

19

071

25

Universidad Iberoamericana

INCORPORADA A LA U. N. A. M.

ESCUELA DE CIENCIAS QUIMICAS

MEXICO - ESTADOS UNIDOS

CALCULO DE UNA PLANTA PILOTO PARA PROCESAR
POLIESTIRENO EXPANDIBLE

TESIS QUE PARA OBTENER
EL TITULO DE INGENIERO QUIMICO
PRESENTA

GABRIEL F. LANAYA SERRANO

MEXICO, D. F.

1963

9892



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.

Universidad Iberoamericana

INCCORPORADA A LA U. N. A. M.

ESCUELA DE CIENCIAS QUIMICAS

CALCULO DE UNA PLANTA PILOTO PARA PROCESAR
POLIESTIRENO EXPANDIBLE

TESIS QUE PARA OBTENER
EL TITULO DE INGENIERO QUIMICO
PRESENTA

GABRIEL F. ANAYA SERRANO

MEXICO, D. F.

1963

A mis Padres

Sr. Luis Anaya de la Peña

Sra. Gabriela Serrano de Anaya

A la Sra. Esperanza G. Vda. de Pacheco

A Ma. Esther

A mis Hermanos

A los Srs.

Quím. D. Julio Terán

Ing. Quím. Dr. D. Ernesto Domínguez

- I.- GENERALIDADES
- II.- DESCRIPCION DEL PROCESO
- III.- CALCULO DEL EQUIPO
- IV.- DISCUSION
- V.- COSTOS
- VI.- CONCLUSIONES
- VII.- BIBLIOGRAFIA

- GENERALIDADES -

En vista de la gran aplicación del poliestireno expandible, el cual substituye en muy alta escala a muchos productos, sobre todo en las ramas de empaque, flotadores y aislantes tanto acústicos como térmicos, se pensó en este trabajo, el cual servirá para calcular una planta piloto que puede elaborar artículos de este plástico, con el objeto de estudiar sus propiedades y al mismo tiempo calcular sus costos de elaboración.

El poliestireno expandible, se obtiene mediante la polimerización del estireno, utilizando para ello un solvente que puede ser un hidrocarburo del tipo saturado y de cadena no mayor de siete carbonos; dicho hidrocarburo, debe ser de menor punto de ebullición que el estireno y al llevarse a cabo la polimerización queda englobado dentro del polímero. Esto hace que al sujetar el poliestireno expandible, a las condiciones de temperatura adecuadas, el solvente se evapore instantáneamente, ejerciendo una presión dentro de la perla, la cual hace que se rompa su tensión superficial y aumente su volumen entre cinco y treinta veces más según la temperatura y el tiempo de preexpansión.

La manera más recomendada de proporcionarle la temperatura que necesita la perla para expandirse, es mediante vapor de agua el cual debe estar a una presión ligeramente superior a la atmosférica para el tratamiento preliminar y debe ser de aproximadamente 2Kg/cm² manométricas para el tratamiento final.

- DESCRIPCION DEL PROCESO -

Como generalmente es necesario tener reserva de materia prima, ésta se debe almacenar en recipientes completamente llenos y herméticamente cerrados, esto se hace con el objeto de evitar el roce entre las perlas, lo cual ocasionaría que éstas se carguen de corriente estática que podría originar con cualquier fuente de ignición la inflamación de materia prima. Además debe preservarse del almacenamiento en lugares calientes.

El primer paso en el proceso consiste en la preexpansión del material, la cual se puede lograr de diferentes maneras, siendo la más usada, como ya se dijo, la del vapor de agua; dicha preexpansión se logra en aparatos especiales en los cuales el material entra arrastrado por una corriente del mismo vapor y en el interior del aparato y de acuerdo con el tiempo y la presión del vapor se logra un tamaño de partícula adecuado. Aunque en todos los casos, bastaría sujetar el material a una atmósfera de vapor de agua, obtenido por cualquier método, durante el tiempo necesario.

Otras maneras de preexpandir el material pueden ser por medio de rayos infrarrojos o bien mediante aire caliente en instalaciones adecuadas.

Una vez preexpandido el material se le dá un reposo intermedio, el cual sirve para secar el material y además para que el solvente recobre su estabilidad en forma lenta y pueda volver a actuar en la expansión final; dicho reposo debe ser de aproximadamente entre siete y veinticuatro horas según la densidad del material; el almacenamiento se debe llevar a cabo en recipientes conectados a tierra para disipar toda la corriente estática que pueda haberse formado, además debe ser a condiciones normales de temperatura y no debe estar sujeto a cambios bruscos de ésta, lo cual haría que la -

perla sufriendo contracciones bruscas.

Después de llevado a cabo el reposo se puede proceder a la expansión final del material dentro del molde, para esto es necesario llevar a cabo el llenado del molde con material seco y reposado.

El llenado del molde se puede hacer por diferentes métodos que son:

a) POR GRAVEDAD: El método consiste en introducir el material dentro del molde únicamente vaciándolo en él y dejando que se acomode por su propio peso; este método presenta la desventaja de la fabricación de una entrada especial de material al molde, además puede presentarse el problema de que el molde no se llene completamente.

b) POR AIRE: El método consiste en introducir el material al molde por medio de una corriente de aire comprimido, la cual arrastra al material haciendo que éste entre en el molde y llenando cualquier cavidad dentro de él, es necesario dotar al molde de una salida adecuada para eliminar el aire y evitar que se forme una cámara de presión dentro del molde, lo cual ocasionaría moldes defectuosos; en la mayoría de los casos bastan los orificios de cocimiento para eliminar este exceso de presión.

c) POR VACIO: En este método se le aplica vacío al molde, lo cual hace que el material sea succionado dentro de él y el molde se llene completamente.

Los tres métodos son igualmente efectivos y pueden ser aplicados según el caso, las condiciones y la forma del molde.

Existen tres formas básicas de moldear la pieza:

a) POR AUTO CLAVE: Requiere una construcción de moldes que no necesitan más que la forma de la pieza y con

perforaciones hacia el exterior. Los moldes se ponen en el interior del auto clave donde se le introduce el vapor a la presión necesaria y se moldea la pieza.

b) MOLDES CON CHAQUETA DE VAPOR: En este caso los moldes además de tener la forma de la pieza están rodeados por una chaqueta del mismo material por la cual circula el vapor, haciendo esta chaqueta las veces del auto clave pudiéndose elevar la presión hasta las condiciones necesarias para que se forme la pieza.

c) POR SONDA: El método consiste en introducir dentro del molde y a través del material una sonda o cánula y por ella se inyecta el vapor, el cual pasa por el material llevando a cabo el cocimiento de la pieza; en este método los moldes son similares completamente a los necesarios en el método de auto clave únicamente con entradas especiales para la sonda.

Los tres métodos de moldeo son igualmente efectivos y su uso está únicamente limitado en algunos casos por la forma o el tamaño de la pieza que se quiera formar, teniendo cada tamaño o forma su sistema más adecuado para moldear, no queriendo decir con esto que los otros métodos no sean efectivos.

En todos los casos el material más recomendado para hacer los moldes es aluminio de fundición, porque además de ser buen conductor de calor es prácticamente inoxidable y de una dureza ideal para los efectos deseados.

Para moldear o llevar a cabo el cocimiento de la pieza es necesario poner el material en contacto con el vapor durante un tiempo y unas condiciones que se determinan experimentalmente con cada molde, no pudiendo determinarse "a priori". El vapor entra en contacto con el material -

por medio de los orificios especiales que tiene el molde.

Después que la pieza está completamente cocida se tiene que someter a un enfriamiento para evitar deformaciones al extraerla del molde, este enfriamiento se hace por medio de agua que circula por la chaqueta del molde - si es este el caso, o en los otros casos se sumerge el molde en un recipiente con agua fría; el enfriamiento también se puede llevar a cabo por medio de aire frío, pero presenta la desventaja de ser mucho más lento.

Una vez fría la pieza se extrae del molde, el cual, si es necesario, tiene botadores mecánicos o neumáticos, pero éstos no son necesarios en muchos tipos de piezas, ya que ese puede ayudar a la extracción por medio de las perforaciones necesarias para el cocimiento.

En seguida la pieza se deja reposar unas horas para que el material recobre su estabilidad y se le pueda someter a tratamientos secundarios que no nos ocupan.

Existen diferencias básicas entre el sistema de moldear este tipo de plástico y los demás termoplásticos que existen en el mercado, ya que para estos últimos es necesario contar con máquinas de inyección especiales, las cuales primero funden el material y así fundido lo inyectan a presión dentro del molde, en el cual el plástico se solidifica y toma la forma de la pieza.

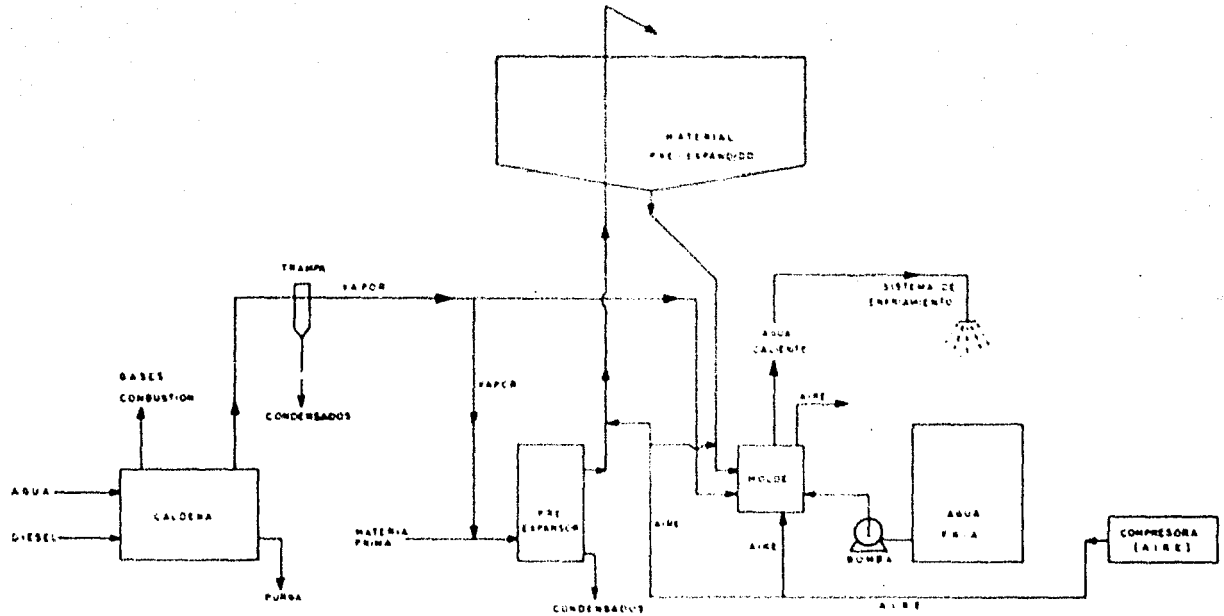
Para moldear estos termoplásticos es necesaria mayor temperatura para la fusión del material; en el poliestireno expandible solo se necesita la temperatura suficiente para reblandecer el plástico y evaporar el solvente que contiene.

También en la inyección de termoplásticos es necesaria gran presión debido a que hay que saturar totalmente-

todas las cavidades del molde con el material, en cambio el llenado de un molde con Poliestireno expandible puede llevarse a cabo aún por gravedad.

DIAGRAMA DE FLUJO

8 - DIAGRAMA.



En vista de lo dicho anteriormente y por medio del diagrama de flujo podemos decir que el equipo que necesitamos calcular es el siguiente:

- 1) Una caldera que cubra todos los requisitos de vapor en el proceso a las condiciones de presión necesarias.
- 2) Una compresora que nos servirá para cargar el molde y para eliminar todos los condensados en él al final de cada ciclo.
- 3) Un preexpansor de vapor continuo que dé el rendimiento necesario para mantener el proceso.
- 4) Una bomba de agua para poder recircularla en el proceso y evitar el desperdicio de ella.

-CALCULO DEL EQUIPO -

CALCULO DE LA CALDERA.

Datos:

Consumo de vapor en preexpandir el material.

La planta piloto que se vá a diseñar, es para trabajar con el molde de una esfera; el ciclo del cual es como sigue: llenarse 1 min., calentarse 1.5 min., formarse la pieza 1.49 min, enfriarse 3.4 min, tiempo muerto 1 minuto estos tiempos hacen un ciclo completo de 8.64 min.

Cada pieza se lleva 373 gr. de materia prima:

Ciclos en una hora: $\frac{60}{8.64} = 6.95$

Material por hora : $373 \times 6.95 = 2,590 \text{ gr/h.} = 2.590 \text{ Kg/h}$

Cada Kg. de material necesita para preexpandirse 1 Kg de vapor.

Consumo de vapor en el preexpansor de la planta piloto: 2.590 Kg/h

2.590 Kg/h

Longitud del tubo de conducción de la caldera al preexpansor.

6.8 mts. tubo de se negro (fundición) 19 mm. (3/4") - (nominal)

Presión de vapor necesaria.

Se utiliza vapor de 1.5 Kg/cm² man.

Consumo de vapor en calentar el molde.

El molde de la esfera pesa 24 Kg. de aluminio y se tiene que calentar 6.95 veces () cada hora.

Kg. de Al. por calentar en 1h: 167 Kg/h

Para calentar 1 Kg. de Al necesitamos 0.0181 Kg. de vapor.

Vapor necesario para calentar el molde: $167 \times 0.0181 = 3.02 \text{ Kg/h.}$

3.02 Kg/h.

Longitud del tubo de conducción de vapor de la caldera al molde:

1.42 Mts. tubo de Fe negro 19 m.m (3/4") (nominal)

Presión de vapor necesaria.

Se utiliza vapor de 2 Kg/cm² man.

Consumo de vapor en moldear el material.

Se moldean 2.59 Kg/h de material, cada Kg. de material requiere 1.16 Kg. de vapor.

Vapor necesario: $2.59 \times 1.16 = 3.0044$

3 Kg/h

Longitud del tubo de conducción de vapor de la caldera al -
molde.

1.42 mts. tubo Fe negro 19 mm (3/4") (nominal)

Presión de vapor necesaria.

2 Kg/cm² man.

Temperatura ambiente media exterior a las 8.30 a.m. hora en que normalmente se prenderá la caldera.

$T_1 =$ Temperatura media mínima : 10°C

$T_2 =$ Temperatura mínima extrema = 0°C

$T_a = \frac{T_1 + T_2}{2} = \frac{10 + 0}{2} = 5^{\circ} \text{C}$

$T_a = 5^{\circ} \text{C}$

Estos datos se obtuvieron de tablas experimentales.

Cálculo del consumo de vapor.

A) Preexpansor.

Para el preexpansor se requieren 2.59 kg/h de vapor a 1.5 Kg/cm² man. = 2.285 Kg/cm² Abs. Sin embargo, como para otros aparatos necesitamos una presión de 2 Kg/cm² man. o sea 2.785 Kg/cm² Abs. esta presión es la que consideramos para nuestros cálculos.

Se necesitan 2.59 Kg/h de vapor a 2 Kg/cm² man.

$$\underline{2.59 \text{ Kg/h}}$$

B) Calentar molde.

Se necesitan 3.02 Kg/h de vapor a 2 Kg/cm² man.

$$\underline{3.02 \text{ Kg/h}}$$

C) Moldear material.

Se necesitan 3.00 Kg/h de vapor a 2 Kg/cm² man.

El consumo total de vapor es:

$$2.59 + 3.02 + 3.00 = 8.61 \text{ Kg. de agua de } 50^\circ \text{ C.}$$

$$\underline{8.61 \text{ Kg/h}}$$

Cálculo de la cantidad de calor.

A) Calor necesario para elevar 8.61 Kg. de agua de 50° C. (Temperatura ambiente media) a 130° C. (Temperatura del vapor saturado a 2.785 Kg/cm²)

$$Q_1 = mc(t_2 - t_1)$$

$$Q_1 = 8.61 \times 1 \times (130 - 5)$$

$$Q_1 = 8.61 \times 125$$

$$\underline{Q_1 = 1079 \text{ Kcal/h}}$$

B) Calor necesario para evaporar el agua a 130° C

$$Q_2 = ml$$

$$Q_2 = 8.61 \times 515.1$$

$$Q_2 = 4440 \text{ Kcal/h}$$

Cantidad de calor necesaria en la producción de vapor

$$Q = Q_1 + Q_2$$

$$Q = 1079 + 4440$$

$$Q = 5519 \text{ Kcal/h}$$

Pérdida de calor a través de las líneas de conducción de vapor de 19 mm (3/4 ").

$$q = hr A_1 (t_1 - t_2) F_e$$

q = Velocidad a la cual se pierde el calor en Btu/hs

hr = Coeficiente de radiación en Btu/pie² hr °F.

A₁ = Área total externa del tubo pie²

t₁ = Temperatura del tubo en °F

t₂ = Temperatura del cuarto en °F

F_e = Factor de emisividad

$$t_1 = 266 \text{ °F}$$

$$T_1 = 460 + .266 = 726$$

$$t_2 = 41 \text{ °F}$$

$$T_2 = 460 + 41 = 501$$

$$hr = \frac{0.173 \times 10^{-8} (T_1^4 - T_2^4)}{(t_1 - t_2)}$$

$$hr = \frac{0.173 \times 10^{-8} (726^4 - 501^4)}{266 - 41}$$

$$hr = \frac{0.173 \times 10^{-8} (27.5 \times 10^{10} - 6.25 \times 10^{10})}{225}$$

$$hr = \frac{0.173 \times 21.25 \times 10^2}{225}$$

$$h_r = 1.64 \text{ Btu/pie}^2 \text{ h } \text{OP.}$$

$$A_1 = \pi D L.$$

$$D = 1.050 \text{ Pulg. (Diámetro real externo del tubo)} \\ = 1.050/12 \text{ pie.}$$

$$L = 6.8 \text{ mt} = 6.8 \times 3.28 \text{ pie (Longitud del tubo)}$$

$$A_1 = 3.14 \times 1.050 \times 6.8 \times 3.28/12$$

$$A_1 = 6.13 \text{ pie}^2$$

F_e = Factor de emisividad, para el F_e negro considerándolo oxidado para $130 \text{ }^\circ\text{C} = 266 \text{ }^\circ\text{F}$ es; 0.81

$$q = 1.64 \times 6.13 (266 - 41) 0.81$$

$$q = 1.64 \times 6.13 (225) \times 0.81$$

$$q = 1830 \text{ Btu/h}$$

$$q = 1830 \times 0.252 = 460 \text{ Kcal/h}$$

La capacidad de la caldera está dada por la suma del calor necesario para el proceso más las pérdidas de calor.

$$\text{Capacidad} = c + q$$

$$\text{Capacidad} = 5519 + 460$$

$$\text{Capacidad} = 5979 \text{ Kcal/h}$$

$$\text{Capacidad} = 5979 \times 3.968 = 23,700 \text{ Btu/h}$$

$$\text{Capacidad} = 23,700/33,520 = 0.708 \text{ Caballos Caldera.}$$

CALCULO DE LA COMPRESORA.

Las necesidades de aire de nuestra planta piloto están dadas por el aire necesario para cargar el molde en función del tiempo que tarda en llenarse, aunque el aire también se usa para eliminar toda el agua del molde al fin de cada ciclo, - esta necesidad de aire es muy inferior a la necesaria para cargar el molde, y como esto es intermitente, la compresora que calculamos para este paso cubrirá todas las necesidades de aire en la planta.

Prácticamente se determinó que para cargar el molde que nos ocupa es necesario un minuto de tiempo en el cual se gastaron 37.5 lbs. de aire a una presión de 3.5 Kg/cm² (50 lb/in²)

Aire necesario: 37.5 lbs/min a 3.5 Kg/cm² y temp. ambiente
Volumen de aire a la presión atmosférica de México.

$P_1 V_1 = P_2 V_2$ (Puesto que está a la misma temperatura)

Presión atmosférica en México = 582 mm Hg.

Por lo tanto $\frac{582 \times 1.03}{760} = 0.789 \text{ Kg/cm}^2$

$(3.5 \text{ Kg/cm}^2) (37.5 \text{ lbs/min}) = (0.789 \text{ Kg/cm}^2) (V_2)$

$V_2 = \frac{3.5 \times 37.5}{0.789} = 166.5 \text{ lbs/min.}$

$V_2 = 166 \text{ 500 cc/min.}$

Si le damos a nuestra compresora una frecuencia de 500 ciclos/min. tendremos que desplazar un volumen de aire por ciclo de :

$$\frac{166 \text{ 500 cc/min.}}{500 \text{ ciclos/min}} = 333 \text{ cc/ciclo}$$

Como la relación de carrera a diámetro del cilindro es

~~... ..~~
~~... ..~~

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

de 1 a $3/4$ y debido al poco volumen y a la baja presión del aire se necesita la compresora de un solo pistón como sigue:

$$V = \frac{\pi D^2 L}{4} \quad \text{pero} \quad D = 3/4 L$$

$$\text{entonces} \quad V = \frac{\pi}{4} \quad \frac{9}{16} L^3$$

$$\text{Por lo tanto } L^3 = \frac{4 \times 333 \times 16}{9 \times 3.14} = 752 \text{ cm}^3$$

$$L = \sqrt[3]{752} = 9.1$$

$$D = \frac{3 \times 9.1}{4} = 7.5$$

Por lo tanto se necesita una compresora de un pistón que de be tener un diámetro de 7.5 cm. una carrera de 9.1 cm. y de be ser de 500 ciclos/min.

CALCULO DEL PREEXPANSOR.

Para calcularlo es necesario obtener el volúmen que debe tener el tanque del preexpansor.

Densidad del material preexpandido: 37.6 cm³/gr.

Como necesitamos 2.59 Kg/h de material y el tiempo - ideal de preexpansión es de cinco minutos, tenemos que ver el volúmen que ocupa el material que está en el preexpansor durante cinco minutos.

$$\frac{2590 \text{ gr/h}}{12} = 216 \text{ gr/5 min}$$

12

Ahora veremos el volúmen de estos 216 gr.

$$37.6 \text{ cc.} - 1 \text{ gr.}$$

$$x \text{ cc} - 216 \text{ gr.}$$

$$x = 8120 \text{ cc.}$$

Por lo tanto necesitamos un preexpansor de 8.12 lts. - al cual se le deben dosificar 2.59 kg de material por hora y también 2.59 kg de vapor por hora.

El preexpander debe estar dotado de agitación, pero debido al poco peso del material procesado y a la baja densidad de este, un motor de 1/4 de caballo será más que suficiente para lograr la agitación deseada.

CALCULO DE LA BOMBA

En el Diagrama:

d ₁ = 0.12 mt	19 mm (3/4")
d ₂ = 0.38 mt	19 mm (3/4")
d ₃ = 0.52 mt	19 mm (3/4")
d ₄ = 0.20 mt	19 mm (3/4")
d ₅ = 0.04 mt	12 mm (1/2")
d ₆ = 0.13 mt	12 mm (1/2")
d ₇ = 1.60 mt	12 mm (1/2")
d ₈ = 0.60 mt	12 mm (1/2")
d ₉ = 0.28 mt	12 mm (1/2")
d ₁₀ = 0.10 mt	12 mm (1/2")
d ₁₁ = 1.10 mt	12 mm (1/2")
d ₁₂ = 0.35 mt	12 mm (1/2")
d ₁₃ = 4.33 mt	12 mm (1/2")
d ₁₄ = 0.36 mt	12 mm (1/2")
d ₁₅ = 0.22 mt	12 mm (1/2")
d ₁₆ = 2.22 mt	12 mm (1/2")

Conexiones necesarias: (según diagrama)

- 3 codos 19 mm (3/4")
 - 11 codos 12 mm (1/2")
 - 1 válvula no-retorno 19 mm (3/4")
 - 1 tuerca unión 19 mm (3/4")
 - 1 reducción campana 12 mm (1/2") a 6 mm (1/4")
 - 1 ampliación campana 6 mm (1/4") a 12 mm (1/2")
- En total hacen 1.22 mt de tubo de 19 mm (3/4")
11.31 mt de tubo de 12 mm (1/2")

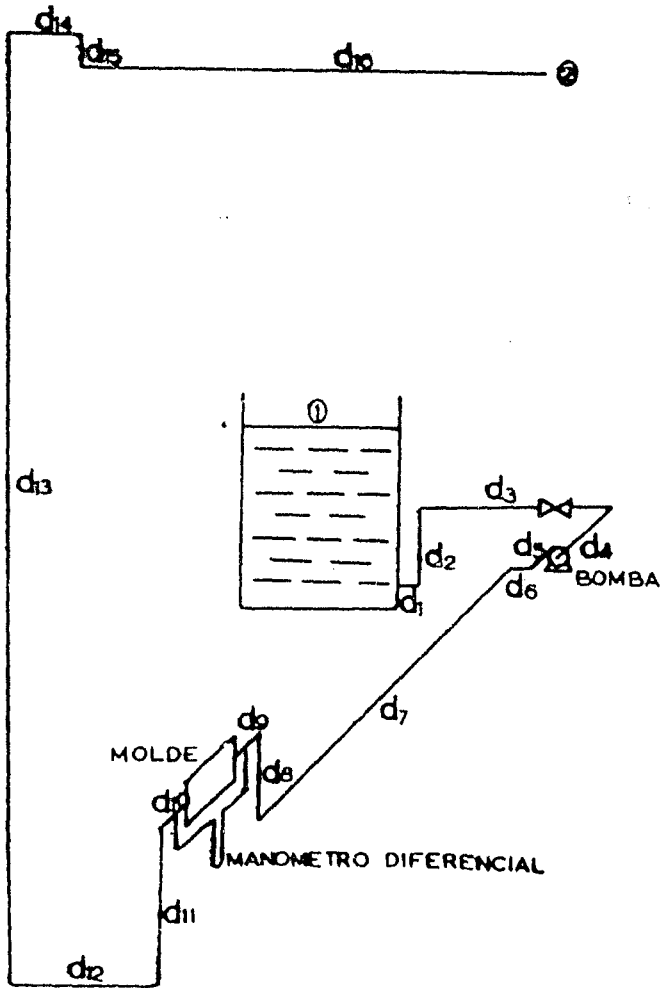


DIAGRAMA DEL FLUJO DE ENFRIAMIENTO

Datos:

Gasto: Se determinó prácticamente que se necesita un gasto de agua de 7.38 lts./min.

$$G = 7.38 \text{ lts/min.} = 7380 \text{ cc/min} = 123 \text{ cc./Seg.}$$

P_1 = Atmosférica

P_2 = Atmosférica

V_1 = 0

V_2 = velocidad del agua en el tubo de 12 mm (1/2").

$$v = G/a$$

$$\text{Area del tubo de 12 mm. (1/2")} = 1.96 \text{ cm}^2 \text{ (0.304 in}^2\text{)}$$

(tablas)

$$V_2 = \frac{1.23 \text{ cc/seg}}{1.96 \text{ cm}^2}$$

$$V_2 = 63 \text{ cm/seg}$$

v' = velocidad del agua en el tubo de 19 mm (3/4")

$$\text{Area del tubo de 19mm (3/4")} = 3.45 \text{ cm}^2 \text{ (0.533 in}^2\text{)}$$

(tablas)

$$v' = \frac{123 \text{ cc/seg}}{3.45 \text{ cc}}$$

$$v' = 35.6 \text{ cm/seg}$$

D_1 = Diámetro real interno del tubo de 12 mm (1/2")

$$D_1 = 1.56 \text{ cm (0.622")} \text{ (tablas)}$$

D_2 = Diámetro real interno del tubo de 19 mm (3/4")

$$D_2 = 2.09 \text{ cm (0.824")} \text{ (Tablas)}$$

Fórmula:

$$\frac{P_2 - P_1}{\rho} + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2gc} + \frac{\rho}{gc} \Delta Z = -w - lw$$

En donde:

P_2 = Presión en el punto 2 (diagrama)

P_1 = Presión en el punto 1 (diagrama)

ρ = Densidad del agua

v_2 = velocidad del agua en el punta 2

v_1 = velocidad del agua en el punto 1

gc = factor de la segunda ley de Newton

ΔZ = diferencia de alturas entre 1 y 2

w = trabajo de la bomba

lw = todas las pérdidas de presión por frotamiento

P_2 = 582 mm. Hg = 0.789 Kg/cm²

P_1 = 582 mm. Hg = 0.789 Kg/cm²

ρ = 1 gr/cm³

v_2 = 63 cm/seg

v_1 = 0

gc = 9.81 mt Kg/m/Kg seg²

ΔZ = $d_2 + d_8 - d_{11} + d_{13} - d_{15}$

ΔZ = 0.38 + 0.60 - 1.10 + 4.33 - 0.22 = 3.99 mts.

w = incógnita

lw = $l w_1 + lw_2 +$ pérdida en el molde

lw_1 = pérdidas por frotamiento en el tubo de 19 mm

$$lw = \frac{f v L}{2 gc D}$$

f = Coeficiente de fricción

v = Velocidad

L = Longitud equivalente

Para sacar f necesitamos el Reynolds

$$Re = \frac{D v \rho}{\mu}$$

$$Re = \frac{2.09 \times 35.6 \times 1}{1/100} = 7,450$$

Rugosidad relativa para el tubo de 19 mm (3/4") =
0.0027 (tablas)

$$f = 0.038 \text{ (tablas)}$$

Longitud equivalente de tubo de 19 mm (3/2") :

Longitud del tubo: 1.22 mts.

Por cada codo le corresponde una longitud de 1.80 mts.
como son tres, tendremos: 5.40 mts.

A la válvula cheke le corresponde : 1.9 mts.

Longitud equivalente total: 8.61 mts.

$$lw_1 = \frac{0.038 \times (0.356)^2 \times 8.61 \times 100}{2 \times 9.81 \times 2.09} = 0.101 \text{ mtsKg/Kgm.}$$

lw_2 = Pérdidas por frotamiento en el tubo de 12 mm (1/2")

$$Re_2 = \frac{1.56 \times 63 \times 1}{1/100} = 9,800$$

Rugosidad relativa para el tubo de 12 mm (1/2")

$$= 0.004 \text{ (tablas)}$$

$$f = 0.030 \text{ (tablas)}$$

Longitud equivalente del tubo de 12 mm (1/2"):

Longitud de tubo : 11.31 mts.

Por cada codo corresponde una longitud de 1 mt.
como son 11, tenemos : 11 mts.

A la reducción le corresponde : 0.2 mts.

A la ampliación le corresponde : 0.3 mts.

Longitud equivalente total 22.81 mts.

$$lw = \frac{0.030 \times (0.63)^2 \times 22.81 \times 100}{2 \times 9.81 \times 1.56} = 1.05 \text{ mt Kg/Kgm.}$$

Pérdida en el molde.

Por medio de un manómetro diferencial se midió la caída de presión dentro del molde dando ésta de 31.3 cm de Hg.

$$\Delta P = \frac{31.3 \times 1.03}{76} = 0.425 \text{ Kg/cm}^2 = 4250 \text{ Kg/m}^2$$

$$\Delta P = \frac{4250 \text{ Kg/mts}^2}{1000 \text{ Kgm/mt}^3} = 4.25 \text{ mt Kg/Kgm}$$

$$L_w = 0.101 + 1.05 + 4.25 = 5.401 \text{ mt Kg/Kgm}$$

$$-w = (0.63)^2/2 \times 9.81 + 3.99 + 5.401 = 9.4113 \text{ mt Kg/Kgm}$$

$$\text{Potencia:} = 9.4113 \text{ mt Kg/Kgm} \times 7.38/60 \text{ Kgm/seg} = 1.16 \frac{\text{Kgm}}{\text{seg}}$$

$$\text{Potencia:} = \frac{1.16 \text{ Kg mt/seg}}{76.04 \text{ Kg mt/seg H.P.}} = 0.01525 \text{ H.P.}$$

- DISCUSION -

Como se puede ver en el cálculo del equipo, resulta una caldera de una capacidad de 0.708 caballos caldera, sin embargo, prácticamente se instaló una caldera de capacidad de 2 caballos caldera la cual trabaja por medio de combustible diesel con un inyector que tiene un motor de 1/8 de H.P., - además tiene una bomba acoplada para el abastecimiento de agua, todo el sistema de esta caldera trabaja por medio de controles automáticos.

Se instaló una caldera de mayor capacidad únicamente - con el objeto de poder procesar artículos más grandes o en su defecto aumentar la cantidad de material procesado en cualquier momento.

En cuanto a la compresora, obtuvimos por medio de los cálculos una compresora de un pistón de 7.5 cm. de diámetro y 9.1 cm. de carrera; la compresora que se instaló tiene las siguientes especificaciones: Un pistón de 6.7 cm de diámetro acoplada a un tanque de almacenamiento con capacidad de 115 Lts. y accionada por un motor trifásico de 1 HP. y además equipada con válvula de seguridad, manómetro y control automático de presión.

Aunque prácticamente la compresora es más chica, nos dá el rendimiento necesario debido a que el consumo de aire es completamente intermitente .

Para el preexpansor se obtuvo un volúmen de 8.12 lts., - habiéndose instalado un preexpansor cilíndrico de 25 cm de diámetro y 40 cm. de altura con fondo plano y purga para eliminar los condensados. La agitación es mediante 5 paletas horizontales ligas a una flecha accionada por un motor de 1/3 H.P. y girando a una velocidad aproximada de 250 rpm.

Este preexpansor es considerablemente más grande que el calculado, pero se hizo con el objeto de que trabaje úni

camente una o dos hora diarias y no todo el tiempo de trabajo.

Debido a que la bomba resulta de una potencia muy baja, podemos instalar la más chica que se encuentra en el mercado; prácticamente se utiliza una bomba de pistón con un motor de $1/3$ de H.P.

Esto se hizo por tener dicha bomba de antemano y considerando que se le puede dar otras aplicaciones dentro de la planta.

El resto del equipo usado, como son válvulas, cañerías y tanques de almacenamiento, no se calcularon debido a que se utilizaron según las especificaciones del cálculo en los dos primeros casos o en el tercer caso con capacidad sobrada para emergencias.

- COSTOS -

En este capítulo se especifica lo que realmente costó el equipo y su instalación. Hay que tomar en cuenta que la caldera, la compresora y la bomba de enfriamiento se adquirieron ya usadas, pero el motor de esta última - se compró nuevo. El preexpansor se construyó en la misma planta, comprándose únicamente lo necesario para ello. - La tubería y válvulas necesarias para montar el equipo - se compraron nuevas.

Los costos son como sigue:

Caldera	\$ 10,000.00
Material necesario en su instalación ...	\$ 319.00
Instalación de la caldera	\$ 550.00
Compresora	\$ 5,000.00
Material necesario para su instalación .	\$ 72.00
Instalación de la compresora	\$ 51.00
Preexpansor	\$ 1,251.95
Motor del preexpansor	\$ 406.00
Instalación del preexpansor	\$ 169.50
Bomba de enfriamiento	\$ 400.00
Motor de la bomba de enfriamiento	\$ 406.00
Material para el sistema de enfriamiento	\$ 424.00
Instalación del sistema de enfriamiento	\$ 200.40
Material para la instalación de las ca- ñerías de vapor	\$ 275.15
Instalación de las cañerías de vapor ...	\$ 75.00
Material para la instalación de corriente eléctrica	\$ 535.50
Instalación eléctrica trifásica	\$ 382.71
<u>T O T A L</u>	\$ 20,518.21

- CONCLUSIONES -

La planta piloto instalada prácticamente dá el rendi
miento necesario para el proceso y además está sobrada pa
ra poder hacer ampliaciones con la cantidad de material -
moldeado por día de trabajo.

Esto se comprobó prácticamente al trabajar la planta
una vez instalada.

Como se puede ver en el capítulo anterior, el costo-
de instalación de la planta es reducido, dado el rendimien
to de ella.

- BIBLIOGRAFIA -

Aguilar Peña Mario.
Planta Panificadora (Tesis)
México, D.F. 1956.

Brown, G. George
Ingeniería Química
Traducción de la obra en Inglés "Unit Operations"
Ed. Manuel Marín y Cía.
Barcelona 1956.

Dylite Expandable Polystyrene.
Technical Manual of the Koppers Company Inc.
Boullletin C-9-273 Cap. 1 a 5
1959-1962.

Perry, J.H.
Manual del Ingeniero Químico
Traducción al Castellano de la obra publicada
en Inglés.
Ed. UTEHA, México, 1959.

Rhein Ludwigham A.
Styroper P.
Badische Anilin and Soda Fabrik A.G.
1959

Idem.
Polystyrol, Thermoplastischer Kunststoff, vorzugsweise
Für den Spritzguss 2 Neubearbeitung.
1956

Sears, Francis.
Mechanics, Heat and Sound.
Addison - Wesley Press, Inc.
Cambridge 1950

Stoever, Herman J.
Transmisión del Calor y sus Aplicaciones
Traducción del Inglés " Applied Heat Transmission"
Ed. Librería del Colegio
Buenos Aires 1950.