



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

Facultad de Química

**Anteproyecto de una Planta para la Fabricación
de Polvos de Metales de Bajo Punto de Fusión**

104

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A N
MA. EUGENIA FIGUEROA ROSAS
JORGE PEREZ GRANADOS



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.

CLAS Tesis
AÑO 1974
FECHA
PROC H. C. 102



A nuestros Padres

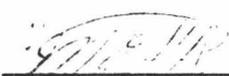
Hermanos

Amigos

PRESIDENTE Prof. JULIO GARCIA STAHL
VOCAL Prof. ERNESTO RIOS MONTERO
Jurado asignado originalmente SECRETARIO Prof. KURT H. NADLER GUNDEISHEIMER
Según el tema 1er. SUPLENTE Prof. RENAN PEREZ PRIEGO
2o. SUPLENTE Prof. MARIO RAMIREZ Y OTERO

Sitio donde se desarrolló el tema: POLVOS METALICOS MEXICANOS S.A.

Sustentantes:


Má. EUGENIA FIGUEROA ROSAS


JORGE PEREZ GRANADOS

Asesor del tema:


Prof. JULIO GARCIA STAHL

Al

Profr. Ing. Julio García Stahl
con agradecimiento por su ayuda
en la elaboración de esta tesis.

I N D I C E

TEMA	Pag.
1 . - Introducción	1
2 . - Propiedades físicas y fisicoquímicas de los metales Plomo y Estaño.....	7
3 . - Estudio teórico del problema.....	16
4 . - Variables y ecuación que regiran el com- portamiento del apa- rato.....	28
5 . - Pruebas experimenta- les. 1a. Parte.....	33
6 . - Pruebas experimenta- les. 2a. Parte.....	49
7 . - Experiencias reali- zadas con el Estaño.....	99
8 . - Conclusiones finales y costo de la Planta Piloto modificada.....	105
9 . - Diagramas y gráficas.....	111
10 . - Bibliografía.....	138

I.- INTRODUCCION.

En México, la producción de polvos de metales de bajo punto de fusión como son el Estaño y el Plomo, con el grado de finura requerido en el mercado, es nula. En consecuencia, se tiene que recurrir a la importación para satisfacer las necesidades del mercado de nuestro país. Los datos obtenidos en la Secretaría de Industria y Comercio sobre las importaciones durante los años de 1968 a 1972, son los siguientes:

Fracción 80.04.A		003	POLVOS DE ESTAÑO	
Año	País	Kg. Brutos	Precio \$	Precio Unitario \$
1968	E. U.	151	12,373	82.00
	Países Bajos	63	2,033	32.25
	T o t a l	214	14,406	
1969	E. U.	174	17,645	101.40
	Reino Unido	4	125	31.25
	T o t a l	178	17,770	
1970	E. U.	174	17,645	101.40

A ñ o	P a í s	Kg. Brutos	P r e c i o \$	Precio Unita- rio \$
1971	E. U.	116	9,171	79.00
1972	Rep. Fed. Alemana	115	8,186	71.00
	E. U.	83	7,993	95.80
	Perímetros Libres	<u>500</u>	<u>20,750</u>	41.50
	T o t a l	698	36,929	

Fracción 78.04.A

002

POLVOS DE PLOMO

A ñ o	P a í s	Kg. Brutos	P r e c i o \$	Precio Unita- rio \$
1968	E. U.	4,403	38,364	8.70
	Rep. Fed. Alemana	<u>4</u>	<u>165</u>	41.25
	T o t a l	4,407	38,529	
1969	E. U.	3,054	22,592	7.40
1970	E. U.	6,042	59,101	9.80
1971	E. U.	3,521	26,683	7.60

A ñ o	P a í s	Kg. Brutos	P r e c i o \$	Precio Unita- rio \$
1972	Rep. Fed. Alemana	1	38	38.00
	E. U.	<u>2,990</u>	<u>28,075</u>	9.42
	T o t a l	2,991	28,113	

Fracción 80.01.A

003

ALEACION ESTAÑO - PLOMO

A ñ o	P a í s	Kg. Brutos	P r e c i o \$	Precio Unita- rio \$
1968	E. U.	2,881	90,777	31.50
1969	E. U.	3,968	120,771	30.40
	Reino Unido	<u>536</u>	<u>15,060</u>	28.00
	T o t a l	4,504	135,831	
1970	E. U.	1,741	71,429	41.00
	Dinamarca	<u>3,150</u>	<u>145,438</u>	46.20
	T o t a l	4,891	216,867	
1971	E. U.	1,741	71,429	41.00
	Dinamarca	3,150	145,438	46.20
	Francia	<u>25</u>	<u>1,501</u>	60.00
	T o t a l	4,916	218,363	
1972	E. U.	4,003	241,897	60.20

Fracción 18.01.A		002	ALEACION PLOMO - ESTAÑO	
A ñ o	P a í s	Kg. Brutos	P r e c i o \$	Precio Unita- rio \$
1968	E. U.	502	27,688	55.00
1969	E. U.	13	1,634	125.00
1970	E. U.	7	66	9.40
	REINO UNIDO	585	15,689	26.80
	T o t a l	592	15,755	
1971	E. U.	1,537	63,293	46.60
	E. U.	724	39,251	54.1
	PERIMETROS LIBRES	71,045	280,856	3.95
	T o t a l	71,769	320,107	

Además de importarse 40 toneladas al mes de polvo de cobre mezclado con polvo de estaño (al 10%), éste es, 4 toneladas más de estaño, que se utiliza en sinterización.

Por los datos anteriores y trazando una gráfica con ellos, en general, la tendencia de las importaciones es aumentar cada año (a excepción del año de 1971). Fig. 1.

Esto nos indica la necesidad de evitar este incremento, tratando de producirlos en México; siendo éste el objeto fundamental de esta tesis.

La importación se debe, fundamentalmente, a que se han encontrado una gran variedad de aplicaciones; a continuación mencionaremos algunas de ellas:

- a) Para la fabricación de electrodos.
- b) Como recubrimientos de barcos.
- c) Para la obtención de placas.
- d) Como rellenos de partes atacadas o corroídas en metales.
- e) Como soldaduras en aleaciones o solos.
- f) Para resanes en carrocerías de autos nuevos.
- g) Como ingredientes en mezclas de sinterizados.

Entre los metales de bajo punto de fusión, se eligieron por ser los más usados, el Estaño y el Plomo, cuyos datos de importación ya se proporcionaron.

Estos metales nos ayudaran a efectuar el diseño teórico-experimental más adecuado de la Planta, que por sus condiciones de operación será una planta piloto.

Este anteproyecto se puede extrapolar para otros metales de bajo punto de fusión y aun para metales de alto punto de fusión, como: cobre, bronce, fierro; para los cuales hay que tomar ciertas precauciones, como es el caso del material de construcción, así como algunas modificaciones.

El diseño de esta Planta ha estado basado en pruebas experimentales principalmente, ya que el diseño teórico únicamente se obtiene en algunas partes de la misma, tales como el espesor del aislante, la potencia de las resistencias, etc. y en otras se usaran ecuaciones o correlaciones empíricas que ayudarán en el diseño de la Planta, que estará sujeto a modificaciones. Pues se probará un método para obtener el polvo del metal de cierta finura.

El método en el cual se ha basado este anteproyecto es el de una atomización neumática que produce partículas finas de metales de bajo punto de fusión, - tales como: Zinc, Cadmio, Estaño y Plomo.

Existen otros métodos para obtener polvo de metales, pero adolecen de poder obtener el polvo lo mas puro posible, estos métodos son:

- a) El método que consiste en la precipitación de sales, en un - medio líquido.
- b) El método electrolítico, que consiste en el depósito del - metal en uno de los electrodos en un medio líquido, en este caso un electrolito.

El defecto consiste, en que en ambos casos el polvo no se obtiene lo suficien- temente seco, por lo que hay la necesidad de llevarlo a un secador y el polvo corre el peligro de oxidarse, así cambiaría sus propiedades, que no son las requeridas.

El método de atomización consiste en: el metal fundido previamente es pasado a través de un orificio de una boquilla y se le dispersa por medio de una co- rriente de aire comprimido, vapor o gas inerte. El proceso es controlado - por la selección de la boquilla, presión, temperatura del gas y velocidad del flujo del metal fundido, es decir, se provoca el rompimiento o dispersión - del chorro del líquido metálico, por medio de una corriente de gas a presión. Este método no ha sido desarrollado totalmente, por lo tanto no se tiene un diseño teórico de la boquilla que se necesita, por lo cual el diseño de ella se hizo en base de experimentos y apreciaciones hechas en patentes; pues se- gún las patentes el chorro metálico no debe tocar las paredes de la boquilla. En el siguiente capítulo se verán algunas de las propiedades fisicoquímicas de los metales seleccionados, que influyen en el diseño de la Planta.

II.- PROPIEDADES FISICAS Y FISICOQUIMICAS DE LOS METALES PLOMO
Y ESTAÑO.

Las propiedades más importantes que influyen en las correlaciones - teóricas y que se vió se usan para el diseño experimental, son las siguientes: densidad, calor específico, viscosidad y la tensión superficial. Todas estas propiedades son necesarias al estado líquido del metal, es decir, después del punto de fusión, con excepción hecha del calor específico.

Para extrapolar este diseño a metales de más alto punto de fusión, es necesario obtener las mismas propiedades aquí enumeradas.

Otras propiedades que no se incluirán, pero que se van a usar, son las del aire, mismas que se irán incluyendo en los diferentes capítulos, según se vayan necesitando. El aire es el gas que se usará para dispersar el metal líquido.

Antes se hablará someramente acerca de las propiedades físicas que tienen el Estaño y el Plomo en su estado sólido; el Estaño y el Plomo pertenecen al grupo IV de la tabla periódica de los elementos y desempeñan un papel muy importante en la vida moderna, sin la vital importancia - que tienen el Carbono y el Silicio. El Estaño se usa en el estañado - de latas comunes y el Plomo en el uso continuo de acumuladores o baterías, en aditivos antidetonantes como son: el tetrametilo y el tetriñtulo de plomo. Se usan también en aleaciones como es el bronce, el babi. (que es una aleación cobre-estaño-antimonio-plomo, otras aleaciones de bajo

punto de fusión para soldaduras (Estaño y Plomo) y el metal tipográfico usado en las imprentas (que es una aleación de estaño, plomo y antimonio). El polvo del Estaño se usa en forma de mezcla con polvo de cobre para obtener polvo de bronce para sinterización. Este polvo de Bronce tiene la siguiente constitución: 90% de polvo de cobre y 10% de polvo de estaño (tipos TF, TP2 y TC-1 de la AMAX POWDER).

Usando las características de cada uno de ellos en tamaño y en densidad según la tabla siguiente:

T I P O	Densidad (g/cm ³)	Máximo tamaño (tipo de malla).
TF - 1	2.7 - 3.2	325
TF - 2	3.5 - 3.8	Diferentes tamaños, 150, 200, 250, 325. La mayor cantidad el de 325
TC - 1	3.0 - 3.6	50, 60, 80, 100, 150, 200, 250 y - 325. La mayor cantidad es de 150 - 200.

Estos son de los muy variados polvos de Bronce, en los que se usa polvos de Estaño en combinación con el Cobre, para sinterización y como soldadura de láminas de Bronce y Fierro.

El Estaño gris forma un cristal tetraédrico entrelazado, que es una forma alotrópica estable y no metálica a temperatura de 13.2°C o menos; otra forma es el Estaño blanco, que es de propiedades francamente metalísticas, pues forma una red metálica cúbica, de empaque rectangular u -

octahédrica, deformada. La transformación del estaño blanco al estaño gris, o sea que a partir de una forma metálica, maleable y blanda, pasa a una forma dura y quebradiza, es un proceso que ocurre lentamente en climas fríos y es conocido como enfermedad del estaño.

A).- PROPIEDADES DEL PLOMO

- 1.- Punto de fusión: 600.60 K.
- 2.- Densidad del plomo líquido a diferentes temperaturas en (g/cm^3).

TEMPERATURA	DENSIDAD
$^{\circ}\text{C}$	(g/cm^3)
327	10.686
400	10.510
500	10.391
600	10.270
800	10.040
1000	9,810

En la parte correspondiente a las gráficas, encontraremos la que corresponde a la tabla antes mencionada (Fig. 2).

- 3.- El calor específico del Plomo en sus estados sólido y líquido, así como el calor de fusión, son los siguientes :

a) El calor específico al estado sólido (C_{P_S}) sigue la ecuación:

$$C_{P_S} = (5.24 + 2.80 \times 10^{-3} T + 0.23 \times 10^{-5} T^2 - 2) \text{ Cal/gmol } ^\circ\text{K}$$

para un rango de (298 - 600.6 $^\circ\text{K}$). Donde T = $^\circ\text{K}$

b) El calor de fusión (H_f) a 600.6 $^\circ\text{K}$ es: 1.140 Kcal/gmol

c) El calor específico al estado líquido (C_{P_l}) sigue la fórmula:

$$C_{P_l} = (7.77 - 0.72 \times 10^{-3} T) \text{ Cal/gmol } ^\circ\text{K}$$

para un rango de 600.6 a 2000 $^\circ\text{K}$. Donde T = $^\circ\text{K}$

Algunos C_p del estado líquido del Plomo, son:

TEMPERATURA	CALOR ESPECIFICO
$^\circ\text{C}$	(Cal /g, $^\circ\text{C}$)
327	0.039
400	0.037
500	0.037

4.- En el caso de la viscosidad, el Plomo sigue la ecuación de - Frank y Colburn (Fig.3).

$$\log \eta = \frac{0.4401 \times 10^3}{T} - 0.3134$$

donde: η = viscosidad en centipoise (cp)

T = temperatura en grados Kelvin ($^\circ\text{K}$)

Algunas viscosidades a diferentes temperaturas, son:

TEMPERATURA	VISCOSIDAD
°C	(cp x 10 ²)
441	2,116
456	2,059
551	1,700
703	1,349
844	1,185

También las gráficas de las tablas anteriores se encontrarán en el capítulo correspondiente. (Fig. 3).

5.- La tensión superficial sigue la ecuación encontrada por V.

B. La-arev, siendo la siguiente:

$$\bar{V} = 460.3 - 0.12 (t - 327)$$

donde \bar{V} = tensión superficial en dinas/cm.

t = temperatura en °C

Algunas tensiones obtenidas por medio de esta ecuación lineal, son: (Fig. 4)

TEMPERATURA	TENSION SUPERFICIAL
°C	(Dinas/cm.)
330	460.0
350	450.0
400	446.5
450	447.0
500	440.1

TEMPERATURA	TENSION SUPERFICIAL
°C	(Dinas/cm.)
550	431.5
600	425.5
700	415.5
800	402.2
900	391.5
1000	371.0
1100	320.0
1200	305.5

Como se vé en los datos anteriores, tanto la densidad como la capacidad calorífica, viscosidad y tensión superficial, van bajando conforme sube la temperatura, es decir, se va comportando como un líquido.

6.- La conductividad térmica.

a).- En el estado sólido tiene una conductividad térmica promedio de: 0.038 cal/ (cm. oc seg.)

b).- En el estado líquido tenemos las siguientes:

TEMPERATURA	CONDUCTIVIDAD TERMICA
T °C	k (cal/cm. °C seg.)
327	0.039
440	0.038
500	0.037
600	0.036
700	0.036

Según vemos los datos, mientras más sube la temperatura, el plomo es me
nos conductor.

B).- PROPIEDADES DEL ESTAÑO

- 1.- La temperatura de fusión es: 505°K
- 2.- Densidad a diferentes temperaturas: (Fig. 5)

TEMPERATURA	DENSIDAD
°C	(g/cm. ³)
400	6,834
523	6,761
524	6,729
648	6,671
705	6,640

- 3.- La capacidad calorífica al estado sólido, líquido y el -
calor de fusión, son los siguientes:

a).- Calor específico al estado sólido (C_{P_s}) :

$$C_{P_s} = 4.42 \times 6.30 \times 10^{-3} T \text{ (cal/gmol } ^\circ\text{K)}$$

para un rango de 298 a 505°K. Donde $T = ^\circ\text{K}$.

b).- El calor de fusión (H_f) a $T = 505^\circ\text{K}$ es 1.72 Kcal/gmol.

c).- El calor específico al estado líquido (C_{P_l}) obedece:

$$C_{P_l} = 7.30 \text{ (cal/gmol } ^\circ\text{K)}$$

en un rango de 505 a 1300°K.

Algunos C_p al estado líquido, son:

TEMPERATURA	CALOR ESPECIFICO
$^{\circ}\text{C}$	C_{pe} (cal/g $^{\circ}\text{C}$)
250	0.0580
1 100	0.0758

4.- La ecuación de Frank y Colburn para la viscosidad del estaño, es:

$$\text{Log } \eta = \frac{0.3044 \times 10^3}{T} - 0.3396$$

donde η = viscosidad en centipoises (cp)

T = temperatura en grados Kelvin ($^{\circ}\text{K}$)

Algunos datos de viscosidad a diferentes temperaturas, son los siguientes: (Fig. 6)

TEMPERATURA	VISCOSIDAD
$^{\circ}\text{C}$	($\text{Cp} \times 10^2$)
272	1.96
300	1.67
400	1.38
500	1.18
600	1.05

5.- La ecuación de Lazarev para la obtención de la tensión superficial, siendo una función lineal, es :

$$\sigma = 539.8 - 0.074 (t - 232)$$

do de σ = tensión superficial en dinas / cm.

t = temperatura en $^{\circ}\text{C}$

Algunos datos de tensión superficial, son los siguientes: (Fig. 7)

TEMPERATURA °C	TENSION SUPERFICIAL (Dinas/cm.)
250	538.0
300	536.1
350	530.8
400	528.6
450	524.6
500	522.1
550	519.5
600	510.5
650	511.0
700	503.1
750	499.5
800	496.0
850	490.2
900	485.0
950	486.1
1000	483.9

Como se vé en estos datos, el Estaño tiene un comportamiento similar al del plomo, es decir: sus propiedades bajan al subir la temperatura, o sea, es menos conductor, disminuye su viscosidad, etc. se va comportando más parecido a un líquido.

6.- La conductividad térmica del Estaño, es:

a).- Su conductividad térmica media al estado sólido, es:

$$k_s = 0.14 \frac{\text{cal}}{\text{seg. cm. } ^\circ\text{C}} \text{ Para un rango de } 0^\circ\text{C a } 400^\circ\text{C}.$$

b).- La conductividad térmica al estado líquido a diferentes temperaturas. es la siguiente:

TEMPERATURA °C	CONDUCTIVIDAD TERMICA cal/seg. con °C
240	0.09
290	0.081
417	0.079
498	0.078

Estos datos nos indican que, a medida que sube la temperatura, la conductividad térmica del Estaño, baja.

c).- Propiedades del material de construcción. En este caso es el Fierro (Fe)

- 1.- El calor específico promedio del Fierro (Cp) es de 0.13 cal/g °C dentro del rango 0° - 400°C
- 2.- La conductividad térmica del Fe a diferentes temperaturas, es:

TEMPERATURA °C	CONDUCTIVIDAD TERMICA k (cal/seg. con °C)
100	0.158
200	0.145
500	0.105
700	0.079
900	0.052

La gráfica de estos datos se encuentra en el capítulo correspondiente.

Datos de densidad se proporcionarán durante el transcurso de los siguientes capítulos.

III.- ESTUDIO TEORICO DEL PROBLEMA.

La carencia de una teoría de atomización adecuada, los numerosos diseños de atomizadores neumáticos y varias técnicas de análisis de tamaño, muchas de ellas irreales o inciertas, han contribuido, todas, a establecer confusión en este campo; desde el punto de vista de Ingeniería, algunas de las preguntas que deben contestarse, con:

- 1.- ¿Cuál es la interacción del aire y el líquido en corrientes o películas durante la atomización?
- 2.- ¿Cómo las propiedades del líquido afectan la interacción del aire y el líquido?
- 3.- ¿Cuál es el medio más efectivo para el contacto entre el -

aire y el líquido en atomización?

- 4.- ¿Cómo las propiedades de la corriente de aire afectan a la atomización neumática?

Tomando en cuenta estas preguntas se sugirió usar en este tipo de atomización una boquilla neumática convergente en lugar de una boquilla neumática de golpeo, como se muestra en la figura (8).

En la Fig. (8) se ven las razones por las cuales se seleccionó la boquilla convergente, pues el metal líquido en una boquilla neumática de golpeo, en la cual hay un dispositivo que sirve para romper la corriente del líquido, provocaría una solidificación, pues el líquido se iría pegando al dispositivo, ya que éste está frío y en contacto con el líquido le bajaría la temperatura. Como consecuencia, el líquido al enfriarse se acumularía hasta tapar la boquilla.

Una exacta solución matemática para la dispersión de una gota, requiere un conocimiento completo de las presiones aerodinámicas en ellas, como una función en el espacio y el tiempo. Estas presiones dependen de la forma de la gota. Dentro de la gota, los efectos de la presión, inercia y viscosidad deben ser balanceados en cada punto, y en la superficie de la gota, la presión ejercida por la tensión superficial debe ser considerada.

Estos factores son los que van a influir en el proceso de dispersión principalmente, por lo que en capítulos anteriores se encuentran las propiedades físicas de los materiales seleccionados para las pruebas experimentales.

Dentro de las teorías usadas para el diseño, se han investigado las siguientes (basadas en la distribución de tamaño de partícula) :

La primera teoría se basa en el mecanismo y tiempo de dispersión, propuesta por G.D. Gordon, quien supone un cilindro experimental por donde va a pasar

el líquido en forma de gotas que van a ser dispersadas por el aire a presión, pero que es retardada por la tensión superficial del líquido. Tomando en cuenta estos factores, la presión de aire estacionaria que causa la dispersión es calculada por la siguiente expresión:

$$\frac{1}{2} \rho_a v^2$$

Donde ρ_a es la densidad del aire y v es la diferencia de velocidades del aire y del líquido metálico; la presión promedio en el frente es menor que la presión estacionaria, pero esta es parcialmente neutralizada por la presión negativa detrás del cilindro.

b).- Otro factor importante es la tensión superficial, pues durante la dispersión la gota incrementa su área y esto requiere de una energía. Por lo que tomando en el modelo matemático del cilindro de radio r es empujado en sus dos extremos, o sea aparecen dos áreas. La energía requerida por cada área es igual al área veces la (σ) tensión superficial y de aquí la fuerza de resistencia es igual a σ veces la circunferencia $2\pi r$ del cilindro por cada área en total $4\pi r\sigma$. Esta fuerza dividida entre el área del cilindro πr^2 , y si asumimos que el radio del cilindro es de la misma magnitud que el radio de la gota, o que $r = D/2$ donde D es el diámetro, obtenemos la presión de resistencia causada por la tensión superficial, de acuerdo a la expresión :

$$\frac{3\sigma}{D}$$

Algunas veces la viscosidad retarda el rompimiento. Si la presión ejercida por la viscosidad es $16L\eta v^2/D^2$ a la salida del tubo donde v es velocidad en el centro del tubo, si consideramos el modelo matemático L (longitud del cilindro) es igual a D y por tanto la presión llega a ser:

$$\frac{16\eta v}{D}$$

Esta presión también es negativa.

La presión ejercida en el cilindro es la siguiente:

$$P = 1/2 \rho_a v^2 - \frac{8 \sqrt{\tau}}{D} - \frac{16 \eta v}{D}$$

Comprobando dimensiones:

$$[P] = M L \theta^{-2} L^{-2} = M L^{-1} \theta^{-2}$$

$$[v] = L \theta^{-1}$$

$$[\rho_a] = M L^{-3}$$

$$[\tau] = M L T^{-2} L = M \theta^{-2}$$

$$[\eta] = M L^{-1} \theta^{-1}$$

$$[D] = L$$

Cada término de la ecuación debe comprender las mismas dimensiones que, en este caso, serán las de P (Presión)

$$\left[\rho_a v^2 \right] = \left(\frac{M}{L^3} \right) \left(\frac{L^2}{\theta^2} \right) = \frac{M}{L \theta^2}$$

$$\left[\frac{\tau}{D} \right] = \left(\frac{M}{\theta} \right) \left(\frac{1}{L} \right) = \frac{M}{L \theta^2}$$

$$\left[\frac{\eta v}{D} \right] = \left(\frac{M}{L \theta} \right) \left(\frac{L}{\theta} \right) \left(\frac{1}{L} \right) = \frac{M}{L \theta^2}$$

Indicándonos todos que está dimensionalmente correcta.

Esta ecuación es la básica para poder sólo encontrar elementos de ayuda en el diseño de la esprea, ya que no ha sido probada en muchos experimentos.

Otra teoría desarrollada es la de James Gretzinger y W.R. Marshall Jr., - quienes basan su teoría principalmente en resultados experimentales hechos con boquillas convergentes y de golpeo, mediante gráficas de sombra.

Estos investigadores correlacionaron datos de tamaño de gota por cada boquilla que usaron, como función de la proporción de aire-líquido. Obteniendo ecuaciones como la siguiente:

$$a).- \bar{X}_m = 2600 \left[\left(\frac{M_t}{M_A} \right) \left(\frac{\eta_a}{G_a L} \right) \right]^{0.4}$$

Usada en la boquilla convergente.

$$b).- \bar{X}_m = 122 \left(\frac{M_t}{M_A} \right)^{0.6} \left(\frac{\eta_a}{G_a L} \right)^{0.15}$$

Usada en la boquilla de golpeo o divergente

- Donde \bar{X}_m = tamaño de gota de masa media dispersada en γ (micras)
L = diámetro de periferia mojada entre el aire y el líquido
Ma = velocidad masa del aire en la boquilla.
Mt = velocidad masa del líquido de la boquilla.
 η_a = viscosidad del aire
Ga = velocidad masa del aire en la salida de la boquilla

Pero esta ecuación no es aplicable para las condiciones de dispersión de no tal fundido, ya que sólo es satisfactoria para líquidos que tengan 50 dinas/cm. de tensión superficial y 1 cp de viscosidad, y tanto el Plomo como el Es taño tienen tensión superficial y viscosidad fuera del rango permitido por la ecuación Gretzinger y Marshall.

Por último, queda una tercera teoría que fué realizada por los investigadores japoneses Nukiya y Tanasawa, quienes obtienen también una forma parecida de correlación a la de los investigadores anteriores y que lo hicieron aplicando

lo a la dispersión alcohol-glicerina mezclados mediante un chorro de agua y obtuvieron la correlación siguiente:

$$D_{vs} = \frac{1410 \sqrt{\sigma}}{V_a \sqrt{\rho_L}} + 191 \left(\frac{\eta}{\sqrt{\rho_L}} \right)^{0.45} \left(\frac{100 Q_L}{Q_A} \right)^{1.5}$$

Donde:

D_{vs} = diámetro medio, micras.

V_a = diferencia de velocidades entre el aire y el líquido en ft/seg.

σ = tensión superficial, dinas/cm

η = viscosidad del líquido, centipoises.

ρ_L = densidad del líquido lb/ft³

Q_L, Q_A = velocidades de flujo volumétricas, tanto del líquido como del aire en ft³/seg.

También han propuesto otra correlación empírica:

$$\frac{dn}{dD_p} = b D_p^m e^{-cD_p^\delta}$$

donde dn/dD_p es el número de partículas con dimensiones D_p y $D_p + dD_p$ y reportan valores de los exponentes $m = 2$ y $\delta = 1$ que varían según el diseño de la boquilla.

Entonces tomando en cuenta estas teorías y aplicando las mas adecuadas a las condiciones en que se van a desarrollar el proceso, se diseñarán algunas partes del atomizador, tomando en cuenta también que al salir la corriente del aire que choca contra el líquido, cambiándolo de dirección lo dispersará.

Como se vió en la teoría, se necesita una presión :

- a) Que cambie la dirección de la corriente de metal (P_1).
- b) Otra que rompa este chorro, venciendo su tensión superficial de el (P_σ)

Y la presión necesaria para vencer la viscosidad del líquido (P_η)

Tenemos por consiguiente:

$$P_a = P_1 + P_\sigma + P_\eta$$

Donde :

P_a = presión mínima que el aire debe ejercer para dispersar el chorro metálico.

En sí, esta es la teoría desarrollada para la dispersión, disponible.

El siguiente método nos ayuda a hacer un intento de diseño de la boquilla, así como la obtención de la presión de alimentación del aire de la esprea.

El método es usado por Gretzinger y Marshall, siendo el siguiente:

- 1.- Establecer el problema en términos de tamaño de la gota (en este caso será la partícula del polvo) y de la velocidad del líquido deseable.
- 2.- Ellos recomiendan el uso de su correlación, la cual no es adecuada para el presente caso, debido a la tensión superficial que está fuera de los límites.
- 3.- Con los datos obtenidos a Reynolds = 1000, se calculó el diámetro interior del anillo del aire y la presión de alimentación requerida, usando la ecuación como :

$$N_{pe} = \frac{4 Q \rho}{\eta}$$

donde Q = gasto volumétrico

ρ = densidad

η = viscosidad

La presión de alimentación se calcula mediante la ecuación de Fliegner's,

usada para este tipo de boquillas neumáticas, debido a que se está en condiciones críticas, pues según la boquilla, forma y cantidad de aire usada, no se tiene una ecuación definida para encontrar la caída de presión.

La ecuación de Fliegner's consiste en :

$$M = \frac{0.533 C_v A P}{(T)^{1/2}}$$

Donde : C_v = factor de descarga, se recomienda en este caso = 0.95

M = flujo de masa (lb/seg.)

A = área transversal por donde sale el aire en in^2 .

P = presión de alimentación a la boquilla en lb/in^2

T = temperatura del aire en $^{\circ}\text{R}$

Dando ellos mismos los datos necesarios del aire a temperatura ambiente, éste es aproximadamente 77°F ó 25°C , como son:

$$\rho = 0.003 \text{ g/cm}^3.$$

$V_a = 1140 \text{ ft/seg. } \text{ ó } 34,747 \text{ cm/seg.}$ velocidad sónica del aire

$$\eta = 1.8448 \times 10^{-4} \text{ poises}$$

Datos obtenidos del "Hand book of Supersonic Aerodynamic's"

Nabord Rept. 1488 vol. 5, U.S. Gov't. (Printing Office - Aug. 1953), de donde se pueden obtener más datos a otras temperaturas.

Como el aire se va a suponer que no cambia de temperatura, esto se lleva a cabo en una expansión isotérmica, por lo que un cálculo de la potencia consumida en la atomización neumática, cuya relación la obtuvieron Gretzinger y Marshall, con expresiones como las siguientes:

$$P_h = (22/\bar{X}_m)^{2.2} \quad 10 < X_m < 22$$

$$P_h = (9.7/\bar{X}_m)^{13.7} \quad \bar{X} < 8$$

Solamente aplicable a boquillas convergentes.

La ecuación con la que se intentará hacer un primer diseño de la boquilla, será la de Nukiyama y Tanasawa, que aunque no es adecuada es la más recomendable por Gretzinger y Marshall.

El método de pulverización seleccionado se basa, principalmente, en patentes alemanas que consisten en lo siguiente :

El chorro o corriente de metal, fundido mediante un crisol, pasa a través de una esprea y es dispersado mediante una corriente de gas (en este caso aire), que pasa a través de un orificio anular, en la misma esprea.

Una de las patentes habla principalmente de la disposición tanto de la esprea del metal, como la del aire. Esta disposición, dice la patente, evita que se tape la esprea por el metal fundido, como consecuencia del enfriamiento del mismo. Además, como el chorro metálico llega a la esprea mediante caída libre, hace que esta corriente tenga una alta velocidad, sólo por efecto de la atracción de la gravedad y nos evita que el aire entre y nos regrese el metal, esto es, se detenga en su camino.

La disposición especial que lleva el chorro metálico dentro de la esprea es como sigue : el calibre de la corriente no debe tocar las paredes de la esprea (Fig. 9) y evitar así la solidificación (enfriamiento hasta su punto de solidificación).

Una de las cosas más importantes del atomizador, es la conservación de la temperatura, puesto que es un factor importante en el buen funcionamiento, ya que en caso de bajar la temperatura a menos de su punto de fusión, se vuelve sólido el metal, evitando su dispersión. Para poder obtener la temperatura adecuada, pues se necesita tener en el crisol una temperatura más alta que la temperatura de fusión del metal, como seguridad.

El metal de mayor punto de fusión, de entre los dos seleccionados : Estaño y el Plomo, es el segundo, que se utilizó como base para el diseño del aparato.

Como vimos, el atomizador necesita de un crisol, en el cual vamos a fundir el metal, por lo que debemos de encontrar una forma adecuada de suministrarle calor, siendo la más fácil y primer intento, por medio de una resistencia eléctrica, ya sea interior o exterior, intentándose un primer experimento con una interior.

Se usará una resistencia eléctrica interior, en lugar de un quemador, debido a su comodidad y a que por medio de ella, la temperatura a la que se tendrá el crisol, va a ser de 400°C , dando una seguridad de 73°C , es más fácil obtenerla y en menor tiempo.

Otra razón es que el crisol lleva una perforación en el fondo, por donde va a tener una boquilla de salida para el metal fundido, necesitándose un quemador especial.

El tubo de conexión por donde el chorro metálico va a pasar para adquirir velocidad, necesita un suministro de calor, evitándose así un enfriamiento, será mediante una resistencia de alambre.

Por lo tanto, podemos decir:

Se puede obtener el calor necesario para elevar la temperatura de 25°C a 400°C , que es la temperatura de trabajo (Para el Pb), en el crisol, si es posible también en el tubo de conexión.

Q_A = calor necesario para llegar a punto de fusión

Q_B = calor de fusión

Q_C = calor para elevar la temperatura hasta la temperatura de trabajo, desde el punto de fusión.

Para el cálculo de la potencia de estas resistencias, las leyes más simples de la física elemental, la ley de Ohm :

$$I = \frac{E}{R^w}$$

Donde : I = corriente en amperes

E = voltaje en volts.

R^w = resistencia en ohms

La Ley de Joule

$$P = EI$$

Donde : P = potencia en watts

La velocidad a la cual la corriente eléctrica es convertida a calor, es:

$$I^2 R^w$$

La potencia se medirá en watts o kilowatts, posibles a cambiarlos a Bt U/hr.,

similarmemente la cantidad de energía en killowatts / hr. o watts / hr. a BtU.

Las resistencias se pueden expresar en watt/área o watt/long.

El tipo de resistencia usada en el crisol es del tipo tubular, que nos evita que al hacer contacto con el metal, que se va a fundir, produzca un corto circuito y que, además, al bajar el nivel del líquido, se vaya a quemar.

El tipo de resistencia usada en el tubo es la de un alambre conductor, como el Kanthal ó el Nikrothal.

Para conservar la temperatura de 400°C constante y evitar pérdidas a través de las paredes del crisol, colocar un aislante térmico que minimice estas - pérdidas de calor. Para obtener el espesor adecuado del aislante térmico más adecuado, se utilizó el método de Ahmed S. El. Kabbani, de la Alexandria Petroleum Company, que encontró que el espesor del aislante en superficies planas o cilíndricas pueden ser determinadas simple y rápidamente usando las figuras (10 y 11, nomograma, 12), en las cuales el coeficiente de película de calor entre la superficie del aislante y la atmósfera, se supuso de 9.8 BtU/hr ft² °F, el espesor de una superficie plana puede ser estimada del nomogra

grama de la Fig. (10) y son convertidas a superficies cilíndricas, por la Fig. 11).

El área de una superficie de aislante externo en una superficie curva, es mucho más grande que una superficie plana, con el mismo aislante.

Por éso, los cálculos de flujo de calor no están basados en el espesor actual del aislante X, sino en un espesor equivalente X_e encontrado por:

$$X_e = 1.1515 (D + 2 x) \log. \frac{D + 2 x}{D}$$

D = diámetro exterior de la superficie dada.

Estas fórmulas nos ayudarán a estimar un espesor de aislante térmico más o menos adecuado para el crisol, que aunque tiene una forma no muy cilíndrica, se puede usar esta forma de estimación.

Existe otra manera de estimar ésto, mediante las tablas de Johns - Manville Amosbestos, en los cuales se dan espesores funcionales para tuberías y bloques, tomando en cuenta la temperatura del ambiente de 20° a 25°C. (Tabla 1).

En el caso del tubo de conexión por donde el chorro líquido metálico pasará, se aislará de una forma diferente, que es la siguiente : después de la resistencia se le pondrá polvo de asbesto y un tubo de diámetro más grande, a manera de camisa, no teniendo pérdidas de calor y manteniendo la temperatura requerida, evitando la solidificación de la corriente del metal fundido.

NOTA: Un aislante es aquel material que tiene baja conductividad térmica y es pobre conductor de calor. La optimización de un espesor de un aislante es evaluada económicamente.

IV.- VARIABLES Y ECUACION QUE REGIRAN EL COMPORTAMIENTO DEL APARATO

Se seleccionaron las siguientes variables, como las principales para regir el funcionamiento del aparato, por ser las más lógicas y recomendadas en la literatura y patentes:

P_A = presión del aire.

T_A = temperatura del aire.

T_{Pb} = temperatura del Plomo.

G_A = flujo volumétrico del aire.

G_{Pb} = flujo volumétrico del Plomo.

X = diámetro de la partícula y que será la variable dependiente.

Otras variables como son la densidad, viscosidad, tensión superficial, etc. - quedan ya fijas por las variables anteriores.

Para relacionarlas (las variables principales), se procede a un análisis dimensional:

- a) Las dimensiones de cada una de las variables se hará en el sistema - M.K.S. absoluto o sea que usaremos:

M = masa L = longitud θ = tiempo

- i) Por lo que las dimensiones de:

$$P_A = M L^{-1} \theta$$

- ii) Para G_A y G_{Pb} por efectos de operaciones, no se van a usar como tales, sino sus derivadas como W_A y W_{Pb} que son nombradas como velocidad masa o flujo masa y sus dimensiones son:

$$W_A = M \theta^{-1}$$

$$W_{Pb} = M \theta^{-1}$$

- iii) En el caso de la temperatura, T_A y T_{Pb} , se les va acambiar en términos de energía, esto es la temperatura se puede considerar como la energía adquirida por una molécula o sea $T = E/m$, de aquí que las dimensiones serán:

$$T_A = M L^2 \theta^{-2} M^{-1}$$

$$T_{Pb} = M L^2 \theta^{-2} M^{-1}$$

Y por lo tanto serán las dimensiones de T_A y T_{Pb} .

iv) Y por último:

$$X = L$$

b) Realizando las operaciones dimensionales:

Poniendo a X en función de las demás variables:

$$X = f(W_A, W_{Pb}, T_A, T_{Pb}, P_A)$$

Y por medio de grupos dimensionales:

$$\phi = f(\pi_1, \pi_2, \pi_3, \dots, \pi_n)$$

Y cada grupo π es:

$$\pi = f(X, W_A, W_{Pb}, T_A, T_{Pb}, P_A)$$

O sea:

$$\pi = \begin{matrix} A & A & A & A & A & A \\ X^1 & W_A^2 & W_{Pb}^3 & T_A^4 & T_{Pb}^5 & P_A^6 \end{matrix}$$

La matriz dimensional será:

	X	W_A	W_{Pb}	T_A	T_{Pb}	P_A
L	0	1	1	0	0	1
M	1	0	0	2	2	-1
O	0	-1	-1	-2	-2	-2

Para obtener el No. de grupos dimensionales π , (s), se determina para esta matriz un rango de $r = 3$ y un No. de variables $n = 6$, como:

$$s = n - r$$

$$s = 6 - 3$$

$$s = 3$$

Para obtenerlos, se determinan las ecuaciones base o generales:

- (1)..... $A_2 + A_3 + A_6 = 0$ (suma de exponentes de M)
(2)..... $A_1 + 2A_4 + 2A_5 - A_6 = 0$ (suma de exponentes de L)
(3)..... $-A_2 - A_3 - 2A_4 - 2A_5 - 2A_6 = 0$ (suma de exponentes de O)

Están igualadas a cero debido a que deben dar grupos adimensionales, o sea el exponente resultado al que deben estar elevadas cada una de las dimensiones debe ser cero, lo que quiere decir que el grupo adimensional es igual a la unidad y no a cero.

De acuerdo a lo anterior, se tiene tres ecuaciones y 6 incógnitas, lo que quiere decir que se les debe de dar valores a tres de ellas. Se seleccionó a A_2 , A_4 , y A_6 quedando como incógnitas las otras 3. Los valores supuestos serán: 1, 0, 0, que variarán para cada grupo -adimensional, en el orden.

1.-Así para el 1er. grupo adimensional las ecuaciones derivadas son:

- (1')..... $1 + A_3 = 0$
(2')..... $A_1 + 2A_3 = 0$
(3')..... $-1 + (-A_3) - 2A_5 = 0$

Los valores supuestos fueron:

$$A_2 = 1 \quad A_4 = 0 \quad A_6 = 0$$

Los valores obtenidos son:

$$A_1 = 0 \quad A_3 = -1 \quad A_5 = 0$$

El grupo adimensional es:

$$\pi_1 = \frac{W_A}{W_{Pb}}$$

Comprobando dimensiones:

$$1 = M e^{-1} M^{-1} e$$

2.-En el segundo grupo adimensional los valores supuestos y ecuaciones derivadas son:

- (1'')..... $A_3 = 0$
(2'')..... $A_1 + 2 + 2A_5 = 0$
(3'')..... $-A_3 - 2 - 2A_5 = 0$

Los valores supuestos son:

$$A_2 = 0 \qquad A_4 = 1 \qquad A_6 = 0$$

Los valores obtenidos son:

$$A_1 = 0 \qquad A_3 = 0 \qquad A_5 = -1$$

El grupo adimensional es:

$$\pi_2 = \frac{T_A}{T_{Pb}}$$

Comprobando dimensiones:

$$1 = L^2 \theta^{-2} L^{-2} \theta^2 \qquad ; \qquad 1 = 1$$

3.-En el tercer grupo adimensional las ecuaciones son:

$$(1''') \dots \dots \dots A_3 + 1 = 0$$

$$(2''') \dots \dots \dots A_1 + 2A_5 - 1 = 0$$

$$(3''') \dots \dots \dots -A_3 - 2A_5 - 2 = 0$$

Los valores supuestos son:

$$A_2 = 0 \qquad A_4 = 0 \qquad A_6 = 1$$

Los valores obtenidos son:

$$A_1 = 2 \qquad A_3 = -1 \qquad A_5 = -1/2$$

El grupo adimensional es:

$$\pi_3 = \frac{X^2 P_A}{W_{Pb} T_{Pb}^{1/2}}$$

Comprobando dimensiones:

$$1 = L M L^{-1} \theta^{-2} M^{-1} \theta (L^2 \theta^{-2})^{-1/2} \qquad ; \qquad 1 = 1$$

Estos grupos se pueden relacionar en un solo grupo $\phi = 1$ que es:

$$\phi = \alpha \pi_1 \cdot \pi_2 \cdot \pi_3$$

Donde α = cte numérica de proporcionalidad, que se puede encontrar corriendo un gran número de experimentos.

Sustituyendo:

$$\phi = \alpha \left(\frac{W_A}{W_{Pb}} \right) \left(\frac{T_A}{T_{Pb}} \right) \left(\frac{X^2 P_A}{W_{Pb} T_{Pb}^{1/2}} \right)$$

Haciendo operaciones:

$$\phi = \alpha \frac{W_A T_A X^2 P_A}{W_{Pb}^2 T_{Pb}^{3/2}} = 1 \dots\dots\dots (A)$$

Comprobando dimensiones:

$$\phi = M \theta^{-1} L^2 \theta^{-2} L^2 M L^{-1} \theta^{-2} (M^2 \theta^{-1})^{-2} (L^2 \theta^{-2})^{-3/2}$$
$$1 = 1$$

Despejando X de (A) por ser la variable dependiente:

$$X = \alpha \frac{W_{Pb}^2 T_{Pb}^{3/2}}{W_A T_A P_A}$$

Y generalizando para cualquier metal esta ecuación será:

$$X = \alpha \frac{W_m^2 T_m^{3/2}}{W_A T_A P_A} \dots\dots\dots (B)$$

Donde el subíndice (m) se refiere a metal.

Esta ecuación nos puede dar una norma del funcionamiento del aparato dispersor.

Nota.- La temperatura debe usarse en esta ecuación como una función de energía por molécula.

Esta ecuación nos va ayudar a controlar el aparato tomando como principales estas variables, pues quedaran otras como parámetros como es el diámetro del crisol, longitud del tubo de conexión, diámetro de la boquilla de salida del crisol, área de entrada del aire a la boquilla dispersora, área de salida del aire de la boquilla dispersora, volumen del crisol. Todas estas variables están sujetas al tipo de material que haya en el mercado.

Como consecuencia de lo anterior, en el diseño de algunas partes del aparato se tomaran los métodos de las casas que fabrican estos materiales.

Esto se hará así pues se requiere ajustar el aparato tanto a las condiciones que se necesitan para hacerlo funcionar, como de los datos prácticos que se puedan disponer, por ser una tesis experimental.

V.- PRUEBAS EXPERIMENTALES.

Como se mencionó en capítulos anteriores, no existe un diseño definido para la boquilla, parte principal de la planta y, por lo tanto, se tuvo que basar en las correlaciones ya mencionadas, en las apreciaciones, así como recomendaciones en patentes, para hacer un diseño tentativo de la planta y hacerlo adecuado a los requerimientos necesarios en el tamaño de la partícula y de las condiciones de operación, como son : temperatura, presión y flujos. La forma, el tamaño de algunas partes del aparato, se tomaron de las disponibles en el mercado, como son, tuberías y crisol.

Se llevó a cabo un experimento tentativo en pequeño, para ver el funcionamiento de la boquilla, mostrando si las variables supuestas para el diseño de la boquilla, eran las adecuadas, o si es necesario modificarlas o aumentarlas, también ayudará a ver los problemas de funcionamiento, encontrarlos y corregirlos, o evitarlos para un diseño final, por lo tanto, partimos de lo siguiente :

Las siguientes partes se encuentran en la Fig. (13) para una mejor apreciación.

- 1.- Crisol.- Se seleccionó un crisol que pudiera sostener un Kgmo. de Flomo y , de acuerdo a sus dimensiones, se diseñaron las siguientes partes :
 - a) Boquilla de salida de crisol.
 - b) Válvula para controlar el paso por la boquilla.
 - c) Soporte para el crisol.
 - d) Resistencia eléctrica para fundir.

a).- Boquilla de salida.-

El crisol tiene un fondo plano, circular, de 6 cm. de diámetro, en el cual va a quedar colocada la boquilla por donde va a salir el metal líquido. Como consecuencia de lo anterior, el orificio que debe tener la boquilla debe ser lo más pequeño, según apreciaciones hechas en base a patentes, para poder obtener así un chorro de metal fundido de calibre pequeño, pues de esa forma se puede dispersar, obteniendo un polvo bastante fino.

La entrada del metal líquido a la boquilla se le dió forma cónica, proporcionando así una mejor entrada del líquido y mejor escurrimiento. Tomando en cuenta que este cono estará invertido en un corte transversal, los ángulos que formará con la horizontal, al lado inclinado del cono se le dió un ángulo de 60° , como el más adecuado y recomendado en la literatura. El grueso de las paredes de la boquilla se definió al tomar en cuenta el diámetro de tubería más adecuada y disponible en el mercado, siendo entonces definido como sigue: el diámetro exterior de la boquilla, será igual al diámetro interior de la tubería usada, (pues la boquilla se conectará al tubo de conexión) menos el diámetro del orificio, dividido entre dos.

La parte superior de la boquilla llevará una ceja, como si fuera tuerca, pues será el tope para detenerse en el crisol. El espesor de esta ceja es el adecuado para permitir usar herramienta sin que se barra, o sea, el diámetro de esta ceja es mayor que el de la boquilla y tendrá dos planos, en los cuales se puede colocar la herramienta.

La parte exterior e inferior de la boquilla, lleva una rosca para tubería que ayudará a apretarla al crisol y, a su vez, nos sirve para conexión al tubo por donde va a pasar el chorro metálico.

En la Fig.(14) se pueden ver las dimensiones de la boquilla, de acuerdo a lo anterior.

b).- Válvula para controlar el paso del flujo metálico. En la boquilla le adaptamos una especie de cono, como válvula, que va a tener una base y altura mayores que el cono de la boquilla, para que ensamble perfectamente a la boquilla, esto es, las caras laterales tanto de uno como del otro lado, coincidirán. El cono tendrá en su base una rosca por donde se atornillará un tornillo, cuya longitud será mayor que la altura del crisol, ya que debe pasar a través de una tuerca localizada en el soporte del crisol y sostener así a la válvula. Además, va a llevar en su extremo superior, una especie de llave o agarradera para hacerla manejable y controlar con el cono el paso del líquido, funcionando así - boquilla y cono, como una válvula.

En la Fig.(14) se vé la descripción de esta válvula.

c).- Soporte del crisol.- En realidad, esta parte del crisol es, en sí, - una pieza del aparato total, ya que va a ayudar a sostenerlo. Este soporte consistió en una barra plana, soldada en los bordes del crisol, - en la cual se localiza un orificio adecuado al tornillo, llevando en el mismo lugar la tuerca soldada. La longitud de esta barra es mayor en 6 cm. que el diámetro del crisol, ya que estos extremos sobrantes (3 cm. de cada lado), van a servir para sostener el aparato, finalmente, en un tripié, puesto que todo el aparato debe estar nivelado y esta barra ayudará a hacerlo.

d).- Resistencia eléctrica.- Nada más se colocó en el crisol una resistencia y que fué del tipo cubular, es decir, una resistencia que no se llegará a quemar fácilmente, ya que para poder fundir el metal, se requiere de -

un cierto tiempo, además, se presentó el problema del volumen tan pequeño del crisol, por lo que debería ir la resistencia alrededor del crisol, exteriormente, pues el hecho de usar una resistencia de inmersión no era económico, además de presentar los siguientes defectos.

- i).- Al bajar el nivel se quemará.
- ii).- Ocuparía un volumen necesario para el Plomo.

El cálculo de la potencia de la resistencia es el siguiente: al crisol le cabe aproximadamente 1 kg. de Pb (ya que se seleccionó al plomo para experimentar, primero,) y que tiene un mayor punto de fusión. Sacando, por lo tanto, los datos para el plomo, del capítulo de propiedades de los metales.

Como se debe elevar la temperatura del metal, en este caso del Plomo, se tiene que conocer el calor necesario; calor sensible para elevar la temperatura desde 25°C a la temperatura de fusión del Plomo, que es de 327.6°C, más el calor necesario para llegar a los 400°C, - más el calor necesario para pasar del estado sólido al líquido.

- 1).- Calor sensible desde 25°C a 327.6°C. (ΔH_s).

El C_{P_s} es el siguiente:

$$C_{P_s} = 5.29 + \frac{2.80 \times 10^{-3}}{2} T + 0.23 \times 10^{-5} T^2$$

Por lo tanto, el ΔH_s es :

$$\Delta H_s = \int_{T_2}^{T_1} C_{P_s} dT = \int_{298^{\circ}K}^{600.6^{\circ}C} (5.29 + 2.80 \times 10^{-3} T + 0.23 \times 10^{-5} T^2) dt$$

Integrando

$$\Delta H_s = \left[5.29 T + \frac{2.80 \times 10^{-3} T^2}{2} - \frac{0.23 \times 10^5}{T} \right]_{298^\circ \text{K.}}^{600.6^\circ \text{K.}}$$

$$\Delta H_s = 5.29 (600.6 - 298) + \frac{2.80 \times 10^{-3}}{2} (600.6)^2 - (298)^2 - 0.23 \times 10^5 \left(\frac{1}{600.6} - \frac{1}{298} \right)$$

$$\Delta H_s = 1941.9 \text{ cal / gmol}$$

ii) El calor latente para pasar del estado sólido al líquido es:

$$\Delta H_f = 1140 \text{ cal / gmol.}$$

iii) El calor sensible para elevar la temperatura de 327.5°C a 400°C. (ΔH_1)

$$\text{El } c_{p1} = 7.77 - 0.72 \times 10^{-3}$$

Por lo tanto, el ΔH_1 es :

$$\Delta H_1 = \int_{T_2}^{T_3} c_{p1} dt = \int_{600.6^\circ \text{K}}^{673^\circ \text{K}} (7.77 - 0.72 \times 10^{-3}) dt$$

Integrando:

$$\Delta H_1 = \left[7.77 T - \frac{0.72 \times 10^{-3} T^2}{2} \right]_{600.6^\circ \text{K}}^{673^\circ \text{K}}$$

$$\Delta H_1 = 7.77 (673 - 600.6) - \frac{0.72 \times 10^{-3}}{2} (673)^2 - (600.6)^2$$

$$\Delta H_1 = 527.5 \text{ cal / gmol}$$

Por lo tanto, el calor necesario para suministrarlo al Plomo, es:

$$\Delta H_T = \Delta H_s + \Delta H_f + \Delta H_1$$

$$\Delta H_T = 1941.9 + 1140 + 527.5$$

$$\Delta H_T = 3609.4 \text{ cal/gmol}$$

De donde por cada g de Plomo tenemos:

$$q_T = 3609.4 \frac{\text{cal}}{\text{gmol}} \times \frac{1 \text{ gmol}}{207.21 \text{ g}}$$

$$q_T = 17.5 \text{ cal/g}$$

La cantidad de Plomo que le cabe al crisol es de 1000 gr., tenemos el calor necesario (Q)

$$Q = 17.5 \frac{\text{cal}}{\text{g}} \times 1000 \text{ g}$$

$$Q = 17.5 \text{ Kcal}$$

Que es el calor necesario a suministrar en el crisol y el cual se aplicará por la resistencia.

El calor por pérdidas de radiación en este crisol es:

El crisol junto con la resistencia tiene aproximadamente un $r = 1.58 \text{ in } \phi 4 \text{ cm}$ por lo tanto al aplicar la fórmula:

$$Q_r = h_c A \Delta T$$

Donde:

Q_r = a pérdidas por radiación. BTU/hr

h_c = coeficiente combinado de transmisión de calor para el aire.

BTU/hr ft^2 $^{\circ}\text{F}$ y en este caso es: 6.5

ΔT = diferencia de temperaturas entre el crisol (en este caso la resistencia) y el aire = $(752 - 77)^{\circ}\text{F}$

A = a área del conjunto exterior (resistencia y crisol.

$$= 2 \pi r^2$$

$$= 2 \times 3.1416 \times (1.58/12) \text{ ft}^2 \dots$$

Sustituyendo:

$$Q_r = 6.5 \times 2 \times 3.1416 \times (1.58/12)^2 (752 - 77) \text{ BTU/hr}$$

$$Q_r = 5775 \text{ BTU/hr} \quad \delta \quad 1450 \text{ kcal/hr}$$

Por lo tanto:

Si Q la queremos suministrar en un tiempo de 0.5 hr tenemos el calor total Q_T ;

$$Q_T = \frac{Q}{0.5 \text{ hr}} + Q_r$$

$$Q_T = \frac{17.5 \text{ kcal}}{0.5 \text{ hr}} + 1450 \frac{\text{kcal}}{\text{hr}}$$

$$Q_T = 1485 \frac{\text{kcal}}{\text{hr}}$$

Que en términos de potencia equivalente serán:

$$P_T = 1485 \frac{\text{kcal}}{\text{hr}} \times \frac{1 \text{ hr}}{3600 \text{ seg}} \times \frac{1000 \text{ watt}}{0.239 \text{ kcal/seg}}$$

$$P_T = 1730 \text{ watts}$$

Pero como se debe tomar una eficiencia:

$$P_r = \text{potencia real.}$$

$$P_r = \frac{P_T}{n}$$

Donde: n = eficiencia.

$$n = 0.7$$

Por lo tanto:

$$P_r = \frac{1730 \text{ watts}}{0.7}$$

$$P_r = 2475 \text{ watts}$$

Por lo que se necesita una resistencia que suministre una potencia de 2475 watts.

2.- Tubo de conexión.- En la boquilla se encuentra conectado un tubo, por el cual va a pasar el chorro metálico a la esprea y aquí es donde va a adquirir velocidad. A este tubo se le colocó una resistencia eléctrica que ayuda a mantener el chorro metálico a 400°C, evitando que llegue a solidificarse y pueda llegar líquido a la esprea. El tubo seleccionado toma las siguientes dimensiones : 20 cm. de largo por 1/4" de diámetro. (Fig. 16)

Para el cálculo de la resistencia usada en este tubo, se deben tomar en cuenta varios factores, como es:

i) Comenzaremos por saber cuál es la velocidad con la que sale de la boquilla al tubo, considerando la fricción despreciable, el problema sólo se reduce a una caída libre por acción de la gravedad, o sea:

$$V_f^2 = V_i^2 + 2 a h$$

Donde V_f = es la velocidad que no conocemos a la salida del crisol.

V_i = es la velocidad que se tiene en el nivel del crisol y que si es igual a cero, o sea, el nivel se mantiene constante.

a = aceleración de la gravedad = g

h = altura del crisol (8 cm. de altura)

Despejando V_f tenemos

$$V_f = \sqrt{2g h}$$

$$V_f = \sqrt{2(10)(8)} = 12.65 \text{ cm/seg.}$$

Con este dato y el diámetro seleccionado para el orificio, podemos conocer el flujo volumétrico G , o sea:

$$G = vA$$

$$\text{donde } A = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3.1416 (0.03 \text{ cm.})^2}{4} = 0.07 \text{ cm.}^2$$

$$v = \text{la velocidad } V_f \text{ ya calculada} = 12.65 \text{ cm/seg.}$$

Por lo tanto:

$$G = 12.65 \times 0.07 = 0.89 \text{ cm}^3/\text{seg.}$$

y con este dato y la densidad a 400°C conoceremos la velocidad masa.

$$\int_{Pb}^{400^\circ C} = 10.51 \text{ g/cm}^3 \text{ obtenida de la sección de gráficas.}$$

$$\text{Entonces } M_{pb} = G \int_{pb}$$

$$\text{donde } M_{pb} = \text{es la velocidad masa}$$

Por lo tanto:

$$M_{pb} = 0.89 \times 10.51 = 9.26 \text{ g/seg.}$$

Desde aquí podemos ya calcular la potencia, pues:

$$P = q_t \times M_{pb}$$

$$\text{donde } q_t = 17.5 \text{ cal/g}$$

Por lo tanto:

$$P = 17.5 \times 9.26 = 162 \frac{\text{cal}}{\text{seg.}}$$

Cambiándolos en términos de watts, tenemos:

$$P = 162 \frac{\text{cal}}{\text{seg.}} \times \frac{1000 \text{ watts}}{239 \frac{\text{cal}}{\text{seg.}}}$$

$$P = 680 \text{ watts.}$$

A esta potencia le debemos de agregar la potencia necesaria debido a las -
pérdidas por radiación.

Esta potencia la calculamos como sigue:

$$Q_R = h_c A \Delta T$$

Donde:

$$Q_R = \text{a pérdidas por radiación BTU/hr}$$

$$h_c = \text{coeficiente combinado de transmisión de calor pa-} \\ \text{ra el aire e igual a } 6.5 \text{ BTU/hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$A = \text{área de un cilindro por ser el tubo de conexión e igual} \\ \text{a } Dh, D = 0.84 \text{ in } \delta 0.07 \text{ ft; } h = 7.9 \text{ in } \delta 0.66 \text{ ft} \\ = 3.1416 \times 0.07 \text{ ft} \times 0.66 \text{ ft.}$$

$$\Delta T = 752^\circ\text{F} - 77^\circ\text{F}$$

Sustituyendo:

$$Q_R = 6.5 \times 3.1416 \times 0.07 \times 0.66 \times (752 - 77) \text{ BTU/hr}$$

$$Q_R = 638 \text{ BTU/hr}$$

Que en términos de potencia equivalente es:

$$P_R = 638 \text{ BTU/hr} \times 1 \text{ hr}/3600 \text{ seg} \times 0.252 \text{ kcal/BTU} \times \\ \times 1000 \text{ watts}/0.239(\text{kcal/seg})$$

$$P_R = 186 \text{ watts.}$$

La potencia total será:

$$P_T = P + P_R$$

$$P_T = 186 \text{ watts} + 680 \text{ watts}$$

$$P_T = 866 \text{ watts}$$

Y que si tomamos una eficiencia $n = 0.7$

$$P_{\text{real}} = \frac{866 \text{ watts}}{0.7}$$

$$P_{\text{real}} = 1355 \text{ watts}$$

A continuación del tubo se encuentra la esprea, que es la parte fundamental del aparato ya que, aquí, es donde se va a efectuar la dispersión del chorro metálico por medio del aire, convirtiéndolo en polvo (es decir, en pequeñas partículas). (Fig. 17)

Para el diseño de la esprea, se recurrió a artículos y patentes, basándose entonces en la ecuación de Nukiyama y Tonasawa, la cual nos relaciona los flujos volumétricos y propiedades físicoquímicas con tamaño de la partícula, como primer intento. Tomándose las propiedades físicoquímicas del Plomo a la temperatura de 400°C, siendo éstas las siguientes:

$$\text{Viscosidad } (\eta_{Pb}) = 2.2 \text{ cp.}$$

$$\text{Densidad } (\rho_{Pb}) = 10.51 \text{ g/cm}^3 \text{ ó } 658 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{Tensión superficial } (\sigma_{Pb}) = 448.5 \text{ Din/cm.}$$

y como el tamaño de partícula que se necesita es de $D_{vs} = 40 \mu$

Podemos usar la correlación de los científicos japoneses:

$$D_{vs} = 1410 \frac{\sqrt{V_L}}{v_a \sqrt{\rho_L}} + 191 \left(\frac{\eta_L}{\sqrt{\rho_L}} \right)^{0.45} \left(1000 \frac{G_L}{G_A} \right)^{3/2}$$

donde ya tenemos todos los datos del Plomo que, en este caso, todas las laterales con el subíndice L son las referentes a él.

En el caso V_a ésta se refiere a:

$$v_a = V_{aire} - V_{metal}$$

Donde $V_{aire} = 1140 \text{ ft/seg.}$, que es la velocidad sónica del aire a la temperatura de 25°C y es a la cual va a salir de la esprea, para dispersar el chorro del metal líquido, y luego enfriándolo para que éste se deposite ya como polvo. La única manera de encontrar el área necesaria por la cual va a salir el aire en la esprea, es:

$$A = \frac{G_A}{V_{aire}}$$

Donde : G_A = flujo volumétrico del aire.

Vaire = velocidad sónica del aire.

Por consiguiente, necesitamos saber el flujo volumétrico del aire que - saldrá de la esprea, y para ésto vamos a usar la relación de gastos volumétricos.

Basta con sustituir los datos en la ecuación de Nukiyama y Tanasawa para obtener este dato, como sigue :

1.- Despejamos : G_A / G_L

$$\frac{G_A}{G_L} = \frac{1000}{\left[\left(D_{vs} - \frac{1410 \sqrt{\rho_L}}{v_a \sqrt{\rho_L}} \right) \left(\frac{1}{191} \right) \left(\frac{\sqrt{\rho_L \rho_L}}{\eta_L} \right)^{0.43} \right]^{2/3}}$$

Donde: $D_{vs} = 40 \mu$

$\rho = 448.5$ dinas/cm.

$\eta = 2.2$ cp

$\rho_1 = 658 \frac{\text{lb.}}{\text{ft.}^3}$

$v_a = \text{Vaire} = \text{Vplomo}$

Vplomo se calcula como sigue :

Considerando la velocidad del Plomo al salir del pequeño crisol de 12.65 cm/seg., le debemos agregar la adquirida por caída libre a través del tubo y la boquilla.

Siendo las dimensiones tomadas en cuenta, las siguientes :

- a) Longitud del tubo = 6.5 in
- b) Longitud de la boquilla = 12 1/32 in
- c) Longitud que todavía recorre antes de ser dispersado el chorro = 0.27 in.

Como también es una caída libre por efectos de la gravedad

$$V_{\text{plomo}} = \sqrt{V_0^2 + 2ah}$$

Donde : $V_0 = 12.65 \text{ cm}^2/\text{seg.}$

$$a = g = 981 \text{ cm}/\text{seg.}^2$$

$$h = 6.5 + 12 \frac{1}{32} + 0.27 \text{ in}$$

$$h = 8.246 \text{ in } \text{ ó } 21.1 \text{ cm.}$$

Por lo tanto :

$$V_{\text{plomo}} = \sqrt{(12.65)^2 + 2(981)(21.1 \text{ cm.})}$$

$$V_{\text{plomo}} = 205 \frac{\text{cm.}}{\text{seg.}} \text{ ó } 6.72 \text{ ft}/\text{seg.}$$

Por lo tanto :

$$V_a = 1140 - 6.72$$

$$V_a = 1133.28 \text{ ft}/\text{seg.}$$

Sustituyendo en la fórmula de Tanasawa y Nukiyama.

$$\frac{G_A}{G_L} = \frac{1000}{\left[\left(40 - \frac{1410}{1133.28} \sqrt{\frac{448.5}{658}} \right) \left(\frac{1}{191} \right) \left(\sqrt{\frac{(658)(448.5)}{2.2}} \right)^{0.45} \right]^{2/3}}$$

$$\frac{G_A}{G_L} = 598.$$

Por lo tanto :

$$G_A = (0.89 \text{ cm}^3/\text{seg.}) (598)$$

$$G_A = 531 \text{ cm.}^3/\text{seg.}$$

$$\text{De donde : } A = \frac{531 \text{ cm.}^3/\text{seg.}}{34747 \text{ cm./seg.}}$$

$$A = 1.53 \times 10^2 \text{ cm.}^2 \text{ ó } 2.45 \times 10^{-3} \text{ in}^2$$

Por ser un área tan pequeña la esprea se diseñó de manera que se pueda ob tenerla. Esto se hizo dándole cuerda, tanto a la esprea del chorro Plomo como a la esprea concéntrica del aire (Fig. 19), y controlar ésta.

La presión que lleva es calculada por la ecuación de Fliegner, por :

$$P = \frac{M_A \sqrt{T}}{0.533 \text{ Cv } A}$$

$$M_A = A_a \int_a V_a$$

$$M_A = .0153 \text{ cm.}^2 \times 0.003 \frac{\text{g}}{\text{cm.}^3} \times 34747 \frac{\text{cm.}}{\text{seg.}}$$

$$M_A = 2.05 \frac{\text{g}}{\text{seg.}} \text{ ó } 0.00452 \frac{\text{lb.}}{\text{seg.}}$$

$$A = 2.45 \times 10^{-3} \text{ in}^2$$

$$T = 540 \text{ }^\circ \text{ R}$$

$$\text{Cv} = 0.95$$

$$P = \frac{4.52 \times 10^{-3} \times 540}{0.533 (0.95) (2.45 \times 10^{-3})}$$

$$p = 84 \frac{\text{lb}}{\text{in}^2} \quad \delta \quad 6.1 \frac{\text{Kg.}}{\text{cm.}^2}$$

Esta es la presión que debemos de suministrar a la boquilla dispersora.

Experiencias realizadas:

- a) Se colocó el Plomo dentro del crisol, y se prendió la resistencia, al llegar a la temperatura de 400°C se abrió el crisol, esto es, se levantó mediante el tornillo que tenía el cono que tapaba a la boquilla de salida, dejando salir el plomo líquido. Los 400°C se leen en el termómetro. Como primera conclusión, se vió que el chorro de metal fundido se escurría a través de la pared del tubo de conexión, por lo que se llegó a la conclusión de que se debía nivelar para obtener una corriente metálica recta como la plomada y que fuera concéntrica al tubo de conexión. Esta nivelación se debía hacer por medio del soporte que sostenía al aparato que, en un principio, eran dos columnas, nada más. Como consecuencia del escurrimiento se tapó el tubo de conexión, pues no se usó aún la resistencia eléctrica en él. El crisol no se aisló térmicamente debido a que la resistencia eléctrica que calentaba, se encontraba exteriormente.
- b) Una vez alineado el aparato mediante su soporte, comenzó a calentarse el plomo mediante la resistencia, prendiéndose también la resistencia del tubo de conexión. Se abrió la válvula y comenzó a fluir el plomo. La boquilla dispersora se encontraba en la abertura necesaria para dar al aire el área que necesitaba. Se dejó salir también al aire mediante una válvula que era la que en realidad controlaba su presión. Los resultados fueron los siguientes:

- i) Se obtuvieron pequeñas hojuelas, pero no llegó a ser fino como se deseaba.
- ü) Se volvió a tapar el tubo de conexión, aun con la resistencia dentro.
Como conclusiones y correcciones :
 - i) Se tomaría más tiempo el calentamiento del tubo de conexión, para dar la temperatura necesaria.
 - ü) Abrir más la válvula de control del aire.
 - üi) Determinar una forma más fácil de fundir el Plomo dentro del tubo de conexión, pues la resistencia tardaba bastante.
 - iv) Cada vez que se quitaba el tubo de conexión, el crisol, que era de espesor muy delgado, se iba deformando en el orificio que tenía y por donde se atornillaba la boquilla con el tubo de conexión, por efecto de las herramientas que se usaban, se utilizó un empaque de cobre.
- c) Una vez preparado el aparato, al tener fundido el Plomo, éste empezaba a salirse a través del empaque de cobre, por lo que fué necesario buscar otro empaque y adaptar al crisol una válvula de salida, con el fin de hacer más fácil la salida del Plomo fundido y evitar el poner la resistencia del tubo de conexión para que éste no se tape.
- d) En esta última experiencia, una vez calentado a fundición el Plomo, - después de haber puesto a funcionar suficiente tiempo la resistencia del tubo de conexión y de poner un empaque de tela de asbesto, se dejó salir el Plomo por la boquilla y se suministró el aire para dispersar.
Los resultados fueron :
 - i) Se obtuvo polvo de finura, pero en muy poca cantidad.
 - ü) Se volvió a tapar el tubo de conexión y la boquilla dispersora, indicando que eran de dimensiones muy pequeñas.

- iii) Aunque se había puesto nuevo empaque, el Plomo líquido se salió a través del orificio del crisol y la boquilla de salida, soldando al enfriarse ésta, al crisol. Esta fuga se debió a lo ya muy deformado que estaba el crisol, indicando que no era el crisol adecuado.
- iv) La válvula de desagüe colocada en el crisol no funcionó, debido a que estaba a menor temperatura que el crisol y solidificó el Plomo.
- v) Como último resultado, fué que el cono se quedó soldado a la boquilla, separándose del tornillo que lo levantaba, pues éste se había roto, - haciendo ésto aún más difícil el vaciar al crisol.

2da. parte.

Como conclusión preliminar obtenida después de llevar a cabo experiencias con el pequeño aparato a escala, se puede afirmar lo siguiente :

- 1.- Deben hacerse experiencias con una planta piloto, es decir, llevarlas a un aparato más grande.
- 2.- Sostener al crisol mediante un soporte más rígido y seguro.
- 3.- Buscar una clase de empaque que ayude a evitar fugas de Plomo líquido a través de la boquilla de salida del crisol, que es en realidad parte de la válvula que controla la cantidad de plomo.
- 4.- El tubo que va del crisol hacia la boquilla dispersora, debe tener un diámetro mayor, para evitar así que el plomo llegue a tocar sus paredes y se solidifique.
- 5.- La boquilla del crisol debe terminar en forma cónica, obteniendo así un chorro líquido más recto, evitando desviaciones que provoquen tocar las paredes del tubo de conexión.
- 6.- Aumentar, por lo tanto, las dimensiones de la boquilla dispersora, tomando en cuenta el diámetro del tubo de conexión del crisol y los deta

lles de la boquilla dispersora anterior, ya que sí fueron los adecuados.

7.- Instrumentar lo mejor posible el aparato dispersor, como es :

- a) Colocar un termómetro que dé la temperatura interior del crisol. Este deberá estar colocado, principalmente su carátula con graduación, en un lugar visible, como es la tapa del crisol.
- b) Un manómetro a la entrada de la alimentación del aire a la boquilla dispersora, que ayude a controlar la presión requerida.

8.- Encontrar el sistema de calentamiento más adecuado, siendo por el momento el mejor, mediante una resistencia eléctrica, pero interior, para aprovechar todo el calor desprendido por ésta, quedando pendiente el uso de gas combustible.

9.- Otra resistencia para el tubo de conexión que, en caso de tocar sus paredes el chorro metálico no se solidifique, así como eliminar pérdidas por conducción.

10.- Un tipo de aislamiento, tanto en el crisol como en el tubo de conexión, - que evite pérdidas por conducción y radiación del calor y también que el aparato sea seguro en caso de tocarlo.

De acuerdo a lo anterior, primero se describirán los detalles de cómo va a ser este nuevo aparato y luego se darán algunos datos del diseño, los cuales nos llevarán a obtener más experiencia y encontrar las principales variables que controlen el proceso.

DESCRIPCION DE LAS PARTES INTEGRANTES

A) CRISOL.-

Este crisol no se diseñó, pues el de forma recuerda iba a ser costoso y no lo habría en el mercado, disponible. Así se sujetó al de -

forma y dimensiones que mejor se adaptara al proceso, como sigue:

a).- Este crisol fué de forma hemiesférica, con fondo plano y - con ceja en su orilla superior.

b).- Necesitó tener en su fondo plano, un orificio con cuerda, en el cual se adaptó la boquilla de salida del plomo (en realidad la válvula de salida).

c).- Se le adaptó una tapa de fierro, con un orificio en el centro, que debía coincidir con el orificio del crisol en el fondo, - pues el tornillo que controla la salida del metal ya líquido, pasará por ahí. Deberá llevar también otros orificios, tres de ellos para lo siguiente :

i).- Uno de diámetro un poco más grande que el anterior, por donde pasará el vástago del termómetro metálico.

ü).- Para dejar salir las terminales de la resistencia eléctrica.

iü).- El más grande para la alimentación de plomo, ya sea en lingotes, líquido ó en polvo. (Fig.18).

Y, por último, lleva unas pequeñas barrenas para tornillos, que sirven - para fijarla en el crisol.

d).- También se debía aislar, usándose cemento asbesto al igual que en la tapa, por ser el más adecuado y económico y que cubría la mayor parte del crisol.

B).- BOQUILLA Y VALVULA.-

En las conclusiones se dijo que era necesario aumentar las dimensiones de la boquilla y válvula de control de flujo de Plomo líquido, sino -- también es necesario que la boquilla tenga una cabeza manejable mediante herramientas, dándosele una forma hexagonal como las tuercas; debía

llevar también suficiente cuerda debido a que aparte de que se fije al crisol y llevar empaque, debía llevar una contratuerca para asegurar más su fijación; después de esta contratuerca, se atornilló una "cachucha" o tapa, mediante un orificio central con cuerda hecho en ella y después se uniría mediante un cople al tubo de conexión, - de tal manera que la punta truncada quedara dentro del tubo de conexión. (Fig.19).

En esencia, tanto la boquilla como el cono de la tapa, tienen las mismas características que las del aparato dispersor pequeño, a excepción hecha del cono, éste forma una sola pieza con el tornillo que ayuda a - tapar la boquilla.

C).- TUBO DE CONEXION.

- 1.- Debe llevar una delgada capa de asbesto, como aislante eléctrico y, sobre éste:
- 2.- La resistencia eléctrica de alambre para conservar la temperatura dentro de él.
- 3.- Después de la resistencia, ésta irá cubierta por una capa de fibra de asbesto como aislante térmico.
- 4.- Una camisa o armadura por donde saldrán las terminales aisladas de la resistencia eléctrica.

Esta camisa iría atornillada a la "cachucha", por su parte superior, - que une con el crisol.

- 5.- Y en su parte interior se encontrará otra "cachucha", atornillada a la camisa y con un orificio central sin rosca, que dejará pasar libremente al tubo (Fig.19).

D).- BOQUILLA DE DISPERSION. (Fig. 17)

Esta en realidad no cambia mucho en su forma a la del aparato pequeño,

pues se basó en aquella el diseño; sólo fueron diferentes sus dimensiones y el orificio de salida del aire, que se hizo más largo interiormente y de menor inclinación, para que el choque con el metal líquido fuera más alejado de la boquilla y así evitar un taponamiento a la salida de ésta.

Lleva además, un orificio en su cara lateral, en el cual se atornilló un pequeño niple que lo une un manómetro, para medir la presión de alimentación del aire y una válvula para el control de la cantidad de aire.

E).- SOPORTE DEL APARATO.

Como este nuevo dispersor es, en realidad, una pequeña planta piloto, y por ser de bastante peso como para sostenerla con un soporte cualquiera, se necesitó diseñar uno especial (Fig. 20A), reuniendo lo siguiente :

- a).- Sostener principalmente al crisol, que es la parte más pesada, dicho soporte debe ser de fácil construcción y desarmable fácilmente.
- b).- Ayudar a nivelar todo el aparato, consiguiendo que el chorro fuera lo más paralelo a las paredes del tubo de conexión, siguiendo la línea de la plomada.
- c).- Suficiente área de sustentación, para evitar un volteo, que sería muy peligroso, por lo caliente.
- d).- Dejar espacio suficiente para colocar el recipiente recolector de polvo, que debe estar inmediatamente abajo de la boquilla dispersora.
- e).- Una altura suficiente para que el plomo llegue en polvo sólido, (aunque todavía caliente) al líquido del recipiente recolector.

f).- Principalmente económicamente construible.

De acuerdo a las características anteriores, se describe el siguiente soporte :

Se adoptó un tripié, que consiste en una lámina hexagonal sostenida por tres tubos (Fig. 20B)

1.- Este hexágono tiene un orificio central, por donde pasará la mayor parte del crisol, a excepción de la ceja, que es la que lo sostendrá.

Se escogió la forma exagonal, para poder colocar cada "pata" o tubo en un lado alternado y darle mayor estabilidad.

2.- Los tubos consisten en dos niples, unidos por un cople, la longitud total de cada "pata" es el doble de cada uno de los niples. Tiene cada mitad en uno de sus extremos suficiente cuerda, para unirse por medio de un cople con grasa, y así se pueda nivelar el aparato, alargando o acortando su longitud, según se atornille más o menos el cople.

La inclinación que se les dió a estas "patas" fué de 75° , para evitar que se abra el tripié o tenga un área de sustentación muy pequeña.

Los tubos de fierro se seleccionaron de 2" de diámetro nominal, siendo también el hexágono de fierro.

El hexágono y los tubos se unieron mediante tornillos, de la siguiente forma. (Fig. 20B).

Los tres tubos están cada uno de ellos soldados por uno de sus extremos (sin cuerda), a una mitad de placas rectangulares, pues la otra mitad presenta barrenos para los tornillos, que los unirán al hexágono.

Este tipo de soporte, permite desarmarlo fácilmente.

NUEVOS DISEÑOS DE ALGUNAS PIEZAS

Sólo se diseñaron las resistencias eléctricas y aislantes, pues como ya se

dijo, las demás se basan en resultados experimentales.

1.- Resistencias eléctricas.

Como ya vimos, en la resistencia eléctrica es necesario saber la cantidad de calor que se suministrará al metal para fundirlo y llegue a 400°C , tenemos el ; $q = 17.5 \text{ cal/g de Pb}$ ó $17.5 \text{ kcal/kg de Pb}$.

Por lo tanto, la potencia necesaria que debe tener la resistencia para llegar a 400°C , es la siguiente:

- a) La cantidad de calor necesario para suministrarlo a 60 Kg de Pb, que es la capacidad del crisol:

$$Q_{t \text{ Pb}} = 60 \text{ Kg} \times 17.5 \text{ kcal/Kg}_{\text{Pb}} = 1050 \text{ kcal}$$

- b) Que convertidos a energía sería:

$$E_{\text{Pb}} = 1050 \text{ kcal} \times 1.162 \times 10^{-3} \text{ kwatt-hr/kcal}$$

$$E_{\text{Pb}} = 1220 \times 10^{-3} \text{ kwatts- hora}$$

- c) Esta energía se suministra en un cierto tiempo, siendo peste de 0.5 hr nos dá una potencia de:

$$P = \frac{1.22 \text{ kwatts-hr}}{0.5 \text{ hr}}$$

$$P = 2.45 \text{ kwatt}$$

A esta potencia se le agrega la debida por pérdidas por radiación, por lo que se calculará el aislante térmico.

El espesor de aislant. térmico que se usó, fué el cemento asbesto y se colocó una capa de 1 pulgada de espesor, por lo que se encontrará el calor que se elimina a través de sus paredes y la temperatura exterior:

Si se considera que el crisol es una hemiesfera y despreciamos el espesor del crisol, pues como es de fierro, éste es un buen conductor del calor, consideremos la temperatura interior $t = 400^{\circ}\text{C}$ (752°F) y la temperatura del aire $t'_2 = 25^{\circ}\text{C}$ (77°F) y a t_2 la temperatura exterior del cemento asbesto.

Por lo tanto, para la transmisión del calor a través de una pared usamos :

$$Q = kA \left(- \frac{dt}{dr} \right)$$

Donde:

Q = calor desprendido en Btu/hr.

k = conductividad térmica del material (en este caso del cemento asbesto y cuyo valor promedio - dado por el proveedor es: $0.43 \frac{\text{Btu}}{\text{hr. ft}^2 \cdot \text{F/ft}}$)

t = Temperatura en $^{\circ}\text{F}$

r = Radio del crisol

A = Area, en este caso, área de la hemiesfera

$$= 2 \pi r^2$$

Por lo tanto, tendremos:

$$Q = 2\pi r^2 k \left(- \frac{dt}{dr} \right)$$

Rearreglando

$$Q \int_r^{r_2} r^{-2} dr = -2\pi k \int_t^{t_2} dt$$

Integrando y tomando límites, tenemos:

$$Q \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) = 2\pi k (t_1 - t_2)$$

y donde $r_1 = 0.658 \text{ ft. (20 cm.)}$ radio del crisol exterior

$$r_2 = 0.658 \text{ ft.} + 1 \text{ in} \times \frac{1 \text{ ft.}}{12 \text{ in}} = 0.742 \text{ ft.}$$

y el calor que se transmite a través de la película de aire, será :

$$Q = h_a \pi r_2^2 (t_2 - t_2^1)$$

donde h_a = coeficiente de transmisión combinado para el aire en

$$\text{BtU/hr. ft.}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Como Q es la misma pérdida de calor, tanto por la pared como por la película de aire, las ecuaciones se reducen a:

$$Q = \frac{77 (t_1 - t_2)}{\frac{1}{2k} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) + \frac{1}{2h_a r_2^2}}$$

Si consideramos $t_2 = 500^\circ\text{F}$

Para esta temperatura tenemos : $h_a = 4.2 \frac{\text{BtU}}{\text{hr. ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}}$

Por lo tanto:

$$Q = \frac{(3.1416 (752 - 77)^\circ\text{F})}{\left[\frac{1}{2 (0.43 \frac{\text{BtU}}{\text{hr. ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F/ft.}})} \right] \left(\frac{1}{0.658 \text{ ft.}} - \frac{1}{0.742 \text{ ft.}} \right) + \left[\frac{1}{2 (4.2 \frac{\text{BtU}}{\text{hr. ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}})} \right] \times \left[\frac{1}{k (0.742 \text{ ft.})^2} \right]}$$

$$Q = 6000 \frac{\text{BtU}}{\text{hr.}}$$

Comprobando para la película de aire

$$Q = 2 (4.2 \frac{\text{BtU}}{\text{hr. ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}}) (3.1416) (0.742 \text{ ft.})^2 (500 - 77)^\circ\text{F}$$

$$Q = 5500 \frac{\text{BtU}}{\text{hr.}}$$

Las dos Q son diferentes, por lo tanto: $t_2 = 500^\circ\text{F}$ es incorrecta

Si suponemos $t_2 = 450^\circ\text{F}$

Para esta temperatura tenemos $h_a = 3.7 \frac{\text{BtU}}{\text{hr. ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}}$

Por lo tanto :

$$Q = \frac{(3.1416) (752 - 77)^{\circ}\text{F}}{\left[\frac{1}{2 (0.43 \frac{\text{BtU}}{\text{hr. ft}^{2\circ}\text{F/ft.}})} \right] \left(\frac{1}{0.658 \text{ ft.}} - \frac{1}{0.742 \text{ ft.}} \right) + \left[\frac{1}{2 (3.7 \frac{\text{BtU}}{\text{hr. ft}^{2\circ}\text{F}})} \right] \times (0.742 \text{ ft.})^2}$$

$$Q = 4400 \frac{\text{BtU}}{\text{hr.}}$$

Comprobando para la película de aire

$$Q = 2 \left(3.7 \frac{\text{BtU}}{\text{hr. ft}^{2\circ}\text{F}} \right) (3.1416) (0.742 \text{ ft.})^2 (450 - 77)^{\circ}\text{F.}$$

$$Q = 5000 \frac{\text{BtU}}{\text{hr.}}$$

También las cantidades de calor Q son diferentes, por lo tanto,

$t_2 = 450^{\circ}\text{F}$ no es correcta

Si $t_2 = 475^{\circ}\text{F}$

A esta temperatura $h_a = 3.9 \frac{\text{BtU}}{\text{hr. ft}^{2\circ}\text{F.}}$

Se tiene:

$$Q = \frac{3.1416 (752 - 77)^{\circ}\text{F}}{\left[\frac{1}{2 (0.43 \frac{\text{BtU}}{\text{hr. ft}^{2\circ}\text{F/ft.}})} \right] \left(\frac{1}{0.658 \text{ ft.}} - \frac{1}{0.742 \text{ ft.}} \right) + \left[\frac{1}{2 (3.9 \frac{\text{BtU}}{\text{hr. ft}^{2\circ}\text{F}})} \right] (0.742 \text{ ft.})^2}$$

$$Q = 5400 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$$

Comprobando para la película de aire:

$$Q = 2 (3.9 \text{ BTU/hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}) (3.1416) (0.742 \text{ ft})^2 (475 - 77)^\circ\text{F}$$

$$Q = 5300 \text{ BTU/hr}$$

Que ya son más cercanas y nos darán aproximadamente $t_2 = 475^\circ\text{F}$ (246°C) y una pérdida de calor de 5350 BTU/hr.

Y cambiándolas en términos de potencia equivalente tenemos:

$$P_R = 5350 \text{ BTU/hr} \times 0.252 \text{ kcal/BTU} \times 1 \text{ hr}/3600 \text{ seg} \times 1000 \text{ watt}/0.239(\text{kcal/seg})$$

$$P_R = 1550 \text{ watts.}$$

Por lo tanto la potencia total

$$P_t = (1550 + 2450) \text{ watts}$$

$$P_t = 4000 \text{ watts}$$

Y si tomamos una eficiencia de $n = 0.7$

$$P_R = \frac{P_t}{n}$$

$$P_R = \frac{4000 \text{ watts}}{0.7}$$

$$P_R = 5700 \text{ watts.}$$

La temperatura $t_2 = 246^\circ\text{C}$ es muy alta, por lo tanto peligrosa, pues en caso de tocar el crisol, produciría una quemadura, para otros experimentos se recomendaría un espesor de aislante más grande.

En el caso de la cantidad de calor perdido, éste se tratará de reponer mediante la resistencia eléctrica que está en el crisol, dejándola prendida.

Usándose, por lo tanto, una resistencia eléctrica de potencia aproximada de 5.7 kwatts, con una corriente de 220 volts, para poder llegar a esa potencia

y no obtener bajo rendimiento.

La forma y longitud se determinó la más adecuada y recomendada por el fabricante, según hubiera en el mercado.

2.- La resistencia del tubo de conexión: (Fig. 21)

Como en esta resistencia vamos a calentar, tanto el tubo de conexión como el Plomo que pasa a través de él, se calculó como sigue:

a) Cantidad de Fc usado en el tubo

i) Volumen del tubo :

$$V = \pi \left[\frac{(DE)^2}{4} - \frac{(DI)^2}{4} \right] h$$

Donde :

$$DE = \text{Diámetro externo} = 3.30 \text{ cm.}$$

$$DI = \text{Diámetro interno} = 2.6 \text{ cm.}$$

$$h = \text{Longitud del tubo} = 19.3655 \text{ cm.}$$

Estas son las dimensiones del niple usado, de diámetro nominal 1".

Sustituyendo :

$$V = 3.1416 \left[\frac{(3.39)^2}{4} - \frac{(2.6)^2}{4} \right] (19.3655)$$

$$V = 72.5 \text{ cm.}^3$$

Para saber su masa, basta multiplicar por su densidad a temperatura ambiente.

$$\rho_{Fe} = 7.86 \text{ g/cm.}^3$$

$$m_{Fe} = 72.5 \text{ cm.}^3 \times 7.86 \frac{\text{g}}{\text{cm.}^3}$$

$$m_{Fe} = 570 \text{ g.}$$

ü) Por lo tanto, la cantidad de calor necesaria, es :

$$\text{Como el } C_{P_{Fe}} = 0.13 \frac{\text{cal}}{\text{g } ^\circ\text{C}}$$

El calor sensible desde 25 °C a 400 °C, es :

$$\Delta H_{Fe}^{400^{\circ}} = C_{Fe} \Delta T$$

$$\Delta H_{Fe} = 0.13 \frac{\text{cal}}{\text{g}^{\circ}\text{C}} (400 - 25)^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta H_{Fe} = 48.8 \frac{\text{cal}}{\text{g}}$$

Por lo tanto,

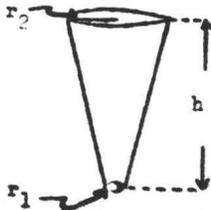
$$Q_{Fe} = m_{Fe} \Delta H_{Fe}$$

$$Q_{Fe} = 48.8 \frac{\text{cal}}{\text{g}} \times 570 \text{ g.}$$

$$Q_{Fe} = 27700 \text{ cal}$$

b) Cálculo de la cantidad de Plomo y calor necesario para llevarlo a 400°C.

- 1) Como el diámetro de la corriente de Pb que va desde el crisol (salida de la boquilla) hasta el final de la boquilla dispersora, va disminuyendo su diámetro, por lo tanto éste es el volumen de un cono truncado.



Siendo entonces el volumen dado por:

$$V = \frac{\pi h}{3} (r_2^2 + r_2 r_1 + r_1^2)$$

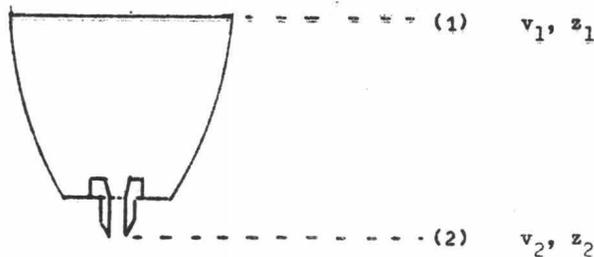
$$\text{Donde : } r_2 = \frac{D_2}{2} \quad \text{Y} \quad r_1 = \frac{D_1}{2}$$

$D_2 = 2r_2$ y como $D_2 = 0.003$ m., pues el diámetro del orificio de la boquilla de salida del crisol

Para conocer r_1 , se hace lo siguiente:

El área transversal que ocupa el chorro de Plomo al salir de la boquilla, se calcula así :

ū) Para poder conocer el área (A_3 por la que va a pasar el plomo (en realidad será el área transversal del chorro de Plomo), se necesita hacer un balance de energía



$$\frac{v_1^2}{2\alpha g_c} + \frac{z_1 g}{g_c} = \frac{v_2^2}{2\alpha g_c} + \frac{z_2 g}{g_c}$$

la $v_1 = 0$ pues el nivel se conservará constante

$v_2 =$ es la velocidad de salida del crisol del Plomo a través de la boquilla.

$z_1 =$ Altura del nivel y que conservará de

$\alpha =$ Factor de corrección de energía cinética y que para este cálculo será aproximada a 1 .

Despejando V_2 y realizando operaciones, tenemos:

$$V_2 = \sqrt{2g \Delta Z}$$

donde : $\Delta Z = 23.99$ cm. Altura del nivel del Plomo a partir de la salida de la boquilla.

Sustituyendo datos :

$$V_2 = \sqrt{(2) (9.8) (0.239)}$$

$$V_2 = 2.11 \text{ m/seg.}$$

El Gasto volumétrico G_{pb} a la salida del crisol, será :

$$G_{pb} = V_2 A_2$$

donde : $A_2 =$ área del orificio de la boquilla

$$A_2 = \pi r^2 = \frac{\pi D^2}{4}$$

donde : $D = 2 \times 0.3$ cm.

Por lo tanto

$$A_2 = \frac{(3.1416) (0.6)^2}{4}$$

$$A_2 = 7.08 \times 10^{-6} \text{ m}^2.$$

Sustituyendo valores :

$$G_{pb} = \frac{2.11 \text{ m.}}{\text{seg.}} \times 7.08 \times 10^{-6} \text{ m}^2.$$

$$G_{pb} = 14.95 \text{ cm.}^3/\text{seg.}$$

Como la G_{pb} es la misma hasta al salir de la boquilla y por acción de gravedad, calcularemos la V_3 que es la que adquiere desde la salida de la boquilla del crisol hasta la entrada de la boquilla dispersora

$$V_3 = \sqrt{V_2^2 + 2g h}$$

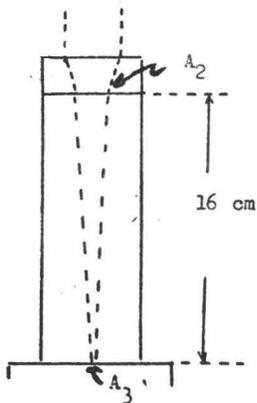
Donde h = longitud aproximada del tubo de conexión menos la parte que se atornilla al niple = 16 cm.

Entonces

$$V_3 = \sqrt{(2.11)^2 + 2(9.81)(0.16)}$$

$$V_3 = 2.74 \text{ m/seg.}$$

Con esta velocidad en $V_3 = 274 \text{ cm/seg.}$ y la cantidad de 1 flujo volumétrico, podemos llegar a conocer el área (A_3)



Donde :

$$A_3 = \frac{G_{pb}}{V_3}$$

Sustituyendo valores:

$$A_3 = \frac{14.95 \text{ cm}^3/\text{seg.}}{274 \text{ cm/seg.}}$$

$$A_3 = 5.48 \times 10^{-2} \text{ cm.}^2 \quad \delta$$

$$A_3 = 5.48 \times 10^{-6} \text{ m}^2.$$

iü) Ahora se sabe que $A_3 = \pi r^2$, también que $r = r_1$ y que no se conoce, pues es una de nuestras incógnitas y que se va a despejar de :

$$A_3 = \pi r_1^2$$

$$r_1 = \sqrt{\frac{A_3}{\pi}}$$

Sustituyendo valores:

$$r_1 = \sqrt{\frac{5.48 \times 10^6 \text{ cm.}^2}{3.1416}}$$

$$r_1 = 0.132 \text{ cm.}$$

Por lo tanto, aplicando la fórmula para el volumen. sustituyendo datos y como h es la altura a longitud del tubo, así como las de la espesa, ésta tiene el valor de: $h = 18.365 \text{ cm.}$

De aquí

$$V_{pb} = \frac{(3.1416)(0.18365)}{3} \left[(0.00132)^2 + (0.00132)(0.0015) + (0.0015)^2 \right]$$

$$V_{pb} = 1.145 \text{ cm.}^3$$

iv) Entonces la cantidad de plomo es la siguiente:

$$m_{pb} = V_{pb} \times \rho_{pb}$$

La densidad ρ_{pb} se toma a 400°C , ya que es la temperatura a la que se va a encontrar el Plomo:

$$\rho_{pb}^{400^{\circ}\text{C}} = \frac{10.51 \text{ g}}{\text{cm.}^3}$$

$$\text{Por lo tanto: } m_{pb} = 1.145 \text{ cm}^3 \times 10.51 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 12 \text{ g}$$

v) Considerando que esta cantidad de Plomo es la que necesitaría calentarse, tenemos su entalpia hasta 400°C

$$(\Delta H_{pb}) : \quad \Delta H_{pb}^{400^{\circ}\text{C}} = 17.5 \frac{\text{cal}}{\text{g}}$$

Entonces :

$$Q_{pb} = 17.5 \frac{\text{cal}}{\text{g}} \times 12 \text{ g}$$

$$Q_{pb} = 210 \text{ cal}$$

c) La cantidad de aire que se encuentra dentro del tubo y la cantidad de calor necesaria para elevar su temperatura a 400°C , son :

$$i) \quad V_A = V_t - V_{pb}$$

Donde : V_A = volumen del aire

V_r = volumen interior del tubo =

v_t = radio interior del tubo = 1.3 cm.

h_t = longitud o altura real del tubo
= 19.365 cm.

Por lo tanto:

$$V_t = \frac{(3.1416) (2.6)^2 (19.365)}{4}$$

$$V_t = 103.5 \text{ cm.}^3$$

Sustituyendo:

$$\begin{aligned} V_A &= 103.5 - 1.145 \\ &= 102.355 \text{ cm.}^3 \end{aligned}$$

ii) La cantidad de aire será:

$$m_a = \rho_A V_A$$

La densidad ρ_A que se tomó a temperatura ambiente (25°C), pues nos dará la cantidad de aire real que hay.

$$\rho_{A, 25^\circ\text{C}} = 0.00053 \text{ g/cm.}^3$$

Sustituyendo datos:

$$m_A = 0.00053 \frac{\text{g}}{\text{cm.}^3} \times 102.355 \text{ cm.}^3$$

$$m_A = 0.054 \text{ g.}$$

iii) Con esta masa, que no va a cambiar por efecto de la temperatura, y la entalpia hasta 400°C , calentamos la cantidad de calor:

La entalpia hasta 400°C $\Delta H_A = 97 \frac{\text{cal}}{\text{g}}$ obtenida de tablas para el aire.

Susstituyendo en:

$$Q_A = m_A \Delta H_A$$

$$Q_A = 0.054 \text{ g} \times 97 \text{ cal/g}$$

$$Q_A = 5.1 \text{ cal}$$

d) Entonces el cálculo de la potencia necesaria para esta resistencia, es la siguiente:

i) Cantidad total de calor para elevar la temperatura:

$$Q_t = \text{Calor total}$$

$$\begin{aligned} Q_t &= Q_{Pb} + Q_A + Q_{Fe} \\ &= 210 \text{ cal} + 5.1 \text{ cal} + 27700 \text{ cal} \\ &= 27915.1 \text{ cal} \end{aligned}$$

Que convertidos en términos de energía eléctrica equivalente:

$$E = 27.915 \text{ Kcal} \times 1.162 \times 10^{-3} \text{ kw - hr/kcal}$$

$$E = 0.032 \text{ kw-hr}$$

$$E = 32 \text{ watt - hr}$$

Que pasándolo a potencia, ya que el tiempo en suministrarse será de 0.5 hr, obtenemos:

$$P = \frac{32 \text{ watt - hr}}{0.5 \text{ hr}}$$

$$P = 64 \text{ watts}$$

Y agregadas a la potencia necesaria para eliminar las pérdidas por radiación $P_r = 186 \text{ watts}$ tenemos:

$$P_T = (186 + 64) \text{ watts}$$

$$P_T = 250 \text{ watts}$$

Si la eficiencia sigue siendo $n = 0.7$

$$P_{\text{real}} = \frac{250 \text{ watts}}{0.7}$$

$$P_{\text{real}} = 357 \text{ watts.}$$

ii) La longitud necesaria de alambre conductor eléctrico, es la siguiente:

Sabemos que la potencia $P = i^2 R$, pero que también es:

$$P = \frac{V^2}{R} \quad \text{y de donde:} \quad R = \frac{V^2}{P}$$

Por la fórmula siguiente:

$$\frac{A}{\Omega} = \frac{P}{r \times f}$$

Donde: f = factor que según el tipo de alambre es diferente y
A/ Ω = área por unidad de resistencia (ohm), la si-
guiente tabla nos proporciona el factor necesario:

TABLA No. 2

F A C T O R	TIPO DE USO
1 - 2	Para calentamiento
2 - 4	Para horno a pequeña escala
4 - 6	Para hornos a muy altas tempe- raturas

Esta tabla sólo puede aplicarse para alambre eléctrico de kant_{al}
(ALKNROTAL) de la casa ACEROS ASSAB.

Por lo tanto, de acuerdo a lo anterior:

$$\frac{A}{\Omega} = \frac{P}{R \times 2} \quad \text{Tomándose sólo el factor de 2, pues es únicamen-}$$

te para calentamiento esta resistencia.

$$\frac{A}{\Omega} = \frac{P}{\frac{V^2}{P} \times 2}$$

$$\frac{A}{\Omega} = \frac{P^2}{V^2 \times 2}$$

Sustituyendo los valores

$$P = 357 \text{ Watts}$$

$$V = 110 \text{ volts. (voltaje usado para esta resistencia) } \text{ tene-}$$

mos:

$$\frac{A}{\Omega} = \frac{(357 \text{ watts})^2}{(110 \text{ volts})^2 \times 4}$$
$$\frac{A}{\Omega} = 2.72 \frac{\text{cm}^2}{\Omega} \quad \text{ó} \quad 0.42 \frac{\text{in}^2}{\Omega}$$

De la tabla (3) a este dato le corresponde una resistividad de

$$\rho_c = 1.472 \frac{\Omega}{\text{ft}} \quad \text{y un alambre de} \quad \phi = 0.574 \text{ mm.}$$

Por lo tanto: $R = \frac{V^2}{P}$

$$R = \frac{(110 \text{ volts})^2}{357 \text{ watts}}$$

$$R = 34 \text{ ohms } (\Omega)$$

Y la longitud L será:

$$L = \frac{R}{\rho_c}$$

$$L = \frac{34 \Omega}{1.472 \Omega/\text{ft}}$$

$$L = 23 \text{ ft } \quad \text{ó} \quad 7.55 \text{ m}$$

Que se acomodará según el número de vueltas que se necesite, para usarla en su totalidad.

3.- En el caso de la boquilla dispersora, se calculó el área por donde el aire debería salir, de acuerdo a la nueva cantidad del flujo volumétrico del Plomo y a las cantidades de aire, así como la presión

a) Para poder aplicar la ecuación de Tanasawa y Nukiyama, es necesario conocer todas las variables implícitas en ellas, algunas como:

η_L, ν_L, ρ_L ya son conocidas, pero debemos aplicar la variación de las velocidades $V_a = V_A - V_{Pb}$, V_{Pb} es la velocidad al chocar con el aire y que necesitamos saber, aplicando la ecuación de caída

libre:

$$V_4 = \sqrt{V_3^2 + 2gh}$$

V_3 = Velocidad de entrada a la boquilla dispersora

h = Altura de la boquilla + distancia recorrida por el chorro de plomo, hasta chocar con el aire.

$$h = 7 + 0.324$$

$$h = 7.324 \text{ cm.}$$

$$\text{Entonces : } V_{P_{b_4}} = (2.74)^2 + 2 (9.8) (0.724)$$

$$V_{P_{b_4}} = 2.98 \text{ m/seg. } \text{ ó } 9.8 \text{ ft./seg.}$$

Que ayuda a obtener V_a , diferencia de velocidades como sigue:

$$V_a = V_A - V_{P_b}$$

Sustituyendo:

$$V_a = 1140 - 9.8$$

$$V_a = 1130.2 \text{ ft/seg.}$$

Ahora ya se puede obtener la relación de flujos volumétricos para poder encontrar el área por donde pasará el aire, esto se solucionará :

Usando la ecuación de Tanasawa y Nukiyama

$$\frac{G_A}{G_L} = \frac{1000}{\left[\frac{(Dvs - \frac{1410 \sqrt{v_L}}{V_a \sqrt{\rho_L}})}{\left(\frac{1}{191} \right) \left(\frac{\sqrt{\rho v}}{2} \right)^{0.45}} \right]^{2/3}}$$

Sustituyendo :

$$\frac{G_A}{G_{P_b}} = \frac{1000}{\left[40 - \frac{1410 \sqrt{448.5}}{1130.2 \sqrt{658}} \right] \left(\frac{1}{191} \right) \left(\frac{\sqrt{(658)(448.5)}}{2.2} \right)^{0.45}} \right]^{2/3}}$$

$$\frac{G_A}{G_{P_b}} = 598$$

$$G_{P_b}$$

b).- i) Con la relación de flujos volumétricos $G_A / G_{P_B} = 598$, que es el mismo calculado ya para el aparato anterior y, además - de tener ya el flujo volumétrico del Plomo $G_A = 14.95 \text{ cm}^3/\text{seg.}$, tenemos :

$$G_A = G_{P_B} \times 598$$

$$G_A = 14.95 \frac{\text{cm.}^3}{\text{seg.}} \times 598$$

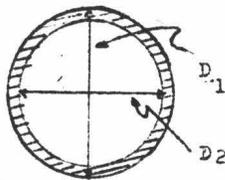
$$G_A = 9500 \text{ cm}^3/\text{seg.}$$

ii) Con el dato de flujo volumétrico G_A y la velocidad sónica del aire V_A podemos obtener A_A

$$A_A = \frac{G_A}{V_A}$$

$$A_A = 0.276 \text{ cm.}^2$$

Que es el área de salida del aire de la boquilla dispersora, es decir, un área anular.



iii) En esta área, ya conocemos el diámetro D_2 , que es empírico para el diseño inicial, y podemos sacar el valor de D_1 para aplicarlo al diseño de la boquilla:

$$A = \frac{\pi D_1^2 - \pi D_2^2}{4}$$

Despejando D_1

$$D_1 = \sqrt{\frac{4A}{\pi} + D_2^2}$$

Sustituyendo valores

$$D_1 = \sqrt{\frac{4 (0.276)}{3.1416} + (2.8)^2}$$

$$D_1 = 2.85 \text{ cm.}$$

De donde la diferencia de radios es :

$$\Delta r_{12} = (D_1/2) - (D_2/2)$$

$$\Delta r_{12} = \frac{2.85 - 2.8}{2}$$

$$\Delta r_{12} = 0.025 \text{ cm.}$$

c).- Para obtener la presión que se suministrará a la boquilla a condiciones críticas, usaremos la ecuación de Fliegner.

$$P = \frac{M_A \sqrt{T}}{0.533 C_v A_A}$$

Faltando para obtener M_A que es :

$$M_A = A_A \rho_A v_A$$

$$M_A = (0.273) (0.003) (34747)$$

$$M_A = 28.5 \text{ g/seg.} \quad \delta \quad 0.063 \text{ lb/seg.}$$

Por lo tanto :

$$P = \frac{63 \times 10^{-3} \sqrt{540}}{0.533 (0.95) (44.3) \times 10^{-3}}$$

$$P = \frac{90 \text{ lb.}}{\text{in}^2} \quad \delta \quad 6.52 \frac{\text{kg.}}{\text{cm}^2}$$

Aunque el valor obtenido es casi el mismo que el del aparato anterior, puede no ser el definitivo, pues se comprobará en la práctica.

EXPERIENCIAS REALIZADAS

- A) El primer tipo de resistencia eléctrica probado dentro del crisol, fué una especie de serpentín de acero inoxidable, llegando a la siguiente conclusión: no se logró obtener ningún polvo.
- 1A) Presentó problemas de taponamiento, ésto es, la resistencia en el tubo de conexión no tuvo la suficiente potencia como para fundir al Plomo, que quedara dentro de él, pues sólo fué diseñada para conservar la temperatura interiormente.
- 2A) En una segunda experiencia, el problema que se presentó fué con el empaque, pues llegó a quemarse y deshacerse, este empaque había sido de tela de asbesto. Como consecuencia de ésto, se tuvieron fugas de Plomo líquido a través de la cuerda del orificio del crisol y la boquilla, lo que provocó enfriamiento inmediatos y el tener que apagar la resistencia puesta en el tubo de conexión, para evitar un corto circuito. Por lo tanto, se tapó el tubo de conexión y no se logró obtener polvo, obteniéndose también pequeñas virutas. No se controló la presión del aire.
- 3A) Se tuvo que corregir y poner nuevo empaque y desalojar, tanto el tubo de conexión como al crisol del Plomo, pues el crisol presentaba ya escorias que no permitían la salida del metal a través del orificio de la boquilla.
- Llenándose de Plomo sólido el crisol, se suministró energía a la resistencia eléctrica, pero ésta no funcionó, pues había sufrido un corto debido a que se había atacado por acción del plomo, en cada vaciado y

limpieza del crisol y la resistencia eléctrica, pues se caían pedazos de éste. Además se encontró, que al bajar el nivel del Plomo, parte del elemento caliente de la resistencia, quedaba libre y ya no podía transmitir el calor y se podría quemar. Como conclusiones de esta experiencia y poder llevar a cabo otras, se debían hacer las siguientes modificaciones :

- a) Optar por corregir el sistema de calentamiento del crisol para fundir el Plomo, por otro sistema nuevo, tomándose como modelo la resistencia del tubo de conexión, que era un tipo de resistencia externa.
- b) Darle tiempo suficiente a la resistencia del tubo de conexión, para que eleve suficientemente su temperatura y evitar se solidifique por enfriamiento el Plomo.
- c) Poner un nuevo empaque, ya sea del mismo material o de otro, para evitar que se coloque en contacto con la resistencia eléctrica, pues ésta lo quema.
- d) Por consecuencia, un nuevo sistema de aislamiento térmico del crisol.
- e) El nivelar el aparato, antes de cada experiencia, para obtener un chorro lo más vertical posible.

B).- Segundo conjunto de experiencias.

1b) Al optarse por un sistema nuevo de resistencia, en base al modelo del tubo de conexión, esto es, se usó una resistencia de alambre exteriormente, siendo el cálculo de su potencia y tipo, el siguiente:

- a) Teniendo en cuenta que la cantidad de calor necesaria para calentar el plomo y al crisol, así como elevar su temperatura a 400°C. ,

se hace lo siguiente:

$$Q_{Pb} = 1050 \text{ kcal para Plomo}$$

y para el Fe:

$$\Delta H_{Fe}^{400^{\circ}C} = 48.8 \text{ cal/g}$$

La cantidad de fierro del crisol es de 21 Kg.

$$Q_{Fe} = m_{Fe} \times \Delta H_{Fe}$$

$$Q_{Fe} = 48.8 \frac{\text{Kcal}}{\text{kg.}} \times 21 \text{ kg.}$$

$$Q_{Fe} = 1015 \text{ Kcal}$$

Donde, entonces:

$$Q_T = Q_{Pb} + Q_{Fe}$$

$$Q_T = 1050 + 1015$$

$$Q_T = 2065 \text{ Kcal}$$

Que convertidos en términos de energía eléctrica equivalente :

$$E_T = 2065 \text{ Kcal} \times 1.162 \times 10^{-3} \frac{\text{Kwatt-hr.}}{\text{Kcal}}$$

$$E_T = 2.42 \text{ Kwatt-hr.}$$

Esta energía la queremos suministrar en un lapso de tiempo de 0.5 hr.

dando así la potencia P :

$$P_T = \frac{2.42 \text{ Kwatt-hr.}}{0.5 \text{ hr.}}$$

$$P_T = 4.84 \text{ kwatts}$$

Además hay que agregar la potencia debido a pérdidas por radiación:

por la ecuación: $Q_r = h_c A \Delta T$, donde cada término lo sustituimos:

$$Q_r = \frac{6.5 \text{ BTU}}{\text{hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}} \times (3.1416 \times 2 \times (0.658 \text{ ft})^2) (752 - 77)^\circ\text{F}$$

$$Q_r = 11900 \text{ BTU/hr}$$

Que en términos de potencia equivalente será:

$$P_r = 3640 \text{ watts}$$

Potencia total:

$$P = 4840 \text{ watts} + 3640 \text{ watts}$$

$$P = 8480 \text{ watts.}$$

Para potencia real, con eficiencia de $n = 0.7$

$$P_{\text{real}} = \frac{8480 \text{ watts}}{0.7}$$

$$P_{\text{real}} = 12000 \text{ watts}$$

b) Y para saber que longitud de alambre se necesita seguimos el mismo procedimiento que la resistencia para el tubo de conexión:

$$\frac{\Omega}{\text{cm}^2} = \frac{(12000)^2 \text{ watts}^2}{(220 \text{ volts})^2 \times 2} \quad V = 220 \text{ volts}; \quad f = 2$$

$$\frac{\Omega}{\text{cm}^2} = 1490 \quad \delta \quad 224 \frac{\text{in}^2}{\text{cm}^2}$$

A este dato le corresponde el valor mas cercano de resistividad lineal que se puede encontrar en la tabla (3)

$$\frac{\Omega}{\text{ft}} = 0.0914 \text{ y un alambre de } \phi = 2.304 \text{ mm.}$$

i) La resistividad que se necesita es de:

$$R = \frac{V^2}{P}$$

$$R = \frac{48400 \text{ volts}^2}{12000 \text{ watts}}$$

$$R = 4.02 \text{ ohms}$$

ii) Por lo tanto la longitud L:

$$L = \frac{R}{\Omega/\text{ft}}$$

$$L = \frac{4.02}{0.0914 \Omega/\text{ft}}$$

L = 43.5 ft.

Que convertidos a metros nos dá

L = 13.25 m.

2B).- El sistema de aislamiento se describirá al referirse a los problemas de instalación de esta nueva resistencia eléctrica.

Descripción de la instalación de la resistencia de alambre.

(Fig. 22)

Esta nueva resistencia de alambre, presentó el problema de que era muy difícil de instalar, ya que como se vé, su longitud era muy grande, como consecuencia de su cálculo y calor requerido, para el tamaño del crisol.

Para instalarla, se tuvo que quitar la capa gruesa de cemento aislante, pues como es una resistencia exterior, se necesitaba una delgada capa, sólo como aislante eléctrico, entre ella y el crisol y que fuera fácil de quitar : Como resultado, se seleccionó por su bajo costo, la tela de asbesto.

Por la misma longitud de alambre, éste al embobinar el crisol, presentaba zonas en las que se podía producir un corto circuito, -- pues se tocaba entre dos vueltas consecutivas. Esto implicó que se tenía que recubrir o aislar eléctricamente. Por lo que se seleccionó un material manuable y fácil de poner, optándose por una funda de fibra de vidrio, que aunque presentaba el defecto, de que se quemaban los aprestos (armazón de tela) a los 600°C. según el fabricante, no era problema, ya que quedaría una funda de vidrio. No se tomó en cuenta que al colocarse esta funda en la resistencia, y luego de instalarse sobre la delgada capa de asbesto, cosiéndola,

se quebraba el material y se producían pequeñas zonas desprovistas de aislante.

También el calor desprendido por ésta, debido a la alta temperatura que tenía en su superficie, que era mayor aún de los 600°C , - pues sólo así daría el crisol una temperatura de 400°C , provocó que se quemara la delgada capa de asbesto aislante, quedando al - descubierto el alambre de la resistencia y éste haciendo contacto con el crisol. No se produjo un corto circuito, debido a que se fundió primero un fusible y fué detectado ésto, por la temperatura que bajaba en lugar de subir.

NOTA.- Para que el calor se transmitiera interiormente, al crisol, era necesario poner una capa de aislante exterior bastante gruesa, seleccionándose una colchoneta formada con :

Cemento aislante en polvo, sin preparar, como relleno de una funda de tela de asbesto.

En esta prueba, no se logró obtener polvo de plomo, ya que presentó el problema descrito arriba, antes de poder obtener la temperatura de 500°C . Además, ya presentaba fugas de metal líquido, de nuevo, pues el empaque, debido al plomo líquido, se removió de su lugar.

El problema que presentó la resistencia de alambre, se pensó resolverlo de la siguiente manera:

Aislar eléctricamente al alambre de la resistencia, mediante un material que no se quemara por la alta temperatura. El material que era más adecuado, era la porcelana en pasta; pero presentó los siguientes defectos o problemas :

a) No era factible hacer un buen molde para la resistencia solamente con experiencia en este ramo se lograría.



b) El material ya seco, es quebradizo y, por lo tanto, ya no era muy manuable.

Por consiguiente, y ya que no podía ser aceptada esta solución, se consideró, pues, otra, que consistía en planchas de porcelana con la resistencia eléctrica ya instalada, como las usadas en los hornos o muflas, pero el número de ellas y su alto costo, también hizo rechazarlas.

Por consiguiente, se creyó mejor poner de nuevo la resistencia dentro del crisol.

1.- Para ésto, se volvió a diseñar la resistencia eléctrica de tipo tubular interior :

a) Dándole una forma de espiral.

b) El elemento caliente debía de encontrarse sólo en el fondo del crisol, para evitar que se fundiera al ir bajando el nivel del plomo.

2.- El empaque que se puso en la boquilla del crisol, se seleccionó de cartón asbesto.

3.- La resistencia del tubo de conexión se le daría mayor potencia, pues en las experiencias anteriores sufría obstrucciones, conservando la configuración externa al igual que en las experiencias anteriores.

4.- Nuevamente el crisol se aisló por medio de cemento asbesto, - con el espesor adecuado y un armazón de tela de alambre para darle firmeza, evitando que se cayera fácilmente.

El material usado para la resistencia tubular, fué nuevamente de acero inoxidable, de mejor calidad, creyéndose que sería el material que mejor funcionaba.

Cálculo de las nuevas modificaciones.

1.- Cálculo de la potencia de la nueva resistencia eléctrica del tubo de conexión.

a) Se determinó la cantidad de calor para el material del tubo.

i) Volumen y cantidad de hierro

$$\begin{aligned}V_{Fe} &= \pi r_E^2 h - \pi r_I^2 h \\ &= \frac{\pi h}{4} (DE^2 - DI^2)\end{aligned}$$

Donde $h = 30$ cm. longitud del tubo

DE = Diámetro exterior = 3.39 cmts., del tubo

DI = Diámetro interior del tubo = 2.6 cmts.

Sustituyendo:

$$V_{Fe} = \frac{(3.1416)(30)}{4} (3.39)^2 - (2.6)^2$$

$$V_{Fe} = 100.5 \text{ cmts.}^3$$

$$\text{La masa será : } m_{Fe} = \rho_{Fe} \times V_{Fe}$$

Donde : ρ_{Fe} a temperatura ambiente (25°C), pues es la densidad que debe usarse para obtener la cantidad real del hierro y que, inicialmente se tiene a 25°C y no va a cambiar aunque se aumente la temperatura.

$$\rho_{Fe}^{25^\circ\text{C}} = 7.86 \text{ g/cm.}^3$$

Sustituyendo :

$$m_{Fe} = (7.86 \text{ g/cm.}^3) (100.5 \text{ cm}^3)$$

$$m_{Fe} = 795 \text{ g.}$$

ii) La cantidad de calor necesaria será :

$$Q_{Fe} = m_{Fe} \Delta H_{Fe}^{400^{\circ}C}$$

$$\text{Donde : } \Delta H_{Fe}^{400^{\circ}C} = 48.8 \text{ cal/g.}$$

$$Q_{Fe} = (795 \text{ g}) (48.8 \text{ cal/g})$$

$$Q_{Fe} = 38.8 \text{ kcal}$$

b) Para una cantidad de plomo que se quedara dentro del tubo :

i) Volumen y cantidad del plomo

$$V_{Pb} = \pi r^2 h$$

Donde h = a 40 cmts. desde la boquilla de salida del crisol hasta la salida de la boquilla dispersora.

$$r = 1.3 \text{ cmts.}, \quad \text{radio interior del tubo de conexión.}$$

Por lo tanto :

$$V_{Pb} = (3.1416) (1.3)^2 (40)$$

$$V_{Pb} = 212 \text{ cm.}^3$$

Como la cantidad de plomo va a pasar a $400^{\circ}C$, usaremos la densidad a esa temperatura } $\rho_{Pb}^{400^{\circ}C} = 10.51 \text{ g/cm}^3$.

Por lo tanto :

$$m_{Pb} = V_{Pb} \rho_{Pb}$$

$$m_{Pb} = (212 \text{ cm}^3) (10.51 \text{ g/cm}^3)$$

$$m_{Pb} = 2230 \text{ g.}$$

ii) Por consiguiente la cantidad de calor será :

$$\Delta H_{Pb}^{400^{\circ}C} = 17.5 \text{ cal/g}$$

Entonces:

$$Q_{Pb} = m_{Pb} \Delta H_{Pb}^{400^{\circ}C}$$

$$Q_{Pb} = 17.5 \text{ cal/g} \times 2230 \text{ g.}$$

$$Q_{Pb} = 39 \text{ kcal}$$

c) El calor necesario para la boquilla dispersora que se tomó ta
mbién en cuenta :

i) Volumen y cantidad de latón (material seleccionado para la boquilla).

En realidad es un cilindro hueco, con las dimensiones :

$$DE = \text{Diámetro externo} = 7.5 \text{ cm.}$$

$$DI = \text{Diámetro interno} = 2.6 \text{ cm.}$$

$$h = \text{Altura} = 7 \text{ cmts.}$$

Por lo tanto, el volumen :

$$V_1 = \frac{\pi h}{4} \left[(DE)^2 - (DI)^2 \right]$$

Sustituyendo

$$V_1 = 272.5 \text{ cm.}^3$$

La densidad ρ_1 del latón, se tomó a temperatura ambiente, por tener en un principio ese volumen con esa densidad y a $400^{\circ}C$ la misma masa de latón, por lo tanto, $\rho_1^{25^{\circ}C} = 8.85 \text{ g/cm}^3$.

$$\text{Entonces: } m_1 = \rho_1 V_1$$

$$m_1 = 8.85 \text{ g/cm}^3 \times 272.5 \text{ cm}^3$$

$$m_1 = 2410 \text{ g}$$

ii) La cantidad de calor necesaria será:

$$\Delta H_1 = C_{P1} \Delta T$$

El calor específico promedio del latón, es :

$$C_{P1} = 0.09 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$$

Por lo tanto:

$$\Delta H_1 = (0.09 \text{ cal/g}^\circ\text{C}) (400 - 25)^\circ\text{C}$$

$$\Delta H_1 = 33.7 \text{ cal/g}$$

Por consiguiente la cantidad de calor :

$$Q_1 = m_1 \Delta H_1$$

$$Q_1 = (2410 \text{ g}) (33.7 \text{ cal/g})$$

$$Q_1 = 81 \text{ kcal}$$

Por lo tanto, la cantidad de calor total será :

$$Q_T = Q_{Fb} + Q_{Fe} + Q_1$$

$$Q_T = (39 + 38.8 + 81) \text{ kcal}$$

$$Q_T = 158.8 \text{ kcal}$$

Que se suministrará en un lapso de 0.5 hr. dándonos una potencia de :

$$P_T = Q_T / 0.5 \text{ hr}$$

$$P_T = \frac{158.8 \text{ kcal}}{0.5 \text{ hr}}$$

$$P_T = 317.6 \text{ kcal/hr}$$

Que en términos de potencia equivalente:

$$P_T = 370 \text{ watts.}$$

A esta potencia necesitamos agregarle la potencia perdida por radiación:

i) Pérdidas por radiación para el tubo de conexión:

$$Q_{rt} = hc \times \pi D h ((752 - 77)^{\circ}\text{F})$$

$$\text{Donde: } hc = 6.5 \text{ BTU/hr ft}^2 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

$$h = 33 \text{ cm}$$

$$D = 4 \text{ cm}$$

$$Q_{rt} = 6.5 \times 3.1416 \times (4/30.5) \times (33/30.5) (675) \text{ BTU/hr}$$

$$Q_{rt} = 1950 \text{ BTU/hr}$$

ii) Pérdidas por radiación para la esfera:

$$Q_{re} = hc \times \pi D h (752^{\circ}\text{F} - 77^{\circ}\text{F})$$

$$\text{Donde: } hc = 6.5 \text{ BTU/hr ft}^2 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

$$h = 7 \text{ cm}$$

$$D = 7.5 \text{ cm}$$

Por lo tanto:

$$Q_{re} = 6.5 \times 3.1416 \times (7/30.5) \times (7.5/30.5) (675) \text{ BTU/hr}$$

$$Q_{re} = 778 \text{ BTU/hr}$$

Por tanto la cantidad total de pérdidas por radiación es:

$$Q_{rt} = 1950 \text{ BTU/hr} + 778 \text{ BTU/hr}$$

$$Q_{rt} = 2728 \text{ BTU/hr}$$

Que en términos de potencia equivalente será:

$$P_{rt} = 600 \text{ watts}$$

Por lo tanto la potencia total será:

$$P = 370 \text{ watts} + 800 \text{ watts}$$

$$P = 1170 \text{ Watts}$$

Para potencia real: $n = 0.7$

$$P_{\text{real}} = \frac{1170 \text{ watts}}{0.7}$$

$$P_{\text{real}} = 1670 \text{ watts}$$

d) La longitud de alambre y calibre será:

$$\frac{\text{cm}^2}{\Omega} = \frac{(1670 \text{ watts})^2}{(220 \text{ volts})^2 \times 2} \quad \text{tomándose un factor } f = 2$$

$$\frac{\text{cm}^2}{\Omega} = 29.5 \quad 6 \quad 4.73 \quad \frac{\text{in}^2}{\Omega}$$

Y le corresponde según la tabla (3) una resistividad $\rho_c = 0.3664$ para un alambre de diámetro $\phi = 1.151 \text{ mm}$.

Por lo tanto:

$$R = \frac{(220 \text{ volts})^2}{1670 \text{ watts}}$$

$$R = 29 \text{ ohms}$$

Por consiguiente la longitud L es:

$$L = \frac{29 \Omega}{0.3664 \Omega/\text{ft}}$$

$$L = 79 \text{ ft}$$

Siendo en metros:

$$L = 24.1 \text{ m}$$

C).- Tercer conjunto de experiencias.

- i) 1.- Se llenó el crisol con una buena cantidad de Plomo, para poder obtener bastante polvo.
- 2.- Se conectó la resistencia durante el tiempo necesario para elevar la temperatura a 400°C .

- 3.- Se abrió la llave o válvula para alimentar el aire a la boquilla dispersora.
- 4.- Al mismo tiempo que se abrió la válvula del aire , también se prendió la resistencia del tubo de conexión.
- 5.- a) Se abrió la válvula del crisol (esto es, la boquilla y cono con tornillo) a dos o tres vueltas. El resultado de abrir así la válvula, fué que el Plomo líquido aún no salía.
b) Entonces se abrió hasta 7 vueltas y solo se obtuvo un goteo.
c) Para obtener un chorro continuo fue necesario abrir totalmente la válvula.

El aire que salía a temperatura ambiente, debería alimentarse a presión a la boquilla dispersora y registrarse esta presión en el manómetro. La presión y cantidad de aire se controló mediante la válvula (ya nombrada), que estaba antes del manómetro.

6.- La abertura por donde salía el aire, de la boquilla dispersora, se abrió de tal manera que diera el área que se había calculado.

7.- La presión de aire que se usó en 1er. lugar fué de 1 Kg/cm^2 y los resultados fueron los siguientes:

No se obtuvo polvo fino, sino especie de hojuelas, con algunas virutas. Otro resultado fué: la boquilla dispersora se enfrió mucho provocando ella misma se solidificara el Plomo y obstruyera.

En conclusión se tuvieron que hacer las siguientes correcciones:

- a) Tener que aumentar más la presión del aire, la suficiente como para obtener polvo fino de Plomo.
- b) Abrir siempre la válvula del crisol totalmente, para obtener un chorro continuo y evitar un goteo antes de llegar al encuentro con el aire.
- c) Volver a poner la resistencia eléctrica del tubo de conexión, el tiempo necesario para que llegue a obtener la temperatura requerida.
- d) Llevándose a cabo los pasos de preparación, de la experiencia (i) y haciendo las correcciones ya dichas, resultó:
 - 1.- Con el aumento de presión a 3 Kg/cm^2 , se logró obtener polvo, pero aún sin la finura requerida y en muy pequeña cantidad, casi imperceptible.
 - 2.- Se presentó una vez mas el problema del taponamiento, tanto en el tubo de conexión, como en la boquilla dispersora.
 - 3.- Un gran enfriamiento de la boquilla, que es el que provocó su taponamiento, por el enfriamiento del Plomo.

4.- El acceso a la resistencia del tubo de conexión, era incómodo y hacía difícil el tener que limpiarlo.

Las conclusiones y correcciones llevadas a cabo fueron las siguientes:

- a) Aumentar mas la presión.
- b) Tratar de poner mas tiempo la resistencia del tubo de conexión, para evitar el taponamiento en él y el mismo sistema de aislamiento electrotérmico.
- c) Para evitar también el taponamiento de la boquilla dispersora, se trató de colocar una resistencia alrededor de la boquilla dispersora y que le diera una temperatura de 400°C (Fig. 23)

El cálculo de esta nueva resistencia es:

$Q_1 = 81 \text{ kcal}$ correspondiente al calor para elevar la temperatura.

El calor perdido por radiación es el siguiente 778 BTU/hr.

Por lo tanto si Q_1 se transmite en 0.5 hr tenemos:

$$P_1 = \frac{81 \text{ kcal}}{0.5 \text{ hr}}$$

$$P_1 = 162 \text{ kcal/hr.} \quad \text{6} \quad 188 \text{ watts.}$$

El calor perdido por radiación en potencia equivalente es:

$$P_{r1} = 228 \text{ watts.}$$

Potencia total:

$$P_T = 188 \text{ watts} + 228 \text{ watts}$$

$$P_T = 416 \text{ watts.}$$

Tomando una eficiencia de $n = 0.7$

$$P_{\text{real}} = \frac{416 \text{ watts}}{0.7}$$

$$P_{\text{real}} = 595 \text{ watts.}$$

La longitud por lo tanto será:

$$\frac{\text{cm}^2}{\Omega} = \frac{(595 \text{ watts})^2}{(220 \text{ volts})^2 \times 2}$$

Se selecciono un factor $f = 1$

$$\frac{\text{cm}^2}{\Omega} = 3.65 \quad \text{6} \quad 0.583 \frac{\text{in}^2}{\Omega}$$

Y que según la tabla (3) le corresponde una resistividad $\rho = 1.47 \text{ } \Omega/\text{ft}$ y un alambre de $\phi = 0.574 \text{ mm.}$

Por lo tanto $R = 48400/595 \text{ ohms}$

$$R = 81 \Omega$$

Entonces:

$$L = \frac{81 \Omega}{1.47 \Omega/\text{ft}}$$

$$L = 55 \text{ ft} \quad \delta \quad L = 16.8 \text{ m}$$

(ii) Para esta nueva experiencia se necesitó vaciar de nuevo el crisol y:

- a) Nivelar correctamente el crisol.
- b) Colocar el Plomo (aunque se introdujo un poco).
- c) Y finalmente llevar los mismos pasos de las experiencias (i) e (ii) para empezar la nueva prueba.

No se llevó a cabo la experiencia, debido a que desgraciadamente:

1(ii).- La resistencia nuevamente se quemó, debido a que el material se atacó como había sucedido en la primera resistencia. Experiencia (3A).

El ataque sucedió como consecuencia de que con demasiada potencia, y por tanto demasiado calor desprendido por ella, para tan pequeño espacio, que hizo que se elevara la temperatura demasiado en la superficie de la resistencia tubular y se favoreciera la corrosión con el Plomo.

2(ii).- La resistencia de alambre no fué tampoco de suficiente potencia, como para fundir la cantidad de Plomo que se depositara dentro del tubo de conexión y no se podía reemplazar ésta por otra de mayor potencia, pues no había ya espacio para ponerla y sucedería el caso de la resistencia de alambre usada en la prueba anterior (1ii).

3(ii).- En la resistencia puesta en la boquilla se presentaban las mismas características, que las otras.

Una de las soluciones que se planteó, fué que el usar una resistencia tubular de un material mas resistente a las altas temperaturas y con una potencia suficiente como para calentar tanto al Plomo del crisol y al crisol mismo, como al tubo de conexión y a la boquilla. Pero esta idea ya no se llevó a la práctica debido a que no era va lo indicado, y podría suceder lo mismo que en esta última experiencia (1ii), por lo tanto se tomaron las siguientes determinaciones:

- a) Utilizar otro sistema de calentamiento, como por ejemplo quemadores de gas.
- b) Hacer una pequeña prueba, usando la resistencia del tubo de conexión y lo mismo que en la boquilla.

En caso de que el punto (b) no diera resultado:

- c) Usar un sistema de calentamiento para aire.
- d) Ver si es necesario un aislamiento, es decir, si es posible colocarlo.
- e) También se había visto, que el agua que recoge al Plomo y disperso, por acción del aire se proyectaba hacia arriba, llegando a la boquilla y enfriándola, por tanto solidificando al Plomo y tapando a la boquilla.

D).- Cuarto conjunto de Experiencias.

1D.- En la primera de estas nuevas experiencias se modificó solamente el sistema de calentamiento del crisol mediante un quemador de gas, que diera calor suficiente para fundir al Plomo, por lo que se hicieron las modificaciones:

- a) El quemador se seleccionó, en realidad el mas adecuado, pues debía tener forma de rosca, es decir, debía calentar al crisol, lo mas uniforme posible, pero no estorbar al tubo de conexión, que debía llevar la resistencia eléctrica.
- b) El quemador sería sostenido mediante unos brazos que vendrán de la placa hexagonal y de los lados del crisol, para terminar como ganchos. Además deberian de nivelar lo mejor posible al quemador. Fig 23.
- c) La alimentación de combustible al quemador, se hizo mediante tanques de tipo doméstico, que en realidad daban la cantidad de gas necesaria para que el quemador funcionara y fundiera al Plomo.
- d) Eliminación del aislante del crisol para poder calentarlo a fuego directo.

La realización de esta experiencia se llevó como sigue:

- a) Calentamiento del crisol, mediante el fuego del quemador, abriendo la válvula del tanque de gas y válvula de seguridad, hasta llegar a una temperatura de 400°C , indicada en el termómetro.
- b) Prender la resistencia del tubo de conexión, el tiempo suficiente, para obtener también, si es posible, la temperatura de 400°C , para evitar que éste se tape.
- c) También prender la resistencia de la boquilla dispersora.
- d) Probar la presión de 3 Kg/cm^2 para comprobar, si a partir de esta presión es cuando se obtiene cierta cantidad de polvo fino.

Los resultados son los siguientes:

- i) Se obtuvo polvo, pero en muy poco rendimiento para los finos.

- ti) El aparato funcionó muy poco tiempo, lo cual evitó probar con una nueva presión más alta.
- iii) El lapso de tiempo reducido de funcionamiento se debió a que, de nueva cuenta se taparon, tanto el tubo de conexión como la boquilla dispersora.
- vi) El agua que tenía el recipiente recolector, se proyectaba hacia arriba a causa de la fuerte corriente de aire y enfriaba más a la boquilla y el Plomo que salía.

Por lo que, como se decía en las últimas modificaciones necesarias a hacer, referidas en el inciso (c) del tercer conjunto de experiencias, se realizaron:

Las nuevas modificaciones se basaron en:

- a) Como las resistencias eléctricas, tanto en el tubo de conexión como en la boquilla dispersora, no eran de suficiente potencia, para calentar el Plomo o mantenerlo líquido y como se había visto, no eran la solución a los taponamientos del tubo de conexión y la boquilla dispersora, se necesitó solucionarse de la siguiente manera: calentar la corriente de aire, lo suficiente como para evitar la obstrucción.
La forma más fácil de calentar el aire y basados en patentes alemanas eran: mediante un serpentín, calentado por un quemador por donde pasaría el aire antes de entrar a la boquilla dispersora y colocar el manómetro entre el serpentín y la boquilla dispersora.
- b) Elevar la altura de la boquilla dispersora y por ende de todo el aparato, seleccionándose una altura el doble de la que tenía.
- c) Poner el nivel del agua, que recolectará el Plomo, lo suficientemente bajo, para evitar que se proyecte por acción del aire, pero que tenga suficiente nivel para que el Plomo que dentro de ella.
- d) Encerrar el serpentín en una especie de cámara aislante, junto con el quemador, para poder calentarlo, obteniendo un rendimiento de calor transmitido más alto. Fig (24).

El diseño de estas nuevas partes es :

Se van a necesitar dos quemadores, los cuales según el cálculo serán:

- a) Quemador para calentar tanto al crisol como al Plomo y elevarles la temperatura hasta 400°C .

Este cálculo ya está hecho, pues el calcular la potencia necesaria

se necesitó ese calor, que es:

$$Q_T = 2065 \text{ Kcal}$$

O sea este quemador debe suministrar esa cantidad de calor, para el cual usaremos gas LP de tanque doméstico.

b) Para el segundo quemador y la longitud del serpentín del aire hacemos lo siguiente:

i) Para el serpentín:

El calor necesario para elevar la temperatura a 150°C por:

$$Q_A = m C_p \Delta T$$

Donde: $C_p = 0.12 \text{ BTU/lb } ^\circ\text{F}$

$$\Delta T = (302^\circ\text{F} - 77^\circ\text{F})$$

$$m = 10^3 \frac{\text{cm}^3}{\text{seg}} \times 3600 \frac{\text{seg}}{\text{hr}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{10^6 \text{ cm}^3} \times 35.4 \frac{\text{ft}^3}{\text{m}^3} \times 0.058 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}$$

Sustituyendo:

$$Q_A = (10^3 \times 3600 \times 35.4 \times 0.058) (0.12) (302 - 77)$$

$$Q_A = 199.571 \text{ BTU/hr}$$

Así ya se tiene el calor necesario, con este calor podemos calcular la longitud necesaria del tubo para el serpentín mediante la fórmula.

$$Q = AU \Delta T_{ml}$$

Tomando como base una eficiencia del 60% y que nos relaciona una

$U = 15 \text{ BTU/ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$ para este caso.

Para encontrar ΔT_{ml} = diferencia media logarítmica.

$$\Delta T_{ml} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{2.3 \log \Delta T_2 / \Delta T_1}$$

Donde:

$$\Delta T_1 = T_F - T_{ch}$$

$$\Delta T_2 = T_F - T_E$$

O sea: T_F = temperatura final = 302°F

T_E = temperatura de entrada

$$T_{ch} = T_F - Ef(T_F - T_E) = \text{temperatura de chisnea.}$$

$$T_{ch} = 302 - 0.6(225)$$

$$T_{ch} = 167^{\circ}\text{F}$$

Sustituyendo en ΔT_{m1} tenemos:

$$\Delta T_{m1} = \frac{(302 - 77) - (302 - 167)}{2.3 \log \left(\frac{302 - 77}{302 - 167} \right)}$$

$$\Delta T_{m1} = 153.452^{\circ}\text{F}$$

Ahora ya se puede despejar al área $A = \text{área en } Q = AU\Delta T_{m1}$

$$A = \frac{Q}{U\Delta T_{m1}}$$

$$A = \frac{199.571}{15 \times 153}$$

$$A = 0.0869 \text{ ft}^2$$

También sabemos que el área de un cilindro $A = \frac{D^2 L}{4}$

Donde: $D = \text{diámetro del tubo que se usa y que es de: } 12.7 \text{ mm.}$

$$D = \frac{12.7 \text{ mm}}{305 \text{ mm./ft}}$$

$$D = 0.041 \text{ ft}$$

$$D = 0.041 \text{ ft}$$

$L = \text{longitud necesaria del tubo.}$

Despejando L tenemos:

$$L = \frac{4A}{D^2}$$

Sustituyendo datos:

$$L = \frac{0.0869 (4)}{3.1416(0.00168)}$$

$$L = 65.85 \text{ ft} \quad \text{ó} \quad L = 20.08 \text{ m}$$

Considerando que el calor que se debe suministrar al cristal, no nada mas consiste en el necesario para elevarle la temperatura, con todo y carga, sino que hay que considerar el perdido por radiación a través del aire, este calor por pérdidas de radiación lo debemos calcular.

El calor perdido por radiación se puede calcular con la del coeficiente combinado de transmisión de calor para el aire y con la ecuación:

$$Q_R = h_r A \Delta t$$

Donde: h_r = coeficiente combinado de transmisión de calor para el aire.

A = área de la superficie exterior.

$$\Delta t = t_e - t_a$$

También donde: t_e = temperatura exterior de la superficie
 t_a = temperatura del aire ambiente, en este caso 77°F ó 25°C.

a) Los datos usados para el crisol serán:

$$t_e = 752^\circ\text{F} \text{ ó } 400^\circ\text{C} \text{ y como consecuencia.}$$

$$h_r = 6.3 \text{ BTU/hr ft}^2 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$A = 2\pi r^2 \text{ donde: } r = 0.658 \text{ ft.}$$

Entonces:

$$Q_{R_c} = \text{calor perdido por radiación en el crisol.}$$

$$Q_{R_c} = (6.3 \text{ BTU/hr ft}^2 \text{ }^\circ\text{F}) (2 \times 3.1416 \times (0.658 \text{ ft})^2) (752 - 77)^\circ\text{F}$$

$$Q_{R_c} = 11450 \text{ BTU/hr} \text{ ó } 2880 \text{ Kcal/hr}$$

Considerando que Q_T (calor para elevar la temperatura), se suministra en un lapso de una hora, tendremos junto con el calor perdido por radiación Q_{R_c} el calor final para el crisol Q_c :

$$Q_c = Q_T / 1 \text{ hr} + Q_{R_c}$$

$$Q_c = 2065 \text{ Kcal/hr} + 2880 \text{ Kcal/hr}$$

$$Q_c = 4945 \text{ Kcal/hr}$$

Considerando que hay una eficiencia $n = 0.7$ tendremos un calor real (Q_{Rc}):

$$Q_{Rc} = Q_c / n$$

$$Q_{Rc} = \frac{4945 \text{ Kcal/hr}}{0.7}$$

$$Q_{Rc} = 7050 \text{ Kcal/hr}$$

Como el tipo de gas que se usó era el LP (doméstico), éste tiene un poder calorífico P_c de:

$$P_c = 45099 \text{ BTU/Kg} \quad \text{ó} \quad 11350 \text{ Kcal/Kg}$$

Por lo tanto la cantidad de gas necesaria será C_c :

$$C_c = \frac{Q_{Rc}}{P_c}$$

$$C_c = \frac{4945 \text{ Kcal/hr}}{11350 \text{ Kcal/Kg}}$$

$$C_c = 0.435 \text{ Kg/hr}$$

b) Los datos usados para el serpentín son $t_e = 302^\circ\text{F}$ ó 150°C y le corresponde un valor de $h_r = 2.8 \text{ BTU/hr ft}^2 \text{ }^\circ\text{F}$

Una área de $A = 0.0869 \text{ ft}^2$

Por lo tanto:

Q_{r_s} = calor perdido por radiación en el serpentín.

$$Q_{r_s} = (2.8 \text{ BTU/hr ft}^2 \text{ }^\circ\text{F}) (0.0869 \text{ ft}^2) (302^\circ\text{F} - 77^\circ\text{F})$$

$$Q_{r_s} = 54.8 \text{ BTU/hr}$$

Por lo tanto el calor total que se suministre Q_s es:

$$Q_s = Q_A + Q_{r_s}$$

$$Q_s = 199.571 \text{ BTU/hr} + 54.8 \text{ BTU/hr}$$

$$Q_s = 254.371 \text{ BTU/hr} \quad \text{ó} \quad 64 \text{ Kcal/hr}$$

Y con una eficiencia también de $n = 0.7$ el calor real Q_{Rs} es:

$$Q_{Rs} = \frac{Q_s}{n}$$

$$Q_{Rs} = \frac{64 \text{ Kcal/hr}}{0.7}$$

$$Q_{Rs} = 91.5 \text{ Kcal/hr}$$

La cantidad de gas LP será C_s ..

$$C_s = \frac{Q_{Rs}}{P_c}$$

$$C_s = \frac{91.5 \text{ Kcal/hr}}{11350 \text{ Kcal/Kg}}$$

$$C_s = 0.00815 \text{ Kg/hr}$$

La cantidad de gas total que se usaría tanto para un quemador como para el otro, es decir el gas necesario para el aparato es:

$$C_T = C_c + C_s$$

$$C_T = (0.435 + 0.00815) \text{ Kg/hr}$$

$$C_T = 0.44315 \text{ Kg/hr}$$

Es decir se necesita aproximadamente suministrar 0.5 Kg/hr de gas LP al aparato dispersor.

2.- Los pasos seguidos para realizar la prueba son:

- a) Prender el quemador del crisol, mediante las válvulas del tanque de gas y llave de seguridad.
- b) Calentar hasta 400°C.
- c) Cuando el Plomo en el crisol esté ya a 400°C, calentar el serpen tín del aire, mediante el quemador.
- d) Abrir la válvula del aire, para dar una presión de 5 Kg/cm², que ya es la cercana a la calculada por la fórmula de Fliegner, para boquillas a condiciones críticas.
- e) Abrir totalmente la válvula del crisol para dejar salir un chorro continuo, hasta la salida de la boquilla dispersora.

Resultados obtenidos:

- i) Se obtuvo polvo fino de las siguientes medidas de tamiz:

No. Tamiz	Porcentaje	Tamaño micras
mayor 120	85	mayor 125
120	10	125
menor 230	5	menor 63

- ti) El rendimiento de éste polvo fué bajo, pero mayor que el del obtenido en las experiencias anteriores.
- ti) El rendimiento fué bajo debido a que se volvió a tapar la boquilla dispersora, pues aún, el principal problema fué el enfriamiento que daba el aire al chorro de Plomo líquido al salir, - es decir, la temperatura a la que salía el aire no era la adecuada. La temperatura de salida del aire era de 50°C

Correcciones necesarias:

- a) Elevar más la temperatura del aire.
 - b) Por lo tanto dar más tiempo al calentamiento del serpentín.
- 3.- Los pasos siguientes se realizaron para que el aparato funcionara:
- a) y b) Al igual que en la experiencia anterior (2) .
 - c) Prender el quemador del serpentín y obtenerlo a una mayor temperatura de 50°C, llegándose a 100°C.
 - d) Se abrió al mismo tiempo que se debía llegar la temperatura de - 100°C, la válvula del aire, pues para que esta temperatura fuera constante se necesitaba que durante el calentamiento del serpentín debería estar pasando a través de él, el aire a la presión de - 5 Kg/cm².
 - e) Abrir totalmente la válvula del crisol, cuando el aire llegara a 100°C de temperatura.

Resultados obtenidos:

- i) Obtención de polvo fino de las siguientes medidas de tamiz:

No.	Tamiz	Porcentaje	Tamaño micras
mayor	120	70.3	mayor 125
	120	14.5	125
	230	10.2	63
menor	325	5.0	menor 44

- ti) El rendimiento en porcentaje fué mucho más alto que el anterior para el polvo más fino.
- ti) El aparato funcionó mas tiempo dispersando que las experiencias anteriores.

- iv) La dispersión se hizo en todas direcciones, de tal manera que el recipiente recolector de polvo, no lo detuvo en su carrera, porque su orilla quedó muy baja.
- v) Hubo otra vez obstrucción de la boquilla, pero después de un tiempo razonable.

Las conclusiones obtenidas de ésta última prueba son:

- a) Las principales variables que controlan el funcionamiento del aparato son: la temperatura del aire (T_A), presión del aire (P_A), gasto volumétrico del aire (G_A), temperatura del Plomo (T_{Pb}), gasto volumétrico del Plomo (G_{Pb}) y la dependiente de éstas es: la X_m = diámetro medio de partícula.
- b) La temperatura del aire más adecuada para un buen funcionamiento es la de 150°C , , ya que el rendimiento en partículas finas debe ser mayor, así como un tiempo mayor de funcionamiento del aparato.
- c) Para evitar que el polvo caiga fuera del recipiente recolector de polvos, debe tener dimensiones adecuadas, sobre todo de altura para evitar que además sea peligroso, pues el polvo tiene una elevada temperatura y quema.

VI.- EXPERIENCIAS REALIZADAS CON ESTAÑO.

Tomando en cuenta que en realidad no van a cambiar las piezas de la pequeña planta piloto, tales como el soporte, crisol, tubo de conexión, etc. podemos usar las experiencias realizadas con el Plomo, tratando de dar las condiciones necesarias para obtener el polvo de Estaño.

Se tomará en cuenta que también para este caso, no vamos a obtener un rendimiento alto, como sucedió con el Plomo, y que además por el mismo procedimiento no es posible manejar grandes cantidades de metal.

Una recomendación a seguir es: para obtener grandes cantidades de metal en polvo poner dos o tres aparatos funcionando, o en su lugar poner a funcionar el mismo aparato varias veces, lo cual no es muy recomendable, debido a la escoria que se va acumulando.

Y para lograr controlar el funcionamiento del aparato se puede hacer uso de la ecuación obtenida mediante ecuaciones dimensionales en el capítulo IV, la ecuación es la (B).

$$X = \alpha \frac{W_m^2 T_m^{3/2}}{W_A T_A P_A}$$

En realidad el funcionamiento de este aparato para el Estaño debe ser similar.

Cálculos de algunas modificaciones que se deben hacer al aparato, para aplicarse a la obtención de polvo de Estaño.

Se deben tener todas las propiedades del Estaño a la temperatura de trabajo del aparato, pues en el caso del Plomo se escogió la temperatura de 400°C por ser la más adecuada. Para el Estaño se seleccionó la misma temperatura, aunque la más adecuada sería la de 300°C, pues a 400°C el Estaño produce mucha escoria y entorpece el funcionamiento del aparato, pero los cálculos se hicieron a ésta última por no tener datos del Estaño a más baja temperatura.

Propiedades del Estaño:

Densidad:

$$\int_{\text{Sn}}^{400^\circ\text{C}} = 6.834 \text{ g/cm}^3 \quad 6 \quad 427 \text{ lb/ft}^3$$

$$\eta_{\text{Sn}}^{400^{\circ}\text{C}} = 1.38 \text{ cp}$$

$$\nu_{\text{Sn}}^{400^{\circ}\text{C}} = 528.6 \text{ dinas/cm}$$

a) Al crisol le caben 60 Kg de Plomo, por lo tanto su volumen será:

$$V = m/\rho$$

donde: $m = 60 \text{ Kg}$

$$\rho_{\text{Pb}}^{400^{\circ}\text{C}} = 10.51 \text{ g/cm}^3$$

Sustituyendo:

$$V = \frac{60000 \text{ g}}{10.51 \text{ g/cm}^3}$$

$$V = 5708.8 \text{ cm}^3$$

Por lo tanto la cantidad de Estaño que se puede fundir es:

$$m = (\rho_{\text{Sn}}^{400^{\circ}\text{C}}) V$$

$$m = 6.834 \text{ g/cm}^3 \times 5708.8 \text{ cm}^3$$

$$m = 39014 \text{ g} \quad \delta \quad m_{\text{Sn}} = 39 \text{ Kg}$$

b) El calor necesario para elevar la temperatura del Estaño es:

$$i) \Delta H_S = \int_{298^{\circ}\text{K}}^{505^{\circ}\text{K}} C_{p_s} dT = \text{calor sensible al punto de fusión.}$$

$$\Delta H_S = \int_{298^{\circ}\text{K}}^{505^{\circ}\text{K}} (4.42 + 6.30 \times 10^{-3}) dT$$

$$\Delta H_S = \left[4.42 T + \frac{6.30 \times 10^{-3}}{2} T^2 \right]_{298^{\circ}\text{K}}^{505^{\circ}\text{K}}$$

$$\Delta H_S = 4.42 (505 - 298) + \frac{6.30 \times 10^{-3}}{2} (505^2 - 298^2)$$

$$\Delta H_S = 1437.4 \text{ cal/g mol}$$

$$ii) \Delta H_f = 1720 \text{ cal/g mol calor latente de fusión a } 505^{\circ}\text{K.}$$

$$(ii) \Delta H_1 = \int_{505^{\circ}\text{K}}^{673^{\circ}\text{K}} C_{pS} dT$$

O sea calor sensible desde la temperatura de fusión a la temperatura de 400°C o de trabajo.

$$\Delta H_1 = \int_{505^{\circ}\text{K}}^{673^{\circ}\text{K}} 7.30 dT$$

$$\Delta H_1 = 7.30 (673 - 505)$$

$$\Delta H_1 = 1226 \text{ cal/g mol}$$

Por lo tanto el ΔH_T es:

$$\Delta H_T = \Delta H_S + \Delta H_f + \Delta H_1$$

$$\Delta H_T = 1437.4 + 1720 + 1226$$

$$\Delta H_T = 4383.4 \text{ cal/g mol}$$

En otros términos:

$$q_{T\text{Sn}} = \frac{4383.4 \text{ cal/g mol}}{118.69 \text{ g/g mol}}$$

Donde 118.69 g/g mol es el peso molecular del Estaño.

$$q_{T\text{Sn}} = 36 \text{ cal/g}$$

La cantidad de calor para los 39000 g que se pueden colocar en el crisol es:

$$Q_{T\text{Sn}} = m_{\text{Sn}} q_{T\text{Sn}}$$

$$Q_{T\text{Sn}} = 39000 \text{ g} \times 36 \text{ cal/g}$$

$$Q_{T\text{Sn}} = 1404 \text{ kcal}$$

Y que se debe suministrar junto con la cantidad de calor para calentar el crisol que es:

$$Q_{\text{Fe}} = 1015 \text{ kcal}$$

Por lo tanto.

$$Q = Q_{\text{Fe}} + Q_{T\text{Sn}}$$

$$Q = 1015 + 1440$$

$$Q = 2455 \text{ Kcal}$$

Calor que debe suministrar el quemador, y si lo tomamos en 1 hr lo podemos sumar al de pérdidas por radiación que es de 2880 Kcal/hr esto es:

$$Q_T = 2455 \text{ Kcal/hr} + 2880 \text{ Kcal/hr}$$

$$Q_T = 5335 \text{ Kcal/hr}$$

Y que nos dará la cantidad de gas LP necesario:

$$C = \frac{5335 \text{ Kcal/hr}}{11350 \text{ Kcal/Kg}}$$

$$C = 0.472 \text{ Kg/hr}$$

Es la cantidad de gas necesaria para fundir el Estaño y llevarlo a 400°C

b) La cantidad de aire y el área por donde debe de pasar es calculado con la ecuación de Tanasawa y Nukiyama.

Sustituyendo los valores en la ecuación donde está ya despejada la variable G_A/G_L tendremos:

$$G_A/G_L = \frac{1000}{\left[(40 - \frac{1410}{1133.28} \sqrt{\frac{528.6}{427}}) \left(\frac{1}{191} \right) \left(\frac{\sqrt{427 \times 528.6}}{1.38} \right)^{0.45} \right]^{2/3}}$$

$$G_A/G_L = 357.39$$

Como ya se sabe $G_L = G_{Sn} = 0.890 \text{ cm}^3/\text{seg}$

Podemos así saber G_A , que es:

$$G_A = (0.890 \text{ cm}^3/\text{seg}) (357.39)$$

$$G_A = 318.08 \text{ cm}^3/\text{seg}$$

Por lo tanto el área que debe tener la esprea de la boquilla dispersora para que el aire pase a través de ella y adquiera velocidad sónica es:

$$A_A = G_A/v_A$$

$$A_A = \frac{318.08 \text{ cm}^3/\text{seg}}{34747 \text{ cm}/\text{seg}}$$

$$A_A = 9.1 \times 10^{-3} \text{ cm}^2 \quad \text{ó} \quad 1.46 \times 10^{-3} \text{ in}^2$$

- c) Con este dato y M_A (velocidad masa) podemos calcular la presión con la que se alimentará de aire a la boquilla;

$$P_A = \frac{M_A \sqrt{T}}{0.533 A C_V}$$

Donde: $M_A = \rho_A v_A A_A$

$$M_A = (0.0091 \text{ g/cm}^3) (0.003 \text{ g/cm}^3) (34747 \text{ cm/seg})$$

$$M_A = 0.94 \text{ g/seg} \quad \text{ó} \quad 0.002 \text{ lb/seg}$$

T = temperatura del aire, como primer intento se usará 77°F (25°C)

C_V = coeficiente de descarga y será aproximada a 0.95 por el tipo de boquilla y recomendación hecha por Gretzinger y Marshall.

Sustituyendo en la ecuación para la presión:

$$P_A = \frac{2 \times 10^{-3} \sqrt{540}}{0.533 \times 0.95 \times 1.46 \times 10^{-3}}$$

$$P_A = 62.76 \text{ lb/in}^2 \quad \text{ó} \quad 4.5 \text{ Kg/cm}^2$$

Esta es la presión que se debe usar como primer intento en la obtención de polvo de Estaño de diámetro de partícula medio de 40

- d) En el caso del serpentín, éste está sobrado, pues la cantidad de aire es menor y se controlará la válvula para dar la necesaria presión
e) En el caso del quemador, para el serpentín también este es suficiente.

Pruebas realizadas.

En realidad no fueron mas que dos pruebas:

- 1.- En esta prueba se trató de usar el aire a la temperatura ambiente, cosa que dió como resultado;

a) No se obtuvo polvo de Estaño, solo virutas.

b) Se tapó el tubo de conexión.

Las soluciones son:

i) Abrir la llave del aire, cuando el serpentín esté lo sufucientemente caliente.

ii) Darle una presión cercana a la obtenida en condiciones críticas.

2.- Con las modificaciones ya dichas, se corrió un segundo experimento, obteniendo los siguientes resultados:

- a) Se obtuvo polvo fino pero con un bajo rendimiento.
- b) la presión del aire debe ser aumentada.

En realidad los resultados fueron similares a los obtenidos con el Plomo y se comportó el aparato, influenciado por las mismas variables ya obtenidas como principales.

VI.-

CONCLUSIONES FINALES Y ESQUEMA DEL APARATO RECOMENDABLE
PARA UN BUEN FUNCIONAMIENTO, ASI COMO UN COSTO APROXIMA-
DO DEL MISMO.

- 1.- El procedimiento para obtener polvo si es adecuado, siguiendo: - las instrucciones y sugerencias de patentes alemanas y artículos sobre atomización, que aunadas tanto al diseño y construcción - del aparato de las experiencias del capítulo V y del capítulo VI al cual hay necesidad de hacerle algunas modificaciones.
- 2.- El método de dispersión es como se ve en las experiencias realizadas, difícil de controlar, por la rapidez con que se realiza - la operación. Aunque en muy poco tiempo se puede obtener sufi- - ciente cantidad de metal en polvo, no se pueden manejar grandes volúmenes de metal y pulverizarlos, pues la relación Gas (en este caso aire) - metal líquido es muy alta y se necesitarían mane- - jar grandes cantidades de aire comprimido, el cual se debe calen- - tar, por tanto se hace costoso, pues hay necesidad de adquirir - una compresora que maneje grandes volúmenes, así como la longi- - tud de tubería muy larga del serpentín para poder elevar la tem- - peratura y como consecuencia de ésto, un consumo alto de combus- - tible.
- 3.- Un defecto más encontrado fué: el recolector de polvos, pues se - le debe de cambiar de posición y así tener un de partícula más - conveniente, para que ésta tenga espacio suficiente para viajar - y poder enfriarse en el aire, sin necesidad de usar líquidos, - pues en el caso vertical al no tener suficiente espacio para - viajar y líquido que la recogía, la partícula caliente al chocar - con el líquido se extendía, quedando en forma de hojuela. Al - quedar el polvo en el líquido, este se separaba del polvo por - decantación, pero de esta manera quedaba húmedo y por tanto la - necesidad de secarlo en un secador de charolas o a un horno, - pero el líquido junto con la acción del calor, provoca la oxi- - dación del polvo, dando por resultado un polvo con diferentes - características a las que se proponían. Este defecto es el mis- - mo que se presenta en los otros métodos de obtención de polvo:

a) por la precipitación de sales, pues esta se debe hacer en un medio líquido, y b) por medio de electrolitos, pues al depositarse el polvo en los electrodos debe ser a través de un medio líquido, o sea el electrolito, que moja al polvo, y presenta al secarse la oxidación. En consecuencia no es necesario utilizar un líquido para la recolección del polvo, basta con darle el espacio suficiente a la partícula para enfriarse y obtener así a todo el polvo en la forma más pura posible y de propiedades adecuadas.

- 4.- Otra modificación a hacer: tener que calentar y fundir el metal en el crisol, ya que la válvula que controlaba el paso del metal líquido, se debe eliminar, pues en lugar de ayudar a la operación, - la entorpecía, como en el caso del taponamiento, ya que estorbaba para eliminar el metal sólido y la escoria.

La mejor manera de calentar y fundir el metal, es en un crisol aparte sin los problemas de la boquilla de salida y vaciar de este crisol, al crisol que si tiene la boquilla de salida, pues este último debe conservar el nivel del metal líquido constante, cosa que - en lingotes (como se encuentra el metal en el mercado) no era muy fácil de hacerlo en un solo crisol y de aquí a la boquilla dispersora.

Estas modificaciones ayudan a tener en mejores condiciones de mantenimiento y limpieza al aparato.

- 5.- Una modificación más es: aislar lo mejor posible al aparato, tanto por mantener el calor del metal en el crisol y tubo de conexión, - como por seguridad.

El método y el aparato cumplen en gran parte con su cometido, pues se obtiene polvo de una malla muy fina (es decir tamaño de partícula bastante pequeño), como se había propuesto. Aunque así sucede, no es un alto rendimiento en polvo fino, pues además se obtienen polvos de otros grados no deseables.

PROPOSICIONES:

- 1) Se propone que se modifique el aparato de tal manera que se puedan separar más aprisa los distintos tamaños de polvo, mediante tolvas, como recolectores de polvo y luego cada recolector vaciarlo a un tamiz

zadora y obtener así el polvo de cierta finura mas puro.

- 2) Que el aire debe entrar a una cierta presión y temperaturas adecuadas, pues estas dos variables son en realidad las más importantes - en toda la operación para el buen funcionamiento del aparato.
- 3) Por último se recomienda la optimización del aparato, para obtener grandes cantidades de polvos de finura requerida, que aunque es -- costosa, pues es necesario experimentar y el hacer una modificación implica un alto gasto, así como de tiempo, pero que redituará en el mejor funcionamiento del aparato por largo tiempo.

En el dibujo de la figura (25) se esquematiza el tipo de aparato, que funcionará mejor que el anterior, con todas las modificaciones que se obtuvieron como conclusiones, que son las siguientes:

- 1.- Cambio de la boquilla de vertical a horizontal, para mejor atomización y poder hacer uso del espacio necesario para el enfriamiento de la partícula.
- 2.- Cerrar el orificio de la esprea de dispersión para el líquido hasta el diámetro que se encuentre conveniente.
- 3.- Cambio de posición del tanque recolector de polvos de vertical a horizontal.
 - a) Tener tres tolvas colocadas cada una de ellas; al principio, en medio y al final en la parte inferior de la cara lateral del tanque.
 - b) Un orificio de venteo para eliminar el aire que entre, colocado en la parte superior y extremo final de la cara lateral -- del tanque. Fig. (25).
- 4.- En el tanque habrá un ventilador que jale al polvo más fino y - lo pase a través de una tubería que tendrá otras tolvas para recibir el polvo fino, y en su extremo un colector de sacos para recibir el polvo más fino que se pueda obtener.
- 5.- El aire de dispersión debe ser alimentado por una compresora al serpentín, para calentarlo y de aquí ya caliente a la boquilla dispersora.
- 6.- El quemador para calentar el serpentín debe ser del tipo igual al usado en las experiencias prácticas del capítulo IV.

- 7.- Un crisol con la boquilla de salida y sin válvula de control, sin tapadera, pero aislado.
- 8.- Un crisol adicional que servirá para fundir el metal, de donde se vaciará éste al otro crisol que alimentará a la boquilla - dispersora.
- 9.- El tubo de conexión en la forma que toene el dibujo de la figura (25).
- 10.- Un aramazón para soportar el aparato en la posición en que está.

COSTO APROXIMADO DE LA PLANTA PILOTO MODIFICADA

A) Equipo.

- 1.- Crisoles (2).
- 2.- Boquilla y sistema de aislamiento.
- 3.- Quemador de gas para fusión.
- 4.- Quemador de gas para calentamiento de aire.
- 5.- Sistema de soporte de crisoles y quemador de aire.
- 6.- Compresora y sistema de alimentación de aire.
- 7.- Tanque recolector y tolvas.
- 8.- Sistema de ventilación:
 - a) 2 ventiladores.
 - b) Motores.
 - c) Ductos y tolvas secundarias.
- 9.- Sistema de colección de polvo fino (colector de sacos).

B) Costos:

	Precio unitario	Total
A1.- 2 crisoles de hierro con capacidad de 60 Kg	\$ 259.50	\$ 519.00
A2.- Boquilla de bronce, según diseño, y sistema de aislamiento térmico	\$ 700.00	\$ 700.00
A3.- 1 quemador de gas de 100 Kcal/hr para traba jar con gas L.P.	\$1000.00	\$ 1000.00

	Precio unitario	Total
A4.- 1 quemador de gas de 7000 kcal/hr para trabajar con gas L.P.	\$ 1500.00	\$ 1500.00
A5.- Sistema de soporte para cri- soles y quemador	\$ 2000.00	\$ 2000.00
A6.- Compresora de aire, de 2 m ³ /hr para tra- bajar a 10 Kg/cm ²	\$ 3000.00	\$ 3000.00
A7.- Tanque recolector de pol- vos, de 2m de Diámetro, por 5 m de largo, con 3 tolvas, hecho de lámina negra, costo aproximado	\$ 5000.00	\$ 5000.00
A8.- Sistema de ventilación:		
a) 2 ventiladores de 17 m ³ /min	\$ 1500.00	\$ 3000.00
b) 2 motores de 1 HP, trifásicos, con siste- ma de arranque e insta- lación eléctrica	\$ 1500.00	\$ 3000.00
c) Ductos y tolvas	\$ 2000.00	\$ 2000.00
A9.- Sistema de colección de polvo fino, colector de sacos	\$ 1000.00	\$ 1000.00

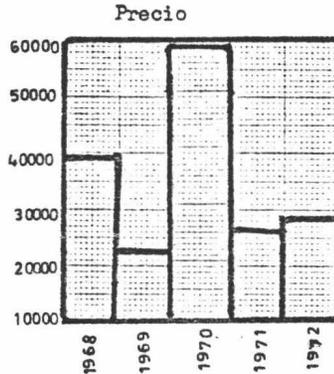
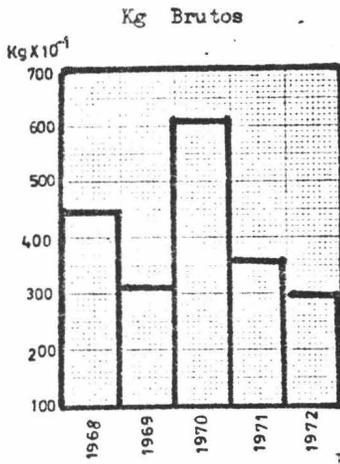
A esto hay que agregarle el consumo de servicios como es gas L.P. y luz o corriente eléctrica:

10.- Se consume una cantidad aproximada de gas de 0.5 kg/hr	\$ 2.0/kg	\$ 1.00/hr
11.- La cantidad de corriente eléctrica consumida por el aparato en total es: potencia consumida 4 Kw en 4 horas es: 16 Kw -hr	\$ 0.40/kw-hr	\$ 6.40/día
día	día	

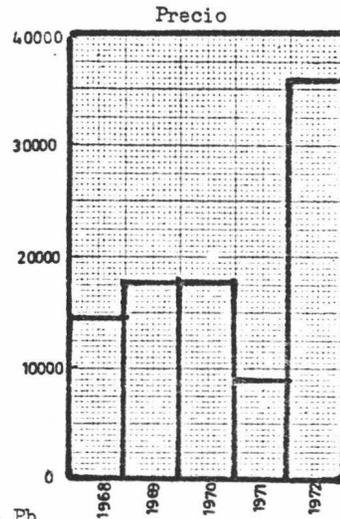
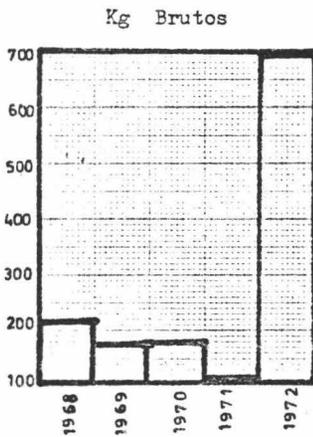
	Precio unitario	Total
11.- Por mano de obra y manufactura:		
a) 2 hombres trabajando 4 hr/día	\$ 5/hr-hombre	\$ 40/día
b) 2 hombres trabajando en preparación de equipo, etc.	\$ 5/hr-hombre	\$ 40/día

Estos datos ayudarían para saber el costo de llevar a cabo nuevos experimentos con la planta piloto modificada, como resultado de las experiencias anteriores pero que no dan aún el precio para la producción de un kilogramo de polvo de metales de bajo punto de fusión, pero que si podrían ayudar para hacer un pequeño estudio económico del mismo. Esto es debido a que: aunque no se ha podido obtener un alto rendimiento de polvo fino, con el aparato de las experiencias realizadas, el nuevo aparato ya modificado obtendrá un mayor porcentaje de rendimiento y con una optimización del mismo aumentará este porcentaje, lo que dará un precio adecuado para el polvo.

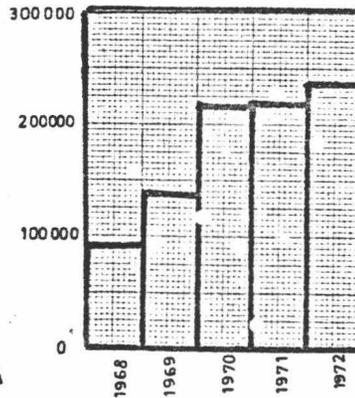
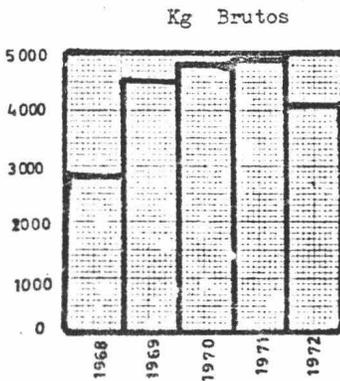
- 111 -
POLVOS DE Pb



POLVOS DE Sn



POLVOS DE Sn - Pb



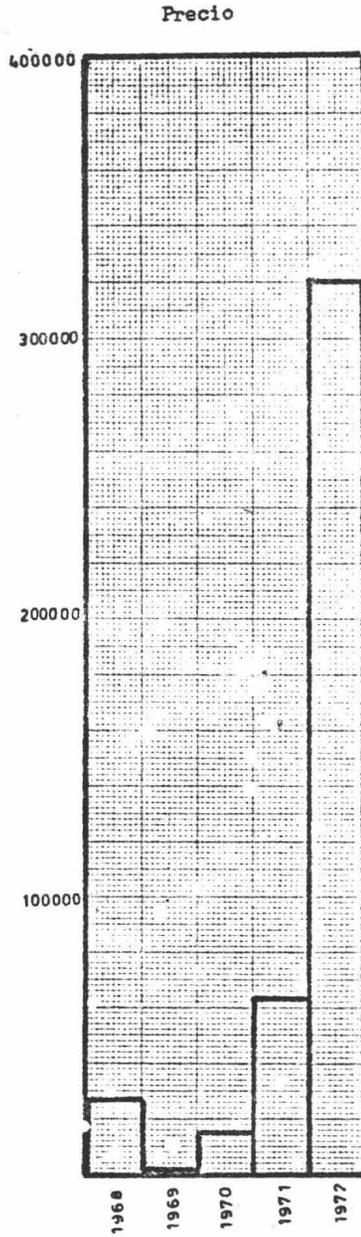
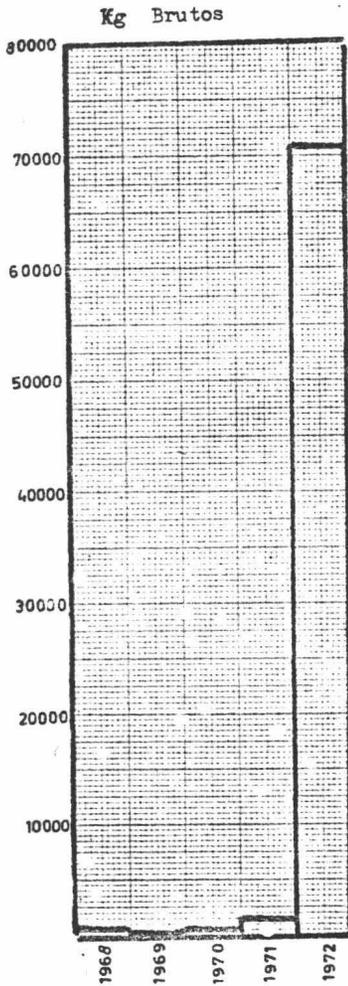


Fig.1 B

DENSIDAD DEL PLOMO

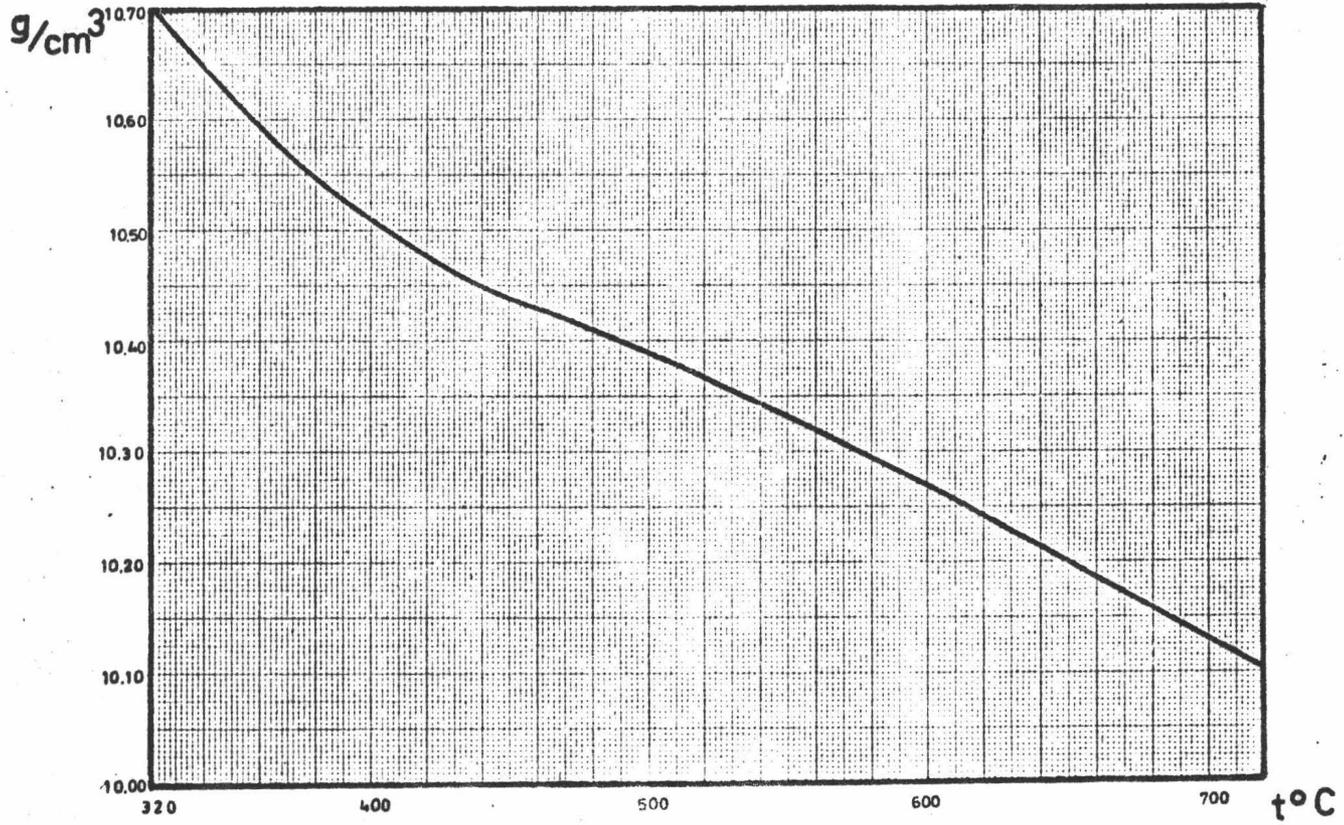


Fig. 2

VISCOSIDAD DEL PLOMO

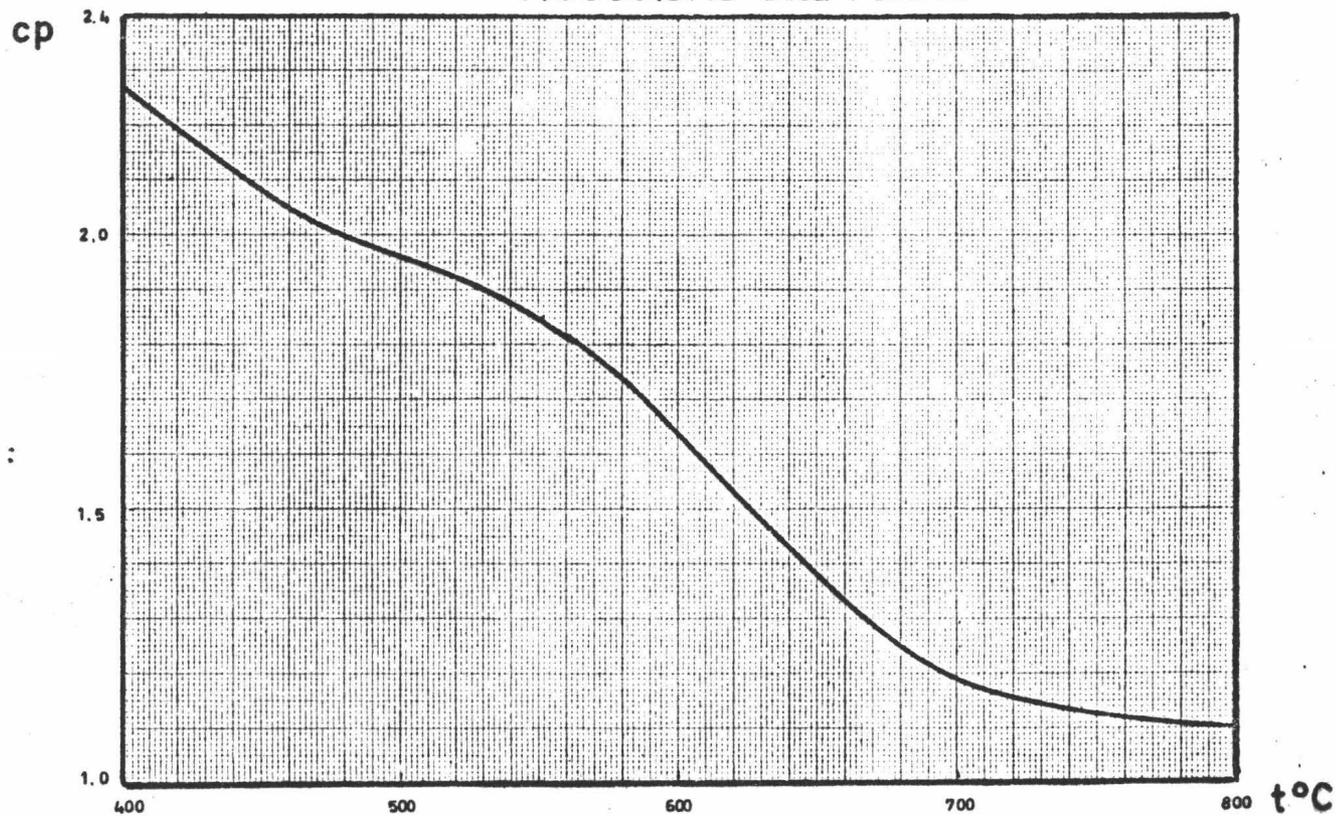


Fig. 3

TENSION SUPERFICIAL DEL PLOMO

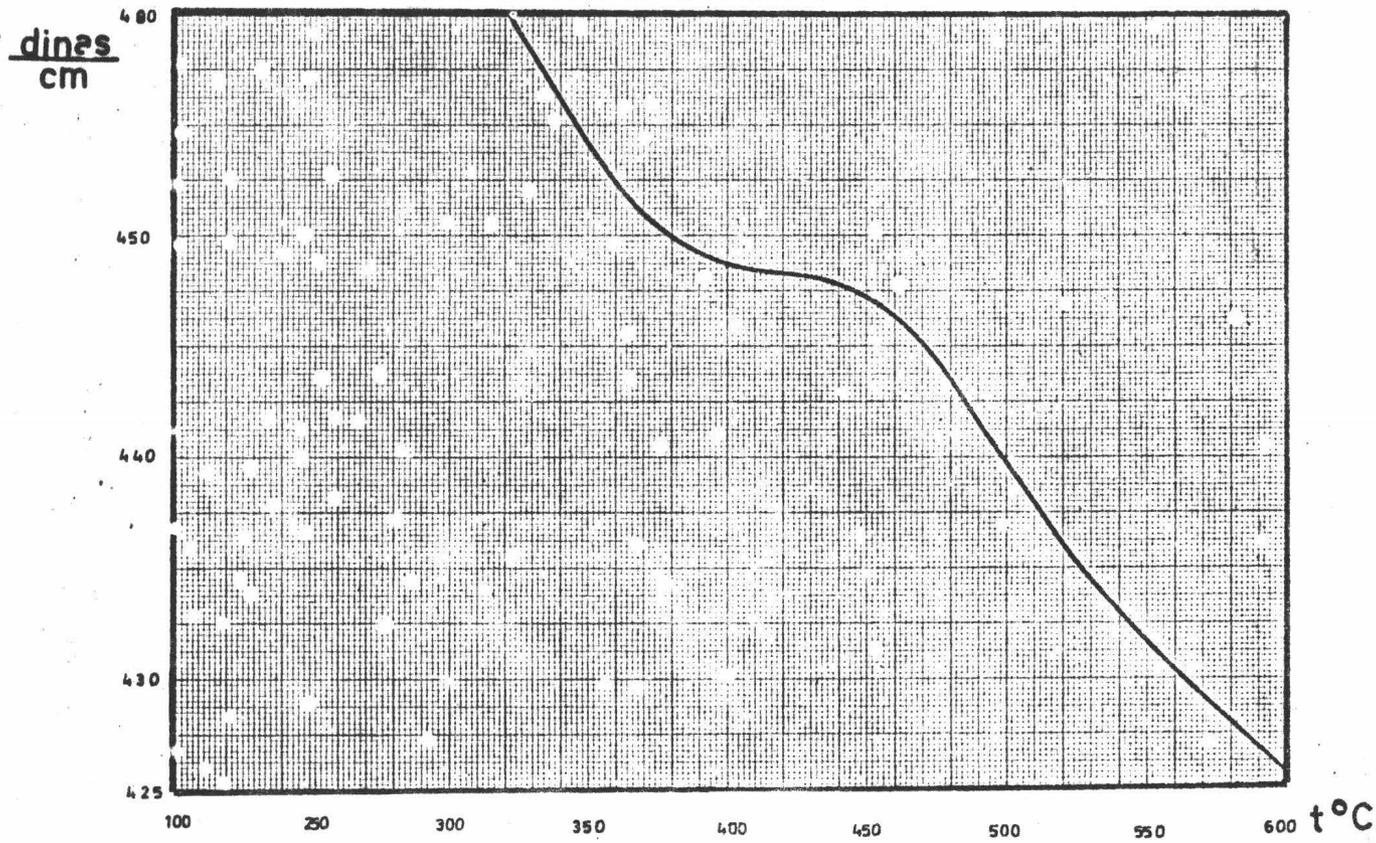


Fig. 4

DENSIDAD DEL ESTAÑO

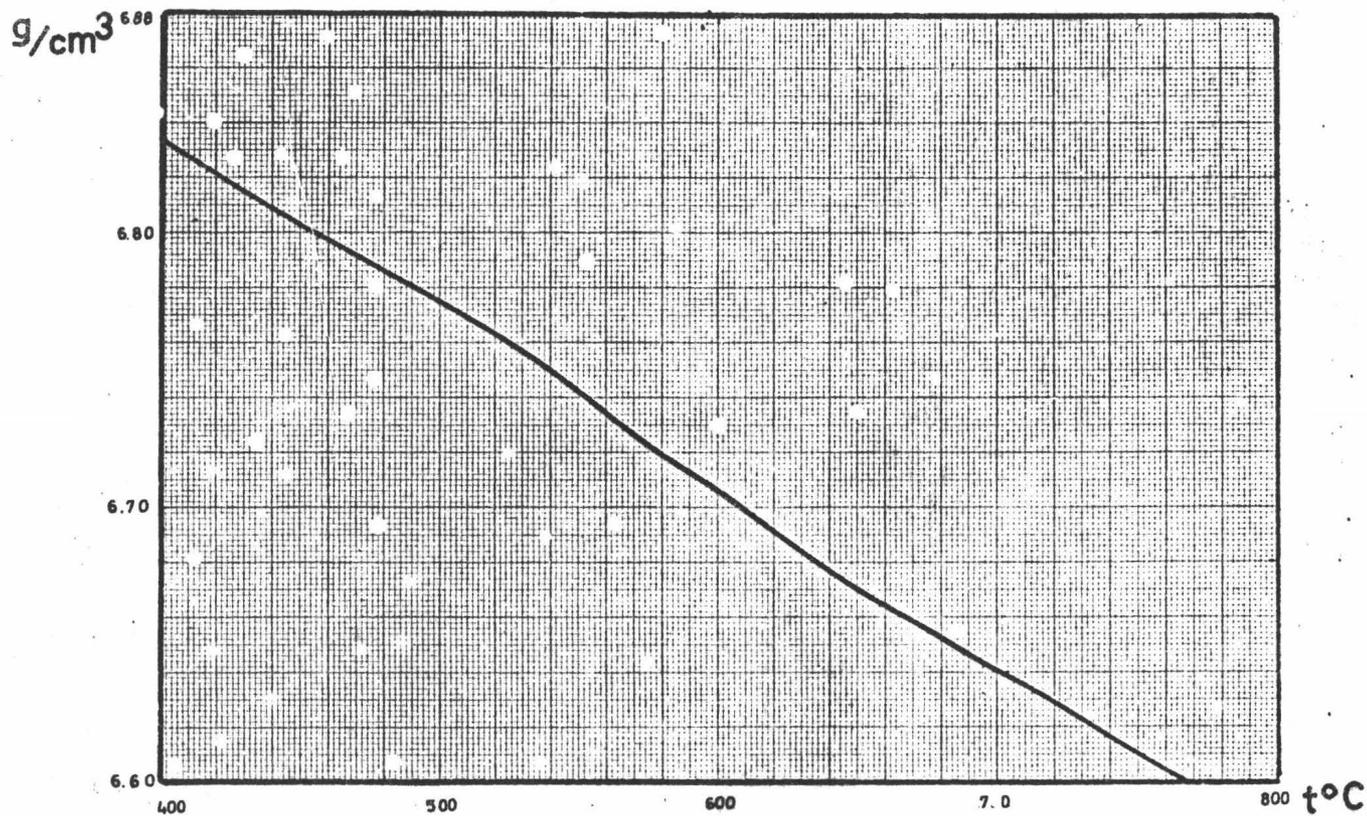


Fig. 5

VISCOSIDAD DEL ESTAÑO

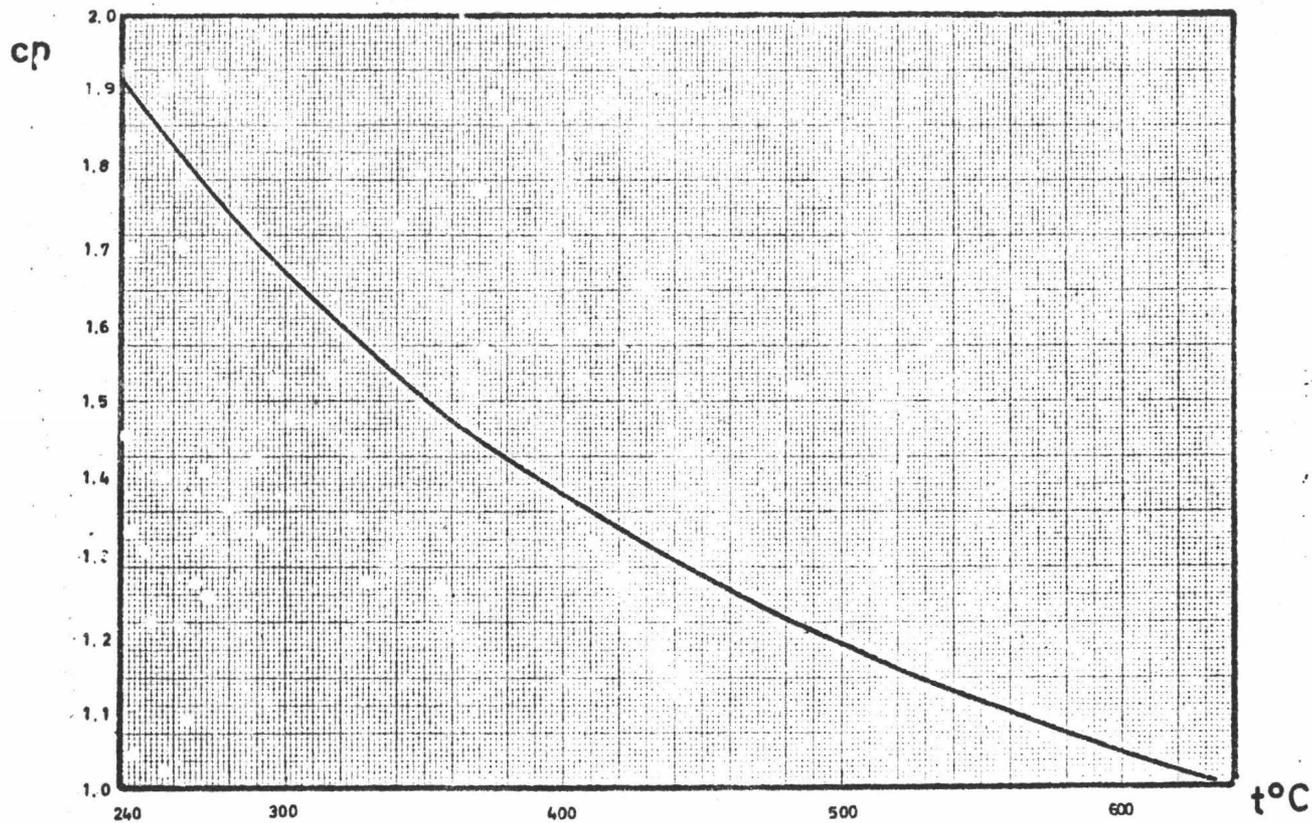


Fig. 6

TENSION SUPEFICIAL DEL ESTAÑO

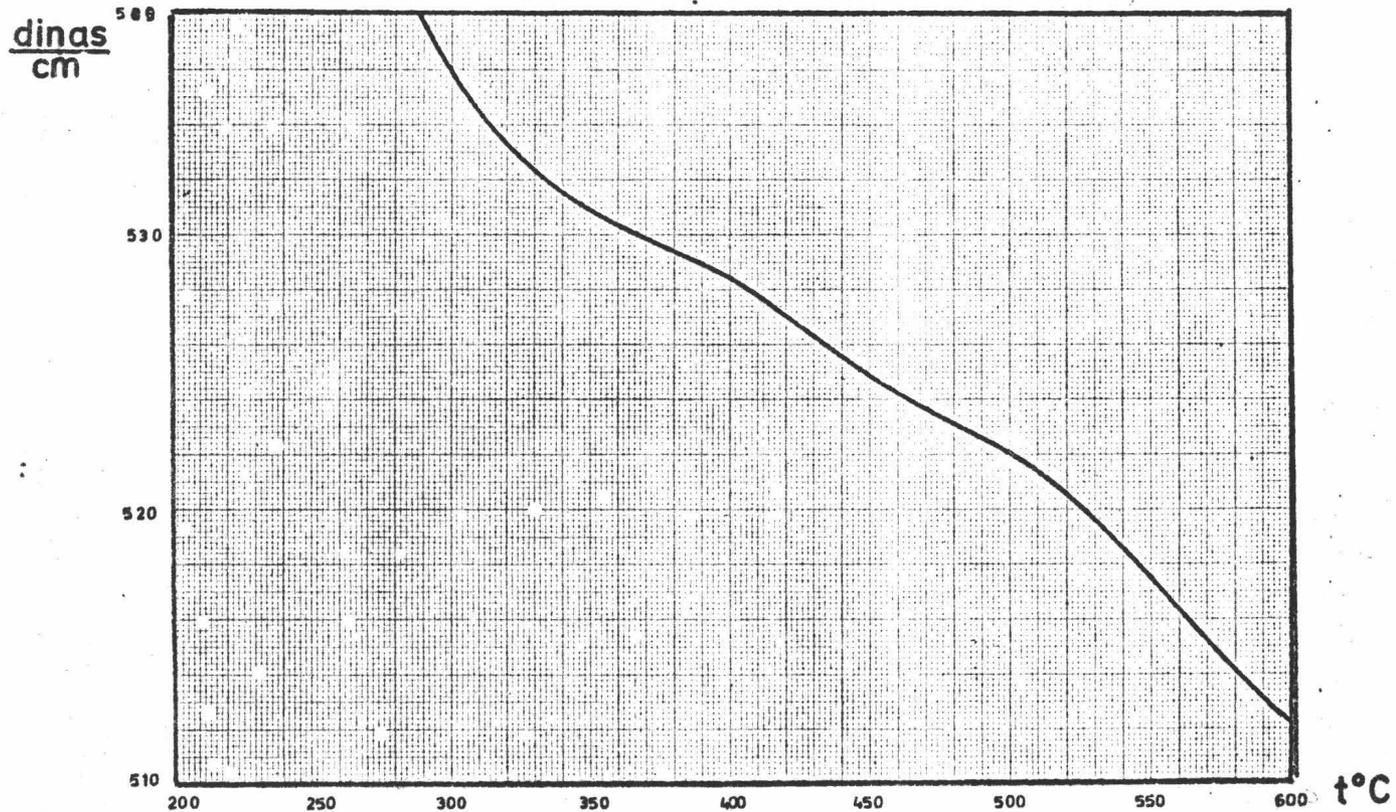
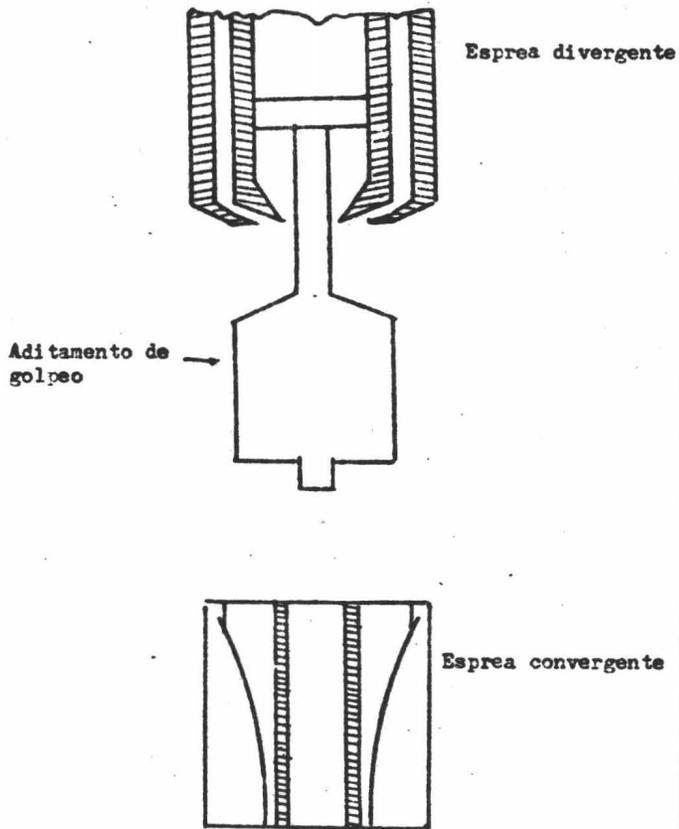


Fig. 7

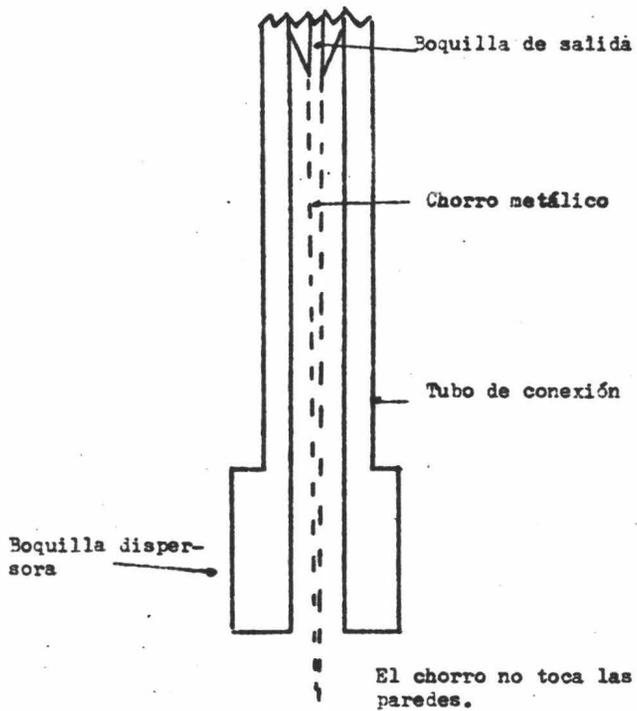
ESPRESAS NEUMATICAS



Sin escala

Fig. 8

POSICION DEL CHORRO METALICO



Sin escala

Fig. 9

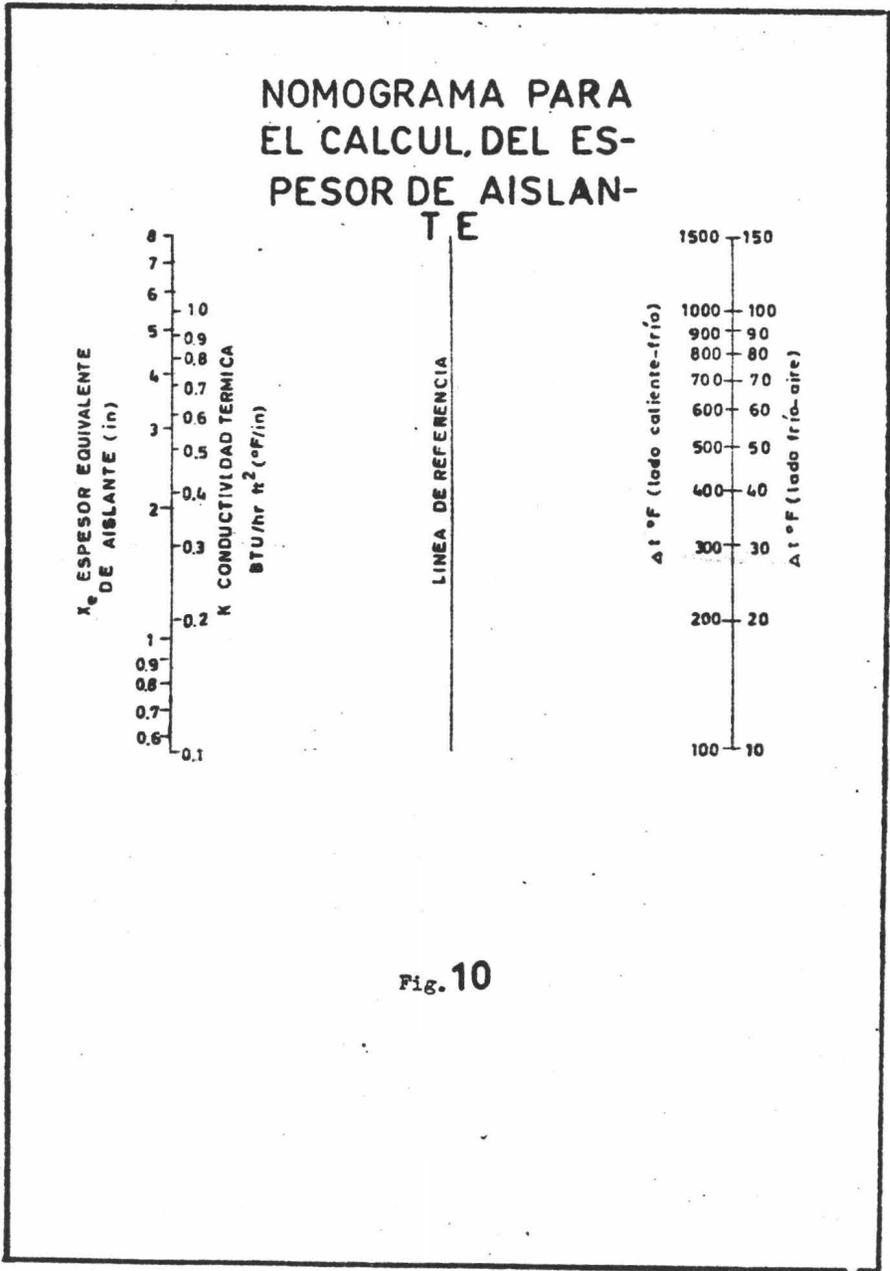


Fig. 10

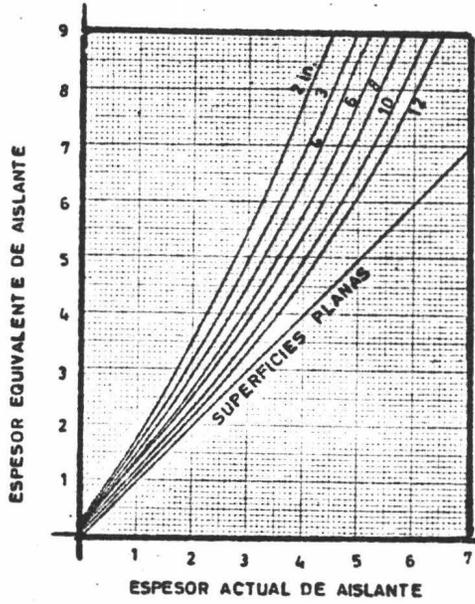


Fig.11

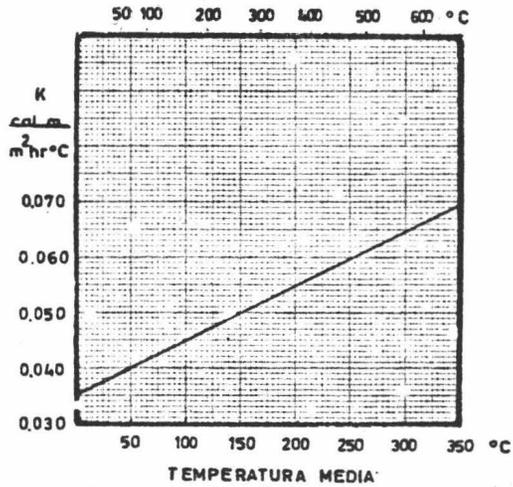


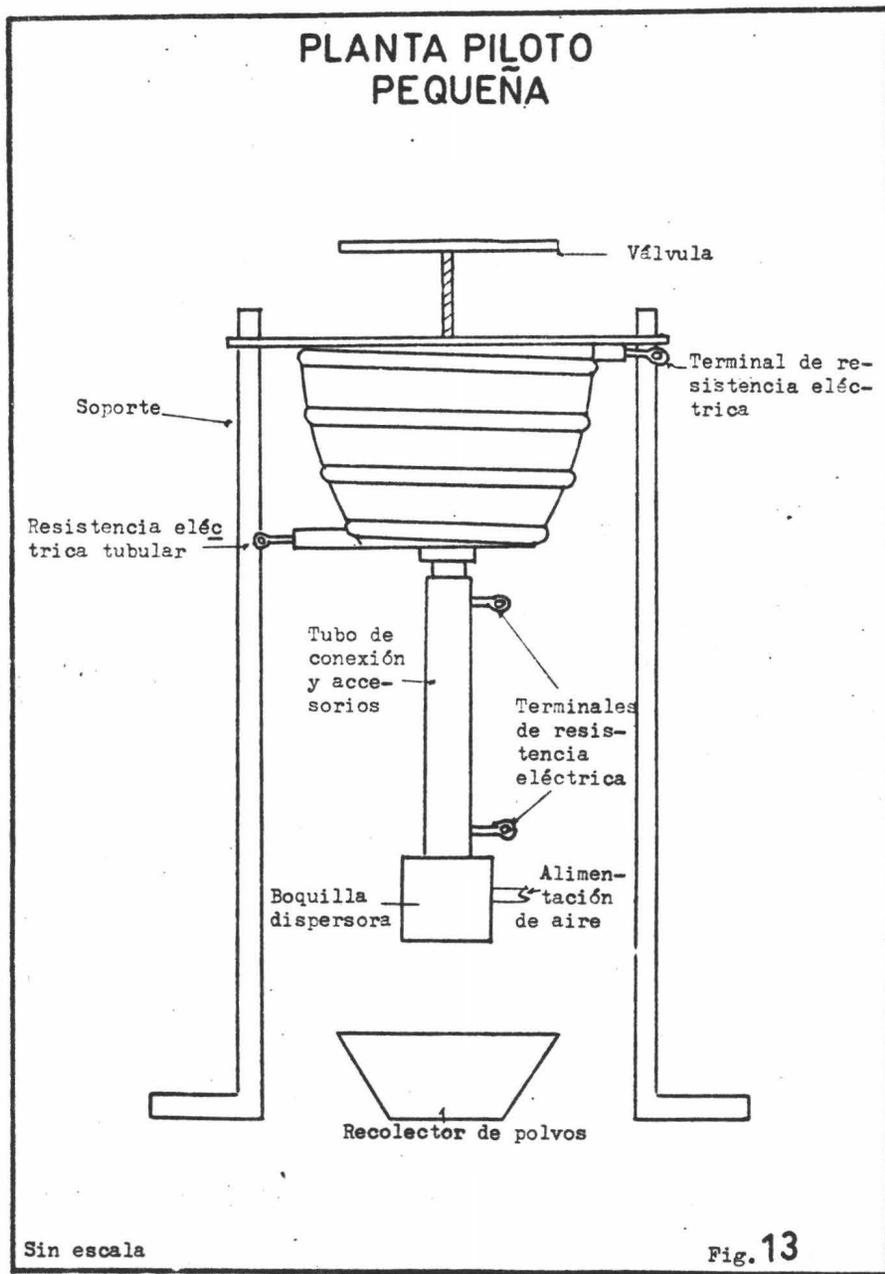
Fig.12

**ESPEORES FUNCIONALES RECOMENDADOS PARA
TUBERIA Y BLOQUES "AMOBESTOS"**

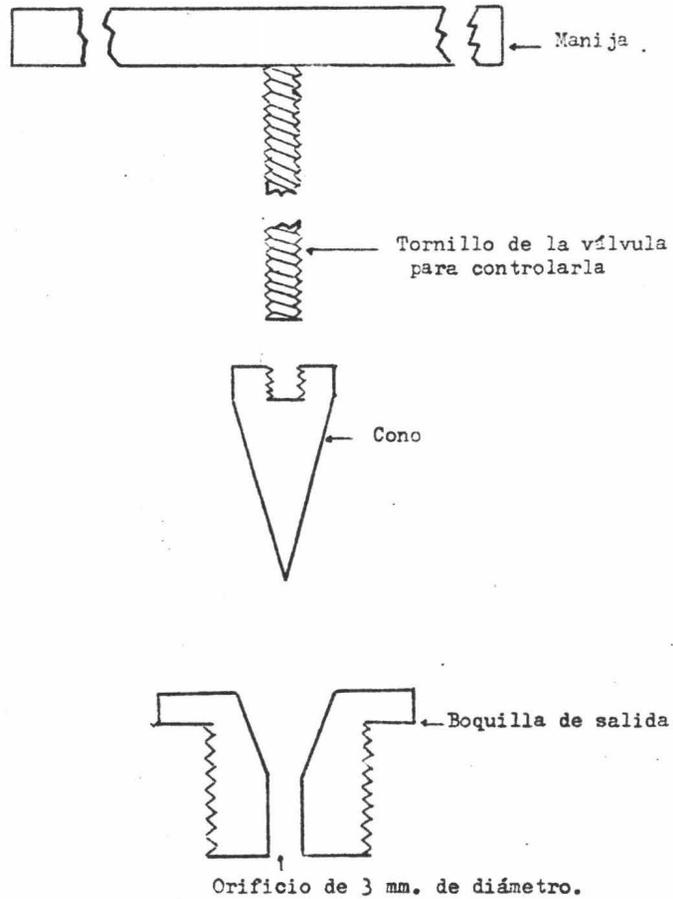
TEMPERATURA DE LA CARA MAS CALIENTE °C

Diámetro Nomi- nal del Tubo, mm., pulgadas	100°C.	150°C.	200°C.	250°C.	300°C.	350°C.	400°C.	450°C.	500°C.	550°C.	600°C.	650°C.
	E S P			E S O			R E S					
127 mm. (1/2")	25.4 mm. (1")	38.1 mm. (1 1/2")	38.1 mm. (1 1/2")	38.1 mm. (1 1/2")	38.1 mm. (1 1/2")	50.8 mm. (2")	50.8 mm. (2")	50.8 mm. (2")				
190 " (3/4")	25.4 mm. (1")	38.1 mm. (1 1/2")	38.1 mm. (1 1/2")	38.1 mm. (1 1/2")	38.1 mm. (1 1/2")	50.8 mm. (2")	50.8 mm. (2")	50.8 mm. (2")				
254 " (1")	25.4 mm. (1")	38.1 mm. (1 1/2")	38.1 mm. (1 1/2")	38.1 mm. (1 1/2")	50.8 mm. (2")	50.8 mm. (2")	63.5 mm. (2 1/2")	63.5 mm. (2 1/2")				
317 " (1 1/4")	25.4 mm. (1")	25.4 mm. (1")	25.4 mm. (1")	25.4 mm. (1")	38.1 mm. (1 1/2")	38.1 mm. (1 1/2")	38.1 mm. (1 1/2")	50.8 mm. (2")	50.8 mm. (2")	63.5 mm. (2 1/2")	63.5 mm. (2 1/2")	63.5 mm. (2 1/2")
381 " (1 1/2")	25.4 mm. (1")	25.4 mm. (1")	25.4 mm. (1")	25.4 mm. (1")	38.1 mm. (1 1/2")	38.1 mm. (1 1/2")	50.8 mm. (2")	50.8 mm. (2")	63.5 mm. (2 1/2")	63.5 mm. (2 1/2")	76.2 mm. (3")	76.2 mm. (3")
508 " (2")	25.4 mm. (1")	25.4 mm. (1")	25.4 mm. (1")	25.4 mm. (1")	38.1 mm. (1 1/2")	38.1 mm. (1 1/2")	50.8 mm. (2")	50.8 mm. (2")	63.5 mm. (2 1/2")	63.5 mm. (2 1/2")	76.2 mm. (3")	76.2 mm. (3")
635 mm. (2 1/2")	25.4 mm. (1")	25.4 mm. (1")	25.4 mm. (1")	25.4 mm. (1")	38.1 mm. (1 1/2")	38.1 mm. (1 1/2")	50.8 mm. (2")	50.8 mm. (2")	63.5 mm. (2 1/2")	63.5 mm. (2 1/2")	76.2 mm. (3")	76.2 mm. (3")
762 " (3")	25.4 mm. (1")	25.4 mm. (1")	25.4 mm. (1")	38.1 mm. (1 1/2")	38.1 mm. (1 1/2")	50.8 mm. (2")	50.8 mm. (2")	50.8 mm. (2")	63.5 mm. (2 1/2")	63.5 mm. (2 1/2")	76.2 mm. (3")	76.2 mm. (3")
1016 " (4")	25.4 mm. (1")	25.4 mm. (1")	25.4 mm. (1")	38.1 mm. (1 1/2")	38.1 mm. (1 1/2")	50.8 mm. (2")	50.8 mm. (2")	63.5 mm. (2 1/2")	63.5 mm. (2 1/2")	76.2 mm. (3")	89 mm. (3 1/2")	101.6 mm. (4")
1270 " (5")	38.1 mm. (1 1/2")	38.1 mm. (1 1/2")	38.1 mm. (1 1/2")	38.1 mm. (1 1/2")	50.8 mm. (2")	50.8 mm. (2")	63.5 mm. (2 1/2")	63.5 mm. (2 1/2")	76.2 mm. (3")	76.2 mm. (3")	89 mm. (3 1/2")	101.6 mm. (4")
1524 " (6")	38.1 mm. (1 1/2")	38.1 mm. (1 1/2")	38.1 mm. (1 1/2")	38.1 mm. (1 1/2")	50.8 mm. (2")	50.8 mm. (2")	63.5 mm. (2 1/2")	63.5 mm. (2 1/2")	76.2 mm. (3")	89 mm. (3 1/2")	101.6 mm. (4")	101.6 mm. (4")
2032 " (8")	38.1 mm. (1 1/2")	38.1 mm. (1 1/2")	38.1 mm. (1 1/2")	38.1 mm. (1 1/2")	50.8 mm. (2")	50.8 mm. (2")	63.5 mm. (2 1/2")	76.2 mm. (3")	76.2 mm. (3")	89 mm. (3 1/2")	101.6 mm. (4")	101.6 mm. (4")
2540 " (10")	38.1 mm. (1 1/2")	38.1 mm. (1 1/2")	38.1 mm. (1 1/2")	50.8 mm. (2")	50.8 mm. (2")	63.5 mm. (2 1/2")	63.5 mm. (2 1/2")	76.2 mm. (3")	89 mm. (3 1/2")	101.6 mm. (4")	101.6 mm. (4")	101.6 mm. (4")
3048 " (12")	50.8 mm. (2")	50.8 mm. (2")	50.8 mm. (2")	50.8 mm. (2")	63.5 mm. (2 1/2")	63.5 mm. (2 1/2")	76.2 mm. (3")	76.2 mm. (3")	101.6 mm. (4")	101.6 mm. (4")	127 mm. (5")	127 mm. (5")
3556 " (14")	50.8 mm. (2")	50.8 mm. (2")	50.8 mm. (2")	50.8 mm. (2")	63.5 mm. (2 1/2")	63.5 mm. (2 1/2")	76.2 mm. (3")	76.2 mm. (3")	101.6 mm. (4")	127 mm. (5")	127 mm. (5")	127 mm. (5")
4064 " (16")	50.8 mm. (2")	50.8 mm. (2")	50.8 mm. (2")	50.8 mm. (2")	63.5 mm. (2 1/2")	63.5 mm. (2 1/2")	76.2 mm. (3")	76.2 mm. (3")	101.6 mm. (4")	127 mm. (5")	127 mm. (5")	127 mm. (5")
4572 " (18")	50.8 mm. (2")	50.8 mm. (2")	50.8 mm. (2")	50.8 mm. (2")	63.5 mm. (2 1/2")	63.5 mm. (2 1/2")	76.2 mm. (3")	76.2 mm. (3")	101.6 mm. (4")	127 mm. (5")	127 mm. (5")	127 mm. (5")
5080 " (20")	50.8 mm. (2")	50.8 mm. (2")	50.8 mm. (2")	50.8 mm. (2")	63.5 mm. (2 1/2")	63.5 mm. (2 1/2")	76.2 mm. (3")	76.2 mm. (3")	101.6 mm. (4")	127 mm. (5")	127 mm. (5")	127 mm. (5")
Bloque	25.4 mm. (1")	25.4 mm. (1")	25.4 mm. (1")	38.1 mm. (1 1/2")	38.1 mm. (1 1/2")	50.8 mm. (2")	50.8 mm. (2")	76.2 mm. (3")	76.2 mm. (3")	101.6 mm. (4")	101.6 mm. (4")	101.6 mm. (4")

Tabla 1

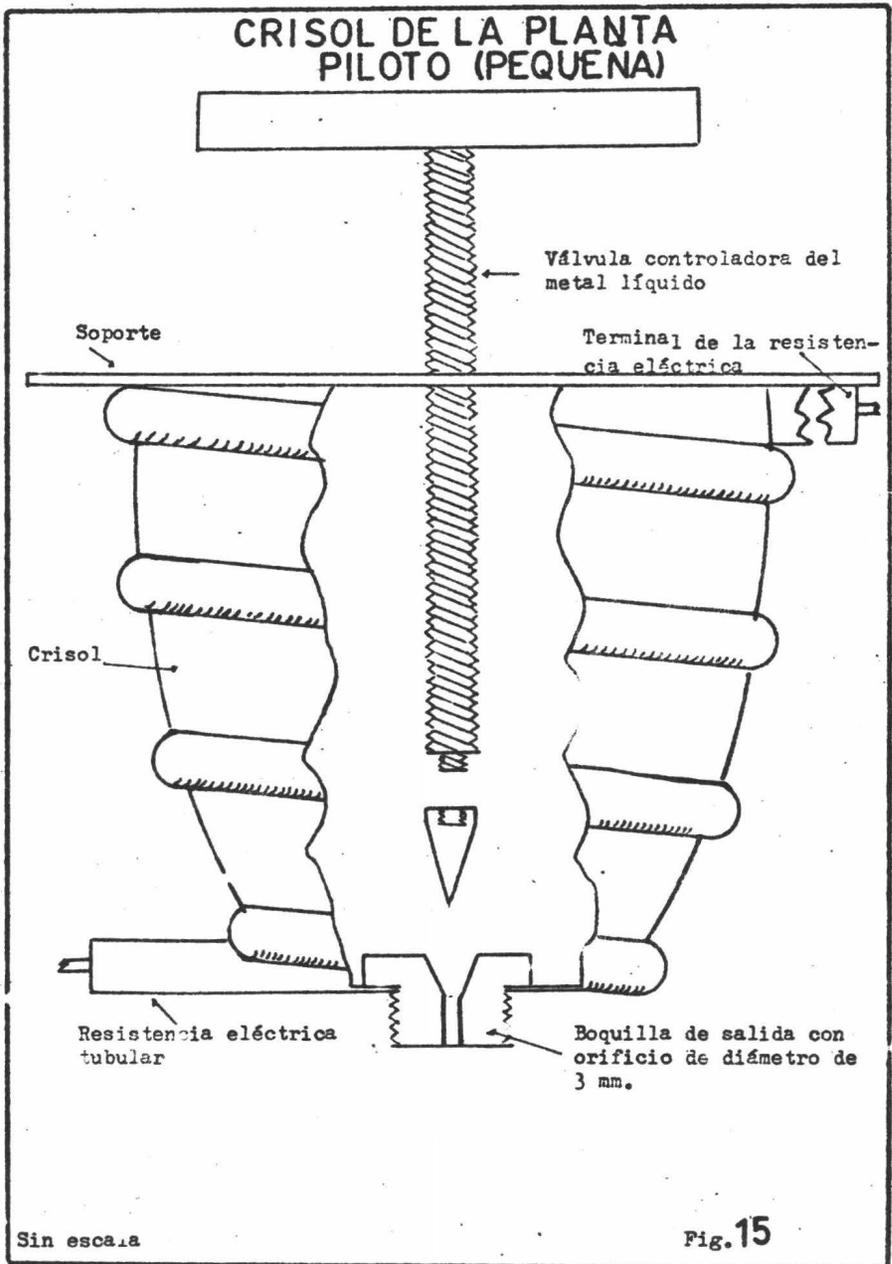


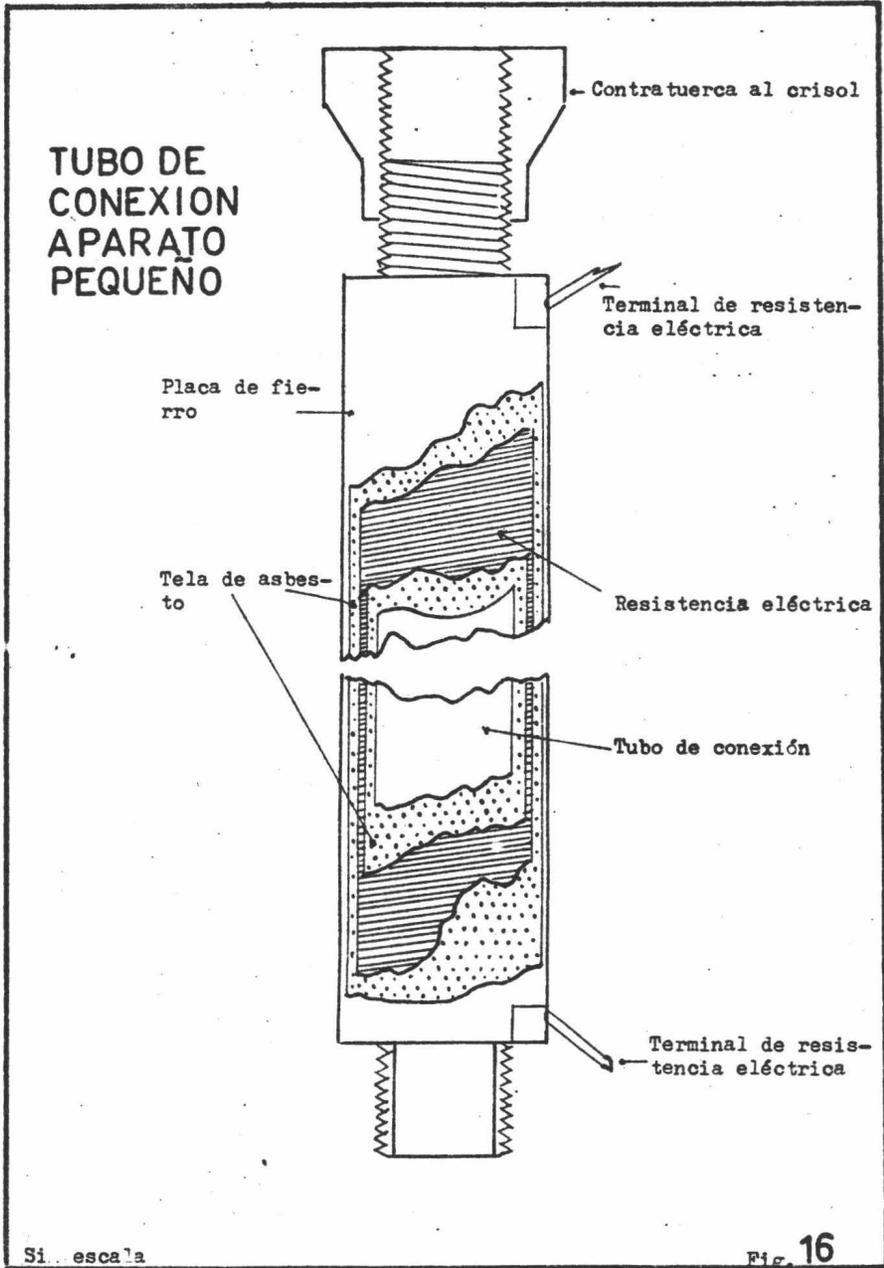
VALVULA PARA CONTROL DE FLUJO METALICO



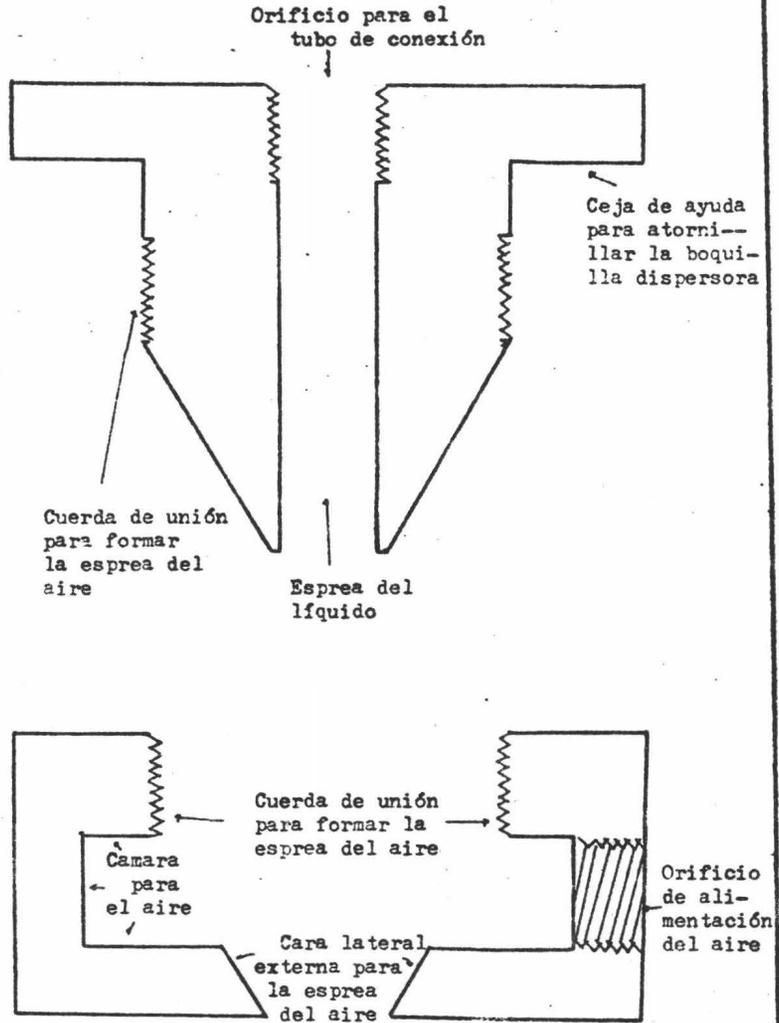
Sin escala

Fig. 14





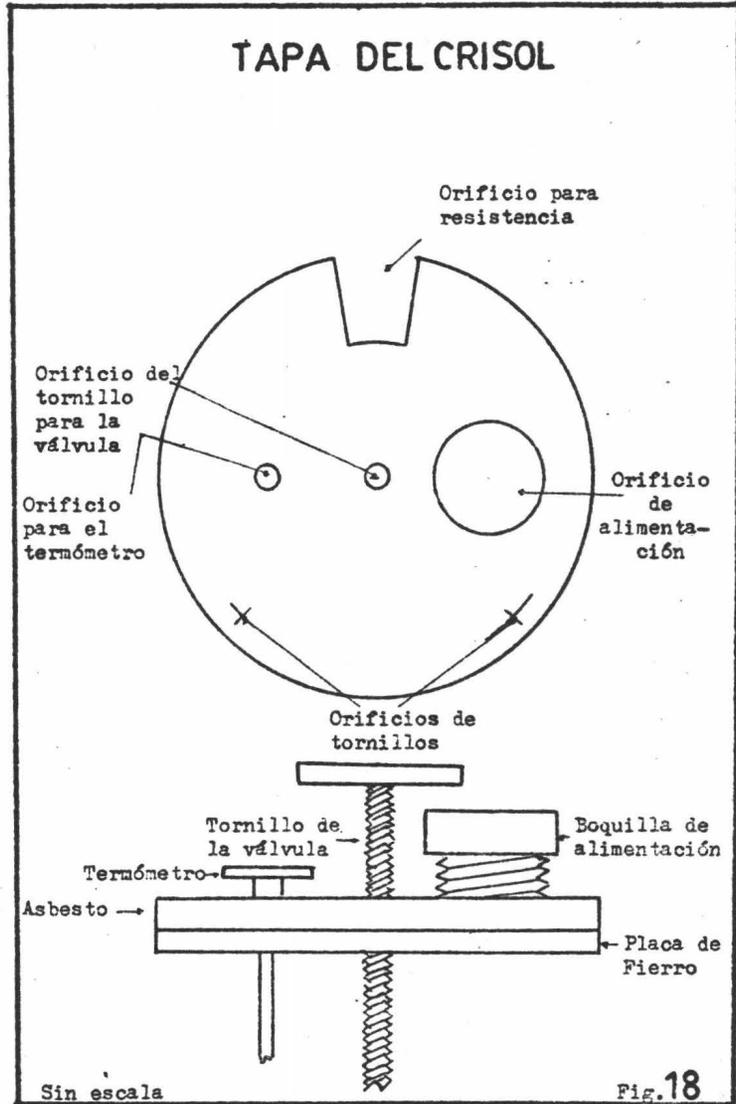
BOQUILLA DISPERSORA

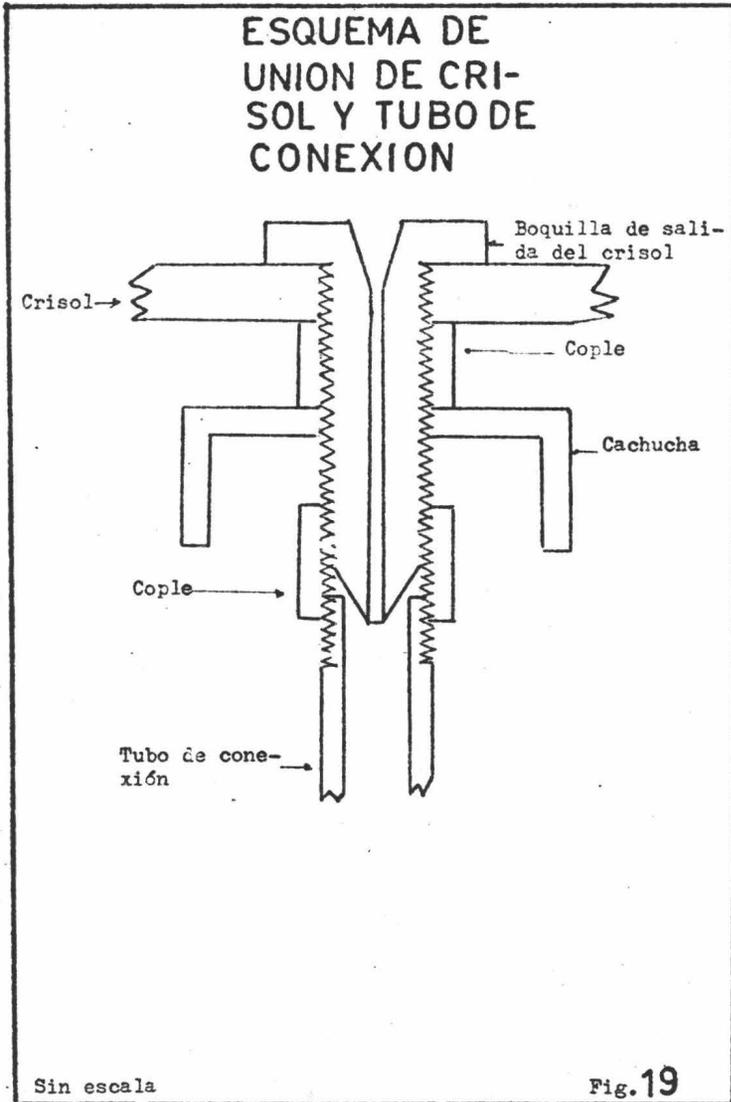


Sin escala

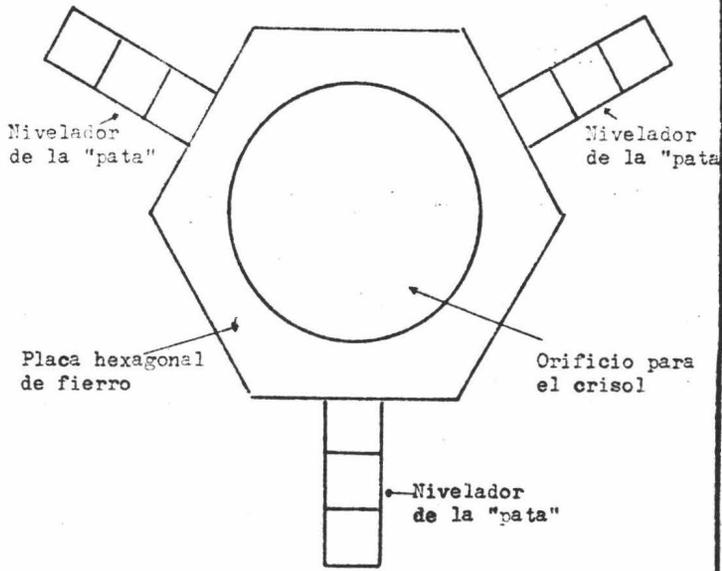
Fig. 17

TAPA DEL CRISOL





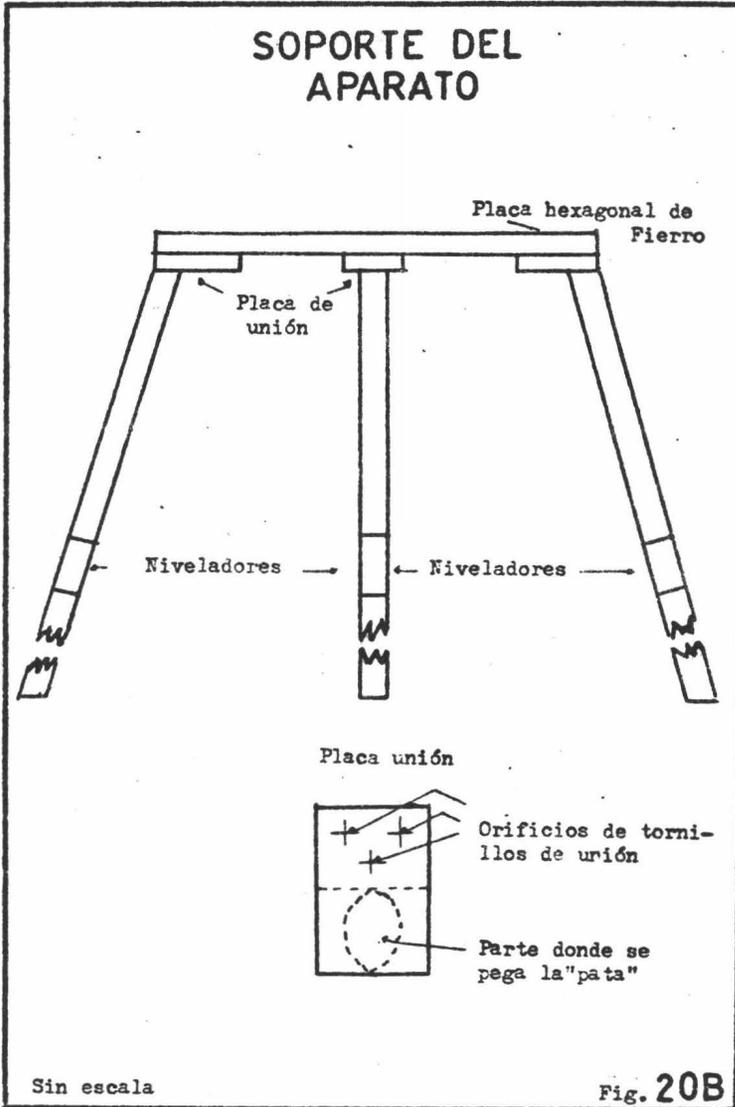
SOPORTE DEL APARATO DISPERSOR



VISTA SUPERIOR

Sin escala

Fig. 20 A



TUBO DE CONE - XION Y ACCESORIOS

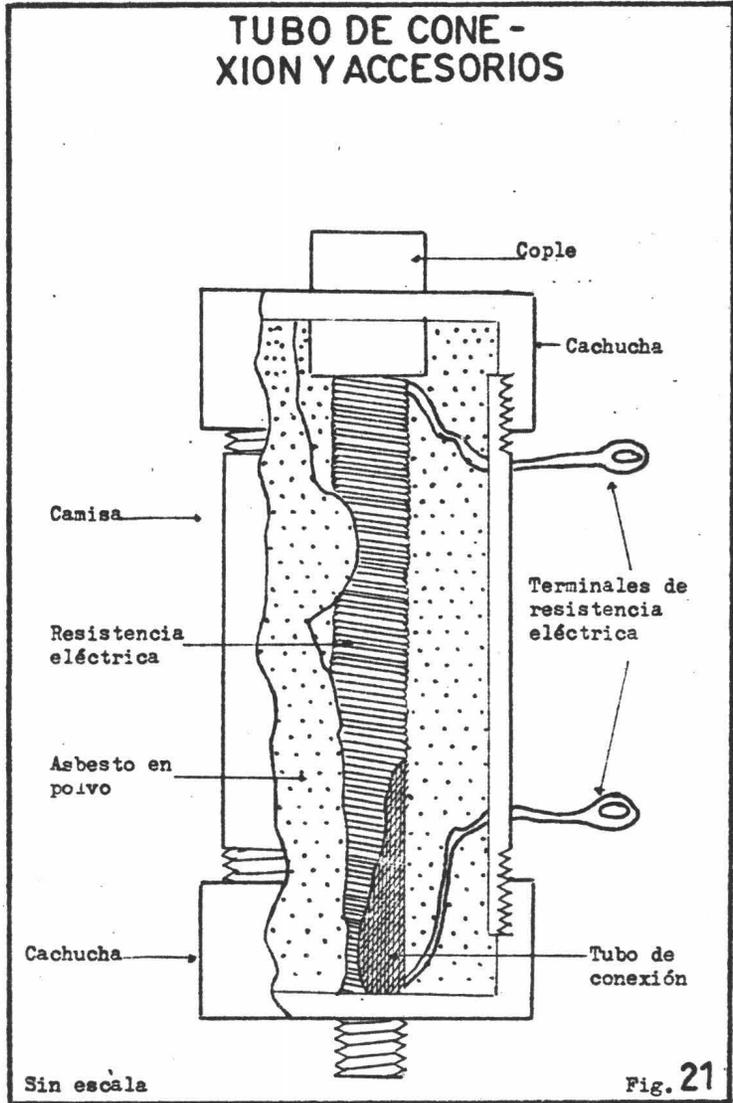
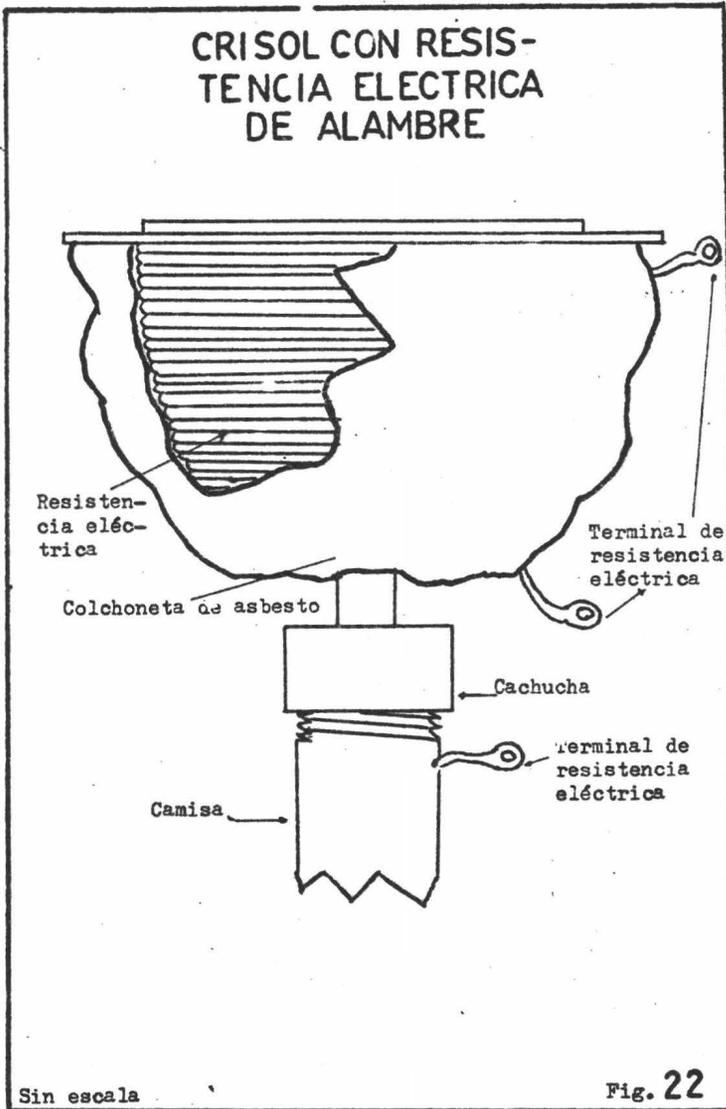


TABLA No. 3

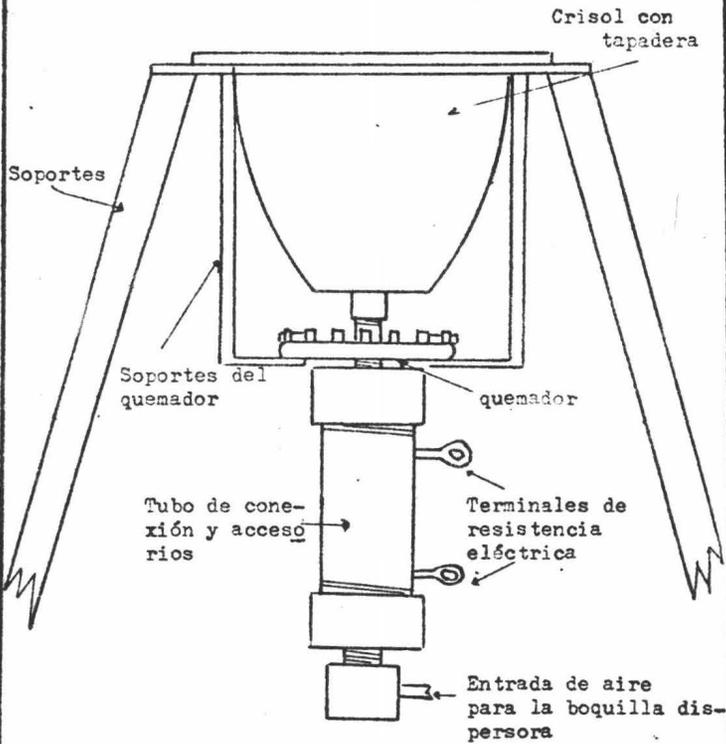
ALKROTHAL (MATERIAL
PARA RESISTENCIAS)

ACEROS ASSAB

Diámetro	(in)	(mm.)	Ω /ft	in^2/Ω
Tipo B & S				
1	0.0907	2.304	0.0914	37.41
2	0.0808	2.052	0.1152	26.45
3	0.0720	1.829	0.1450	18.71
4	0.0641	1.628	0.1830	13.21
5	0.0571	1.450	0.2306	9.334
6	0.0508	1.290	0.2914	6.573
7	0.0453	1.151	0.3664	4.661
8	0.0403	1.024	0.4630	3.282
9	0.0359	0.912	0.5834	2.320
10	0.0320	0.813	0.7343	1.643
11	0.0285	0.724	0.9257	1.161
12	0.0253	0.643	1.175	0.812
13	0.0226	0.574	1.472	0.5788
14	0.0201	0.510	1.861	0.4071
15	0.0179	0.455	2.347	0.2876
16	0.0159	0.404	2.974	0.2015
17	0.0142	0.361	3.729	0.1436
18	0.0126	0.320	4.736	0.1003
19	0.0113	0.287	5.886	0.07235
20	0.0101	0.254	7.371	0.05166



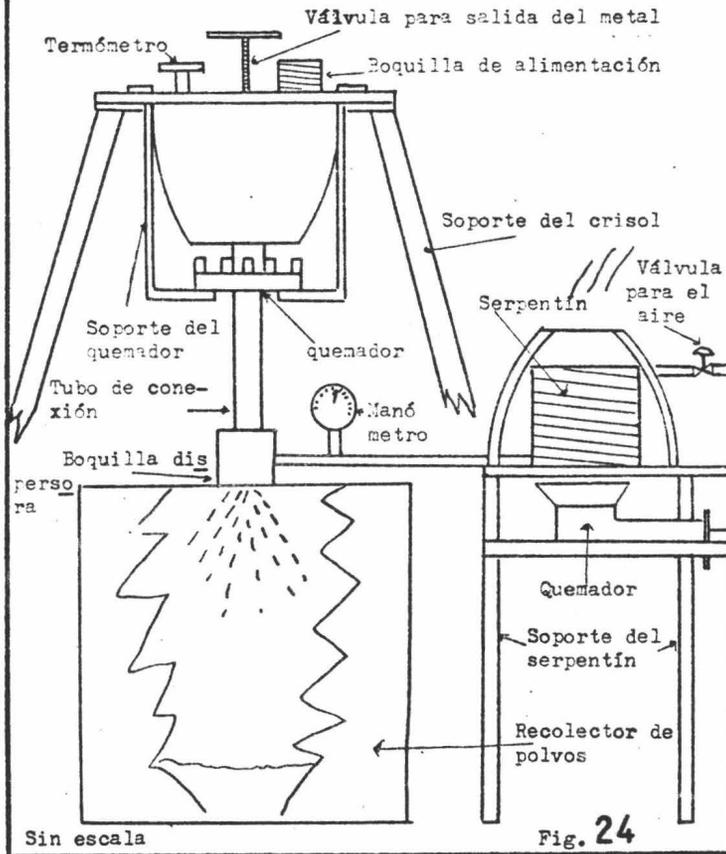
APARATO CON RESISTENCIA ELECTRICA Y QUEMA- DOR

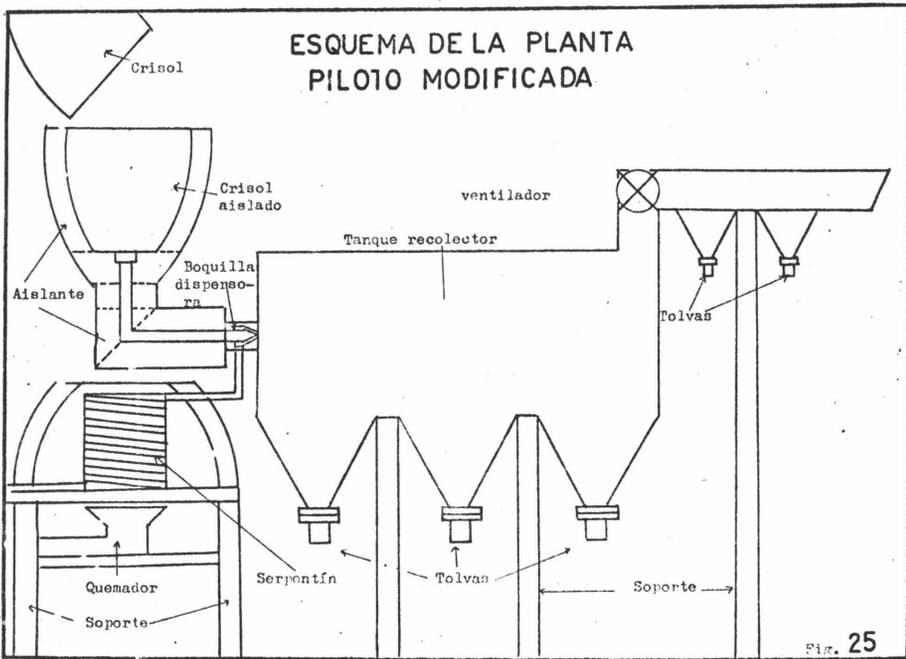


Sin escala

Fig. 23

PLANTA PILOTO GRANDE





"BIBLIOGRAFIA"

- 1.- ENGINEERING MATERIALS HANDBOOK.
Mantell
Mc Graw Hill Book Company
Primera Edición 1958.
- 2.- MATERIAL AND ENERGY BALANCE
J. Schmidt
Mc Graw Hill
- 3.- ALONSO Y FINN.
Física Volumen I Mecánica
Fondo Interamericano de Cultura.
- 4.- PRINCIPLES OF UNIT OPERATIONS.
Foust/Wenzel/Clump/Maus/Andersen
Wiley Toppan
Segunda Edición.
- 5.- PROCESS HEAT TRANSFER.
D.Q. Kern
International Student Edition
Mc Graw Hill
- 6.- NOMOGRAPH HANDBOOK
Hydrocarbon Processing.
Nomograph Simplifies Insulation Estimation
Ahmed S. Et Kabbani. Gulf Publishing Co. 1971.
- 7.- PHYSICAL CHEMISTRY
W.J. Moore
Prentice Hall
3ra. Edición
- 8.- UNIVERSITY MATHEMATICS II
J. Britton, Kriegh, Rullanel.
WH Freeman and Company
Londres
- 9.- Phys. Chem. Liquids 1968 1 (2) 159 - 70
Kanda Frank A. Colborn R.P.
- 10.- Teoreticheskaya i Eksperimental'naya Khimiya.
Vol. 3 #4, pp 504 - 507, 1967.
- 11.- Journal of Applied Physics.
Vol. 10 # 11 Noviembre 1959.
Mechanism and Speed of Breakeep of Drops.
G.D. Gordon.

Bibliografía.

- 139 -

- 12.- Chemical Engineering July 19, 1965.
Sprays and Spraying for Process Use - Part I
R.W. Tate.
- 13.- Industrial and Engineering Chemistry. Vol. 33 #7
Liquid Films in the Viscous Flow Region.
S.J. Freedman and C.O. Miller
- 14.- American International Chemical Engineering Journal. Vol. 7, No. 2 Jun. 61
Characteristics of Pneumatic Atomization.
James Gritzinger and W. R. Marshall J.R.
- 15.- Patente Alemana # 70348 - 25 de agosto de 1893.
Verfahren Zur Herstelleing Von Bleistanbals Füllmasse Fürammterelektro
den.
- 16.- Patente Alemana # 514623 - 17 de Diciembre de 1930.
Verfahren Zur Erzeugung Püner Metallkörnungen Aus Geschmolzenem Methall.