo con una humedad del orden del 6 al 8% para garantizar un 75% o más de carbono fijo. Si pretendiésemos dejarle con una humedad del orden de 1 al 5%, nos encontraríamos desperdiciando energía, puesto que reabsorbería la humedad del ambiente y en corto tiempo estaría con un 6 a 8% aproximadamente.

Para esto se escogió un secador de cilindro rotatorio simple, que consta de un cilindro

giratorio horizontal con un cierto número de aletas longitudinales en su interior. Los cilindros de los secadores de este tipo pueden ir los más pequeños de 2 metros de longitud por 0.60 de diámetro y los más grandes de 20 metros de longitud por 2.50 metros de diámetro.

Este tipo de secador es el más conveniente para solucionar nuestro problema puesto que se usa para la desecación de material que ha de revolverse en la corriente de gases calientes para asegurar la uniformidad de secado. Los gases calientes pasan generalmente a través del cilindro por un ventilador de tiro inducido.

Al introducir el material a secar cae al fondo del cilindro, y a medida que éste gira es arrastrado por las aletas y cae a través de la corriente de aire caliente. El movimiento constante del material da lugar a una gran uniformidad de secado.

El cilindro tiene usualmente una ligera inclinación hacia la salida que varía de 1:16 para el secado rápido a 1:30 ó 1:40 para el secado lento. En base a la velocidad requerida se seleccionó 1:35.

Tanto la inclinación como la forma, anchura, número y forma de las aletas vienen determinadas por la

experiencia.

Siempre que sea posible, la entrada de material se hace en sentido contrario del paso de los gases calientes.

La velocidad de alimentación a través del cilindro se controla por la velocidad de los gases calientes, por la pendiente del cilindro hacia la salida y por la inclinación de las aletas.

Estos secadores evaporan unos 30 Kg de agua por m³ de capacidad y hora, y funcionan con temperaturas de entrada de gases calientes del orden de 280-350°C.

El cilindro rotatorio fue construido de 7 metros de largo y de 0.98 mts de diámetro en plancha de hierro de 5 mm de espesor, en total tenía un peso de 850 Kg.

El cilindro rotatorio consta de tres partes de 2, 3 y 2 metros respectivamente, la sección de 3 metros (sección intermedia) es la que lleva incluida los 4 motores (Marca: GOULD CENTURY, 2 HP, monofásicos, 1750 RPM) que dan movimiento al cilindro. En el Plano general del conjunto puede apreciarse en detalle el cilindro rotatorio. Esta sección se encuentra sobre cojinetes de deslizamiento adecuados. Ver figura 2.4. Para el cálculo de la resistencia de la superficie de contacto tenemos:

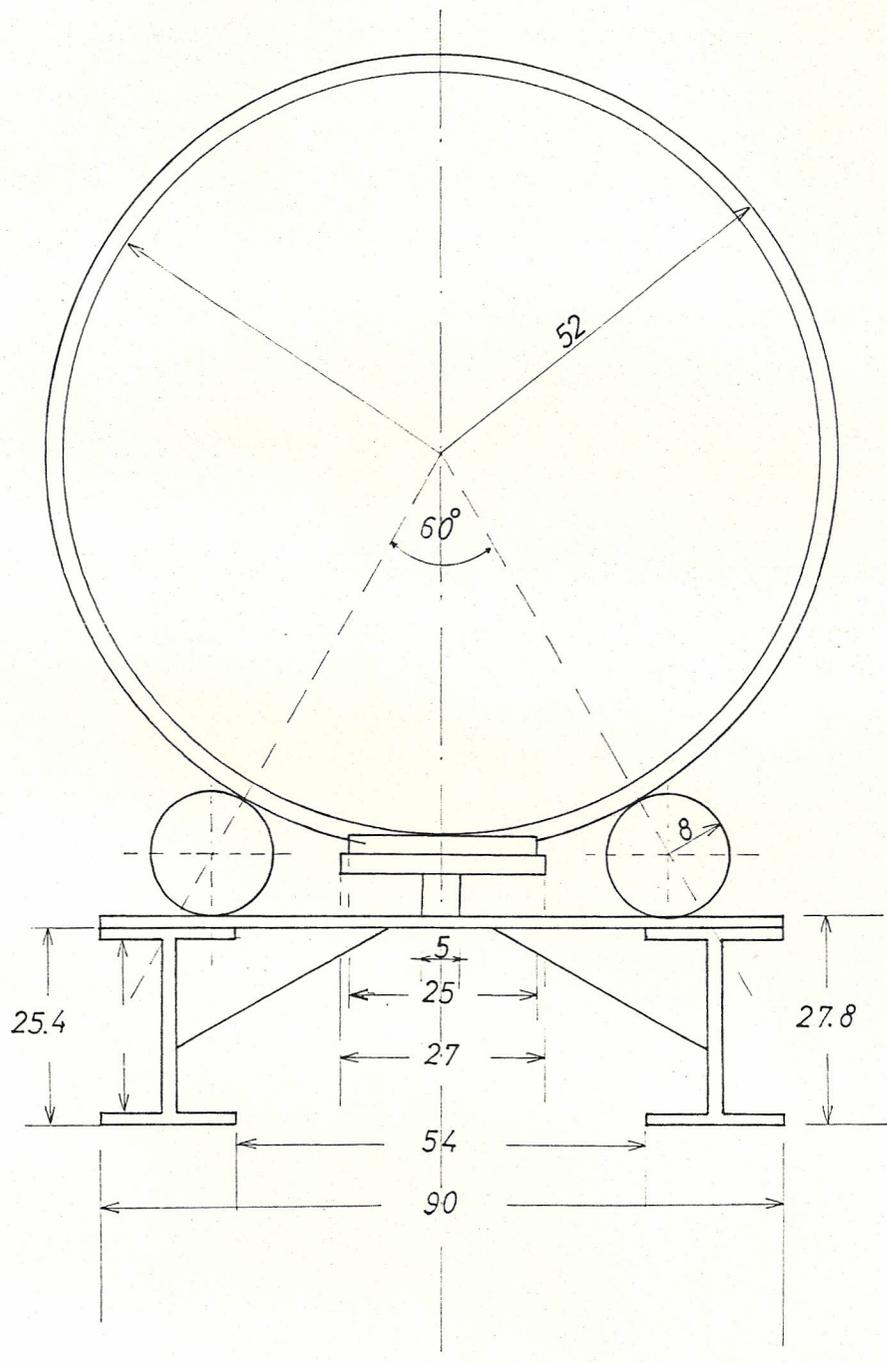


FIG. 2.4.- SUPERFICIE DE CONTACTO

RESISTENCIA DE LA SUPERFICIE DE CONTACTO

Para una esfera:

En un sistema dextrorsum (sistema coordenadas tridimensional), en donde z está en dirección de la fuerza de contacto.

Para esferas las tensiones en las direcciones x, y, z, según Thomas y Hoersch son:

$$\sigma_x = \sigma_y = \frac{4a[(1/d_1)+(1/d_2)]}{\pi(1-\mu^2)[(1/E_1)+(1/E_2)]} \left[(1+\mu) \left[\frac{z}{a} \operatorname{ctg}^{-1} \frac{z}{a} - 1 \right] \right]$$

$$\left. \begin{aligned} &1 \\ &+ \frac{a^2}{2(a^2+z^2)} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$\sigma_z = \frac{4a[(1/d_1)+(1/d_2)]}{\pi(1-\mu^2)[(1/E_1)+(1/E_2)]} \left[\frac{a^2}{a^2+z^2} \right] \quad (2)$$

$$a = \sqrt[3]{\frac{3F}{8} \frac{(1-\mu^2)[(1/E_1)+(1/E_2)]}{(1/d_1) + (1/d_2)}} \quad (3)$$

a = Radio del área circular

La presión en cada esfera tiene una distribución hemisférica como se ve en la figura 2.5.

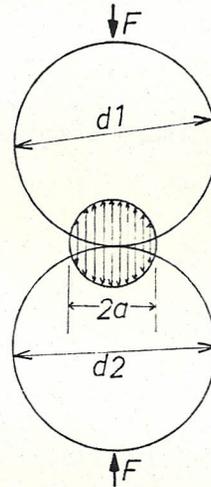


Fig. 2.5.- Distribución hemisférica (5)

En el centro del área de contacto se encuentra la presión máxima que es:

$$p_{\max} = 3F/2\pi a^2 \quad (4)$$

p_{\max} es la tensión de compresión máxima que tiene la misma dirección que las fuerzas.

COEFICIENTE DE TENSION DE CARGA

(Coeficiente de desgaste)

$$b = \sqrt{\frac{2F}{\pi l} \frac{[(1/E_1) + (1/E_2)]}{(1/d_1) + (1/d_2)}} \quad (5)$$

b = Anchura (fig. 2.6) del área rectangular en contacto (cm)

F = Fuerza de contacto (Kg)

l = Longitud de los cilindros (cm)

μ = Coeficiente de Poisson

E = Módulo de elasticidad (Kg/cm²)

r = Radio del cilindro (cm)

$$P_{max} = \frac{2F}{\pi b l} \quad (6)$$

Corresponde a la tensión máxima en el material y coincide con la dirección de las fuerzas.

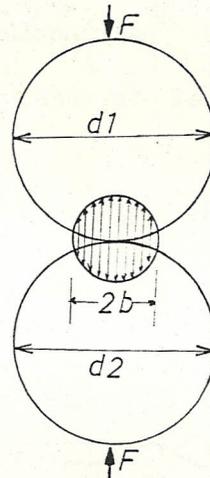


Fig. 2.6.- Distribución elíptica en el ancho $2b$ (5)

Thomas y Hoersch han calculado las tensiones para diversas profundidades por debajo de la superficie de contacto. Se representará el estado de tensiones en el eje z para profundidades hasta $3b$ por debajo de la superficie de contacto. En este caso existen 3 tensiones principales σ_x , σ_y , σ_z todas diferentes

una de otra. Pueden dibujarse 3 círculos de MOHR diferentes, a partir del origen, hacia el lado de compresión y sus radios definirán 3 tensiones cortantes también diferentes. Solo se dibujará la mayor de ellas, o sea, $\tau = (1/2)(\sigma_x - \sigma_y)$ que está en el plano y-z, a 45° con σ_y .

En la figura 2.7 podemos observar el valor de las componentes de la tensión por debajo de la superficie en función de la presión máxima para cilindros en contacto. La mayor de las 3 tensiones de corte es paralela al plano y-z. Observar que vale $0.3\sigma_{m\acute{a}x}$ aproximadamente y que se encuentra ligeramente por debajo de la superficie de contacto.

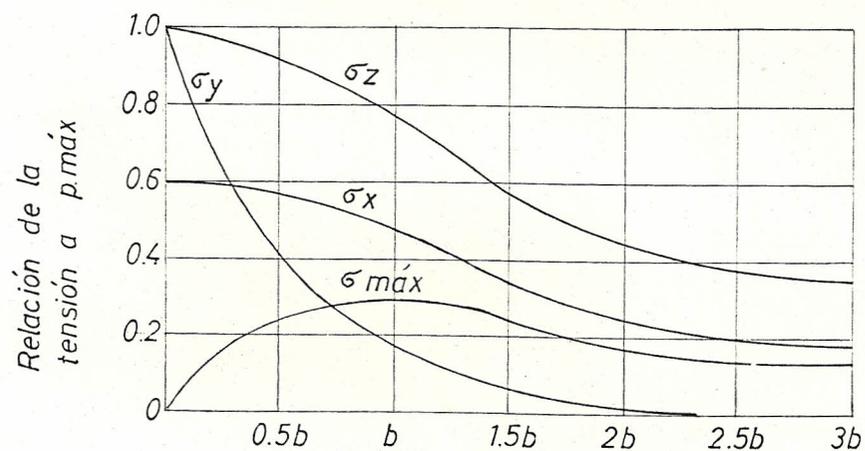


Fig. 2.7.- Valor de las componentes de tensión (5)

Para una excelente discusión sobre las tensiones de contacto, incluyendo rodadura y deslizamiento puros y su combinación, ver referencia (3).

LIMITE DE FATIGA SUPERFICIAL

Cuando 2 superficies ruedan, o ruedan y se deslizan, una sobre otra, con suficiente fuerza, un fallo por picado se verifica después de un cierto número de ciclos. No existe completo acuerdo sobre el mecanismo de picado; convienen en que las tensiones de hersch, aunque es un asunto muy complicado, el número de ciclos, el acabado superficial, la dureza, el grado de lubricación y la temperatura influyen todos en la resistencia. Ya vimos que dos superficies se comprimen entre si, se desarrolla una tensión de corte máxima ligeramente debajo de la superficie de contacto. Se dice, que un fallo por fatiga superficial se inicia por esta tensión de corte máxima y que luego se propaga rápidamente a la superficie. El lubricante penetra entonces en la grieta que se ha formado y, bajo presión, eventualmente deja suelta una esquirla por acuñación.

De (4), se define un coeficiente de tensión de carga o coeficiente de desgaste que deriva de las ecuaciones de Hersch.

La ecuación 5 para cilindros en contacto se modifica, sustituyendo $zr = d$ y dá:

$$b^2 = \frac{4F}{\pi l} (1 - \mu^2) \frac{[(1/E_1) + (1/E_2)]}{(1/r_1) + (1/r_2)} \quad (7)$$

Usando un valor medio para $\mu = 0.3$, la ecuación 6 donde la presión máxima se designa como el límite de fluencia superficial S_{fe} , por tanto:

$$S_{fe} = (2F/\pi b l) \quad (8)$$

Al sustituir en 7, tenemos:

$$2.875 S_{fe}^2 [(1/E_1) + (1/E_2)] = (F/l) [(1/r_1) + (1/r_2)] \quad (9)$$

para un material dado, el miembro de la izquierda de esta ecuación es una constante, que se define como el coeficiente de tensión bajo carga k_1 . Por lo tanto:

$$k_1 = (F/l) [(1/r_1) + (1/r_2)] \quad (10)$$

La magnitud F/l es el valor límite de la carga normal sobre los rodillos en Kg/cm de longitud. Cuando se incluya en 10, el coeficiente de desgaste apropiado, la carga que se obtenga producirá finalmente un fallo por fatiga superficial. Por lo tanto, la carga de servicio deberá ser menor, con objeto de permitir variaciones en el acabado superficial, o en la lubricación, desalineamiento de los rodillos y deslizamiento.

Un valor moderado del límite de fátiga superficial para los aceros puede obtenerse de:

$$S_{fe} = 28.1 \text{ Bhn} - 703 \quad (11)$$

Este valor puede entonces sustituirse en la ecuación

$$k_1 = 2.857 S_{fe}^2 [(1/E_1) + (1/E_2)] \quad (12)$$

para obtener k_1 .

Si los dos materiales en contacto tienen diferentes durezas brinell, debe usarse el menor valor para la ecuación 10. Los resultados de este procedimiento están de acuerdo con los valores de los coeficientes de tensión bajo carga recomendados por BUCKINGHAM.

Para un material con rectificado fino (esmeril fino, alta velocidad y pasada lenta) tenemos $\mu = 0.2-0.3$.

Para acero al Carbono fundido (colado, horno eléctrico) con una composición de:

$$C = 0.53$$

$$Mn = 0.79$$

$$Si = 0.25$$

$$P = 0.03$$

$$S = 0.04$$

Tenemos:

$$\text{Limite de fluencia} = 2460 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\text{Resistencia a la tracción} = 6110 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\text{Dureza brinell} = 213 \text{ Bhn}$$

Sin tratamiento térmico

$$E = 2.1 \times 10^6 \text{ Kg/cm}^2 \text{ (Módulo de elasticidad)}$$

$$G = 77.3 \times 10^4 \text{ Kg/cm}^2 \text{ (Módulo de rigidez)}$$

$$\delta = 7.78 \text{ Kg/dm}^3$$

Reemplazando en 7:

$$F = 425 \text{ Kg}$$

$$l = 14 \text{ cm}$$

$$\mu = 0.3$$

$$E1 = E2 = 2.1 \times 10^6 \text{ Kg/cm}^2$$

$$r1 = 49$$

$$r2 = 8$$

Entonces:

$$b = 0.0151782 \text{ cm}$$

$$p_{\max} = 1224.6 \text{ Kg/cm}^2$$

$$k1 = 4.414 \text{ Kg/cm}^2$$

Tenemos amplitud de margen de seguridad de 2.9 de carga para 10^8 ciclos de funcionamiento, que corresponde a vida infinita. Con respecto a las propiedades del acero al carbono seleccionado.

El costo del cilindro rotatorio se encuentra desglosado de la siguiente manera:

CILINDRO	S/. 400.000,00
MOTORES	S/. 340.000,00 (4 UNID)

CHUMACERAS	S/.	35.000,00 (4 PARES)
POLEAS Y BANDAS	S/.	29.000,00 (4 JUEGOS)
RULIMANES	S/.	16.000,00 (4 C/PINES)
RODADURA Y DISCOS DE CONTENCION Y ANILLOS DE RODADURA DE $\varnothing = 1M$	S/.	500.000,00
DISEÑO Y MONTAJE	S/.	250.000,00
TOTAL	S/.	1.170.000,00

En cuanto al peso del cilindro solo tenemos que es de 850 Kg, y con todos sus accesorios pesaba 1485 Kg.

6. VENTILADOR DE TIRO INDUCIDO

El ventilador al igual que el quemador fue seleccionado de acuerdo al requerimiento calculado para el volumen de 3875 CFM y se le dió un margen de seguridad de 1.3.

MARCA: DAYTON DE $\varnothing = 30"$

CAPACIDAD: 5000 CFM (8500 m³/hr)

MODELO: 18440

MOTOR: 2/3 HP

RPM: 1725

El costo del ventilador fue de S/. 507.500 sucres,

la corasa y montaje costaron S/. 45.000,00 sucres, por lo que el costo total del ventilador fue de S/. 552.500,00 sucres.

7. CICLON

El ciclón fue construido en plancha de hierro galvanizado de 1/16" de espesor, la figura 2.8 muestra las dimensiones del ciclón en detalle. El soporte del ciclón fue construido de tubo galvanizado de 2 1/2" de diámetro.

La conexión entre la corasa del ventilador de tiro inducido y el ciclón fue realizada por medio de un ducto de 0.25 m de diámetro, este ducto conectaba en el cuerpo mismo del ciclón, el cual fue de 0.80 m de ancho por 0.60 m de alto.

Las dimensiones finales del ciclón fueron:

4.00 m de alto

0.80 m de ancho en la parte del cuerpo del ciclón.

La altura desde el piso hasta la base del ciclón fue de 1.00 metro.

El ducto de recolección fue de 0.20 m de diámetro.

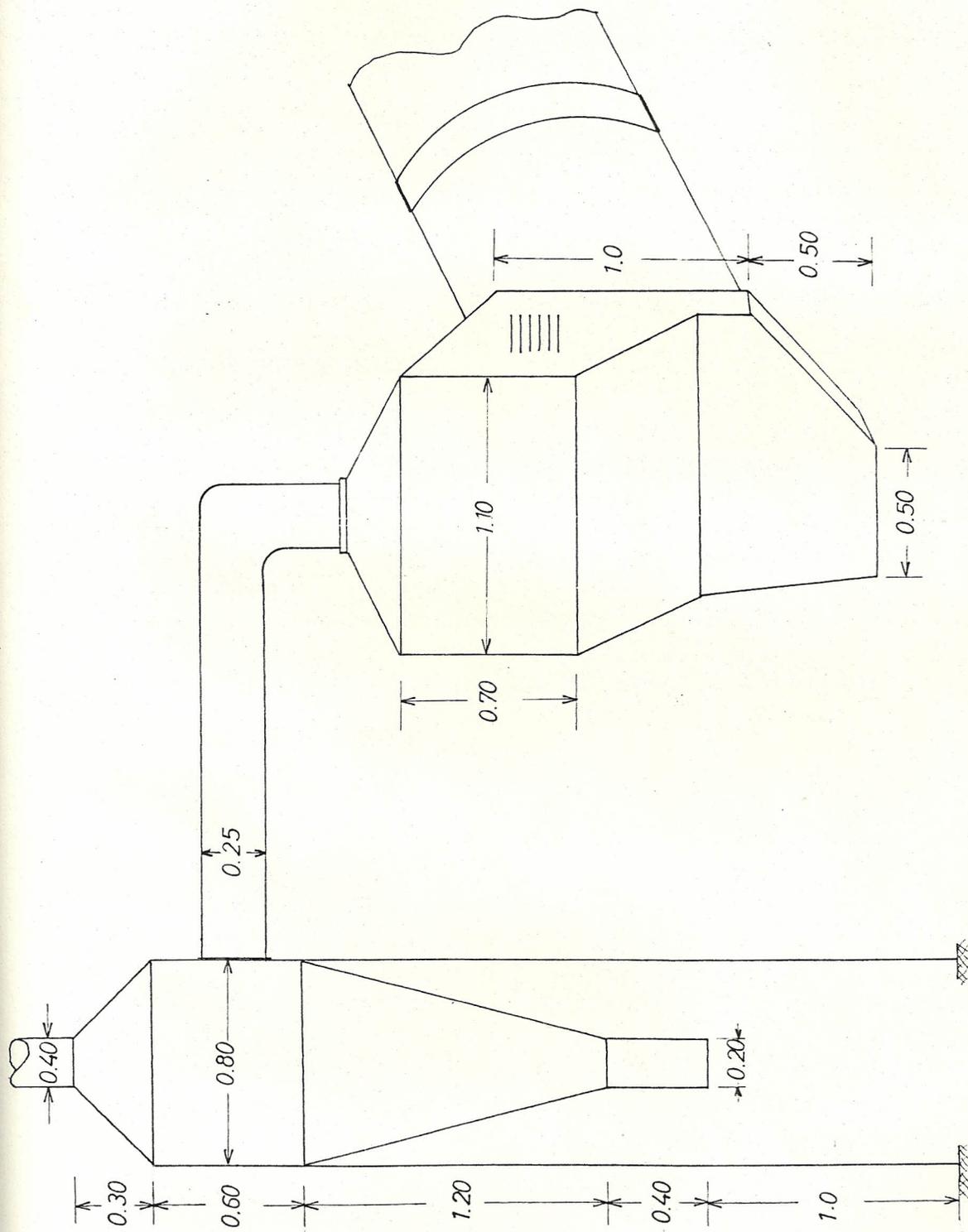


Fig. 2.8.- Ciclón

El peso total del ciclón fue de: 105 Kg.

El valor del mencionado ciclón fue de S/. 90.000,00
sucres.

2.3. PARAMETROS FISICOS

CAPACIDAD, VELOCIDAD Y POTENCIA REQUERIDA

QUEMADOR

CAPACIDAD: 7.0 G.P.H. (De 19 lt/hr a 53 lts/hr)

VELOCIDAD: 3450 RPM

POTENCIA: 1/3 HP

VENTILADOR

CAPACIDAD: 5000 CFM (8500 m³/hr)

VELOCIDAD: 1725 RPM

POTENCIA: 2/3 HP

2.4. DIMENSIONES FINALES

Las dimensiones finales del conjunto pueden
observarse en el plano general del conjunto en el
apéndice A.

Cilindro rotatorio	S/. 1'570.000,00
Ventilador de tiro inducido	S/. 552.500,00
Ciclón	S/. 90.000,00
TOTAL	S/. 3'187.500,00

NO

CAPITULO III

CONSTRUCCION

3.1. CONSTRUCCION DE CADA UNA DE LAS PARTES

1. TOLVA DE ALIMENTACION

Para la tolva de alimentación, primero se construyó la estructura de soporte con las vigas C, luego se procedió a darle la forma externa a la tolva utilizando para esto ángulos de 40 X 3 mm, y finalmente se procedió a cubrir las paredes de la tolva con la plancha, utilizando para esto las vigas y los ángulos que forman la estructura como esquineros. Luego se construyó el sistema de compuertas que serviría para regular la salida del material, estas compuertas fueron hechas de plancha lisa de 1.5 mm de espesor.

2. HORNO

El primer paso en la elaboración del horno, fue la construcción de la plataforma sobre la que se construyó el piso, a continuación se formó el

armazón metálico exterior, colocando seguidamente las planchas de las paredes frontal y lateral, dejando abierta la posterior. A continuación se construyeron las paredes de ladrillo empire pegados a la plancha y enseguida el rubicón para alta temperatura. Una vez completas estas paredes se procedió a marcar el orificio de entrada de la boca del quemador y se lo perforó, luego se comenzó desde el frente hacia atrás a formar anillos para la bóveda con las cuñas, menos las tres últimas corridas que se dejaron para el final, se cerró la tapa posterior metálica con la abertura de 50 cm de diámetro y se construyó una pared de ladrillo igualmente que las anteriores y se finalizó las últimas tres corridas de la bóveda para colocar encima de esta la capa de ladrillo empire. Por último se colocó las tapas de la bóveda, las mismas que van apernadas a las alas de las paredes laterales. Estas tapas son roladas para un arco de 1.22 m y una flecha de 0.22 m y son dos piezas independientes.

3. QUEMADOR

Como se explicó antes el quemador no fue diseñado, sino seleccionado, lo único que se le construyó fue

una mesa de soporte.

4. CONEXION HORNO-CILINDRO

La conexión horno-cilindro, no es otra cosa que un cilindro de 1.32 m de largo, el cual fue construido en plancha de 3 mm, la misma que fue rolada para darle la forma necesaria.

5. CILINDRO ROTATORIO

Este cilindro se construyó usando planchas de 3.66 m de largo para evitar que los anillos sean unidos, así se usaron 5 anillos de 1.22 m y uno de 0.90 m y se unieron con 72° de diferencia formando estrella con sus uniones longitudinales soldadas. Luego se dividió cada 45° y se trazaron las aletas desfasando 45° a la derecha desde la entrada a la salida para ayudar al paso del material como a su traslación en el sentido radial al subir.

6. VENTILADOR DE TIRO INDUCIDO

Este fue seleccionado, y lo único que hubo que

construirle fue la caja de soporte y tapa de salida del cilindro rotatorio para conducir los gases hacia el ciclón.

7. CICLON

Se armó con tres cilindros o tubos de diferentes diámetros y dos conos, además de su respectiva estructura de soporte.

La estructura de soporte se la hizo con tubo redondo galvanizado de 2 1/2" y de 3.20 mts de altura, por los costados del anillo cilíndrico de 0.80 m de largo. Luego se armaron los dos conos, el uno con diámetros de 0.40 m y 0.80 m y 0.30 m de alto y el otro con diámetros de 0.20 m y 0.80 m y 1.20 m de alto, finalmente se unió el cono superior con el tubo de tiro de 0.40 m de diámetro y 1.50 m de altura y luego se agregó el tubo de descarga de 0.20 m de diámetro por 0.40 m de alto al cono inferior, y se le hizo una abrazadera para apretar el saco de recolección de polvo.

El ciclón está unido a la coraza del ventilador por medio de un tubo de 0.25 mts.

La coraza queda fija al chasis donde está apoyado el cilindro rotatorio, para no permitir la fuga de los gases de salida, obligándolos a éstos a pasar por el ventilador y dejando caer por abajo el material de descarga que lo recoge una banda transportadora.

3.2. ENSAMBLAJE DE LOS COMPONENTES DE LAS PARTES

1. La tolva es la única parte fija y que va apernada al piso en sus bases. Para ensamblar al horno, este se rodó en su chasis y se enfrentó centrando la cara posterior a la torre de la tolva que es portadora del cilindro de conexión con el cilindro rotatorio, allí se procedió a fijar las bases del horno, una vez bien nivelado se fijaron gatas y se sacaron las llantas del chasis, luego se introdujo la conexión al horno y se le fijaron soportes a ésta con la torre de la tolva.

A la misma altura pero en el lado opuesto de la torre se fijaron soportes para el otro extremo de la conexión quedando éste a ras verticalmente con las bases de la tolva.

2. Se trasladó el chasis con el cilindro giratorio y se centró con la conexión manteniendo el eje

longitudinal en un solo plano vertical y se introdujo aproximadamente unos 10 cm en la conexión, se niveló y se fijaron bases anteriores con gatas para retirar las llantas y colocar las gatas posteriores. Adicionalmente para asegurar la estabilidad de este chasis se construyeron dos bancos metálicos transversales y se los utilizó conjuntamente con las gatas.

3. Una vez ensamblados HORNO-TOLVA-CONEXION CILINDRO ROTATORIO, se procedió a cortar en la parte superior de la conexión el boquete de entrada del material en el extremo hacia el cilindro rotatorio y se le hizo el embudo o manga desde la salida de la tolva a la entrada del cilindro; en este mismo extremo se le agregó el anillo circular o corona circular a la conexión para cerrar el espacio dejado por la diferencia de diámetros del cilindro rotatorio y conexión y así evitar el escape de gases calientes y la caída del material al entrar al cilindro rotatorio.

4. Se procedió a ensamblar en el extremo de salida del cilindro rotatorio la caja de soporte del ventilador juntamente con la coraza que va fija al chasis que soporta al cilindro. Esta coraza no permite que los gases escapen a la salida sin pasar

por el ventilador.

5. Se instaló el ciclón y se fijaron con pernos sus bases y a continuación se ensambló el ducto que conecta la salida del ventilador con la entrada al ciclón.

3.3. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y EFICIENCIA

1. El horno se probó previo a su ensamblaje con el resto de las partes, y su funcionamiento fue el esperado.

Se tomó temperaturas colocando el pirómetro óptico al ladrillo y a la llama, el control automático para el combustible dió rápidamente estabilidad.

2. La tolva había sido probada anteriormente y sus compuertas fueron reguladas para la caída del material.

3. El cilindro rotatorio también fue probado anteriormente, obteniendo su velocidad de rotación de acuerdo a lo calculado en concordancia con el número de RPM del motor, diámetros de las poleas, bandas, chumaceras y cilindros de contacto rodante y

se obtuvo la velocidad de 100 RPM.

4. Una vez ensambladas todas las partes se hizo la prueba de funcionamiento global, comenzando por el quemador, manteniéndolo encendido hasta obtener estabilidad en la temperatura y consumo de combustible, acto seguido se procedió a hacer girar el cilindro rotatorio y a probar el funcionamiento del ventilador, luego se comenzó a dar paso a la alimentación del cilindro hasta que comenzó a dar el producto de salida regular. Entonces, se comenzó a ajustar la velocidad de rotación y la inclinación del cilindro hasta llegar a 20 RPM y 4° respectivamente, alcanzando el material una velocidad de 0.35 mts/min de desplazamiento longitudinal y un caudal de 850 Kg/hr. A medida que se iba corrigiendo, se iba controlando la humedad del material, llegando a obtener un 8% que era la humedad buscada como mínimo.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El sistema completo cumplió el objetivo a satisfacción en todos sus requerimientos de acuerdo a lo proyectado.

El sistema es eficiente y entrega la cantidad de material seco que necesita la fábrica.

Como resultado de este proyecto se obtuvo un aumento considerable en la producción diaria de carbón seco, el mismo que era inicialmente de 1.25 Kg de carbón seco por litro de combustible y con el secador construido la producción fue de 30 Kg de carbón seco por cada litro de combustible.

A continuación expongo los datos que se obtuvieron de temperatura y humedad después del secado:

HORA	TEMPERATURA	HUMEDAD
	°C	%
11	120	8.4
13	120	7.6
15	110	8.1
17	125	7.8

RECOMENDACIONES

En el caso de los alimentos, al secarlos se obtienen grandes ventajas, ya que muchos tienen del 70 al 85% de agua, estas ventajas son:

- Los alimentos desecados en condiciones adecuadas contienen prácticamente todo el valor alimenticio natural.
- Durante el secado se esterilizan los alimentos, conservándolos luego en estado seco sin deteriorarse.
- Los alimentos secos ocupan menos de la mitad del espacio y en algunos casos es solo la cuarta parte del correspondiente al material original.
- Como resultado de las investigaciones sobre alimentos desecados, se producen actualmente algunos de ellos, que una vez preparados son casi indistinguibles del alimento fresco.

APENDICES

BIBLIOGRAFIA

1. F. S. Sinnatt, Principios del Secado, Education Sub-Comite of Fuel Efficiency commitee, Cap. XXV, pp. 736.
2. A. Astudillo V, Propiedades del Vapor Seco y Saturado, Colombia, Pax, S.A., 1949, pp. 769.
3. CH. Lipson & R. C. Juvinall, Application of Stress Analysis to Design and Metallurgy, University of Michigan, Michigan, 1961.
4. E. Buckingham, Analytical Mechanics of Gears, Nueva York, McGraw Hill, 1949.
5. J. Shigley, Análisis de Tensiones, pp. 45.
6. MARK'S, Manual del Ingeniero Mecánico, McGraw Hill, México, 1984.