

**UNIVERSIDAD**

**PANAMERICANA**

308917  
13

2oj-

ESCUELA DE INGENIERIA  
CON ESTUDIOS INCORPORADOS A LA  
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

REDISEÑO DE UNA MAQUINA EXTRUSORA  
DE PLOMO

TESIS CON  
FOLIO DE ORIGEN

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA  
AREA: MECANICA ELECTRICA  
P R E S E N T A :  
JUAN LUIS FLORES FLORES

DIRECTOR: ING. MARIANO ROMERO VALENZUELA

MEXICO, D. F.

1992



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 está 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.

## INDICE

	Página
<b><u>Introducción.</u></b>	1
<b><u>Generalidades.</u></b>	4
1.1 El plomo, la materia prima.	5
Historia.	5
Propiedades y obtención del plomo.	6
1.2 El proceso, definición e historia.	10
Definición.	10
Historia.	10
1.3 Ventajas del proceso de extrusión.	12
1.4 Limitaciones del proceso.	18
1.5 Métodos de extrusión.	21
Extrusión directa.	22
Extrusión indirecta.	23
Extrusión en caliente.	25
Extrusión en frío.	25
Extrusión hidrostática.	26
<b>II. <u>Bases de diseño.</u></b>	28
2.1 Descripción del proceso.	29
2.2 Descripción de la máquina extrusora.	34
2.3 Problemas de la máquina extrusora.	52
<b>III. <u>Teoría y cálculos de la extrusión.</u></b>	56
3.1 Características del flujo del material.	57
3.2 Análisis del proceso de extrusión.	59
Velocidad del pistón.	60
Volumen de extrusión.	60
Velocidad de extrusión.	61
Cálculo de la presión de extrusión.	62

3.3	Generación de las ecuaciones de presión.	67
	Presión para el plomo líquido.	67
	Presión para el plomo plástico.	69
3.4	Cálculos de la presión.	72
<b>IV.</b>	<b><u>Rediseño de la extrusora de plomo.</u></b>	<b>74</b>
4.1	Alimentadores.	76
4.2	Gusano.	79
4.3	Equipo auxiliar.	82
<b>V.</b>	<b><u>Cálculos del sistema rediseñado.</u></b>	<b>84</b>
5.1	Presentación.	85
5.2	Conversión de presión a gasto.	86
5.3	Cálculos del gusano.	89
	Cálculo de la capacidad.	90
	Gráficas de las opciones.	92
	Bases de diseño.	93
5.4	Cálculo de la potencia y motor requerido.	94
	Potencia para mover el gusano vacío.	94
	Potencia para mover el material.	98
	Cálculo del motor requerido.	100
5.5	Resumen de equipo.	101
	Gusano.	101
	Alimentación.	102
	Potencia.	103
	Seguridad.	104
5.6	Especificación para fabricación del gusano.	105
<b>VI.</b>	<b><u>Operación.</u></b>	<b>107</b>
6.1	Seguridad.	108
6.2	Seguridad de operación.	109
6.3	Confiabilidad.	111
6.4	Susceptibilidad al mantenimiento.	113
6.5	Manual de operación.	117

## INDICE DE PLANOS

NOMBRE	NUMERO	PAGINA
Tubo Césped	1-00-01	32A
Extrusora	2-01-01	35A
Matriz	2-03-02	36A
Esquema del cuello de la matriz	2-03-03	36B
Contenedor	2-02-04	38A
Sistema hidráulico	2-04-05	42A
Despiece de alimentador y placa	3-04-06	78A
Contenedor rediseñado	3-02-07	78B
Gusano	3-04-08	81A
Matriz rediseñada	3-03-09	81B
Placa soporte motorreductor	3-04-10	83A
Esquema máquina actual	2-01-11	83B
Esquema máquina rediseñada	3-01-12	83C
Gráfica de capacidad del gusano diametro 10cm		92A
Gráfica de capacidad del gusano diametro 13cm		92B
Gráfica de capacidad del gusano diametro 15cm		92C

VII.	<u>Seguridad</u>	121
	7.1 Manual de seguridad.	122
	7.2 Consideraciones de seguridad.	125
	7.3 Protecciones contra incendio.	126
	<u>Conclusiones</u>	130
	<u>Bibliografía</u>	133

## INTRODUCCION

## INTRODUCCION

En un México dinámico, dentro de un mundo en el cual la globalización es un medio presente, en que la competitividad viene a cambiar por completo nuestra forma de producción, nuestra forma de vida y nuestro pensamiento. Vienen igualmente a cambiar nuestras obligaciones como ingenieros.

Es del ingeniero el compromiso de no quedarse estático ante estos cambios y hacer suya la labor de progresar. Progreso que debe ser, ahora más que nunca, dentro de un equilibrio entre lo mecánico y lo humano, considerando las máquinas como tales y dando al hombre la importancia que merece.

Los días en que el medio ambiente era de interés puramente biológico han pasado, ahora la industria que no contemple su relación con el medio ambiente esta condenada a desaparecer.

Con estas bases se realizó este trabajo para rediseñar una máquina extrusora de plomo, pretendiendo, mediante los conceptos de optimización del proceso y seguridad de operación, lograr la competitividad que se necesita.

La máquina en cuestión fabrica el tubo CESPOL de plomo para uso en lavaderos y en lavabos, éste es un producto barato, el cual tiene una gran demanda, sobre todo en las clases bajas. Se pretende reducir el costo del producto aumentando la eficiencia y la producción de la máquina.

En el capítulo primero se habla del plomo, la materia prima y se explica, a grandes rasgos, el proceso de extrusión.

En el capítulo segundo se describe el proceso actual de fabricación de tubo cespól de plomo por extrusión.

Se hace un análisis de la teoría de extrusión, se generan las ecuaciones necesarias para la máquina y se presentan los cálculos en el tercer capítulo. para después presentar el equipo rediseñado en el capítulo cuarto.

El capítulo quinto contiene los cálculos sobre los cuales se basó el rediseño de la máquina, pero parte del rediseño son también los capítulos sexto y séptimo, los cuales son igualmente importantes, puesto que son los manuales de seguridad, y operación.

Mucha de la información para este trabajo fue obtenida de la observación directa en el campo, de mediciones hechas, y en conversaciones tenidas con el personal.

## **CAPITULO I**

### **GENERALIDADES**

## CAPITULO I

### 1.1. LA MATERIA PRIMA : EL PLOMO.

#### A. Su Historia:

El plomo es uno de los metales conocidos desde tiempos prehistóricos, ya que su uso se remonta desde 7000-5000 a.C. Los egipcios lo utilizaban para vidriar la cerámica y el pueblo chino lo empleaba dándole diversos usos. Sin embargo, fueron los antiguos romanos los primeros en utilizar este mineral en instalaciones de plomería.

En la Edad Media se desarrolló notablemente la metalurgia del plomo, particularmente en Alemania, Bohemia y Hungría. Fue en el año de 968 cuando las minas del Ahrz empezaron a explotarse y en 1163 se iniciaron los trabajos de las minas de Feiberg.

La explotación moderna de los minerales de plomo data del siglo XVII, iniciándose en 1621, en el estado de Virginia, E.U.A., donde la extracción de plomo se utilizaba para fabricar principalmente perdigones. En esta industria logró destacar Thomas Selby, quien por los años 1868 utilizaba plomo refinado importado de Inglaterra y España, así como los obtenidos de California y Nevada. La fábrica Selby, actualmente American Smelting and Refining Co. de Selby, California, data del año 1884.

## B. Obtención del plomo.

El plomo se extrae principalmente del mineral llamado Galena (sulfuro de plomo), caracterizado por su color negro grisáceo brillante. Este mineral contiene bastante azufre, pero generalmente lleva también plata y otros metales en pequeñas proporciones.

El mineral extraído de las minas, una vez triturado, se separa del azufre por medio de la tostación. Los gases obtenidos no se aplican a la fabricación de ácido sulfúrico, pues resulta antieconómico, evacuándose por chimeneas de gran altura ya que provocan molestias a las personas, animales y plantas. Después de esta operación se lleva el mineral a un horno de bóveda mezclado con coke. El plomo fundido impuro mezclado con otros metales, se acumula en el fondo del horno. De tiempo en tiempo se vacía el plomo fundido del fondo en barras, llamándose el producto *plomo de obra*.

La plata, el cobre y el antimonio, generalmente forman aleaciones con el plomo, los cuales conviene separarlos. Esta operación se efectúa en recipientes de hierro, en donde se adiciona zinc al plomo de obra. Las combinaciones de zinc se acumulan en la parte superior a causa de su reducido peso específico permitiendo la separación.

Inyectando vapor de agua se separan las últimas combinaciones de zinc y el antimonio se quema a elevadas temperaturas. El plomo purificado se funde en barras que se venden en el comercio como plomo refinado.

El plomo se caracteriza por sus propiedades esenciales: tiene una densidad elevada (Peso específico  $11,4 \text{ kg/dm}^3$ ), es líquido al punto de fusión (de  $10,86 \text{ kg/dm}^3$ ), es muy blando, tanto que puede rayarse con la uña; su resistencia a la tracción es de  $1,8 \text{ kg/mm}^2$ .

Se puede estirar, prensar y laminar con facilidad. Pulido brilla con tono azul gris. Su punto de fusión está situado a  $325^\circ\text{C}$ . Cuando se somete a variaciones de temperatura se comporta como el zinc, pero no presenta ondulaciones y fisuras tan intensas, pues el metal se dilata o contrae en toda su superficie. En contacto con el aire la superficie se recubre rápidamente de una capa de óxido de aspecto sucio y color mate. Este óxido se adhiere fuertemente protegiendo al metal de oxidaciones posteriores.

Es muy resistente a los agentes atmosféricos y a la mayoría de los ácidos (a excepción del ácido nítrico y los ácidos orgánicos), es especialmente estable frente al ácido sulfúrico (en frío resiste la acción del ácido de 98%) y resiste la acción del ácido de  $60^\circ\text{Bé}$  hasta la temperatura de ebullición, pudiéndose emplear el plomo para concentrar ácido sulfúrico hasta la concentración citada.

El ataque del plomo por el agua caliente es muy ostensible. El vapor destruye con cierta rapidez; no conviene emplearlo en tuberías que lo conduzcan. El agua pura contiene yeso y carbonato de cal, formando una costra dura que evita la disolución del plomo.

Pueden adoptarse, pues, tuberías de plomo en la construcción para agua potable. La cal, el cemento portland y el yeso atacan al plomo al ponerse en contacto con el mismo. El ácido málico y demás ácidos orgánicos forman fácilmente combinaciones solubles con el plomo, especialmente venenosas.

Por ello está prohibido fabricar baterías de cocina y objetos para mesa de este metal o aleaciones que contengan más del 10% de plomo.

Por su resistencia a las inclemencias del tiempo y su facilidad para ser trabajado es muy adecuado para obras de edificación, pero generalmente resulta muy costoso.

En la industria química se emplea generalmente en revestimientos de tanques, cañerías y cámaras para fabricación de ácido sulfúrico. Las fábricas de acumuladores eléctricos consumen grandes cantidades de este metal. Además, se emplea con preferencia como material de junta en sitios donde otros materiales no podrían usarse o tendrían poca duración. Las juntas de las tuberías de hierro fundido, los manguitos y piezas de reducción se hacen estancas al calafatearse con plomo.

El plomero trabaja por lo general el plomo en forma de chapas. Estas se presentan en el comercio con un espesor de 0,1 a 12 mm, de 0,5 a 3m. de ancho y hasta 10m. de largo.

Finalmente mencionaremos, a título de curiosidad, la destrucción (no corrosiva) del plomo y sus aleaciones por el insecto xilófago "Sirex gigas". Este insecto es capaz de horadar chapas de plomo de hasta 10 mm de espesor. Se observa especialmente el efecto de estos insectos en las chapas de plomo embaladas en madera y en los aparatos de madera revestidos con plomo; las larvas quedan incrustadas en la madera y el insecto, al nacer, se abre camino con fuertes mandíbulas a través del metal. Los Sirex se encuentran con frecuencia en las maderas de coníferas, por lo que debe excluirse este tipo de madera de los embalajes del plomo, así como de las obras que se revistan de este metal.

## 1.2. EL PROCESO: DEFINICION E HISTORIA

Para poder comprender nuestro proceso iniciaremos con su definición, para después comentar un poco del desarrollo del mismo en la historia.

### A. Definición.

La extrusión es un proceso de deformación plástica en donde el material es forzado bajo presión a fluir a través de un dado con uno o más orificios, para producir un producto con una deseada geometría.

### B. Historia.

En 1797 Joseph Bramah obtiene una patente donde describe una prensa para hacer tubos de plomo u otros metales suaves. Los tubos podían tener varios diámetros y cualquier longitud dada sin ninguna unión. El proceso consiste en forzar un metal precalentado a través de un dado por medio de un émbolo operado a mano.

En 1820 Thomas Burr construye una prensa hidráulica para producir tubos de plomo por extrusión, o, como se le llamaba entonces, *espurrear* o *jeringear*, plomo en estado líquido.

En el año de 1863, en Inglaterra, Shaw construye una prensa en la que los lingotes de plomo son su materia prima.

Alexander Dick, en 1894, adapta el proceso de la extrusión en caliente al cobre y bronce, usando lingotes en una prensa de extrusión horizontal.

El rápido desarrollo de la industria eléctrica durante la segunda mitad del siglo XIX creó la necesidad de cubiertas protectoras para cables con el fin de escudarlos contra el daño mecánico y hacerlos resistentes al agua.

En 1879 el francés Borel junto con el alemán Wesslau, lograron un método para extruir directamente la cubierta del plomo a los cables para cubrir largas longitudes de cable.

La prensa usada trabajaba exitosamente, sin embargo no podían lograrse longitudes continuas de cable porque el cable requería ser cortado para insertar un lingote nuevo.

Dos años más tarde, Huber, en Alemania, desarrolló una prensa que logró longitudes largas de cables, sin necesidad de soldar las puntas. La prensa permitía cargar lingotes de plomo consecutivamente dentro del contenedor al final de cada carga de extrusión.

Dada la exitosa extrusión de metales como plomo, cobre, y bronce, el proceso se ha adaptado al aluminio y al hierro.

Hoy en día muchos metales y aleaciones están siendo extruidas, incluyendo: manganesio, níquel, molibdeno, titanio, etc.

### 1.3. VENTAJAS DEL PROCESO DE EXTRUSION.

Al diseñar una determinada pieza mecánica, se tiene que pensar forzosamente en el proceso para fabricarla, y tal vez existan varios métodos para hacer lo mismo y el diseñador tendrá que escoger el más barato y que tenga mayor facilidad de fabricación, principalmente si el número de piezas es grande o continuo.

El proceso de extrusión provee un método práctico para:

- a) Producir una variedad sin límites de perfiles de superficies paralelas que cumplan casi cualquier requerimiento de diseño.
- b) Mejorar la microestructura y las propiedades físicas del material.
- c) Mantener tolerancias cerradas.
- d) Es un método económico.

a) Perfiles y tamaños producidos.

Las secciones extruidas pueden ser huecas o sólidas, delgadas o anchas, con un perfil simple o complicado, y de cualquier tamaño que soporte la capacidad de la prensa.

El tamaño de una extrusión es medido por el diámetro del círculo más pequeño que pueda encerrar la sección transversal.

b) Mejoramiento de propiedades.

La rápida y severa reducción del material bajo altas presiones en la extrusión en caliente refina la estructura de grano, minimiza la descarbonación y usualmente otorga propiedades mejoradas y uniformes al producto extruido.

c) Mantener tolerancias.

Las tolerancias que son mantenidas en la extrusión en caliente dependen primeramente del material a trabajar, del tamaño y la geometría de la pieza, de la prensa y de las herramientas usadas.

Asociaciones como la de Aluminio, el Consejo de Extrusores de Aluminio y la Asociación Internacional del Magnesio publica estándares dimensionales.

Las tolerancias para extrusión en caliente del acero o titanio generalmente están en un rango de  $\pm 0.015$ " a  $\pm 0.062$ " (0.38 a 1.57mm).

d) Método económico.

El proceso de extrusión compite con muchos otros procesos de metal formado, incluyendo maquinado, soldadura, laminado, fundición, forja. Con regularidad, la extrusión es el único método posible a usar.

-Maquinado: La producción de piezas largas de metal a una sección transversal determinada es casi siempre más costosa por maquinado que por extrusión. Con el maquinado los costos aumentan, dado que cada pieza adicional requiere, prácticamente, la misma cantidad de tiempo y trabajo, y las pérdidas de material resultantes de la producción son bastante considerables.

Las figuras 1 y 2 muestran cómo con la extrusión se pueden eliminar maquinados posteriores a un proceso de fabricación tal como laminado o colada. Las secciones de aluminio pueden ser extruidas con tolerancias exactas sin que sean necesarios maquinados posteriores.



FIGURA 1.1

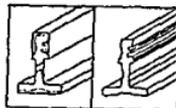


FIGURA 1.2

Ventajas del proceso de extrusión contra maquinado.

- Soldadura: La fabricación de perfiles por soldadura es también costosa; el costo de producir individualmente los componentes a soldar puede ser alto, y el costo de la soldadura no decrece mucho con los requerimientos de alto volumen. En algunos casos, el costo de las montaduras necesarias para la soldadura es mayor que el costo de un dado de extrusión.

Las figuras 3 y 4 muestran una pieza que requiere la unión de varias secciones laminadas. La misma pieza puede ser producida por una sola extrusión, eliminando costos de uniones o soldaduras. Muchas secciones se pueden reducir en peso produciéndolas por extrusión.



FIGURA 1.3

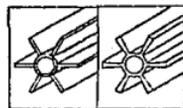


FIGURA 1.4

#### Ventajas de la extrusión contra la soldadura

- Laminación: Para los requerimientos de una pequeña producción, el costo de un tren de laminación y su ajuste a la producción puede ser la mayor parte del costo del producto.

En algunos casos, el costo del herramental de extrusión puede ser nominal y los costos de ajuste para extruir un producto generalmente son menores que aquellos para laminar un producto similar.

Por consiguiente, la extrusión es ideal para órdenes pequeñas de elementos no estandarizados. Con la extrusión los cambios pueden ser hechos al diseño del producto con un costo que no es significativo; sin embargo, estos cambios en laminado o en otros procesos de conformado pueden ser bastante caros.

La figura 5 muestra una ventaja sobre el laminado. La de la izquierda está hecha por laminación y la de la derecha por extrusión, cambiando el diseño.



FIGURA 1.5

Ventajas de la extrusión sobre la laminación

-Fundición: El uso de la fundición en arena nos produce piezas que puede requerir un extenso terminado antes de poder ser usadas. Sin embargo la extrusión nos proporciona superficies con un terminado uniforme y con un control dimensional relativamente cerrado. El costo de los moldes para fundición se eleva más rápidamente que para los dados de extrusión cuando la complejidad de la pieza aumenta.

La figura 6 muestra que, cuando se requieren piezas pequeñas de sección uniforme pero en cantidades grandes, se puede usar una sección extruida y luego hacer los cortes, en lugar de otros métodos como colada en arena o forjado por impacto, que requerirían hacer pieza por pieza.

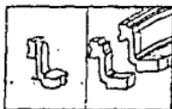


FIGURA 1.6

Ventajas de la extrusión contra la fundición

Existen muchas secciones de aluminio que son diseñadas para ensamblar unas con otras o también para incluir otro material en ellas tal como vidrio. Las figuras 7 a la 9 muestran distintos ensambles. En este caso la extrusión aventaja a cualquier otro método de fabricación y casi todas las formas para ensamble de aluminio se producen por extrusión.



FIGURA 1.7

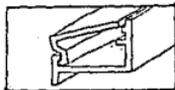


FIGURA 1.8

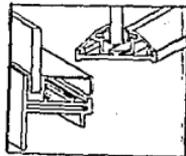


FIGURA 1.9

Ventajas de la extrusión en el ensamble

#### 1.4. LIMITACIONES DE LA EXTRUSION.

Existe una gran diversidad de imperfecciones que pueden presentar los perfiles extruidos, de éstos el más característico es conocido como "defecto de extrusión", adicional a este existen también problemas por la heterogeneidad del producto, agrietamiento, ampollas y rayas.

Estos defectos pueden tener su origen en el lingote, en imperfecciones del herramental o en las condiciones del proceso.

A. Heterogeneidad: Esta se puede deber a las diversas condiciones que presenta el lingote durante el proceso. Lo anterior se refleja en variación y tamaños no uniformes del grano a lo largo del eje principal. Dicha problemática se presenta por diversos orígenes, entre los que se pueden mencionar: el material no fluye ordenadamente, la deformación que sufre el lingote no es uniforme, e inadecuadas velocidades de extrusión.

B. Rayas: Se pueden deber a un mal acabado del dado, por la lubricación inadecuada o por una excesiva velocidad del proceso. Se caracterizan por ser paralelas a la dirección de la extrusión.

C. Ampollas: Son aquellas sopladuras que aparecen en el perfil y cuyo origen está en los gases adquiridos por el metal en su proceso de fusión o también a las grasas presentadas en el contenedor o en la misma superficie del lingote. Los poros del equipo se manifiestan en forma de depresiones periféricas ligeras y estrechas, perpendiculares al eje de extrusión.

D. Grietas: El agrietamiento o resquebrajamiento transversal de la sección extruida es un defecto que se presenta en extrusión directa fundamentalmente, esto es causado normalmente por temperaturas demasiado elevadas (cercanas a las de fusión), aunque también se puede tener el mismo efecto por la velocidad excesiva y altos coeficientes de fricción, lo que se traduce en un incremento de la temperatura del lingote.

E. Defecto de extrusión: Se caracteriza por la presencia de discontinuidades internas provenientes de las zonas superficiales del lingote, las cuales están sucias u oxidadas.

Por la forma en que se presenta el flujo del material, una vez que se ha extruido aproximadamente  $2/3$  del lingote la superficie de este pasa a formar la zona interior del perfil.

Para evitar lo anterior será necesario descartar el 30% del lingote o bien emplear un cojín de apoyo (falso lingote) de diámetro inferior a la cámara; con auxilio de éste se forma una cáscara o calavera mediante la cual se elimina la superficie oxidada. (Figura 1.10)

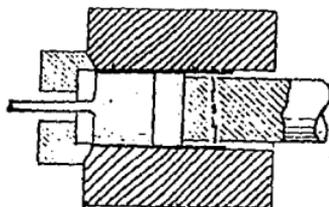


FIGURA 1.10

Formación de la calavera 'S'

## 1.5. METODOS DE EXTRUSION.

Los procesos de extrusión pueden ser clasificados con base en la manera en que se desarrollan, obteniéndose dos grupos principales:

- A. Extrusión directa
- B. Extrusión indirecta

Siendo la extrusión directa la más común.

Otra clasificación, aunque poco común, es en base a la temperatura a la que se realiza el proceso, quedando comprendidas como:

- C. Extrusión en caliente
- D. Extrusión en frío.

Existe otro método de extrusión llamado "Extrusión hidrostática" la cual usa tanto lingotes fríos como calientes.

#### A. Extrusión Directa:

En este caso el metal extruido fluye en la misma dirección que el pistón. Se considera entonces que el lingote se desplaza con respecto a la cámara de compresión durante el proceso, dando como resultado que la presión sea función del lingote. (figura 1.11)

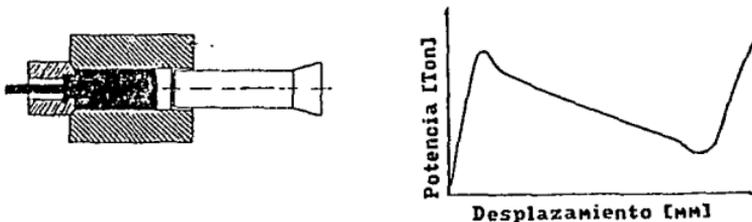


FIGURA 1.11

Extrusión directa y gráfica de presión contra longitud del lingote

#### Descripción del proceso:

Un lingote previamente calentado se empuja a una cámara de compresión por el ariete, para facilitar el proceso se deberá colocar entre el lingote y ariete un falso lingote o cojín. Al entrar en contacto el lingote con el dado primero se recalca, ajustando su diámetro al del contenedor, lo cual se produce sin que se presente material por la boquilla. Una vez alcanzada la máxima presión (presión de extrusión), el lingote comienza a fluir a través del dado, dando como resultado una disminución en la presión.

La extrusión directa es por mucho, el método más común de extrusión, pero tiene algunas desventajas, dado que la superficie total del lingote debe deslizarse a través de las paredes del contenedor, una parte de la carga se ocupa en vencer la fricción.

#### B. Extrusión indirecta:

En la extrusión indirecta, el lingote se mantiene estacionario en relación al contenedor, mientras el dado es empujado dentro del lingote.

El metal fluye en dirección opuesta a la del movimiento del pistón. Al no existir movimiento relativo entre la pared del contenedor y el techo, la carga de extrusión no es función del lingote, además de ser sensiblemente menor que para la extrusión directa.

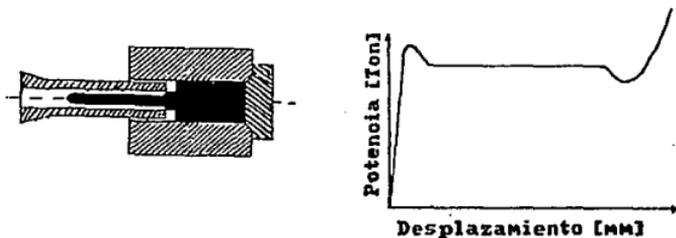


FIGURA 1.12

Extrusión indirecta y gráfica de presión contra longitud del lingote

Debido a las características del proceso éste tendrá limitaciones, requiriendo además de un herramental más complicado, lo cual restringe entonces su campo de aplicación.

Sin embargo podemos mencionar las siguientes ventajas de la extrusión indirecta.

1. Una reducción del 25 al 30% de la fuerza requerida por la extrusión directa.
2. Bajando la temperatura del techo se pueden lograr mayores velocidades de extrusión.
3. La longitud del techo está limitada únicamente por la longitud y rigidez del contenedor, en lugar de requerimientos de fuerza.
4. La vida de la herramienta aumenta, especialmente la del contenedor, dado a la ausencia total de fricción.

### C. Extrusión en caliente:

Tanto el proceso directo como el invertido se realizan en condiciones de temperatura y velocidades de deformación tales que no se presenta endurecimiento. La presión requerida es menor y la única desventaja es el control dimensional del producto.

#### Temperatura de extrusión:

Se considera que es del orden de 2/3 de la temperatura de fusión en [°K] la velocidad de extrusión esta determinada por el material a extruir y las características del equipo empleado.

### D. Extrusión en frío:

Se diferencia porque la temperatura de extrusión es abajo de la de recristalización. Por lo que el proceso es esencialmente de trabajo en frío (endurecimiento por deformación).

Como ventajas de este proceso podemos mencionar un ahorro importante en costo, mejora de las propiedades físicas, tolerancias cerradas, ahorro de energía y eliminación de problemas de contaminación.

### E. Extrusión hidrostática:

En la extrusión hidrostática, el lingote está rodeado por un líquido presurizado (250 Kpsi) que actúa en todas las superficies del tocho excepto donde toca la entrada del dado.

Así como en la extrusión indirecta, virtualmente no existe fricción entre el tocho y las paredes del contenedor.

Limitar en forma apreciable la fricción hace posible el uso de dados con semiángulos de entrada muy pequeños ( $\alpha$ ), minimizando así el trabajo redundante de deformación.

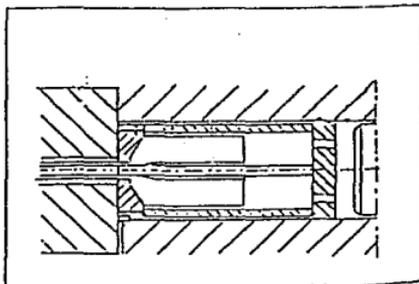


FIGURA 1.13

Principio de la extrusión hidrostática

En la extrusión hidrostática la temperatura no es una variable crítica, puede ser tanto fría como caliente; de hecho, la única limitante de la temperatura es la estabilidad del fluido empleado.

Las ventajas de la extrusión hidrostática son:

- La ausencia de fricción reduce los requerimientos de fuerza.
- Permite altas reducciones en velocidades mayores al bajar la temperatura del tocho.
- En la extrusión hidrostática de aleaciones de aluminio de alta dureza se están siendo producidas de 50 a 100 veces más rápido que si fueran extruídas directamente en caliente.

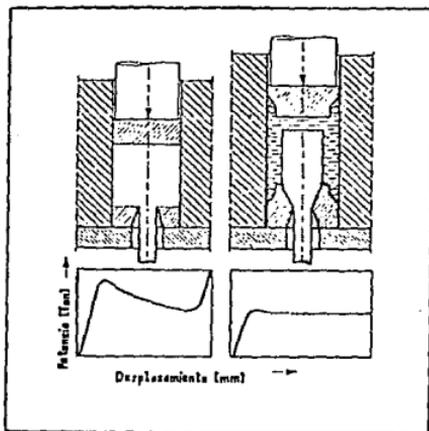


FIGURA 1.14

Comparación entre la extrusión directa contra la extrusión hidrostática, de acuerdo a la presión requerida contra el desplazamiento del tocho.

## CAPITULO II

### BASES DE DISEÑO

## BASES DE DISEÑO

### 2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.

La producción del tubo céscol de plomo por extrusión en la máquina existente se puede separar en tres partes principales:

- a) Preparación de la materia prima.
- b) Extrusión del producto.
- c) Acabado del producto.

#### A. Preparación de la materia prima:

El plomo usado como materia prima se puede comprar en lingotes u obtener por compra de desperdicio; este último representa la mayor parte del plomo empleado. El hecho de utilizar plomo de desperdicio, nos trae problema, pues trabajando con plomo sucio la vida del horno disminuye por sedimentación en las paredes. Se deben cuidar los gases de salida del horno aunque tenemos beneficios, sobre todo en el caso del económico, los costos bajan y como el céscol no requiere de una composición específica, no importa que el material sea heterogéneo.

La preparación de la materia prima se inicia al comprar el material, después este material se introduce al horno, donde se funde llevando el plomo hasta los  $400^{\circ}\text{C}$ . El horno, que es de tipo crisol, tiene una descarga inferior la cual nos permite hacer una colada en un recipiente, el cual permite transportar el plomo hasta la máquina de extrusión.

La colada, el transporte y la alimentación a la máquina son hechos de forma manual con los consiguientes riesgos.

#### B. Extrusión del producto:

La alimentación del plomo se realiza llenando las cámaras de la máquina, una vez llenas se procede a comprimir el plomo, el cual debe tener una temperatura promedio de  $370^{\circ}\text{C}$ .; la compresión se realiza por medio de dos pistones hidráulicos.

El material comienza a fluir por la matriz hasta llegar al madril, donde se unen los flujos.

El material sube hasta el cuello de la matriz donde se encuentra en estado plástico, al salir por el dado tiene la forma de tubo.

Variando las velocidades de extrusión de uno a otro émbolo se logran hacer los dobleces al tubo céspeol, esto se logra aplicando mayor presión a uno de los pistones hidráulicos, este pistón tendrá mayor desplazamiento y por lo tanto el material de ese lado se moverá con mayor rapidez.

Al unirse los flujos en el mandril, uno de los flujos tendrá una componente mayor de velocidad, esta componente que se traduce en flujo másico se mantiene hasta la salida del dado, aquí es donde el flujo másico provocará que el material salga más rápido de un lado del tubo, provocando así el doblez requerido. La forma del tubo, así como sus dimensiones se muestran en el plano 1-00-01.

Una vez que el tubo tiene los dobleces deseados se procede a cortarlo y enviarlo a enfriar. La extrusión se lleva a cabo de una forma manual; el control de presiones de los pistones lo realiza el operador moviendo una palanca, donde controla las velocidades de los cilindros.

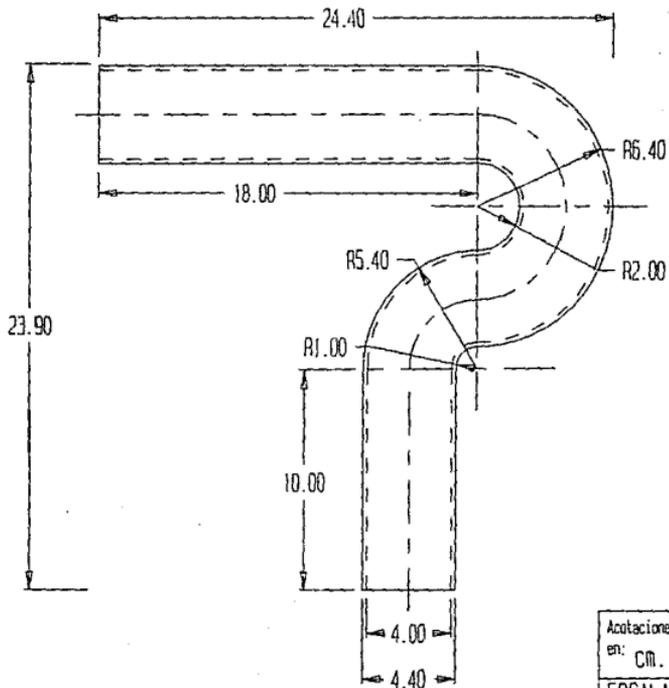
Este control es puramente subjetivo, pues el operador se basa en su experiencia para llevarlo a cabo.

El corte del tubo es manual también: un obrero toma el tubo con un guante de asbesto y con la otra lo corta usando un serrucho, una vez cortado lo lleva a la parte delantera de la máquina, dejándolo en el suelo para que se enfríe.

**C. Acabado del producto:**

Para poder tener el tubo céspol terminado se llevan a cabo las siguientes operaciones:

1. **Despunte:** Se cortan las puntas para dejarlo a la medida estándar.
2. **Limado:** Se liman y abocardan las puntas.
3. **Barrenado:** Se hace un barreno en la parte inferior , para después colocar la tapa de limpieza.
4. **Tapa inferior:** Se coloca la hembra de la tapa en el barreno.
5. **Soldadura:** Con un quemador de gas se funde el plomo contiguo a la tapa para fijarla.
6. **Empacado:** Se monta el macho de la tapa y se empaca en cajas de cartón.



Acotaciones en: cm.	DESCRIPCION DEL TUBO CESPOL	Dibujo: Juan Luis Flores
		Diseño: Juan Luis Flores
ESCALA	UNIVERSIDAD PANAMERICANA	Revisó: Dr. Piotr Rusek
		Numero de Dibujo 1-00-01

Como se puede apreciar, los principales problemas del proceso son:

- Un proceso manual en su mayoría, lo cual disminuye notablemente la seguridad del obrero.
- Al ser manual la alimentación nos provoca pérdidas, aunque el plomo se recicle, se pierde el combustible, el tiempo de máquina y el trabajo empleado.
- Al ser manual el control de la extrusión, se pierde confiabilidad del proceso y homogeneidad del producto.
- Este proceso es semi-continuo, cada vez que se termina el plomo del contenedor se para la máquina, se regresa el pistón y se alimenta. Esto nos lleva a una baja producción (mil tubos diarios) lo cual nos quita competitividad, siendo que el mercado requiere de una rápida respuesta a los cambios de demanda, y con esta máquina no se tiene.

## 2.2. DESCRIPCION DE LA MAQUINA EXTRUSORA.

Para dar un mejor entendimiento de las partes que forman a la máquina extrusora, al igual que la labor que realizan, se explicarán las partes al mismo tiempo que se lleva a cabo la extrusión.

La máquina cuenta con dos cilindros  $C_1$  y  $C_2$  hidráulicos, los cuales tienen acoplados a cada pistón un vástago  $V_3$  y  $V_4$ . Los vástagos  $V_3$  y  $V_4$  se introducen en los contenedores  $P_5$  y  $P_6$ , los cuales mantienen en su cámara el plomo fundido a  $360-370^{\circ}\text{C}$ .

Al accionar los cilindros hidráulicos el deslizamiento provoca el flujo másico, el plomo llega a la matriz  $P_7$  donde se encuentra en el mandril o émbolo  $P_8$ , alrededor del cual sube hasta el cuello de la matriz  $P_9$ , en la parte superior del cuello se encuentra el dado  $P_{10}$  del cual sale el tubo formado.

El mandril y el dado tienen como finalidad dar la forma al tubo; el mandril se encuentra sostenido por el dado en la parte superior, y por una tuerca  $P_{11}$  en la parte inferior, además cuenta con tres tornillos centradores  $P_{12}$ , los cuales soportan lateralmente al mandril, además de centrarlo con respecto al dado.

La máquina trabaja en caliente, por lo cual cuenta con quemadores de gas  $P_{13}$ , los cuales mantienen a la máquina a  $360^{\circ}\text{C}$ .

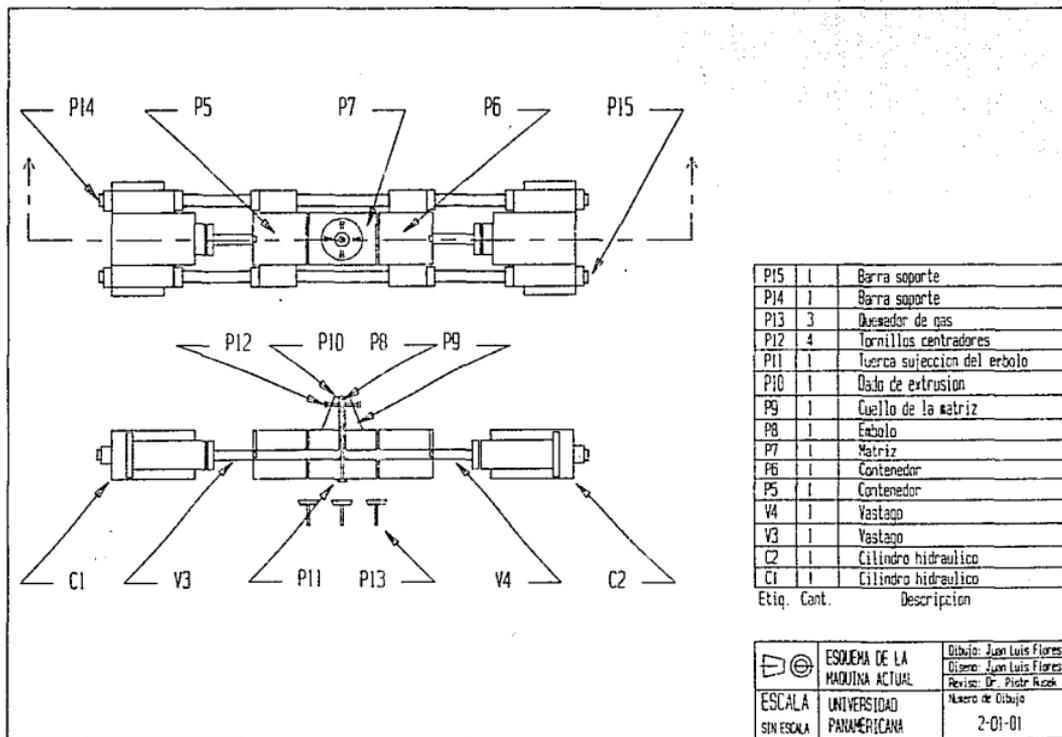
Los cilindros, los contenedores y la matriz se encuentran sostenidos por dos barras P<sub>14</sub> y P<sub>15</sub> las cuales se encuentran roscadas para fijar las piezas anteriores por medio de tuercas.

En síntesis, la máquina tiene como accesorios principales:

A)	1 matriz	P7
B)	2 contenedores	P5 y P6
C)	2 barras soportes de la máquina	P14 y P15
D)	2 cilindros hidráulicos	C1 y C2
E)	2 vástagos	V3 y V4
F)	5 quemadores de gas	P13

A. Las partes de la matriz son:

- 1) cuerpo de la matriz.
- 2) cuello de la matriz.
- 3) dado de extrusión.
- 4) mandril o émbolo.
- 6) guías.
- 7) tornillos centradores.
- 8) postizo del mandril.
- 9) tuerca sujección del mandril.



1) Cuerpo de la matriz.

El cuerpo de la matriz permite que ésta se soporte por las cejas que tiene a los lados que encajan con los contenedores; no se requiere de un empaque porque el material mismo hace un empaque.

La cámara de plomo fundido continúa hasta esta parte de la matriz.

2) Cuello de la matriz.

Se requiere una estructura más alta que el resto de la máquina para que ésta se encuentre a distinta temperatura (la máquina se calienta en la parte inferior). Este cuello da la forma al tubo al igual que la diferencia de temperatura nos permite que el plomo vaya de un estado líquido a un estado plástico, para terminar en un sólido cuando sale al exterior.

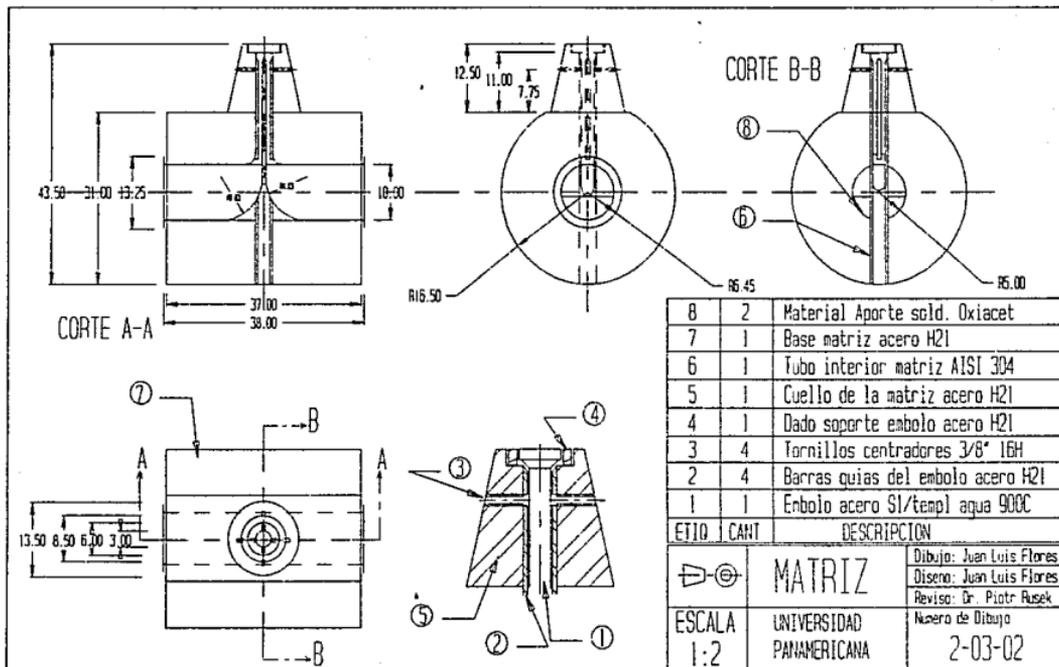
3) Dado de extrusión.

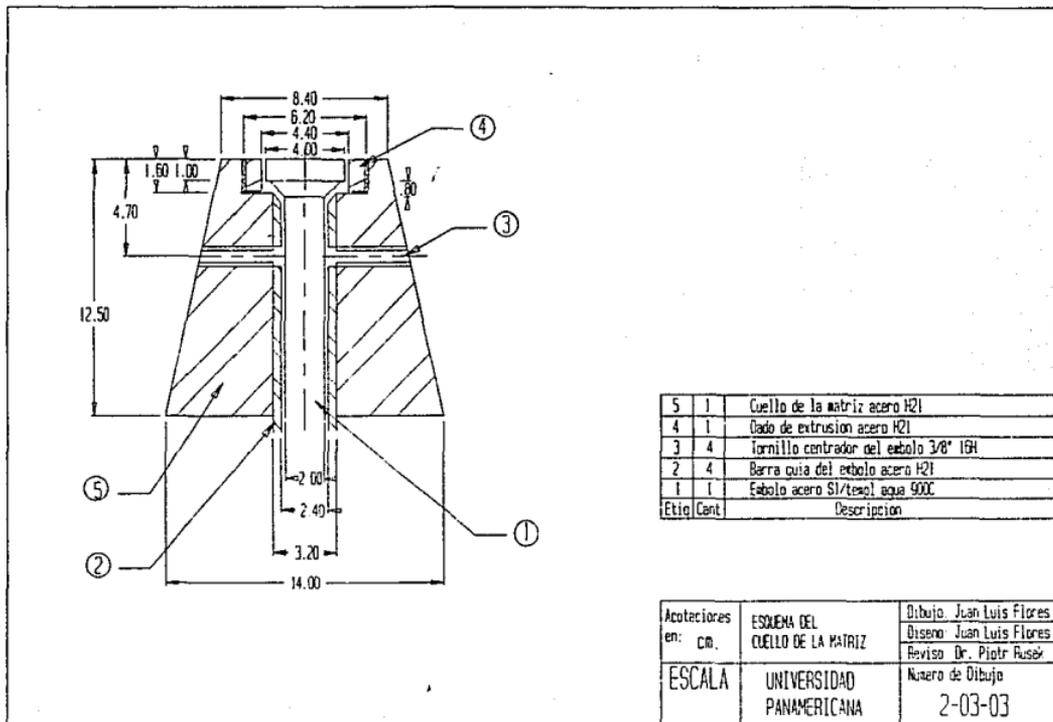
El dado de extrusión nos da la forma del tubo, además de soportar superiormente al mandil.

El dado tiene su parte exterior roscada y entra así al cuello de la matriz.

4) Mandril o embolo.

El mandril o embolo es una barra cuya geometría forma al tubo interiormente. Podemos distinguir cuatro partes en la geometría del mandril:





a. Parte del postizo:

Es la parte inferior del émbolo, este entra en el postizo atravezando el cuerpo de la matriz para terminar roscado, esta parte roscada sale de la matriz y con una tuerca se soporta inferiormente.

b. Cuerpo:

Esta zona tiene al plomo en contacto y va desde donde acaba el postizo, atraviesa la cámara y sube por el cuello hasta poco antes de que acaben las guías. Está en contacto con las guías y con los tornillos centradores.

c. Soporte del mandril:

Su superficie en diagonal provoca que sólo cuatro puntos toquen las guías en las cuales se soporta el émbolo;de esta manera el flujo de plomo pasa a los lados de las guías.

d. Zona de unión o forma:

El flujo del plomo, al pasar por las guías se encuentra dividido; esta zona provoca que el material se vuelva a unir formando una superficie uniforme, para después formar el tubo con la pared interna del dado y la externa de la zona de unión del émbolo.

#### 5) Guías.

Las guías son cuatro barras pequeñas que están en contacto con el mandril para evitar esfuerzos laterales y ayudar a centrarlos. Dos guías salen desde el postizo y las otras dos comienzan en la parte superior de la cámara.

#### 6) Tornillos centradores.

En la parte superior del cuello de la matriz se encuentran cuatro tornillos que nos ayudan a centrar el émbolo con respecto al dado.

#### 7) Postizo del émbolo.

El postizo es un tubo cuyo diámetro interior es igual al diámetro de la zona inferior del émbolo.

El postizo tiene como finalidad dos cosas: dar rigidez al émbolo en la parte inferior y guiar el flujo de plomo a la zona superior.

Para guiar el flujo de plomo al tubo del postizo se le recubre con material de aporte de soldadura de oxiacetileno dándole la siguiente forma:

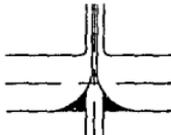
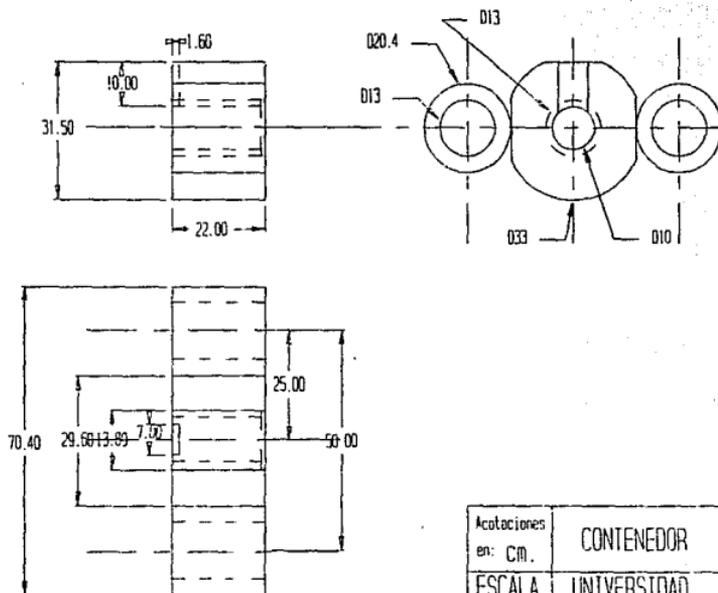


figura 2.1

Forma dada al aporte de soldadura para guiar el flujo.



Anotaciones en: Cm.	CONTENEDOR	Dibujo: Juan Luis Flores
		Diseño: Juan Luis Flores
ESCALA	UNIVERSIDAD PANAMERICANA:	Revisó: Dr. Piotr Busek
		Número de Dibujo 2-02-04

8) Tuerca de sujección del mandril.

Es una tuerca que proporciona presión para dar rigidez al émbolo, y mantenerlo en su posición.

B) Las partes del contenedor son:

- 1) cuerpo del contenedor
- 2) barreno de alimentación
- 3) soportes del contenedor

1) Cuerpo del contenedor.

El cuerpo es el que propiamente guarda la cámara y sostiene a la matriz por la ceja que tiene en uno de sus extremos.

El cuerpo es un cilindro con los costados rebajados para poder ubicar los soportes del contenedor y rebajado en la parte inferior para limitar el barreno de alimentación.

2) Barreno de alimentación.

Más que un barreno, son tres cortes que forman un rectángulo. Para alimentar la cámara se saca el vástago hasta poco antes de salir completamente del cuerpo, de esta manera se cierra el rectángulo y el plomo se alimenta.

3) Soporte del contenedor.

Los soportes son dos cilindros con barrenos de diámetro igual a las barras soporte. Dichos cilindros se soldan al cuerpo del contenedor y con la soldadura se rellena el espacio entre uno y otro.

Los soportes están en contacto con las tuercas, las cuales transmiten el movimiento oprimiendo la matriz entre los contenedores.

C) Barras soporte de la máquina.

Son dos barras de 13 cm de diámetro y 3.70 m. de largo. Tiene tres zonas con rosca ACME y las zonas intermedias tienen un diámetro de 11.5 cm.

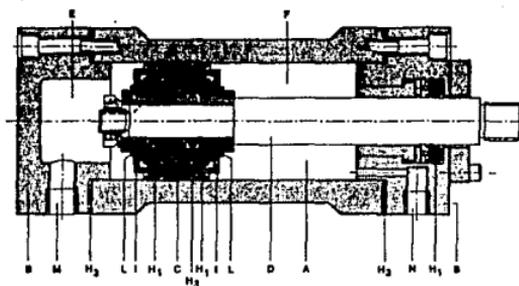
Las zonas roscadas de los extremos son para fijar los cilindros hidráulicos y en la zona intermedia se encuentran los contenedores y la matriz.

Para mantener la máquina a la altura necesaria se usan bancos de acero en los cilindros hidráulicos y soportes entre los cilindros y la máquina.

D) Cilindros hidráulicos.

Los cilindros hidráulicos usados son de doble efecto utilizan como fluido aceite con una presión de operación de 5000 psi. Los cilindros tienen a sus lados dos soportes que los mantienen en las barras-soporte. En la parte exterior del pistón se coloca el vástago, el cual será el que penetre a la cámara de los contenedores y lleve a cabo la extrusión.

Se muestra un esquema del cilindro en el cual no se profundizará por estar fuera del alcance de este trabajo.



A	Cilindro	M	Comunicación c/válvula
B	Cabeza de cilindro.	N	Comunicación c/válvula
C	Pistón	H1	Junta (fija y móvil)
D	Mango	H2	Junta (fija y fija)
E	Cámara	H3	Junta cilindro y cabeza
F	Cámara	I	Anillo retención
L	Anillos elásticos Seeger		

FIGURA 2.2  
Esquema cilindro hidráulico

#### G. Sistema hidráulico:

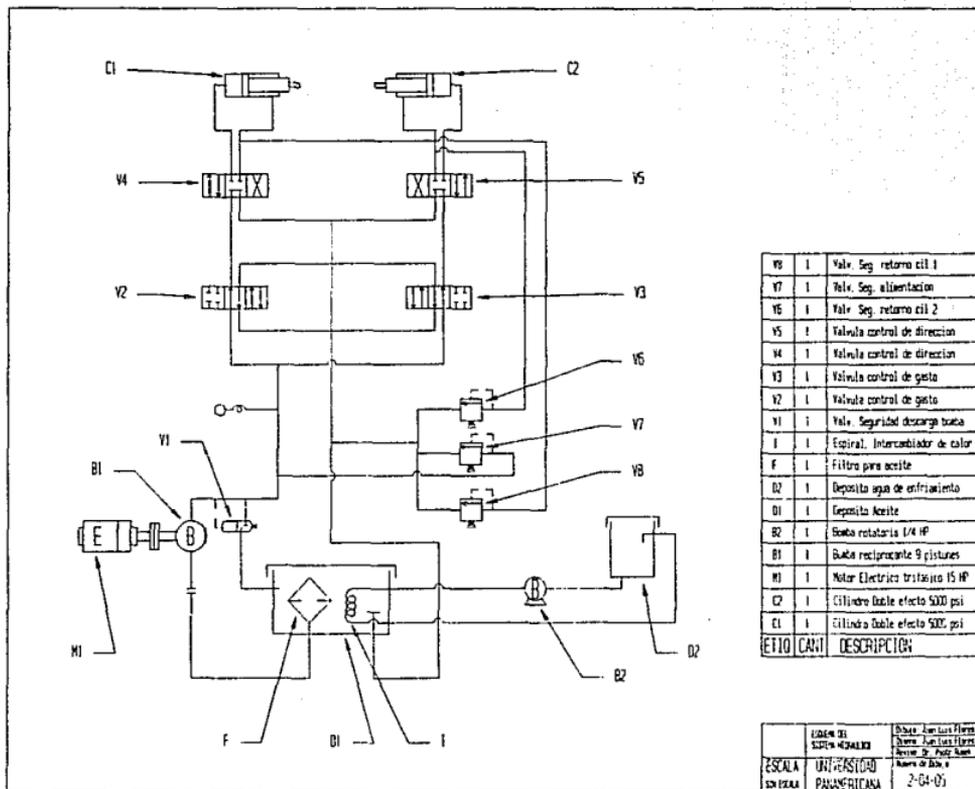
El sistema hidráulico es la parte que proporciona la fuerza a la máquina. Este sistema se describirá siguiendo su esquema para poder comprender la función de cada elemento.

Un motor eléctrico ( $M_1$ ) de 15 H.P. acciona la bomba reciprocamente de 9 pistones ( $B_1$ ) la cual se alimenta de un depósito ( $D_1$ ) de aceite el cual pasa por un filtro (F) antes de llegar a la bomba, dicho depósito se encuentra enfriado por una espiral (I) para mantener la viscosidad del aceite.

A la salida de la bomba se cuenta con una válvula de seguridad ( $V_1$ ), la cual protege a la descarga de la bomba, en caso de alguna falla en las válvulas posteriores, esta válvula se abre permitiendo el paso del flujo hacia el depósito de aceite ( $D_1$ ).

El flujo se divide en dos corrientes (A y B) siendo el flujo A el que proporciona la presión a los cilindros.

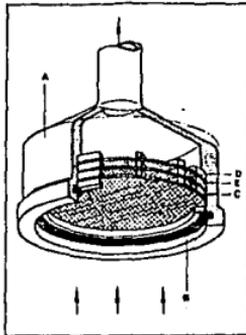
El flujo A se divide en dos, cada flujo hacia las válvulas ( $V_2$  y  $V_3$ ) de control de gasto, estas válvulas nos permiten controlar el gasto lo cual se traduce en la velocidad de extrusión, gracias a estas válvulas se pueden lograr los dobleces del tubo.



El flujo B se dirige hacia la válvula de seguridad (V7), esta válvula protege a la tubería de cualquier desperfecto en las válvulas (V2 y V3), si cualquiera de estas válvulas llegara a fallar y se obstruya el paso de fluido, la válvula (V7) se abrirá al llegar la tubería a una cierta presión, enviando el flujo hacia el tanque de aceite.

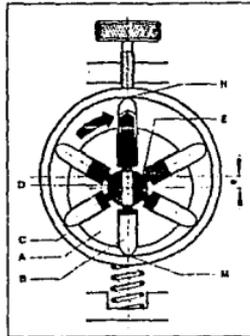
A la salida de las válvulas (V2 y V3), el flujo llega a las válvulas (V4 y V5) que controlan el sentido del flujo en las tuberías que llegan a los cilindros, estas válvulas nos permiten controlar el sentido del desplazamiento de los cilindros, pudiendo así extruir o regresar los cilindros para alimentar los contenedores.

Las válvulas (V6 y V8) son válvulas de seguridad que evitan que se sature la tubería en el retorno del flujo, la válvula (V6) protege a la tubería de retorno del cilindro derecho, en caso de que falle la válvula (V5) y se bloquee el paso del flujo de retorno, esta válvula se abrirá al llegar a una cierta presión enviando el flujo hacia el tanque del aceite. De la misma manera la válvula (V8) protege la tubería de retorno del cilindro izquierdo de la falla de la válvula (V4).



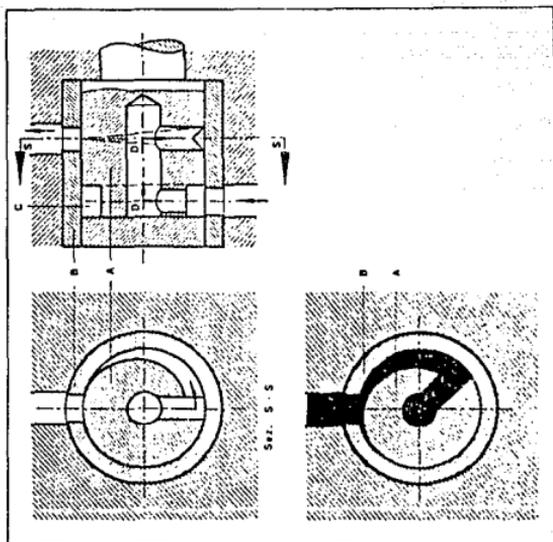
- A Cuerpo cilíndrico
- B Anillo elástico, retiene anillos y rejillas
- C Rejilla metálica de malla grande
- D Rejilla metálica de malla fina
- E Rejilla metálica de malla intermedia

FIGURA 2.3  
Esquema filtro de aceite



- A Tambor, impulsado por motor eléctrico
- B Pistones, giran con el tambor
- C Anillo excéntrico al tambor
- D Cámara aspiración
- E Cámara impulsión
- H Punto muerto interior del pistón
- N Punto muerto exterior del pistón

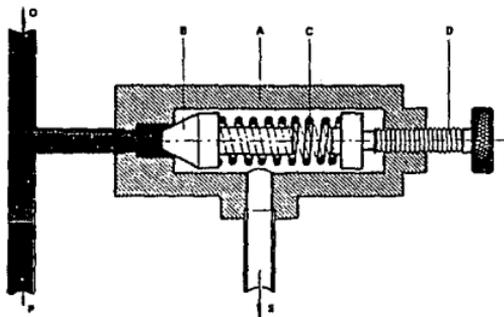
FIGURA 2.4  
Esquema bomba recíprocante



- A Cuerpo válvula
- B Cilindro
- C Cámara anular
- D Flechas de recorrido

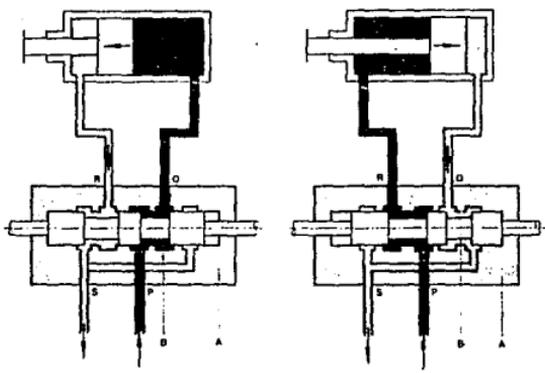
FIGURA 2.5

Esquema válvula de regulación de caudal



- A Cuerpo cilíndrico
- B Pistón pequeño
- C Muelle
- D Tornillo regulador de tensión

FIGURA 2.6  
Esquema válvula de seguridad



- |   |                   |   |                   |
|---|-------------------|---|-------------------|
| A | Cuerpo hueco      | B | Vástago           |
| P | Entrada de fluido | S | Salida de fluido  |
| R | Flujo transitorio | Q | Flujo transitorio |

FIGURA 2.7  
Esquema distribuidor de movimiento rectilíneo

Para resumir el sistema hidráulico se presenta una tabla de cada elemento con su clave y su función para su pronta localización en el esquema y mejorar su comprensión.

<u>Clave</u>	<u>Elemento</u>	<u>Función</u>
C1	<u>Cilindro doble efecto</u>	Cilindro izquierdo, al desplazarse provoca que el plomo dentro del contenedor se comprima y fluya para producir la extrusión.
C2	<u>Cilindro doble efecto</u>	Cilindro derecho.
M1	<u>Motor 15 H.P.</u>	Motor trifásico, impulsa a la bomba rotatoria (B1).
B1	<u>Bomba reciprocante.</u>	Bomba reciprocante de 9 pistones, eleva el aceite hasta una presión de 5000 psi.

Clave	Elemento	Función
D1	<u>Depósito de Aceite</u>	Depósito de aceite, almacena 250 Lt. de aceite Heavy Duty.
F	<u>Filtro</u>	Filtra el aceite para evitar que partículas lleguen al sistema.
I	<u>Espiral intercambiador</u>	Intercambiador de calor, mantiene el aceite a temperatura ambiente asegurando la viscosidad.
Vi	<u>Válvula de seguridad</u>	Protege la descarga de la bomba, en caso de que la presión entregada sea mayor a la permitida, se abre la válvula enviando el flujo al depósito.

Clave	Elemento	Función
V <sub>2</sub>	<u>Válvula control</u>	Controla el gasto que se envía al cilindro izquierdo, gracias a esta válvula se controla la velocidad de extrusión.
V <sub>3</sub>	<u>Válvula control</u>	Igual que V <sub>2</sub> controla al cilindro derecho.
V <sub>4</sub>	<u>Válvula control sentido</u>	Controla el sentido del flujo que llegue al cilindro izquierdo, permite que avance o retroceda el cilindro.
V <sub>5</sub>	<u>Válvula control sentido</u>	Similar a la válvula V <sub>4</sub> pero controla al cilindro derecho.

Clave	Elemento	Función
V <sub>6</sub>	<u>Válvula seguridad</u>	Protege la tubería al retorno del flujo del cilindro derecho, en caso de falla en V <sub>3</sub> , esta válvula se abre permitiendo el retorno del flujo al depósito.
V <sub>7</sub>	<u>Válvula seguridad</u>	Protege la tubería de alimentación, en caso de falla de cualquiera de las válvulas V <sub>2</sub> , V <sub>3</sub> , V <sub>4</sub> y V <sub>5</sub> ésta válvula se abre para enviar el flujo de alimentación de regreso al depósito.
V <sub>8</sub>	<u>Válvula seguridad</u>	Similar a la válvula V <sub>6</sub> pero protege el retorno del cilindro izquierdo en caso de falla de la válvula V <sub>4</sub> .

<u>Clave</u>	<u>Elemento</u>	<u>Función</u>
B2	<u>Bomba rotatoria</u>	Bomba de 1/4 H.P. envía un flujo de agua al sistema de enfriamiento.
D2	<u>Depósito de agua</u>	Provee de agua al sistema de enfriamiento.

#### H. SISTEMA DE ENFRIAMIENTO.

Para mantener la viscosidad del aceite se mantiene a una temperatura ambiente, para lo cual el sistema de enfriamiento actúa.

Se cuenta con una pequeña bomba rotatoria (B2) de 1/4 Hp la cual toma agua del depósito (D2) y la envía al tanque del aceite , el agua pasa por un serpentín (I) realizando la transferencia de calor para después regresar al depósito (D2).

### 2.3. PROBLEMAS DE LA MAQUINA EXTRUSORA

Observando la máquina en operación y analizando sus fallas, se han detectado los siguientes problemas que deben de considerarse en las bases del diseño.

#### A. Con respecto a sus parámetros de operación:

-El sistema hidráulico maneja altas presiones (5,000 - 6,000 psi) por lo que deben efectuarse revisiones periódicas de las juntas y empaques pues se tienen pérdidas muy altas.

-No se debe permitir el uso de mangueras en lugar de tuberías, pues se corre mucho peligro por las presiones utilizadas.

-Los materiales empleados en el émbolo deben ser los adecuados ya que las altas presiones y la temperatura empleada producen fatiga a los aceros comunes provocando su fractura.

-Un caso particularmente en la selección del material es el mandril o émbolo, el cual esta sometido a las fuerzas de tensión debido al flujo de material y a una temperatura considerable. Al fluir el plomo fundido alrededor del émbolo de un material rico en carbón, se presenta el fenómeno de descarburización el cual debilita al émbolo hasta que se rompe.

-Se debe escoger un material apropiado al trabajo realizado. Más adelante se detallarán los materiales de los elementos de la máquina.

B. Con respecto a la alimentación:

-La alimentación es bastante ineficiente, pues el tratar de meter un chorro de plomo fundido a un rectángulo sin derramar es bastante difícil.

-En la alimentación se pierde la mayor parte de material y tiempo de proceso; tiempo que se traduce en producción.

C. Con respecto a los cilindros hidráulicos:

-La mayor parte de los paros son debido a fallas en los empaques de los cilindros, dichos empaques deben ser adecuadamente seleccionados para una óptima duración.

-En el momento de realizar este trabajo los empaques tienen una vida de dos meses cuando deben durar más de un año.

D. Con respecto a la máquina:

-La temperatura usada, las presiones requeridas y una operación en gran parte manual provocan serios peligros para los obreros.

-El uso de guantes de asbesto no es suficiente para tener un lugar seguro de trabajo. Para la operación de esta máquina los obreros deben contar con un equipo de seguridad el cual consiste en:

1. guantes de asbesto hasta codo.
2. casco
3. peto.
4. botas con casquillo
5. polainas de cuero
6. lentes de seguridad.
7. máscara de gas.

Este punto se tratará con mayor profundidad en el manual de seguridad.

G. Con respecto al proceso:

-Durante el proceso actual se encuentra una situación de alto riesgo para el obrero: al realizar la alimentación en cada ciclo, el vástago se retira, se alimenta de plomo fundido y se introduce nuevamente el vástago, sin embargo al introducir el plomo fundido el aire se queda atrapado al fondo, cuando se comienza a comprimir dicho aire debe salir y lo hace por el espacio entre la cámara y el vástago. Dicho aire se encuentra con una alta presión y al salir arrastra partículas de plomo fundido con el consecuente riesgo de una quemadura.

Actualmente este riesgo lo aminoran colocando una lámina sobre el vástago para cuidar que el plomo no salga, sin embargo, los obreros olvidan en ocasiones colocar dicha lámina con el respectivo riesgo.

El uso de un motor, dos bombas, una serie de válvulas, codos y una longitud de tubería considerable provocan que el sistema hidráulico sea la principal causa de la baja confiabilidad de la máquina.

Todo lo anterior son las bases de diseño para este trabajo.

## CAPITULO III

### TEORIA Y CALCULOS DE LA EXTRUSION

## TEORIA Y CALCULOS DE LA EXTRUSION

Para obtener la máxima eficiencia del proceso es necesario tener plena conciencia de los fenómenos que se ven involucrados en éste, es por tal motivo que presentaremos la teoría general de la extrusión, primeramente aplicada a lingotes y al caso del plomo.

### 3.1. CARACTERISTICAS DEL FLUJO DEL MATERIAL.

Con la finalidad de conocer las características de flujo de un lingote metálico durante el proceso de extrusión, se han desarrollado muchos de los trabajos de investigación.

A principios de la década de los 50's Pearson publica su obra donde estudia el patrón de flujo del material el cual varía con el tiempo durante el ciclo.

Pearson obtuvo una cantidad considerable de información al extruir lingotes cilíndricos de estaño, previamente seleccionados, en los cuales inscribían un patrón o red de alambre, a través de la distorsión de dicha red se valúa entonces el valor de la deformación.

De los experimentos realizados se identificaron tres patrones de deformación, en donde la diferencia de éstos se atribuyó a la fricción entre el lingote y la cámara.

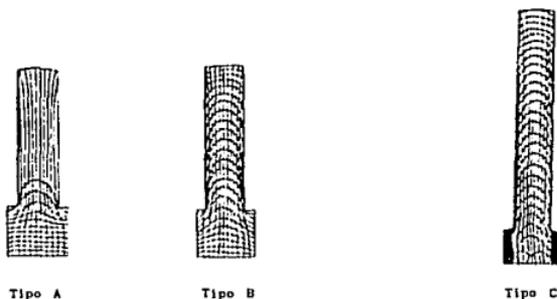


FIGURA 3.1

El tipo A se presenta cuando no existe fricción entre el contenedor y el material, por lo tanto es típico de extrusión invertida. En este caso las líneas perpendiculares a las del flujo sufren distorsión solo hasta que se encuentren en la cercanía del dado, una vez en la vecindad de éste, la superficie del lingote es deformada y la región central fluye rápidamente.

El tipo B se caracteriza por la presencia de una componente de fricción de limitada influencia.

El tipo C muestra el patrón de flujo cuando existe fricción sin deslizamiento entre el lingote y el contenedor. En este caso se forma una zona muerta a partir de la placa de apoyo del contenedor y se extiende hasta el extremo opuesto del lingote, y el flujo ocurre por cortante a lo largo del plano sub-superficial del lingote. Este patrón es típico de la extrusión directa de materiales tales como aluminio y cobre.

### 3.2. ANALISIS DEL PROCESO DE EXTRUSION.

El proceso de extrusión se caracteriza por las grandes deformaciones. Un parámetro descriptivo de esta deformación es el cociente de extrusión (R), el cual se define como el cociente de las áreas del producto inicial entre el producto extruído o el área de la cámara y el área del dado.

$$R = \frac{\text{Sección transversal del lingote}}{\text{Sección transversal del producto extruído}}$$

$$R = A_{TL} / A_{TP} \quad (3.1)$$

$$R = \frac{\text{Area transversal de la cámara}}{\text{Area transversal del dado}}$$

$$R = A_c / A_d \quad (3.2)$$

Mediante este parámetro se definen las características del proceso; en la práctica generalmente toma los valores entre 10 y 60, aunque normalmente es mayor a 12, ya que valores entre 4 y 10 heredan la estructura de fundición.

En el caso de extrusión caliente se ha llegado a valores extremos de 40 para el acero y 400 para aluminio.

Velocidad del pistón. El pistón es movido por un fluido en movimiento que tiene un gasto  $Q$  ( $m^3/s$ ) y el cual actúa sobre el área del pistón  $A_p$  ( $m^2$ ). Entonces la velocidad del pistón vendrá dada por:

$$V_p = \frac{Q}{A_p} \quad [m/s] \quad (3.3)$$

Para una prensa dada, el área del pistón es una constante, por lo que la velocidad del pistón depende sólo del gasto entregado a éste.

Volumen de extrusión. El gasto o volumen por minuto de material  $G$ , que va pasando dentro de la cámara, depende de la velocidad del pistón  $V_p$  y del área transversal de la cámara  $A_c$  en la cual está contenido el material a extruir y viene dado por la siguiente relación:

$$G = (V_p)(A_c) \quad [m^3/s] \quad (3.4)$$

Como es de suponerse, esta cantidad de material que en un segundo pasa por una sección de la cámara, es la misma cantidad que en un segundo pasa por la sección del dado, y, por consiguiente, puede ser usada para la velocidad de extrusión.

Velocidad de extrusión. La velocidad de extrusión a la cual emerge la sección depende del área del dado  $A_d$  y del volumen de extrusión  $G$ , la cual viene dada por:

$$V_e = \frac{G}{A_d} \quad [m/s] \quad (3.5)$$

Con la relación (3.5) también podemos obtener  $G$  a partir de  $V_e$  y  $A_d$ :

$$G = (V_e)(A_d) \quad [m^3/s] \quad (3.6)$$

Igualando las ecuaciones (3.4) y (3.6) obtenemos:

$$(V_p)(A_c) = (V_e)(A_d) \quad (3.7)$$

Despejando la velocidad de extrusión:

$$V_e = \frac{(V_p)(A_c)}{A_d} \quad [m/s] \quad (3.8)$$

De la ecuación (3.8) podemos ver que la velocidad de extrusión depende únicamente de la velocidad del pistón si

permanecen constantes las áreas de la cámara y el dado, lo cual siempre sucede durante el tiempo de extrusión de una determinada sección.

Sustituyendo la ecuación (3.2) en (3.8)

$$V_e = (V_p)(R) \quad (3.9)$$

Lo cual simplifica la ecuación en base a lo dicho anteriormente. Sin embargo si sustituimos la ecuación (3.3) en (3.9) la velocidad de extrusión queda como:

$$V_e = \frac{(Q)(R)}{A_p} \quad (3.10)$$

Con la ecuación (3.10) podemos observar que permaneciendo constantes las áreas, entonces la velocidad de extrusión es función únicamente del gasto entregado al pistón.

#### Cálculo de la presión de extrusión.

Para obtener una primera aproximación se considera únicamente el trabajo de deformación del lingote.

$$\delta W = \sigma_o V \delta c \quad (3.11)$$

$$\delta c = \delta A/A \quad (3.12)$$

Sustituyendo (3.12) en (3.11)

$$\delta W = \sigma_0 V \delta A/A \quad (3.13)$$

El trabajo desarrollado por el pistón es:

$$\delta W = p \delta V \quad (3.14)$$

Integrando (3.13) y (3.14) e igualando donde el volumen desplazado por el pistón es igual al extruido, entonces:

$$p V = \sigma_0 V \ln(R)$$

Por lo que:

$$p = \sigma_0 \ln(R) \quad (3.15)$$

La presión evaluada en (3.15) es la que se necesita aplicar teóricamente al lingote para deformarlo. En ésta no se deben tomar en cuenta los efectos de la fricción y del trabajo redundante; en atención a dichas condiciones se le puede adicionar un factor ( $\alpha$ ) mayor que la unidad, por lo tanto queda:

$$p_c = \alpha \sigma_0 \ln(R) \quad (3.16)$$

El desarrollo anterior es demasiado simplista, razón por la cual es conveniente elaborar un análisis que tome en cuenta la fricción. En el caso de extrusión directa se

pregunta la fricción entre el contenedor y el lingote, además de la existente entre el material y el dado. De acuerdo con la siguiente figura se va a extruir un lingote de área ' $A_0$ ' y de longitud ' $l_0$ ' de un material con esfuerzo de cedencia ' $\sigma_0$ ', tomando un elemento de ancho  $\delta x$  y considerando el equilibrio en la dirección de extrusión:

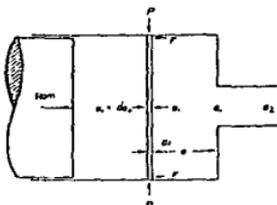


FIGURA 3.2

Fuerzas presentes durante la extrusión, considerando fricción

Háciendo  $\Sigma F_x = 0$

$$(\sigma_x + \delta\sigma_x)A_0 - \sigma_x A_0 - Fr = 0 \quad (3.17)$$

La fuerza de fricción ' $Fr$ ' es:

$$Fr = \mu P$$

Donde:

$$P = p\phi\pi\delta x \quad (3.18)$$

De las ecuaciones (3.17) y (3.18) obtenemos:

$$\partial \sigma_x \frac{\pi \phi}{4} \mu r \phi \pi \partial \alpha = 0 \quad (3.19)$$

Por lo tanto:

$$\partial \sigma_x = 4 \mu \frac{r}{\phi} \partial x \quad (3.20)$$

La condición de cedencia está dada por:

$$\sigma_x - p = \sigma_0 \quad (3.21)$$

De (3.20) y (3.21) se tiene:

$$\frac{\partial \sigma_x}{\sigma_x - \sigma_0} = 4 \mu \frac{\partial x}{\phi} \quad (3.22)$$

Integrando la ecuación (3.22) desde  $x = 0$  hasta  $x = l$  donde  $l =$  longitud del lingote.

$$\ln(\sigma_x - \sigma_0) - \ln(\text{cte}) = 4 \mu l / \phi \quad (3.23)$$

La ecuación (3.23) se puede reordenar y como  $\sigma_0$  es mucho menor que  $\sigma_x$  queda entonces:

$$\ln(\sigma_x) - \ln(\text{cte}) = 4 \mu l / \phi \quad (3.24)$$

$$\text{donde } \sigma_x = K e^{(4 \mu l / \phi)} \quad (3.25)$$

Para evaluar la constante es conveniente evaluar para el límite inferior, esto es para  $l = 0$ ; Para esta situación o si la fricción es despreciable, el esfuerzo máximo para deformar el lingote es el de cedencia del material, razón por la que:

$$K = \sigma_0 \quad \therefore \quad \sigma_x = \sigma_0 e^{(4 \mu l / \phi)}$$

Por lo que la máxima presión es:

$$\sigma_x = \sigma_0 e^{(4 \mu l / \phi)} \quad (3.25)$$

Ya que:  $e^x = 1 + x + \frac{x^2}{2!} + \dots + \frac{x^n}{n!}$

Cuando  $x \ll 1$   $e^x \approx 1 + K$

Por lo tanto:

$$\sigma_x = \sigma_0 (1 + 4 \mu l / \phi) \quad (3.26)$$

La ecuación (3.26) nos da la máxima presión ' $\sigma_x$ ' en función del esfuerzo de cedencia ' $\sigma_0$ ', de la fricción ' $\mu$ ', del diámetro ' $\phi$ ' y de la longitud del lingote ' $l$ '.

### 3.3. GENERACION DE LAS ECUACIONES DE PRESION.

En esta sección nos dedicaremos al estudio de la máquina en cuestión; para obtener una ecuación de la presión de extrusión se debe realizar el análisis por superposición; primero analizaremos la presión necesaria para llevar el plomo líquido hasta la salida del dado y después se analizará la presión requerida para que fluya el plomo en estado plástico en el dado.

#### A. Análisis de la presión necesaria para llevar el plomo líquido hasta la salida del dado.

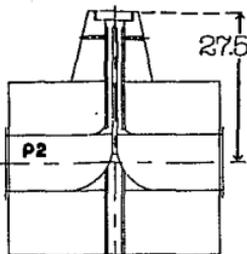


FIGURA 3.3

Esquema de la matriz

Tomando el esquema anterior como base y haciendo las siguientes definiciones:

$P_1$  = Presión atmosférica

$P_2$  = Presión de extrusión

$\rho$  = densidad del plomo ( 11.36 gr/cm<sup>3</sup> )

Analizando el plomo como un líquido durante esta etapa:

definiendo:  $\Delta P = P_2 - P_1$

$\Delta P = \rho g \Delta z$

Siendo  $\Delta z = 27.5$  [cm] y considerando  $P_1 = 0$

$$P_2 = \rho g \Delta z$$

$$P_2 = (11.36) (9.807) (27.5) (10^{-2}) (10^6) (10^{-3}) (1) \\ [g/cm^3] [m/s^2] [cm] [m/cm] [cm^3/m^3] [Kg/g] [\frac{N \cdot s^2}{Kg \cdot m}]$$

$$P_2 = 0.3063 \times 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$P_2 = 0.3063 \text{ Bar}$$

B. Análisis de la presión necesaria para fluir el plomo plástico en el dado.

En esta sección analizaremos el plomo en estado plástico, estado en que se encuentra en el cuello de la matriz; se desarrollará una ecuación que nos relacione la presión de extrusión contra los parámetros de la máquina.

Haciendo un análisis de fuerzas en el cuello de la matriz:

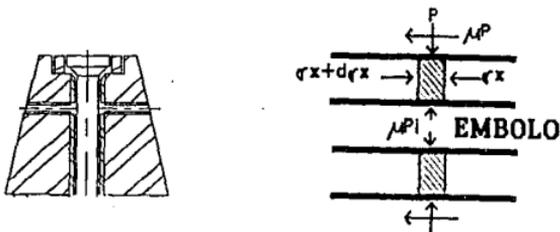


FIGURA 3.4

Esquema de las fuerzas existentes en el cuello de la matriz

$P$  = Presión que se ejerce sobre la cámara.

$\sigma_x$  = Presión aplicada.

$\phi_0$  = Diámetro externo.

$\phi_1$  = Diámetro interno.

$\mu_0$  = Coeficiente de fricción externo.

$\mu_1$  = Coeficiente de fricción interno.

Haciendo  $\sum F_x = 0$

$$(\sigma_x + \delta\sigma_x) \frac{\pi(\phi_o^2 - \phi^2_1)}{4} - \sigma_x \frac{\pi(\phi_o^2 - \phi^2_1)}{4} - \mu_o P \pi \phi_o \delta x - \mu_1 P \pi \phi_1 \delta x = 0 \quad (3.27)$$

#### CONSIDERACIONES

$$\text{Criterio de fluencia: } \sigma_x - P = \sigma_o \quad (3.28)$$

$$\mu_1 = \mu_o = \mu$$

Dejando las ecuaciones (3.27) y (3.28) en función de  $\sigma_x$ .

$$P = \sigma_o - \sigma_x \quad (3.29)$$

$$\frac{\pi(\phi_o^2 - \phi^2_1) \delta\sigma_x}{4} - \mu P \pi \delta x (\phi_o + \phi_1) = 0 \quad (3.30)$$

Sustituyendo (3.29) en (3.30) y agrupando obtenemos:

$$\frac{\pi(\phi_o^2 - \phi^2_1) \delta\sigma_x}{4} - \mu(\sigma_x - \sigma_o) \pi \delta x (\phi_o + \phi_1) = 0$$

$$\frac{(\phi_o^2 - \phi^2_1) \delta\sigma_x}{4} - \mu(\sigma_x - \sigma_o) \delta x (\phi_o + \phi_1) = 0$$

$$\frac{\delta\sigma_x}{\sigma_x - \sigma_o} = \frac{4\mu(\phi_o + \phi_1) \delta x}{\phi_o^2 - \phi^2_1} \quad (3.31)$$

Integrando la ecuación (3.31) con x desde 0 hasta L:

$$\int \frac{\partial \sigma_x}{\sigma_x - \sigma_0} = \int_0^L \frac{4\mu(\phi_0 + \phi_1)\delta x}{\phi_0^2 - \phi_1^2}$$

$$\ln(\sigma_x - \sigma_0) = \frac{4\mu(\phi_0 + \phi_1)L}{\phi_0^2 - \phi_1^2}$$

$$\sigma_x = \sigma_0 e^{\frac{4\mu(\phi_0 + \phi_1)L}{\phi_0^2 - \phi_1^2}} \quad (3.32)$$

La ecuación (3.32) nos entrega el valor teórico de la presión necesaria para hacer fluir el plomo plástico en el cuello de la matriz.

De esta ecuación se desprende la ecuación de la fuerza de fricción interna  $F_f$ :

$$F_f = \mu(\sigma_x - \sigma_0)\pi\phi_1 L \quad (3.33)$$

Esta fuerza de fricción es la que debe soportar el émbolo de la matriz.

### 3.4. CALCULOS DE LA PRESION.

Datos:

-Longitud  $L = 1.5$  cm.

-Fricción  $\mu = 0.3$

-Esfuerzo de cedencia  $\sigma_0 = 2$  Kg/cm<sup>2</sup>

-Diámetro exterior.  $\phi_e = 3.0$  cm.

-Diámetro interior.  $\phi_i = 2.0$  cm.

sustituyendo en (3.32)

$$\sigma_x = \sigma_0 e^{\frac{4\mu(\phi_e + \phi_i)L}{(\phi_e^2 - \phi_i^2)}}$$

$$\sigma_x = (2) e^{\frac{4(0.3)(3+2)(1.5)}{(3^2 - 2^2)}}$$

$$\sigma_x = 12.099 \text{ Kg/cm}^2 = 11.85 \text{ Bar}$$

Sumando las presiones obtenidas en 3.2.1 y 3.2.2

$$P = 0.30637 \text{ Bar} + 11.85 \text{ Bar}$$

$$P = 12.15637 \text{ Bar}$$

Calculando la fuerza de fricción:

$$F_f = \mu(\sigma_x - \sigma_o)\pi\phi L$$

$$F_f = (0.3)(12.099 - 2)\pi(2)(1.5)$$

$$F_f = 28.55 \text{ Kg.}$$

Cálculos para el émbolo:

Dado que la fuerza aplicada en tensión al émbolo se de 28.55 Kg. y el  $\phi$  menor es de  $\phi_{\min} = 1.6$  cm. obtenemos que:

$$\sigma = \frac{28.55(9.8)}{\pi(1.6/2)^2} = 139.17 \text{ Kg/cm}^2$$

Esta es la fuerza que soportará el émbolo durante la extrusión.

## CAPITULO IV

### REDISEÑO DE LA EXTRUSORA DE PLOMO

## REDISEÑO DE LA EXTRUSORA DE PLOMO

El rediseño de la máquina extrusora se realizó básicamente sobre las siguientes bases:

- a) Aumento de la capacidad.
- b) Aumento de la confiabilidad
- c) Aumento de la seguridad

El rediseño propuesto debe tener mayor capacidad, mayor confiabilidad y una mucho mayor seguridad en la operación.

El concepto general del rediseño es el siguiente:

Cambiando la operación de la máquina de un modo semi-continuo a un modo CONTINUO se aumentará notablemente la capacidad de la máquina, igualmente se obtiene un aumento en la seguridad al eliminar las explosiones por burbujas de aire atrapadas.

Al cambiar la forma de proporcionar potencia de un sistema hidráulico a un sistema mecánico se obtiene un aumento en la confiabilidad y una alternativa para hacer viable la automatización.

#### 4.1 ALIMENTADORES

Una de las principales restricciones para convertir el proceso a un modo continuo, es el de la alimentación, ésta también debe ser de un modo continuo; para lograrlo se presentan dos alternativas:

- a) Una descarga continua de plomo líquido del horno de la máquina.
  
- b) Hacer uso de un tanque que almacene plomo líquido suficiente por el tiempo entre descarga y descarga.

La primera opción fue desechada por su alto costo por lo que se desarrolló un tanque de almacenamiento que cumpliera con las siguientes características:

-Un volumen efectivo de 1.5 veces el volumen del contenedor actual (1.7 litros).

-Fácil acceso y facilidad de descarga del plomo fundido.

Con las anteriores bases se diseñó un alimentador el cual tiene un volumen de 3.14 litros; dicho alimentador se encuentra dividido en dos partes: la parte cilíndrica y la parte cónica.

La parte cilíndrica tiene las siguientes dimensiones:

$\phi$  exterior = 22 cm.

$\phi$  interior = 20 cm.

altura = 10 cm.

La parte cónica tiene las siguientes dimensiones:

$\phi$  exterior superior = 22 cm.

$\phi$  interior superior = 20 cm.

$\phi$  exterior inferior = 6 cm.

$\phi$  interior inferior = 4 cm.

altura = 8 cm.

El alimentador se encuentra apoyado por un lado sobre el contenedor, y por el otro en una placa con la geometría adelante detallada.

Dicha placa cuenta con un cilindro donde se aloja el disco de bronce que sostiene el tubo del gusano.

Para mejorar la entrada de plomo se hará un desbaste en el contenedor sobre el área de la alimentación, dicho desbaste se especifica en el plano de ensamble del alimentador; igualmente al contenedor se le aplicará un galvanizado para evitar que el plomo se adhiera.

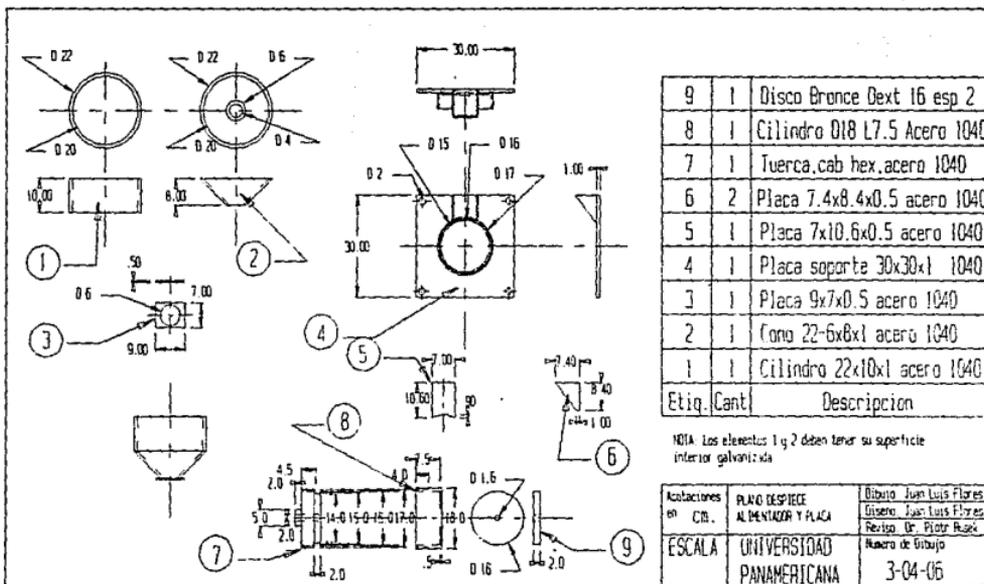
Para especificar dimensiones y materiales del alimentador y accesorios se presentan los siguientes planos:

Plano de despiece alimentador y placa. ( 3-04-06 )

Se especifica detalladamente el alimentador y la placa de apoyo.

Contenedor rediseñado. ( 3-02-07 )

Se presentan los desbastes y trabajos a realizar en el contenedor.





#### 4.2. DISEÑO DEL GUSANO.

Una vez que se cuenta con una alimentación continua, el problema se limita a convertir el proceso a una forma continua de extrusión.

Para aumentar la confiabilidad de la máquina, se analizaron las principales fallas, encontrándose los siguientes equipos como principales causantes de paros de producción:

- Cilindros hidráulicos (empaques)
- Bomba reciprocante

Sin embargo, se encontraron fallas que si bien no producen paros directamente, influyen en la eficiencia de la máquina:

- Sistema de enfriamiento del aceite.
- Pérdidas en tuberías por fugas.
- Válvulas en mal estado.

En síntesis, el 90% de los problemas se tienen en el sistema hidráulico, además de que el trabajar con los cilindros hidráulicos nos limitará el proceso a una forma semi-continua.

El sustituir el sistema hidráulico por un sistema más confiable y que nos permita convertir la extrusión a un proceso continuo para mejorar la capacidad de producción es la meta de este trabajo.

El sistema que sustituirá al hidráulico es un sistema mecánico consistente en un gusano de alimentación, dicho gusano se encuentra soportado por las ecuaciones y cálculos del capítulo V.

Cada contenedor contará con su propio gusano, independiente uno del otro; por las restricciones de capacidad del gusano, el contenedor debe desbastarse internamente para alojar al gusano apropiado, el desbaste se especificará más adelante.

El gusano a emplear transportará el plomo de la alimentación hasta la matriz dentro del contenedor; los apoyos de dicho gusano se encuentran en el exterior del contenedor, en la placa de apoyo del alimentador donde se aloja un disco de bronce, y el otro apoyo en el interior del contenedor. Gracias al soporte interno, el cual queda definido en los planos, dicho soporte también cuenta con un disco de bronce el cual soportará al tubo del gusano.

Dado que el contenedor tiene una longitud de 27cm. y el gusano tendrá cerca de 2.5 vueltas, y para mejorar el

transporte del plomo dentro de la matriz, la sección final del gusano se encontrará en el interior de la matriz, esta sección será de un diámetro menor que la que se encuentra dentro del contenedor.

El gusano, al igual que sus soportes, se especifican en planos más adelante.

Para efectos de ensamble, la matriz de la máquina debe sufrir un desbaste en cada uno de sus extremos, dicho desbaste permitirá que el acoplamiento con los contenedores sea lo más cerrado posible, para que de esta manera el plomo forme un sello propio; igualmente el desbaste permitirá un flujo uniforme de plomo al interior de la matriz.

Los materiales a emplear, así como las dimensiones, las tolerancias, y los maquinados se detallan en los siguientes planos:

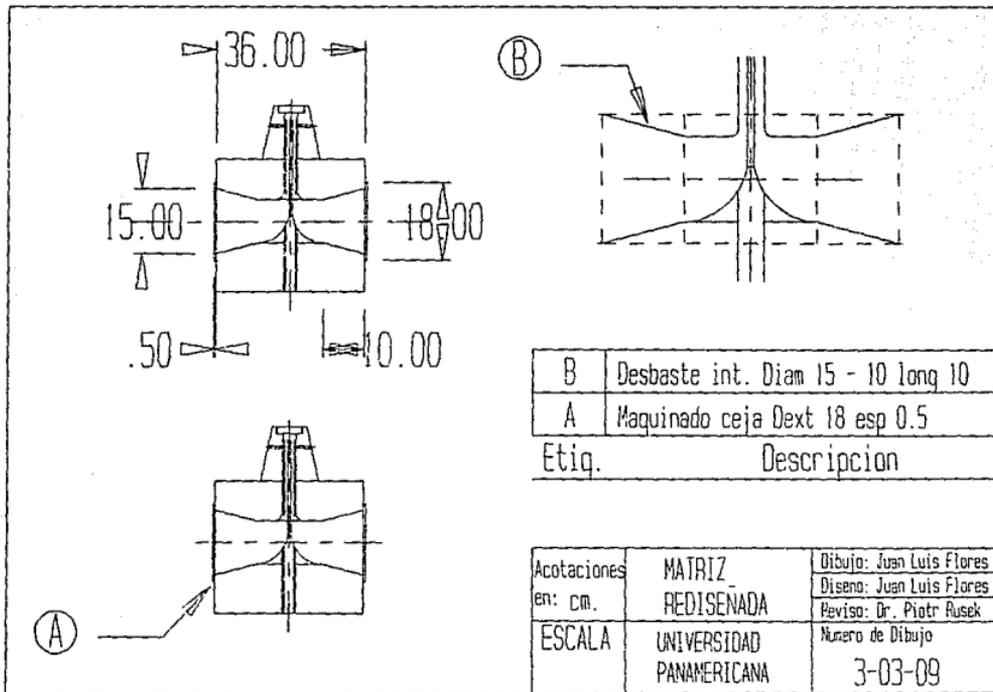
-Gusano. ( 3-04-08 )

Se presentan las partes del gusano y sus soportes a detalle.

-Matriz rediseñada. ( 3-03-09 )

Se presentan los desbastes a realizar sobre la matriz original.





B	Desbaste int. Diam 15 - 10 long 10
A	Maquinado ceja Dext 18 esp 0.5
Etig.	Descripcion

Acotaciones en: cm.	MATRIZ REDISEÑADA	Dibujo: Juan Luis Flores
		Diseño: Juan Luis Flores
ESCALA	UNIVERSIDAD PANAMERICANA	Reviso: Dr. Piotr Rusek
		Numero de Dibujo 3-03-09

### 4.3. EQUIPO AUXILIAR.

Para la localización de el motor y el reductor de velocidad para cada gusano se requirió de un estudio, dado que la ubicación de este equipo debe cumplir con los siguientes requisitos:

- a) Facilidad de acceso para su mantenimiento.
- b) Facilidad de acoplamiento y alineación con el gusano.
- c) Facilidad de movimiento en caso de mantenimiento del gusano, cambio de matriz o mantenimiento de la máquina.

Los requisitos a) y b) son bastante claros, sin embargo, el requisito c) se debe desarrollar más a fondo. Ya que el contenedor y la matriz actual tienen la facilidad de desplazarse ya sea para limpieza o para cambio de matriz, la máquina rediseñada debe ser capaz de guardar dicha característica, lo que igualmente facilitará el ensamble final de la máquina.

Para cumplir con los requisitos anteriores, el motor y el reductor se encontrarán sobre una plataforma sujeta de las barras-soporte de la máquina. El motor y el reductor se encontrarán alineados con el gusano.

La plataforma que soporta estos equipos será independiente del resto de la máquina, podrá deslizarse sobre las barras-soporte y para su fijación se utilizarán las tuercas empleadas para fijar los cilindros hidráulicos.

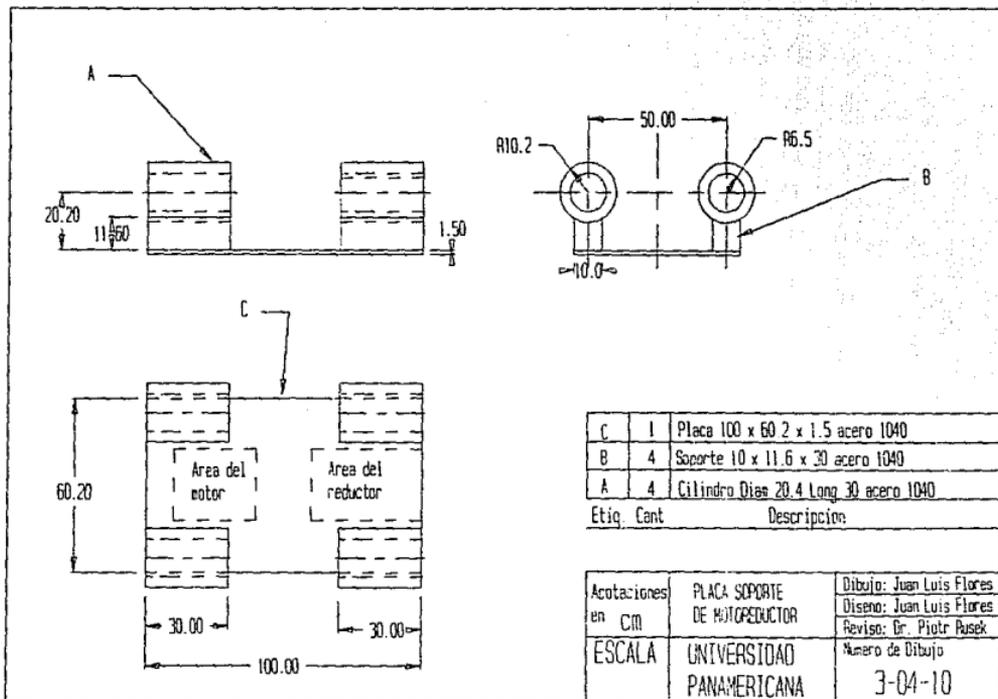
La plataforma, así como los acoplamientos requeridos se presentan a detalle en el siguiente plano.

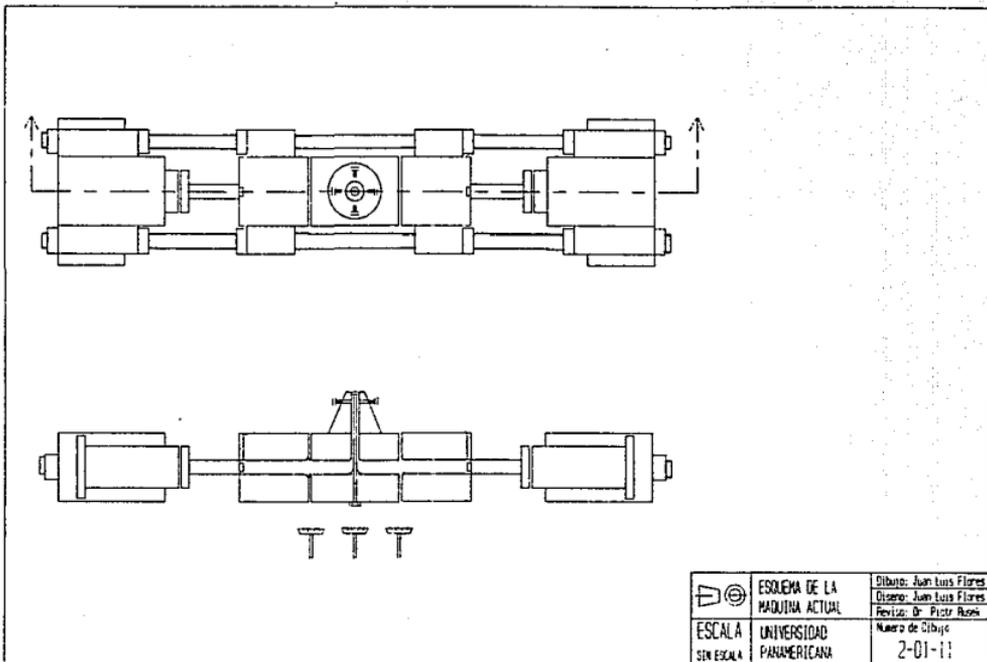
-Placa soporte motorreductor. ( 3-04-10)

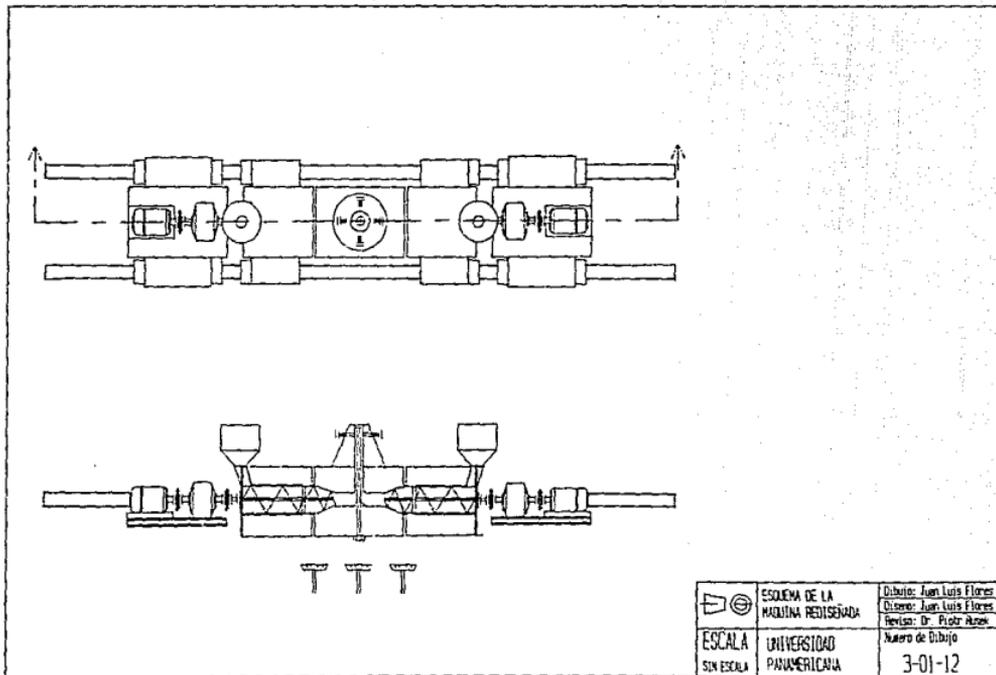
Para facilitar el entendimiento del rediseño de la máquina extrusora se presentan a continuación dos esquemas, el primero es el de la máquina como se encuentra actualmente, y el segundo es un esquema de como será la máquina después de las reformas propuestas.

-Esquema máquina actual. ( 2-01-11 )

-Esquema máquina rediseñada. ( 3-01-12 )







	ESQUEMA DE LA	Dibujó: Juan Luis Flores
	MÁQUINA REVISADA	Diseño: Juan Luis Flores
		Revisó: Dr. Piotr Rusek
ESCALA	UNIVERSIDAD PANAMERICANA	Número de Dibujo
SIN ESCALA		3-01-12

## CAPITULO V

### CALCULOS DEL SISTEMA REDISEÑADO

## CALCULOS DEL SISTEMA REDISENADO

### 5.1. PRESENTACION.

En el presente capítulo se darán las bases teóricas y los cálculos necesarios para sostener la propuesta de rediseño, dicha presentación tendrá la siguiente estructura:

#### 1. Conversión de presión a gasto.

En esta sección se hará un análisis teórico para concluir en una ecuación que nos permita conocer el gasto necesario para obtener la presión de extrusión.

#### 2. Cálculo del gusano.

Se presentarán las ecuaciones que definen el gusano, así como las diferentes opciones consideradas y las bases de diseño que se tomaron en cuenta para el gusano escogido.

### 3. Cálculos de la potencia y el motor.

Basados en las ecuaciones de potencia para un gusano, se presentan los cálculos y los resultados así como el equipo escogido.

### 4. Resumen de equipo.

Se presenta una lista del equipo rediseñado así como una breve descripción del mismo.

## 5.2. CONVERSION DE PRESION A GASTO.

Una vez conocida la presión de extrusión, se requiere conocer el gasto o flujo másico que producirá dicha presión, para poder conocer la capacidad necesaria del gusano a emplear.

Para generar dicha ecuación partiremos de la ecuación de Bernoulli:

$$(Z_1 - Z_2) + \frac{(P_1 - P_2)}{\gamma} + \frac{(V_1^2 - V_2^2)}{2g} = 0 \quad (5.1)$$

Haciendo Bernoulli en la matriz conforme la siguiente figura:

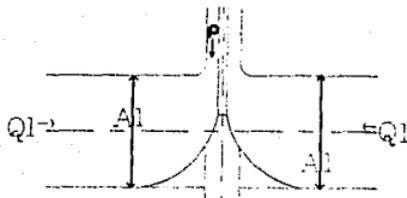


FIGURA 5.1  
Conceptos de la matriz para aplicar Bernoulli

Como la diferencias de alturas es mínima podemos considerar que  $Z_1 = Z_2$ , igualmente como  $P_2$  es la presión atmosférica podemos considerarla como  $P_2 = 0$  y como estamos calculando la presión donde se inicia la extrusión tomaremos la velocidad de salida como nula, esto es  $V_2 = 0$ , igualmente consideramos que estamos extruyendo con gastos iguales  $Q_1 = Q_2$ .

Por lo tanto la ecuación (5.1) queda reducida como:

$$\frac{P_1}{\gamma} = \frac{V_1^2}{2g} \quad (5.2)$$

Dado que los gastos son iguales  $Q_1 = Q_2$  se tomará el gasto en el cuello como  $2Q$ , donde el área transversal del cuello es  $A_1$ , podemos definir la velocidad  $V_1$  como:

$$V_1 = \frac{2Q}{A_1} \quad (5.3)$$

Sustituyendo la ecuación (5.3) en (5.2) obtenemos:

$$\frac{P_1}{\gamma} = \frac{(2Q/A_1)^2}{2g} \quad (5.4)$$

Despejando el gasto obtenemos la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{A_1}{2} \left( \frac{2P_1}{\rho} \right)^{1/2} \quad (5.5)$$

Usando la ecuación (5.5) con los siguientes datos:

$$A_1 = \pi \left( \frac{3^2 - 2^2}{4} \right) = 3.9269 \text{ cm}^2 = 3.9269 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\rho = 11360 \text{ kg/m}^3$$

$$P_1 = 11.85 \text{ Bar} = 11.85 * 10^5 \text{ N/m}^2$$

Obtenemos el gasto mínimo indispensable:

$$Q = \frac{3.92 * 10^{-4}}{2} \left( \frac{2(11.85 * 10^5)}{11360} \right)^{1/2}$$

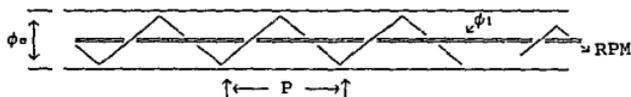
$$Q = 2.8359 * 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 10.209 \text{ m}^3/\text{hr}$$

### 5.3. CALCULOS DEL GUSANO.

Un gusano es un dispositivo que nos permite transportar materiales a través de una distancia horizontal o inclinada, esto lo realiza gracias a una rosca que se encuentra girando dentro de una arteza fija.

Para encontrar una ecuación que nos permita conocer la capacidad transportada por un gusano conociendo sus características principales partiremos del siguiente esquema:



$P$  = Paso del gusano  
 $\phi_i$  = Diámetro interior (tubo de soporte)  
 $\phi_o$  = Diámetro exterior  
 $RPM$  = Revoluciones por minuto a las que gira

FIGURA 5.2  
Características que definen un gusano

### A. Cálculo de la capacidad del gusano.

La capacidad de un gusano es el volumen que transporta por unidad de tiempo. Para calcular dicha capacidad nos basaremos en la figura 5.2 donde vemos que el área que mueve el gusano es la que se encuentra entre el diámetro exterior y el interior:

Area que mueve el gusano:

$$A_g = \pi \left( \frac{(\phi_e^2 - \phi_i^2)}{4} \right) \quad (5.6)$$

Para calcular el volumen desplazado por cada revolución, solo es necesario multiplicar esta área por el paso.

Volumen desplazado por revolución:

$$V_g = \pi \left( \frac{(\phi_e^2 - \phi_i^2)}{4} \right) P \quad (5.7)$$

Si a este volumen se le multiplica por las RPM tendremos el volumen desplazado por minuto, y multiplicando por 60 lo tendremos por hora, con lo cual conoceremos su capacidad.

Capacidad del gusano:

$$C_g = 60\pi \left( \frac{(\phi_e^2 - \phi_i^2)}{4} \right) P (RPM) \quad (5.8)$$

En nuestro proyecto en específico, tenemos la libertad de aumentar el diámetro exterior de nuestro gusano, podemos variar libremente el paso y las RPM; el diámetro interior queda definido como  $\phi_1=2\text{cm}$  el cual es el tubo a emplear.

Con los datos anteriores se tabularán y graficarán las capacidades del gusano haciendo las variaciones siguientes:

$\phi_e = 10, 13 \text{ y } 15 \text{ cm}$

Paso = 5, 10, 15 y 20 cm

RPM = 80, 100, 120, 140, 160, 180 y 200

B. Gráficas de posibles opciones.

Tabulación de los resultados:

Para un diámetro de 10 cm.				
RPM	PASO 5	PASO 10	PASO 15	PASO 20
80	1.80	3.61	5.42	7.23
100	2.26	4.52	6.78	9.04
120	2.71	5.42	8.14	10.85
140	3.16	6.33	9.50	12.66
160	3.61	7.23	10.85	14.47
180	4.07	8.14	12.21	16.28
200	4.52	9.04	13.57	18.09

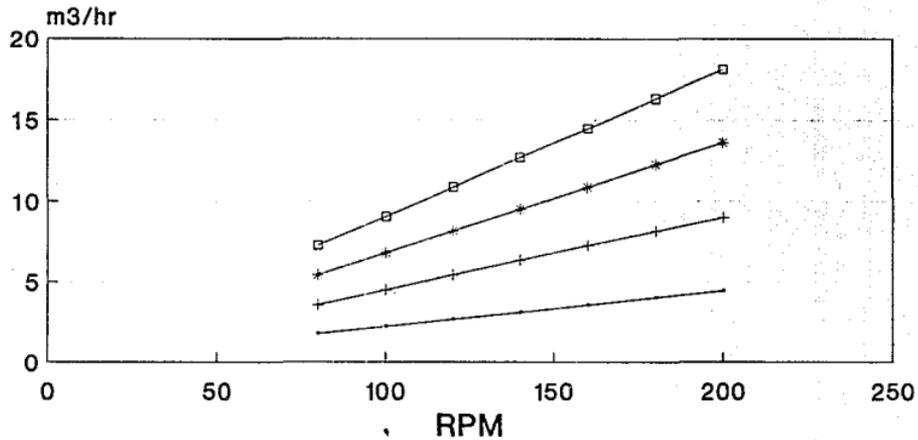
Para un diámetro de 13 cm.				
RPM	PASO 5	PASO 10	PASO 15	PASO 20
80	3.11	6.22	9.33	12.44
100	3.88	7.77	11.66	15.55
120	4.66	9.33	13.99	18.66
140	5.44	10.88	16.32	21.77
160	6.22	12.44	18.66	24.88
180	6.99	13.99	20.99	27.99
200	7.77	15.55	23.32	31.10

Para un diámetro de 15 cm.				
RPM	PASO 5	PASO 10	PASO 15	PASO 20
80	4.16	8.33	12.49	16.66
100	5.20	10.41	15.62	20.82
120	6.24	12.49	18.74	24.99
140	7.29	14.58	21.87	29.16
160	8.33	16.66	24.99	33.32
180	9.37	18.74	28.11	37.49
200	10.41	20.82	31.24	41.65

# CAPACIDAD DEL GUSANO

DIAMETRO 10 cm.

92A



Paso del gusano  
— Paso 5    + Paso 10    \* Paso 15    □ Paso 20

Figura 5.3  
Capacidad del gusano diametro 10 cm

# CAPACIDAD DEL GUSANO

DIAMETRO 13 cm.

928

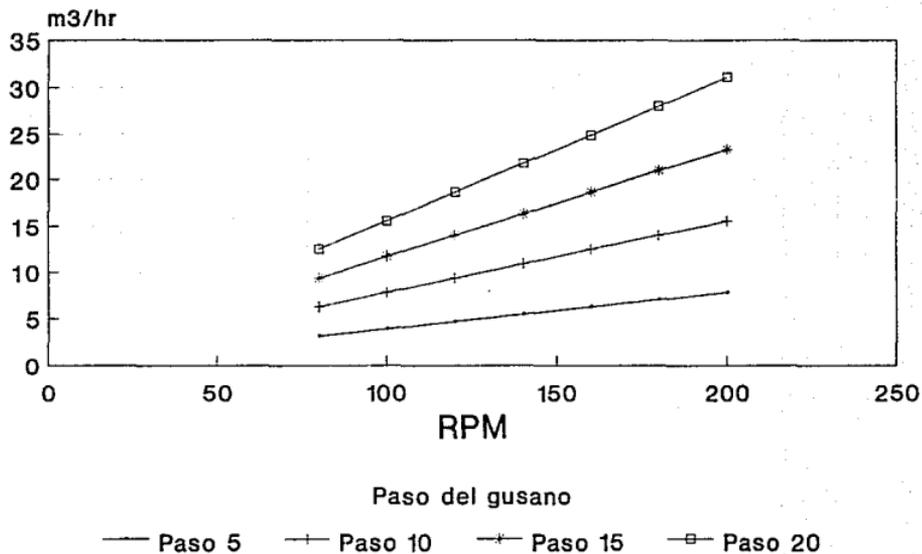
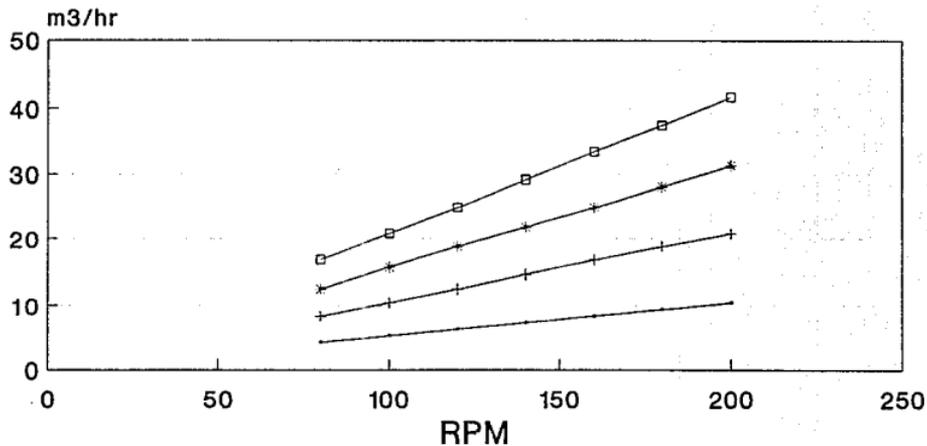


Figura 5.4  
Capacidad del gusano diametro 13 cm

# CAPACIDAD DEL GUSANO

DIAMETRO 15 cm.

92C



Paso del gusano

— Paso 5    + Paso 10    \* Paso 15    □ Paso 20

Figura 5.5  
Capacidad del gusano diametro 15 cm

C. Bases de diseño:

En base a las gráficas de capacidad del gusano se establecieron las siguientes bases de diseño:

- a) Capacidad mínima de  $10 \text{ m}^3/\text{hr}$
- b) Uso de bajas RPM
- c) Flexibilidad en capacidad.
- d) Longitud de gusano 27 cm.

Con estas bases se definió el tipo de gusano a usar, dadas las bases a), b) y c) se definió el diámetro del gusano, a quedar en un diámetro externo de 15 cm.

$$\phi_{\text{ext}} = 15 \text{ cm}$$

El paso del gusano se definió con la base d) la cual nos limita el gusano por su longitud, si se tuviera un gusano con un paso de 15, se tendría solo 1.5 vueltas, en cambio con un gusano de paso 10 se tienen 2.7 vueltas, lo cual nos permite una mayor confiabilidad en el gasto requerido.

$$\text{Paso} = 10 \text{ cm}$$

Las RPM estarán, según la gráfica, fluctuando entre 100 y 140

$$\text{RPM} = 100 - 140$$

#### 5.4. CALCULO DE LA POTENCIA Y MOTOR REQUERIDO.

Para los cálculos de potencia y la definición del motor, nos basaremos totalmente en las ecuaciones de gusanos del manual CEMA (Conveyors Equipment Manufacturer's Association), los cuales definen la potencia requerida y el motor a emplear.

Para calcular la potencia requerida se hará por superposición, calculando primero la potencia requerida para mover el gusano vacío, y después la potencia requerida para transportar el material.

$$HP_t = HP_v + HP_m \quad (5.9)$$

##### A. Potencia para mover el gusano vacío.

Calcularemos primero la potencia requerida para mover el gusano vacío  $HP_v$ :

$$HP_v = \frac{L_c(S_c)(F_c)(F_b)}{17000,000} \quad [HP] \quad (5.10)$$

Donde:  $L_c$  = Longitud del gusano [ ft ]

$S_c$  = Velocidad [ RPM ]

$F_c$  = Factor del diámetro del gusano (tabla 5.3)

$F_b$  = Factor de los soportes (tabla 5.4)

Si tenemos que la longitud del gusano es de 27 cm.

$$L_c = 27 \text{ cm} = 0.8858 \text{ ft}$$

Para la velocidad se tomará en cuenta la mayor

$$S_c = 140 \text{ RPM}$$

El factor del diámetro del gusano lo dará la tabla 5.3

---

<u>Diámetro</u>	<u>Factor</u>
6 in	18
9 in	31
12 in	55
14 in	78
16 in	107
18 in	139
20 in	165
24 in	226

---

TABLA 5.3  
Factor  $F_c$  del diámetro del gusano

El diámetro del gusano es de 15 cm = 5.9 in, por lo cual usaremos el factor para un diámetro de 6 in.

$$F_c = 18$$

El factor de los soportes  $F_b$  esta dado por la tabla 5.4

---

<u>Tipo de soporte</u>	<u>Factor</u>
Latón	1.7
Bronce con lubricación	1.7
autolubricado	1.7
grafitado	1.7
Acero al magnesio	4.4
Acero rápido	4.4
Nylon	2.0
con lubricación	1.7
Teflón	2.0
Madera con lubricación	1.8

---

TABLA 5.4  
factor  $F_b$  segun el soporte empleado

En nuestro caso se optó por el uso de soportes de bronce, lo cual nos da un factor:

$$F_b = 1.7$$

Una vez que se han definido los datos se procede al cálculo de HPg según la ecuación (5.10):

$$HP_g = \frac{L_c(S_c)(F_c)(F_b)}{1'000,000} \quad [HP]$$

$$HP_g = \frac{(0.8858)(140)(18)(1.7)}{1'000,000} \quad [HP]$$

$$\underline{HP_g = 0.00379 \text{ Hp}}$$

## B. Potencia para mover el material

Una vez que se ha calculado HPg, se procederá a calcular la potencia necesaria para transportar el material HPm:

$$HPm = \frac{C(M)(Lc)}{1'000,000} \quad (5.11)$$

Donde: C = capacidad del gusano [ft<sup>3</sup>/hr]  
M = Densidad del producto [lb/ft<sup>3</sup>]  
Lc = Longitud del gusano [ft]

La capacidad del gusano varia segun la gráfica de capacidad del gusano pero tomaremos la mayor, la cual corresponde a 15 m<sup>3</sup>/hr, por lo tanto:

$$C = 15 [m^3/hr] = 529.7 [ft^3/hr]$$

Para la densidad del producto, se usará la correspondiente al plomo líquido, la cual es de 10.86 kg/dm<sup>3</sup>, lo cual significa:

$$M = 10.86 [kg/dm^3] = 677.96 [lb/ft^3]$$

La longitud del gusano ya fue presentada anteriormente:

$$Lc = 0.8858 \text{ ft}$$

Teniendo todos los datos se procederá al cálculo de HPm según la ecuación (5.11):

$$HP_m = \frac{C(M)(Lc)}{1'000,000}$$

$$HP_m = \frac{(529.7)(677.96)(0.8858)}{1'000,000}$$

$$\underline{HP_m = 0.3181 \text{ HP}}$$

Una vez calculados HPg y HPm podemos conocer la potencia total HPt según (5.9)

$$HP_t = HP_g + HP_m \quad (5.9)$$

$$HP_t = (0.00379) + (0.3181)$$

$$\boxed{HP_t = 0.32189 \text{ Hp}}$$

C. Cálculo del motor requerido.

Una vez conocida la potencia total requerida, podemos calcular el motor a emplear en cada gusano según la siguiente ecuación:

$$\text{Hp motor} = \frac{\text{HPt}(1.5)\text{factor servicio}}{0.85 \text{ eficiencia}}$$

$$\text{Hp motor} = \frac{(0.32189)(1.5)}{0.85}$$

$$\boxed{\text{Hp motor} = 0.5680 \text{ Hp}}$$

Por lo tanto se usará un motor de 3/4 Hp en cada gusano.

## 5.5. RESUMEN DE EQUIPO

Se presenta una lista del equipo necesario para el rediseño de la máquina actual, dicha lista se encuentra ordenada de acuerdo a su equipo principal, y cada elemento esta acompañado de una descripción del mismo.

### A. Gusano

- 2 Tubo  $\phi$  2 cm. ced. 80 long. 40 cm.

Dicho tubo es la estructura del gusano, sobre de él se soldarán las hélices del gusano.

- 6 Discos lámina  $\phi$  15 cm espesor 3/16".

Cada disco se le realiza un barreno de  $\phi$  2cm al centro, se hace un corte radial para poder abrir el disco y formar una revolución del gusano, se solda con una soldadura continua de espesor 3/16" opuesta al lado de transporte. Dichos discos se encontrarán en la zona del contenedor.

- 3 Discos lámina  $\phi$  10 cm espesor 3/16".

A estos discos se les realiza el mismo maquinado que a los anteriores, estos tubos se encontrarán en la zona de la matriz.

## 2 Soportes (segun diseño)

Estos soportes tienen la finalidad de sostener el gusano dentro de la zona del contenedor, su diseño se especifica en el capítulo IV. Cada soporte cuenta con un disco de bronce o latón.

## 4 Discos bronce $\phi_{ext}$ 6cm, $\phi_{int}$ 2cm, espesor 1 cm

Estos discos se encuentran en contacto con la barra, el propósito del material es su autolubricación, sin embargo, en caso de desgaste el espacio será ocupado por el mismo plomo que actúa como sello y lubricante. En caso necesario estos discos pueden fabricarse de latón.

## 2 Discos de sellado y soporte (segun diseño)

Estos discos se encuentran en la parte exterior del contenedor y su función es soportar el tubo del gusano y sellar el contenedor para evitar fugas de plomo, cada disco cuenta con un disco de bronce o latón.

## B. Alimentación

### 2 Alimentadores (segun diseño)

Los alimentadores proveen de un flujo de plomo continuo hacia los gusanos. El diseño se presenta en el capítulo IV.

### C. Potencia

#### 2 Motores trifásicos 3/4 HP, 4 polos 220/440 V 60 Hz

Estos motores proporcionan la potencia necesaria para mover los gusanos. Se encuentran acoplados a un reductor de velocidad.

Cada motor será independiente, contará con su propio arrancador y un sistema de regulación de velocidad.

#### 2 Reductores de velocidad 3/4 HP

Se utilizará reductor marca FALK, tipo C, de tamaño 5C2-02; Velocidad entrada: 1750 RPM, Velocidad salida: 150 RPM, Relación: 11.66.

#### 2 Controles de velocidad para motores

El control de velocidad nos permite regular la velocidad del motor por medio de variaciones de voltaje aplicado a la armadura del motor con campo paralelo. Marca Electrol I distr. Serviteck.

#### 4 Acoplamientos Cople steel flex tipo F, tamaño 7F.

Acoplamiento entre motor y reductor y entre reductor y gusano.

D. Seguridad

1 Ventilador centrifugo marca VISSA modelo 7-LS.

El ventilador succionará los gases que se despidan del horno, este ventilador requiere de un motor de 1 H.P., 220/440 volts. 1750 RPM

1 Lavadora de aire marca VISSA para manejo de 634 PCM.

Los gases que se desprenden al fundir plomo deben de limpiarse antes de arrojarse a la atmósfera, este equipo lava los gases por medio de agua. Requiere de una bomba de agua de 1/4 H.P. 127/220 volts.

## 5.6. ESPECIFICACION PARA FABRICACION DEL GUSANO.

Dada la complejidad de la fabricación de un gusano, y la calidad requerida, se presentan las especificaciones e indicaciones necesarias para el fabricante del gusano. Estas indicaciones complementan los planos del gusano.

### Especificaciones:

- 1) Cortar la tubería de la hélice 8" más grande que la requerida, 4" sobre cada extremo para manejo.
- 2) Limpiar el interior del tubo (D.I. del tubo) para recibir la barra.
- 3) Soldar la hélice al tubo con una soldadura continua con un filete de 3/16" en ambos lados entre el tubo y la hélice, aplicándose después un esmerilado suave clase III.
- 4) Alineación del tubo tolerancia  $\pm 1/16"$ .
- 5) El diámetro exterior real de la tubería para la hélice y el desbaste del tubo debe ser colineal en ambos extremos, haciendo ajustes para las extensiones de los extremos. Ambos extremos deben ser colineales en una sola operación, de tal

manera que el alineamiento tenga un centro común. Cuando la tubería presente problemas de fabricación (ondulaciones); los extremos pueden ser enderezados de tal manera que el alineamiento de tubería sea de 1/16".

- 6) Hacer barrenos para tornillería.
- 7) Rectificar alineamiento tolerancia  $\pm 1/16$  medida a la parte alta de la hélice.
- 8) Cortar la longitud excedente del tubo para hélice; No quemar.
- 9) Las barras de acoplamiento deben de tener una sobredimensión para la tolerancia requerida entre tubo y barra de 0.0015". Las tolerancias de flecha motriz (del reductor) son +0.000 y -0.001 segun FALK.
- 10) Después que las tolerancias anteriores han sido cumplidas, el transportador debe ser ensamblado.
- 11) En todas las superficies exteriores deberá aplicarse un galvanizado para proteger al metal y evitar que el plomo se adhiera al gusano.

## CAPITULO VI

### OPERACION

## OPERACION

Las posibilidades básicas de la planta para operar apropiadamente generalmente quedan establecidas en las primeras etapas de la fase del diseño. LA FACILIDAD DE OPERACION SE INCORPORA EN EL DISEÑO....NO SE AGREGA. Las características totales de la facilidad de operación de cualquier planta de fuerza son función de numerosos atributos individuales; sin embargo, cuatro de los más importantes son los siguientes:

Seguridad

Seguridad de Operación

Confiabilidad

Facilidad al Mantenimiento (incluyendo servicio)

### 6.1 SEGURIDAD.

La función de la seguridad de la máquina se trata más a fondo en el Manual de Seguridad y por lo tanto, en este momento no entraremos en detalles con respecto a la seguridad. Sin embargo, se debe insistir en que la seguridad final de la máquina se obtiene mediante un cuidadoso desarrollo del diseño en las primeras fases del proyecto.

## 6.2 SEGURIDAD DE OPERACION

La seguridad de operación se alcanza también mediante un trabajo cuidadoso de diseño. Cada disciplina de ingeniería tiene una función vital para garantizar la seguridad de operación de la máquina. Algunos de los atributos más importantes de la seguridad de operación aparecen en la lista siguiente:

### ATRIBUTOS DE LA SEGURIDAD DE OPERACIÓN

---

CONCEPTO	REPERCUSSIONES
Un arreglo o distribución funcionales y adecuados de la planta y el equipo.	Estimula la existencia de espacios limpios, sin peligro, con fácil acceso para los operadores y el personal de mantenimiento
Plataformas, escaleras, controles, soportes y pasamanos bien colocados.	Permiten el acceso sin peligro al personal o al equipo. Facilitan la inspección, el servicio y la reparación.
Localización apropiada de tuberías, cables, ductos de aire y charolas.	Evita interferencias peligrosas y facilita el mantenimiento. Permite una muy buena inspección visual.

## CONCEPTO

## REPERCUSSIONES

Registros y aberturas especiales adecuados.

Permiten el desmontaje o la instalación fáciles de equipo para servicio o reparaciones. Reducen el tiempo de reparaciones.

Colocación apropiada y fácil disponibilidad de grúas, malacates y monorrieles.

Evitan daños o lesiones durante el mantenimiento. Aceleran las reparaciones.

Lógica de diseño de seguridad en caso de falla.

Garantiza que el equipo o los sistemas se paren en condiciones de seguridad en caso de emergencia o en caso de falla grave.

Instrumentación adecuada

Sensores apropiadamente localizados para controlar las condiciones del equipo y de los sistemas y para manejar las condiciones fuera de los normal (alarmas de nivel, válvulas de alivio, interruptores de flujo, etc.).

## CONCEPTO

Controles apropiados y sistemas para cancelar los controles.

## REPERCUCIONES

Permiten el control local, la cancelación manual o los arreglos de conmutación especiales con el objeto de mantener la planta en operación (aunque ésto sólo sea a un nivel reducido).

### 6.3 CONFIABILIDAD

La operación confiable de la planta es también el interés de todas las disciplinas de ingeniería. La confiabilidad de las operaciones bajo la demanda de carga requerida tiene repercusiones mayores sobre la efectividad de de la máquina desde el punto de vista de los costos.

Como otras consideraciones que afectan la operación y el mantenimiento de la planta, la confiabilidad debe incorporarse durante el diseño y no agregarse al proyecto.

Se presenta una tabla con algunos de los métodos más importantes para desarrollar la máquina con atributos de confiabilidad, junto a previas observaciones sobre sus ventajas.

## ATRIBUTOS DE LA CONFIABILIDAD

---

### CONCEPTO

Prevención de fallas de modalidad común en el diseño de sistemas.

Especificación apropiada del equipo.

Selección apropiada del equipo.

### REPERCUSSIONES

Elimina las fallas múltiples debidas a un sólo problema original. Garantiza la susceptibilidad de operación.

Informa a los vendedores sobre sus requisitos en el medio de servicio en el que se operará el equipo para que éstos puedan ofrecer el equipo apropiado.

La selección de unidades de equipo probadas con un historial de buen funcionamiento y procedentes de proveedores dignos de confianza evita numerosas fallas.

## CONCEPTO

Instrumentación y control apropiados.

## REPERCUCIONES

Permiten el control (indicación de tendencias) las alarmas por condiciones anormales y el control alterno para la operación apropiada.

### 6.4 SUSCEPTIBILIDAD AL MANTENIMIENTO

Una fácil susceptibilidad al mantenimiento de la máquina y del equipo auxiliar mejorará considerablemente la operación de la misma. Si el personal de operación y servicio:

1. está debidamente capacitado y seleccionado.
2. es capaz de efectuar inspecciones y pruebas rápidas.
3. tiene fácil acceso al equipo.
4. dispone de buenas herramientas, partes de repuesto suficientes y equipo de pruebas.
5. tiene la ventaja de una buena distribución general de la planta.
6. tiene acceso a instrumentación y controles flexibles y lógicos.
7. disponen de registro y aberturas apropiados y de accesorios adecuados como grúas y malacates especiales.

Naturalmente, todo esto supone que ha sido especificado y comprado para la instalación equipo confiable, bien diseñado y debidamente fabricado.

Como en el caso de todos los demás atributos deseables de la susceptibilidad al amantenimiento de la máquina y las repercusiones específicas.

---

#### CARACTERISTICAS DE LA FACILIDAD DE MANTENIMIENTO

---

CONCEPTO	REPERCUSIONES
Programa para la Planeación del Mantenimiento	Estimula el desarrollo de un enfoque general efectivo desde el punto de vista de los costos sobre la distribución general de la planta, las compras de equipo, las pruebas, los requisitos de partes de repuesto, de herramientas, de habilidad del personal y de capacitación.

## CONCEPTO

Acceso a Sistemas y  
Equipo:

Partes de Repuesto  
Apropiadas (en existencia).

Disponibilidad de Herramien  
tas y Accesorios.

Registros y Aberturas  
Especiales.

## REPERCUSSIONES

Facilita reparaciones, reduce los tiempos perdidos, mejora la seguridad del operador y del personal de mantenimiento.

El equipo bien diseñado permite facilitar la inspección, las pruebas, el desensamble, las reparaciones o los cambios de partes.

Las herramientas especiales, los accesorios o el equipo de prueba permiten al personal trabajar más efectivamente - hacen las reparaciones más rápidas, mejores y más seguras.

Permiten el desmontaje o el cambio fáciles de elementos especiales como haces de tubos, flechas de bombas.

## CONCEPTO

Grúas, malacates, equipo de manejo especial.

Instrumentación y Controles.

## REPERCUCIONES

Permiten el manejo fácil, seguro y rápido de equipo pesado, reduciendo así tiempos perdidos.

Posibilitan el control y la vigilancia del equipo y señalan la necesidad de rutinas preventivas para evitar fallas.

## 6.5 MANUAL DE OPERACION.

El presente manual tiene como finalidad el especificar la forma más apropiada de operar la máquina, contemplando los conceptos de seguridad, confiabilidad y productividad.

En este manual especificamos los puntos principales de la operación, para después concluir con una síntesis en forma de lista.

La operación de la máquina la dividiremos en tres fases:

- a) Calentamiento de la máquina
- b) Operación
- c) Apagado de la máquina

### A. Calentamiento de la máquina

Al calentar la máquina se busca que ésta se encuentre a una temperatura adecuada para recibir el plomo fundido, evitando esfuerzos térmicos que pudieran perjudicar la vida de la máquina.

Antes de calentarla debemos revisar algunos detalles de seguridad:

- Sistema eléctrico descargado y desconectado.
- Extinguidores despejados y con carga.
- Máquina libre de objetos ajenos.

- Revisar el estado de las válvulas del suministro de gas.
- Revisar el estado de la tubería conduit.
- Revisar la campana de extracción del horno.
- Revisar que el personal cuente con el debido equipo de seguridad.

Estos detalles deberán ser revisados por el Jefe de Seguridad de la planta, en caso de cualquier anomalía, debe corregirse y anotarse en la bitácora antes de continuar el calentamiento. Si no se encuentran anomalías, o ya fueron corregidas el jefe de seguridad firmará la bitácora del día.

Una vez cubiertos los requisitos de seguridad se procede a calentar el quipo, siguiendo el orden que a continuación se presenta:

- alertar al personal.
- encender los quemadores de gas de la máquina y del horno.
- encender la campana de extracción del horno.
- encender la bomba de la lavadora de aire.
- revisar el nivel de plomo en el horno.

El equipo debe calentarse hasta la temperatura de operación (350°C.).

## B. Operación

Una vez que la máquina alcanza su temperatura de operación (350°C.) se deberá limpiar el gusano antes de poder iniciar la extrusión; para limpiar el gusano y el contenedor se arranca el motor del gusano y se deja trabajar a bajas revoluciones sin agregarle plomo a los alimentadores.

Una vez que se realiza lo anterior, es posible iniciar la extrusión siguiendo los siguientes pasos:

- Se llenan los alimentadores de plomo líquido.
- Se elevan las revoluciones del gusano hasta alcanzar las 100 RPM.
- Se inicia la extrusión.
- Durante toda la operación de extrusión, deben cuidarse los niveles de los alimentadores.
- Si en algún momento es necesario detener el proceso, por algún motivo, debe realizarse bajando gradualmente las revoluciones del gusano hasta llegar al punto muerto.

Al reestablecer la operación debe hacerse elevando gradualmente las revoluciones.

### C. Apagado de la máquina

Al finalizar las operaciones de la jornada la máquina deberá apagarse siguiendo el siguiente esquema:

- Se apaga el horno, interrumpiendo el llenado de los alimentadores.
- La máquina continua trabajando normalmente hasta terminar con la carga existente en los alimentadores.
- Una vez terminada la carga, los gusanos trabajarán en vacío durante cinco minutos a 100 RPM.
- Se reducen gradualmente las revoluciones de los gusanos hasta alcanzar el punto muerto.
- Se apagan los quemadores.
- Después de 20 minutos de apagados los quemadores se apaga la campana de extracción y la bomba de la lavadora de aire.
- Se realiza la limpieza del área contigua a la máquina.
- Una vez que la máquina este fría (30<sup>o</sup>C.) se limpia el área de la máquina.

Durante todo el tiempo que una persona se encuentre en el área de producción, no importando si el proceso está funcionando o no, el uso del equipo de seguridad es obligatorio.

## CAPITULO VII

### SEGURIDAD

## SEGURIDAD

### 7.1 MANUAL DE SEGURIDAD

El presente rediseño de la máquina incluye el aumento en la seguridad de los obreros y personal que laboren en la planta. Por lo que se dispone una serie de medidas y de equipo necesario, sin las cuales la operación de la máquina no debe permitirse.

El equipo necesario de seguridad es el siguiente:

- Tres extinguidores ABC de 5 Kg. ubicados en los siguientes lugares:
  - horno.
  - control de la máquina.
  - entrada al área de producción.
- Válvula de corte rápido para la tubería de la alimentación del gas.
- Campana extractora de gases.
- Lavadora de aire.

- Equipo de seguridad personal:

- Botas con casquillo
- Guantes de asbesto
- Mascarilla.
- Lentes de seguridad
- Peto
- Polainas de cuero

Las medidas necesarias de seguridad son las siguientes:

- No deben retirarse las protecciones ni los dispositivos de seguridad de las máquinas, si no es por necesidades de trabajo. Cuando deban retirarse habrán de adoptarse inmediatamente medidas adecuadas para poner en evidencia o reducir al límite mínimo posible el peligro que se deriva de ello.

La reposición de las protecciones o dispositivos de seguridad se efectuará tan pronto como se hayan subsanado los motivos que hicieron necesaria su retirada provisional.

- Queda prohibido efectuar cualquier operación de reparación o reglaje sobre órganos en movimiento.

Cuando sea necesario efectuar tales operaciones deben adoptarse precauciones adecuadas para preservar a los operarios.

Debe mantenerse informados a los trabajadores de las prohibiciones del primer párrafo mediante avisos claramente visibles.

- Toda puesta en marcha y toda continuación del servicio de los motores, debe estar procedida de una señal acústica convenida, distintamente perceptible en los lugares donde existan transmisiones y máquinas dependientes, asociada, si es preciso, a una señalización óptica.

Junto a los órganos de mando de la puesta en marcha del motor debe exponerse un cartel indicador de la obligatoriedad de lo establecido en el presente artículo y sus detalles particulares.

## 7.2 CONSIDERACIONES DE SEGURIDAD

1. Nunca usar el equipo más allá de los límites especificados
2. Nunca operar, dar servicio o ajustar algún equipo sin la debida capacitación.
3. Nunca energizar los circuitos de control o iniciar la operación sin antes revisar que todo el personal se encuentre apartado del equipo.
4. Cuando durante la operación se requiera detener el equipo deben tomarse las siguientes precauciones:
  - a) Interrumpir la energía de los paneles de control y de todos los motores.
  - b) Interrumpir el suministro de aire a presión cerrando la línea de alimentación.
  - c) Cuando sea posible, debe bloquearse el equipo mecánicamente para prevenir cualquier movimiento.
5. Cuando se desarrolle mantenimiento a los circuitos eléctricos debe interrumpirse toda la energía. Nunca deben "puentearse" ningún circuito de protección o de interrupción.
6. Nunca debe usarse el equipo sin el equipo de seguridad personal.

### 7.3 PROTECCIONES CONTRA INCENDIO

Las consideraciones del diseño en lo que se refiere a protección contra incendio incluyen la prevención, la detección y la extinción.

#### A. Prevención

La disciplina eléctrica puede reducir el potencial de incendio seleccionando los interruptores de circuito o sus configuraciones con un reducido contenido de aceite o llenos de hexafluoruro de azufre.

Los transformadores para interiores pueden ser secos o llenarse con líquidos incombustibles con fines de aislamiento y enfriamiento.

El aislamiento de los cables eléctricos y los componentes de protección de los cables contra sobrecarga deben seleccionarse en la forma necesaria para minimizar el potencial de incendio.

Deben especificarse los sistemas de almacenamiento y transferencia para el manejo de carbón, combustóleo y gas, que reduzcan las fallas por fugas y limiten el riesgo resultante a la capacidad de los sistemas de protección contra incendio.

## B. Detección

La detección del fuego se logra en algunos casos mediante la operación de sistemas automáticos fijos contra incendio que exhiben su información en el cuarto de control.

En otros casos el fuego puede descubrirse mediante un sistema de detección automática de aviso temprano exhibido en el cuarto de control u observando visualmente y transmitido después al cuarto de control.

## C. Extinción

La extinción del incendio se logra utilizando sistemas fijos automáticos o manuales de agua o de gas, o mediante conjuntos portátiles de agua, gas, o químicos.

Frecuentemente los sistemas fijos de agua utilizan una línea contra incendio principal subterránea, que conecta un abastecimiento de agua a los sistemas contra incendio

D. Consideraciones básicas sobre la protección contra incendio

Las consideraciones básicas en lo que se refiere a la protección contra incendio son:

- \* Evaluación del peligro de incendio y de los potenciales de fuego durante la construcción y en la planta definitiva.
- \* Organización y coordinación de las cuadrillas de bomberos, tanto en la planta como fuera de ella.
- \* Detección del fuego y sistemas de alarma.
- \* Sistemas fijos contra incendio.
- \* Sistemas portátiles contra incendio.

E. Sistemas fijos de agua de Protección Contra Incendio.

Los sistemas de protección contra incendio a base de agua se consideran como la base del conjunto de posibilidades de protección contra incendio de la planta. Por lo tanto, la confiabilidad y el mantenimiento de estos sistemas se consideran de gran importancia por las autoridades reglamentadoras y por las compañías de seguros.

### Abastecimientos de agua:

El agua abastecida debe ser dulce y no corrosiva. Si se considera la posibilidad de aprovechar vasos de agua naturales, no debe usarse agua salada ni aguas sujetas a la acción de las mareas. Algunas fuentes de abastecimiento son: tanques de agua, vasos de almacenamiento, lagos, ríos y sistemas municipales.

### Hidrantes:

Los hidrantes contra incendio se conectan a la línea contra incendio principal de la planta con un tubo de 6 pulgadas de diámetro; generalmente se colocan intervalos de 250 a 300 pies (aproximadamente 76.2 a 91.4 metros).

## CONCLUSIONES

## CONCLUSIONES

Modificando la operación de la máquina de una forma semi-continua a una forma continua, se lograron los objetivos de eficiencia y de producción.

Al eliminar el sistema hidráulico por un sistema mecánico más sencillo se logró la confiabilidad esperada de la máquina, y se dió lugar a que en un futuro se pueda automatizar el proceso.

Sin embargo, el objetivo más importante el de la seguridad, se logró de una forma muy amplia.

El personal que opere la máquina rediseñada tendrá un nivel de seguridad personal mucho mayor que el actual, el uso obligatorio del equipo de seguridad representa un compromiso entre la planta y los obreros, resultando una operación más segura, reduciendose el nivel de accidentes.

Igualmente la planta contrae un compromiso con el medio ambiente, pues teniendo el equipo de extracción de gases y la lavadora de aire, se elimina, en una proporción importante, la emisión de gases tóxicos a la atmósfera.

Todo lo anterior nos permite concluir que el rediseño cumple con las expectativas de eficiencia, producción, confiabilidad y seguridad, teniendo así una tecnología más limpia; el compromiso ahora es de la planta, en cumplir con las condiciones aquí descritas.

## BIBLIOGRAFIA

## BIBLIOGRAFIA

1. PATTON, W.J.; "Modern Manufacturing Process and Engineering"; Prentice Hall; New Jersey, USA.; 1970.
2. AMSTEAD B. H.; "Procesos de Manufactura"; quinta edición; CECSA; México; 1988.
3. SHIGLEY E., Joseph y MITCHELL D., Larry; "Diseño en Ingeniería mecánica "; cuarta edición; Mc.Graw Hill; México; 1986;.
4. DEUTSCHMAN D., Aaron; "Diseño de Máquinas"; CECSA; México; 1987.
5. BLACK H. Paul; "Machine Design"; Mc.Graw Hill; Tokio, Japón; 1955.
6. DOBROVOLSKI K., Zablonki "Elementos de Máquinas"; tercera edición; Editorial Mir; Moscu, URSS; 1988.
7. SLAVMAKER R.R.; "Diseño y Análisis de Elementos de Máquinas"; Centro regional de ayuda técnica; México, 1969.

8. ZBIGNIEW SZCZYGIEL, Jordens; TORRES REYES, Alejandro; "Metalurgia No Ferrosa"; Editorial Limusa; México D.F.; 1984
9. Comisión Federal de Electricidad; "Capacitación para diseño básico de plantas termoeléctricas"; C.F.E.; México D.F., 1976; Tomo III y IV.
10. "Máquinas Herramientas 1"; Ed. Gustavo Gili, S.A.; Barcelona, España; 1989.
11. LOVOTTI FELIX, Juan José; "Aplicaciones del plomo en la industria"; Editorial Hobby; Buenos Aires, Argentina, 1955.
12. RIVIERA IBARRA, Nicolas; "Descripción del proceso de extrusión de tubo de aluminio para aire acondicionado de automóviles y estudio para incrementar su producción"; Escuela de Ingeniería; Universidad Autónoma de SLP; 1978.
13. ANDRUS, Paul; "Continuous Hydrostatic Wire Extrusion"; SME Technical paper Mf 82-336, 1980.
14. BLACK, J.T.; VOORHES W.G. and BRENEISER D.; "Linex-Linear Continuous Extrusion of Metals"; SME Technical Paper Mf 76-141 1976.

15. LAVE, Kurt; STENGAR, Helmut; "Extrusion"; American Society for Metals; OHIO, USA; 1981.

16. CRUZ MARTINEZ, Ma. del Carmen; "Contaminación de Plomo"; Escuela de Ciencias Químicas; Universidad Autónoma de Coahuila; Saltillo, Coahuila; 1975.

17. SAMANIEGO D., Ricardo; "Monografía del plomo"; Secretaría de economía; Dirección General de Estudios Económicos, Unidad minera; México, D.F.; 1955.

18. "Tool and manufacturing engineering handbook"; S.M.E. Michigan, U.S.A. 1984.