

## CAPÍTULO 2

# FUNDAMENTOS TEÓRICOS

### 2.1 Análisis de la teoría de extrusión.

#### 2.1.1 Generalidades

### EXTRUSIÓN

La extrusión en prensa es un procedimiento de conformación por deformación plástica, que consiste en moldear un metal, en caliente o frío, por compresión en un recipiente obturado en un extremo con una matriz o hilera que presenta un orificio con las dimensiones aproximadas del producto que se desea obtener y por el otro extremo un disco macizo, llamado disco de presión.

Si el esfuerzo de compresión se transmite al metal por medio del disco de presión o de la matriz, al proceso de extrusión se le denomina extrusión directa o extrusión inversa. Este proceso de compresión indirecta es esencialmente de trabajo en caliente, donde un lingote fundido de forma cilíndrica, se coloca dentro de un fuerte contenedor de metal y comprimido por medio de un émbolo, de manera que sea expulsado a través del orificio de un dado.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> [www.elprisma.com/Ingenieríamecánica/extrusión](http://www.elprisma.com/Ingenieríamecánica/extrusión)

La extrusión es la más fuerte e intensa de todos los procesos de compresión. Se obliga al metal a fluir con rapidez por un orificio, por lo demás, queda cerrado y sujeto a las leyes de la hidráulica, el principio más importante de la hidráulica es el de Pascal que dice que la fuerza ejercida sobre un líquido se transmite en forma de presión sobre todo el volumen del líquido y en todas direcciones.<sup>2</sup>

#### **a. Tres elementos básicos de la extrusión:**

El primer elemento de la línea tiene que cumplir con tres requisitos básicos:

- 1) Continuarmente reunir la materia prima en estado sólido y fundido;
- 2) Continuarmente fundir la materia prima y
- 3) Homogeneizar la materia prima térmica y físicamente.

La extrusión es un método relativamente nuevo en la fabricación de piezas metálicas. Originalmente fue desarrollado para la fabricación de tubo de plomo por los sistemas victorianos de agua y gas.

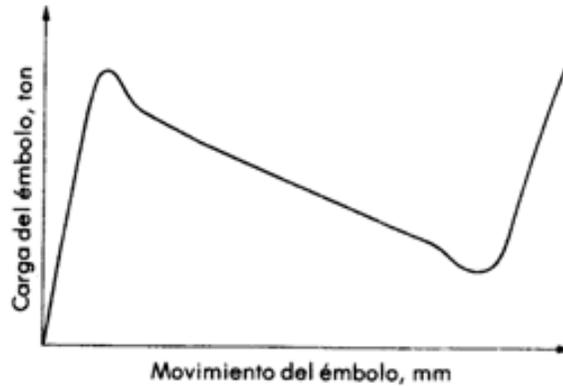
En nuestros días, es posible extruir con éxito los siguientes metales y sus aleaciones: Aluminio, cobre, plomo y acero, aunque para este último se requiere una técnica especial.

#### **b. Prensa de extrusión directa**

Una prensa típica para la extrusión de aleaciones de cobre, sería de alrededor de 5000 ton de capacidad de carga en el émbolo, y consistiría de una pesada placa de acero recubierta con una aleación de acero resistente al calor. Este podría acomodar un lingote de 560 mm de diámetro y 1 m de longitud. Ajustado dentro del contenedor mencionado estaría un émbolo que tenga un diámetro menor que el barreno interior del contenedor. El dado de extrusión está hecho de acero para herramientas, resistente al calor y mantiene la forma del orificio.

---

<sup>2</sup> Avallone, Baumeister, MANUAL DEL INGENIERO MECÁNICO, pág. 13-25



**Figura 2.1** Gráfica carga - movimiento.

El lingote fundido de dimensiones apropiadas a la prensa de extrusión y el producto se calienta a la temperatura de trabajo en caliente.

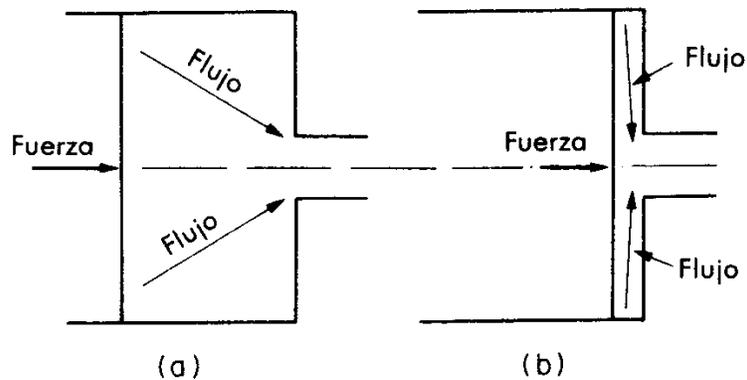
Como una regla aproximada ésta es de dos terceras partes de la temperatura de fusión en grados K, por ejemplo, aluminio 600 K, cobre 800 K.

El lingote calentado se coloca en el contenedor, seguido por el cojincillo de presión, caliente. El émbolo se coloca en el contenedor y se aplica la presión. Cuando se opera, el lingote es comprimido haciendo contacto por todos lados con el contenedor. Entonces incrementando la presión, el lingote es extruido a través del orificio del dado. El metal sale del dado y corre sobre una canal, si el equipo es horizontal. La carga se eleva bruscamente, mientras el lingote está siendo recalado, pero una vez que comienza la extrusión la carga descende.

La rapidez de descenso es constante hasta que se ha extruido aproximadamente el 85% del lingote, cuando ocurre un paro súbito, seguido de una elevación muy rápida hasta alcanzar la capacidad de carga de la prensa.

En este punto la extrusión debe detenerse. Esto ocurre mientras aún hay alrededor del 5 al 10% del sobrante del lingote y éste debe descartarse. La razón para esta elevación final de la carga es fácil de explicar, es la misma razón por la que es imposible extruir la última pizca de pasta de dientes del tubo.

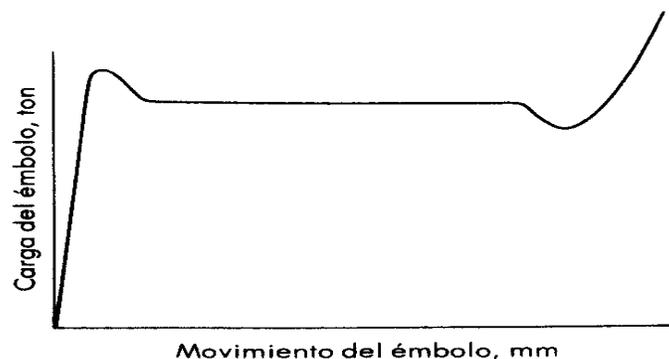
Durante las primeras etapas de la extrusión, Figura. 2.2 (a), la fuerza aplicada debe provocar que el metal fluya hacia el dado, a lo largo de una trayectoria diagonal. Al final del ciclo de extrusión, la dirección del flujo del metal, llega a ser más y más perpendicular a la línea de acción de la fuerza aplicada, Figura. 2.2 (b).



**Figura 2.2.** Esquema del flujo y la fuerza en un proceso de extrusión.

### c. Prensa de extrusión invertida:

El contenedor es similar a aquel del proceso de extrusión directa, excepto, que en lugar de un dado y un émbolo, en los lados opuestos del lingote hay un dado y un soporte del dado hueco en un lado del lingote. El soporte hueco del dado toma el lugar del émbolo. Esto debilita toda la prensa y limita el tamaño de la sección que puede ser producida por este proceso.



**Figura 2.3.** Gráfica carga - movimiento para una prensa vertical.

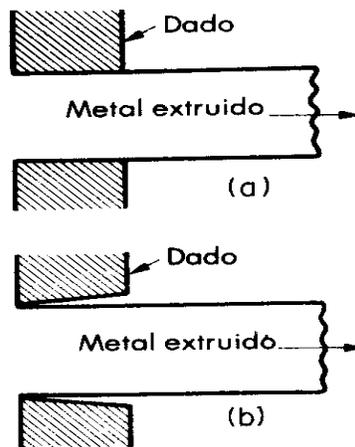
Comparando la Figura. 2.1 con la Figura. 2.3, se observa que son muy similares al principio y al final, por las mismas razones, la diferencia en la sección media puede considerarse por el hecho de que en la extrusión directa el lingote se mueve hacia el dado, es decir, se desliza a lo largo de la pared del contenedor con lo cual se produce una fuerza de fricción o carga. Esta carga de fricción depende del área de contacto entre el lingote y el contenedor y puesto que ésta es decreciente cuando el émbolo se mueve, de esta manera se hace que la carga de fricción disminuya con el movimiento del émbolo.

En el caso de la extrusión invertida no hay movimiento relativo entre el lingote y el contenedor y, por tanto, no puede haber fuerza de fricción. Se requiere una carga máxima más baja cuando se usa extrusión invertida, pero la ventaja de esta carga más baja no puede ser capitalizada, debido al hecho, de que como se explicó al principio, con extrusión inversa, la máxima reducción posible en el proceso es limitada.

### **Dados de extrusión**

Los dados de extrusión están hechos de acero de alta velocidad para herramienta y son componentes muy importantes en el proceso de extrusión. Como el material del dado es demasiado caro, a menudo es hecho en forma de un disco delgado de diámetro mucho más pequeño que el lingote soportado por un dado de refuerzo. El orificio del dado controla la forma del metal extruido. Si la abertura del dado consta de un barreno circular y paralelo, es decir, la longitud del soporte es igual al espesor del dado, la extrusión será una varilla circular que requiere una fuerza considerable para estirla y tiene una pobre superficie de acabado. La superficie de acabado puede mejorarse y disminuir la carga, aumentando el diámetro del barreno en el extremo de descarga.

Es recomendable evitar casos como la Figura. 2.4 (a) y procurar formas del dado como en la Figura. 2.4 (b). Esto es porque la resistencia a fluir a través del área sombreada del dado, es mucho mayor que a través del residuo.



**Figura 2.4** Corte de los dados de extrusión

Esta resistencia puede reducirse "puliendo" o recortando el dado, de manera que la longitud de contacto con la extrusión sea reducida alrededor de las superficies externas del área sombreada.<sup>3</sup>

### **Estudio del diseño del dado**

Los factores importantes en un dado de extrusión son el ángulo del dado y la forma del orificio. El área superficial del dado y por consiguiente la fricción aumenta, cuando aumenta la medida del ángulo del dado, lo que significa un aumento de fuerza necesaria para el proceso de extrusión. Por otra parte un ángulo grande del dado ocasiona mayor turbulencia del flujo del metal durante la reducción. Este ángulo depende de varios factores como material de trabajo, temperatura del tocho y lubricación; en consecuencia es difícil determinarlo para un trabajo de extrusión, se usa reglas empíricas para el diseño del dado.

El coeficiente de fricción  $f$  es considerado como constante para cualquier dado, material a extruir, para las condiciones superficiales y temperatura y es considerado independiente de la velocidad de deslizamiento.<sup>4</sup>

<sup>3</sup> [www.elprisma.com/Ingenieríamecánica/extrusión](http://www.elprisma.com/Ingenieríamecánica/extrusión)

La forma del orificio del dado afecta la presión requerida del pistón en una operación de extrusión. Una sección transversal compleja, requiere más presión y fuerza que una sección circular. El efecto de la forma del orificio del dado puede valorarse por el *factor de forma*, definido como la relación entre la presión requerida para extruir una sección transversal de la forma dada y la presión de extrusión para una sección redonda de la misma área, se la expresa de la siguiente forma:

$$K_x = 0.98 + 0.02^u \frac{C_x^{2.25}}{C_c} \quad (2.1)$$

Como indica la fórmula el factor de fórmula es una función del perímetro de la sección transversal del material extruido, dividida por el perímetro de una sección circular de área igual. Una forma circular es la forma mas simple con un valor de  $K_x = 1$ . Las secciones huecas de superficies delgadas tienen factores de forma más altos y difíciles de extruir.

El aumento de la presión no se incluye en las ecuaciones previas, por lo cual solo sirven para secciones circulares.

Para formas distintas a la redonda la expresión correspondiente para una extrusión directa es: <sup>5</sup>

$$p = K_x \bar{Y}_f \left( \epsilon_x + \frac{2L}{D_o} \right) \quad (2.2)$$

---

<sup>4</sup> Hoffman, Sachs, INTRODUCTION TO THE THEORY OF PLASTICITY FOR ENGINEERS, Editorial McGraw-Hill, Primera edición, 1953, Nueva York.

<sup>5</sup> Groover, Mikell, FUNDAMENTOS DE MANUFACTURA MODERNA, págs. 483, 484

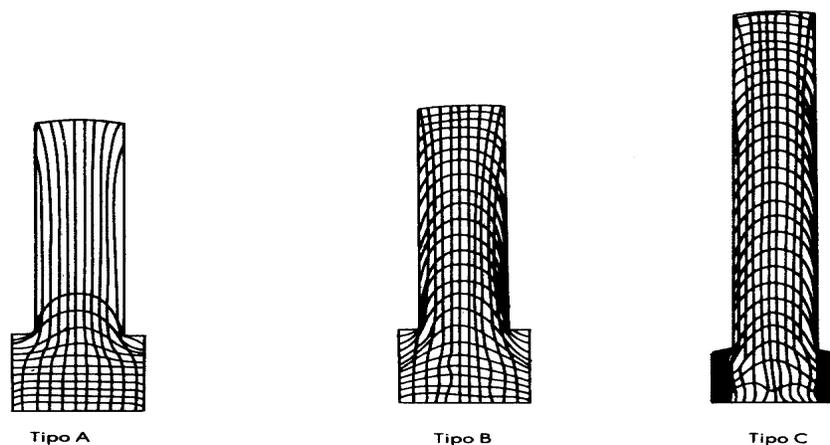
## Flujo del metal durante la extrusión:

Cada proceso de trabajo involucra la aplicación de una fuerza o esfuerzo a la superficie del metal, para provocarle un flujo y un cambio de forma. Es importante conocer la relación entre las fuerzas aplicadas y las direcciones del flujo, de manera que las formas finales requeridas y predecibles puedan producirse.

Un examen de la sección muestra que la deformación empieza en la superficie, por un deslizamiento hacia adelante y que es necesaria cierta reducción mínima antes que el efecto haya penetrado hasta el centro.

También puede ser visto que para una reducción dada en el espesor, el patrón de deformación permanece constante, hasta que la deformación es completa.

Pearson obtuvo una considerable cantidad de información, extruyendo un lingote cilíndrico de estaño que había sido cortado en mitades a lo largo del eje y rayadas con un patrón regular de rejilla, sobre las interfaces planas y amarradas juntas con alambre. La extrusión fue fácilmente separada a lo largo del plano axial y la deformación cuantitativamente impuesta desde el límite de distorsión de la rejilla. Él identificó tres patrones básicos: A, B y C, asociados con tres maneras de deformación, más tarde atribuidas a diferencias de fricción entre el lingote y las paredes de la cámara de extrusión (Fig. 2.5).



**Figura 2.5** Patrones de comportamiento de un lingote extruido

En el patrón de flujo tipo A, no hay fricción entre el lingote y el contenedor y el metal se desliza hacia la región del dado, sin deformación a todo lo largo. Esto se demuestra por el hecho de que las líneas horizontales del patrón de la rejilla permanecen así hasta que llegan a la vecindad del dado. Cerca del dado, el lado exterior del lingote es detenido por los hombros del contenedor mientras que la región central fluye fácilmente dentro del dado. Esto produce la desviación de las líneas horizontales. El grado de desviación aumenta cuando la cola del lingote se acerca al dado. Esto es importante para el extremo final del tubo, lo cual ocurre siempre en los metales extruidos por la disminución en la carga de extrusión durante los últimos pasos del ciclo, justamente antes de la rápida elevación final.

El patrón de flujo tipo A es típico del proceso de extrusión indirecta, cuando el dado es empujado dentro del lingote y no hay movimiento relativo entre éste y el contenedor.

En el patrón de flujo tipo B, hay una cierta cantidad de fricción entre el lingote y el contenedor y esto tiende a retener el metal hacia atrás, cuando se está moviendo hacia el dado. Esto provoca desviación al principio de la etapa, antes que el metal alcance la vecindad del dado. Al principio del ciclo, las desviaciones son mucho más severas y un ducto más profundo se forma en el metal.

El tipo C, muestra el patrón de flujo cuando hay fricción adhesiva entre el lingote y el contenedor. La zona muerta del metal, la cual se forma en los hombros del dado, crece muy rápidamente y se extiende hacia atrás del émbolo.

Mientras que el patrón de flujo tipo A es típico de la extrusión indirecta, el tipo C es típico de la extrusión directa de los metales duros, tales como el cobre y el aluminio.

### **Distribución de temperatura en la extrusión:**

La mayoría de la extrusión industrial es esencialmente un proceso de trabajo en caliente donde el lingote se calienta a una temperatura uniforme antes de insertarlo en el contenedor. No obstante que el contenedor se calienta siempre a

una temperatura más baja que el lingote con el resultado de que el exterior de éste tiende a enfriar una vez que hace contacto con el contenedor. Esto ocurre al principio del ciclo de extrusión en las capas exteriores del lingote que son continuamente enfriadas durante el resto del ciclo.

La deformación no es uniforme a través de la sección. De hecho se encuentra a lo largo de ciertos planos de corte, dando origen a muy altas reducciones localizadas, acompañadas por extremadamente altas velocidades de extrusión.

Las velocidades de deformación en estas zonas pueden ser tales que provoquen considerables elevaciones de temperatura, bajo condiciones esencialmente adiabáticas. Si estas elevaciones son excesivas, entonces el metal puede exceder su punto de fusión dando origen a fusión incipiente.

Si se hace un intento para eliminar la fractura de abeto disminuyendo la temperatura de precalentamiento del lingote, existe el riesgo de que se produzcan grandes granos periféricos, disminuyendo las propiedades mecánicas del material extruido.

### **Materiales recomendados para la matriz de extrusión**

Los materiales para los dados de extrusión en caliente incluyen aceros de herramienta y aceros aleados. Se puede recubrir los dados con materiales como zirconia, para prolongar su vida. También se usan dados de zirconia parcialmente estabilizada en la extrusión de tubos y varillas en caliente; sin embargo, no se prestan para ser dados de extrusión de formas complicadas, por los grandes gradientes de esfuerzo que se desarrollan en ellos.<sup>6</sup> Las propiedades más importantes de estos metales son la resistencia al desgaste, alta dureza en caliente y alta conductividad térmica para remover el calor del proceso.

---

<sup>6</sup> Kalpakjian, Schmid, MANUFACTURA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA, pág. 376

Los materiales para extrusión en frío incluyen aceros de herramienta y carburos sentados.

Sus propiedades deseables son resistencia al desgaste y buena disposición para retener su forma bajo altos esfuerzos. Los carburos se usan cuando se requieren altas velocidades de producción, larga vida en dados y buen control dimensional.<sup>7</sup>

### **2.1.2 Tipos de extrusión**

La extrusión se lleva a cabo de varias maneras, una forma de clasificar las operaciones es atendiendo a su configuración física, se distinguen dos tipos principales, extrusión directa y extrusión indirecta. Otro criterio es la temperatura de trabajo: en frío, en tibio o en caliente. Finalmente el proceso de extrusión puede ser continuo o discreto.

#### **a. La extrusión directa.**

También llamada extrusión hacia adelante consiste en cargar el recipiente con un tocho de metal, y un pisón lo comprime forzándolo a fluir a través de una o más aberturas en el dado al extremo opuesto del recipiente. Al aproximarse el pisón al dado, una pequeña porción del tocho permanece y no puede forzarse a través de la abertura del dado. Esta porción extra llamada tope o cabeza, se separa del producto cortándola justamente después de la salida del dado.

Un problema en la extrusión directa es la gran fricción que existe entre la superficie del trabajo y la pared del recipiente al forzar el deslizamiento del tocho hacia la abertura del dado, esta fricción ocasiona un incremento sustancial en la fuerza requerida en el pisón para la extrusión directa.

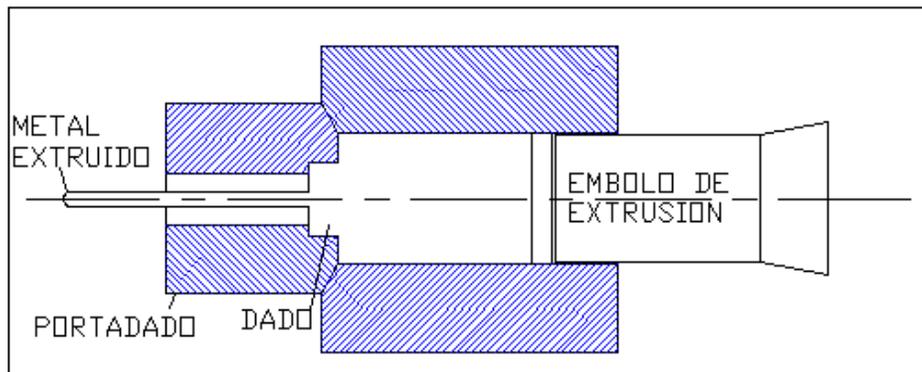
---

<sup>5</sup> Groover, Mikell, FUNDAMENTOS DE MANUFACTURA MODERNA, pág. 484

En la extrusión en caliente este problema se agrava por la presencia de una capa de óxido en la superficie del tocho que puede ocasionar defectos en los productos extruídos.

El tocho inicial en la extrusión directa es generalmente redondo, pero la forma final queda determinada por la abertura del dado.

La extrusión directa hace posible una infinita variedad de formas en la sección transversal.



**Figura 2.7** Extrusión directa

#### **b. La extrusión indirecta.**

También llamada extrusión hacia atrás y extrusión inversa, el dado está montado sobre el pisón en lugar de estar en el extremo opuesto del recipiente.

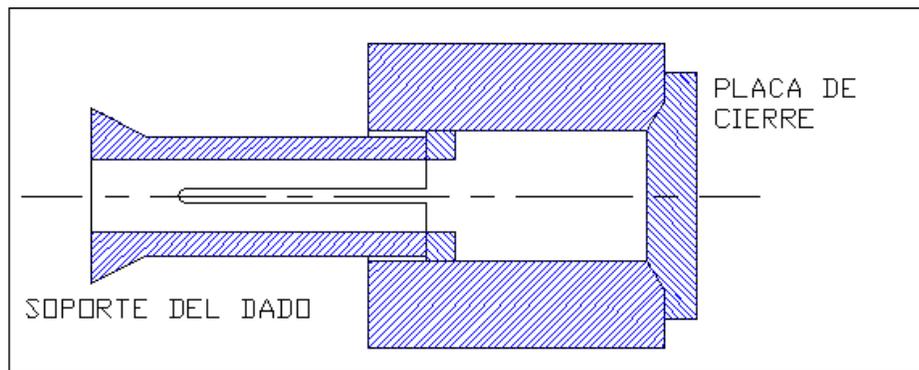
Al penetrar el pisón en el trabajo fuerza al metal a fluir a través del claro en la dirección opuesta a la del pisón, como el tocho no se mueve con respecto al recipiente no hay fricción en las paredes del recipiente.

Por consiguiente, la fuerza del pisón es menor que en la extrusión directa. Las limitaciones de la extrusión indirecta son impuestas por la menor rigidez del pisón hueco y la dificultad de sostener el producto extraído tal como sale del dado.

En este método el pistón presiona en el tocho forzando el material a fluir alrededor del pistón y tomar una forma de copa. Hay limitaciones prácticas en la longitud de la parte extruída que pueden resolverse por este método.

La extrusión indirecta puede producir secciones huecas.

El sostenimiento del pistón se convierte en un problema a medida que la longitud de trabajo aumenta.

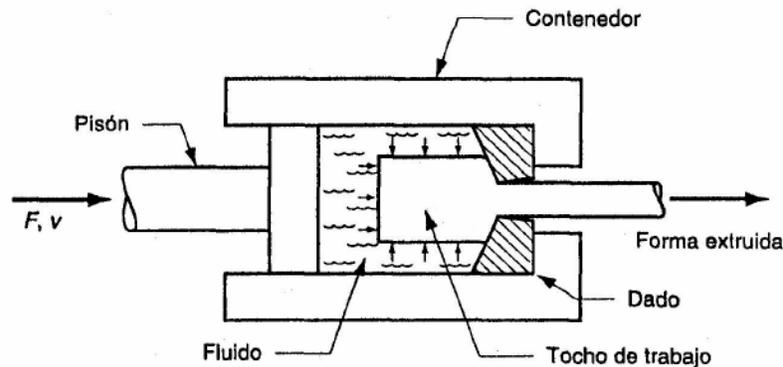


**Figura 2.8** Extrusión indirecta

### c. Extrusión hidrostática.

Un problema de la extrusión directa es la fricción a lo largo de la interfase tocho-contenedor. Este problema se puede solucionar utilizando un fluido en el interior del contenedor y ponerlo en contacto con el tocho, luego presionar el fluido con el movimiento hacia adelante del pistón, como se muestra en la figura 2.9 De tal manera que no exista fricción dentro del recipiente y se reduzca también la fricción en la abertura del dado. La fuerza del pistón es entonces bastante menor que en la extrusión directa. La presión del fluido que actúa sobre todas las superficies del tocho da su nombre al proceso. Se puede llevar a cabo a temperatura ambiente o a temperaturas elevadas. Para temperaturas elevadas se necesitan fluidos y procedimientos especiales. La extrusión hidrostática es una adaptación de la extrusión directa. La presión hidrostática sobre el material de trabajo incrementa la ductilidad del material. Por consiguiente, este proceso

se puede usar con metales que son demasiado frágiles para operaciones de extrusión convencional. Los metales dúctiles también pueden extruirse hidrostáticamente y es posible una alta relación de reducción en esos materiales. Una desventaja del proceso es que se requiere preparar los tochos iniciales de trabajo. El tocho debe formarse con un huso en uno de sus extremos para ajustarlo al ángulo de entrada del dado. Éste actúa como un sello que previene fugas del fluido a través de la abertura del dado, al iniciar la presurización del recipiente.



**Figura. 2.9** Extrusión hidrostática

#### **d. La extrusión en caliente.**

Involucra el calentamiento previo del tocho a una temperatura por encima de su temperatura de cristalización. Esto reduce la resistencia y reduce la ductilidad del metal, permitiendo mayores reducciones de tamaño y el logro de formas más complejas con este proceso.

Las ventajas adicionales incluyen reducción de la fuerza del pistón, mayor velocidad del mismo, y reducción en las características del flujo del grano en el producto final.

Cuando el enfriamiento del tocho entra en contacto con las paredes del recipiente es un problema, para superarlo algunas veces se utiliza extrusión isotérmica.

La lubricación es un aspecto crítico de la extrusión en caliente de ciertos metales, por ejemplo el acero y se ha desarrollado lubricantes especiales que son efectivos bajo las condiciones agresivas de la extrusión en caliente. Algunas veces se usa el vidrio como lubricante de la extrusión en caliente, además de reducir la fricción proporciona aislamiento térmico efectivo entre el tocho y el recipiente de extrusión.

**Tabla 2.1** Intervalos de temperatura de extrusión para diversos metales

Material	Temperatura (°C)
Plomo	200-250
Aluminio y sus aleaciones	375-475
Cobre y sus aleaciones	600-975
Aceros	875-1300
Aleaciones refractarias	975-2200
Zinc	200-350
Estaño	200 – 250

#### e. La extrusión en frío y la extrusión en tibio<sup>8</sup>

Generalmente se usan para producir partes discretas, frecuentemente en forma terminada o en forma casi terminada.

El término **extrusión por impacto** se usa para indicar una extrusión fría de alta velocidad. Algunas ventajas importantes de la extrusión en frío incluyen mayor resistencia debida al endurecimiento por deformación, tolerancias estrechas, acabados superficiales mejorados, ausencia de capas de óxido y altas velocidades de producción.

<sup>8</sup> Groover, Mikell, FUNDAMENTOS DE MANUFACTURA MODERNA, Pág. 476, 477,479.

**El proceso continuo** opera con estabilidad por un período indefinido de tiempo. Algunas operaciones de extrusión se aproximan a esta idea, produciendo secciones muy largas en un solo ciclo, pero estas operaciones quedan al fin limitadas por el tocho que se puede cargar en el contenedor de extrusión. Estos procesos se describen más precisamente como operaciones semicontinuas. En casi todos los casos las secciones largas se cortan en longitudes más pequeñas en una operación posterior de corte o aserrado.

En una **operación discreta** se produce una sola parte o pieza en cada ciclo de extrusión. La extrusión por impacto es un ejemplo de este caso de procesamiento discreto.

Para el presente proyecto se aplicará la extrusión de tipo: directa, en caliente y discreta, por lo que se analizará este tipo de extrusión.

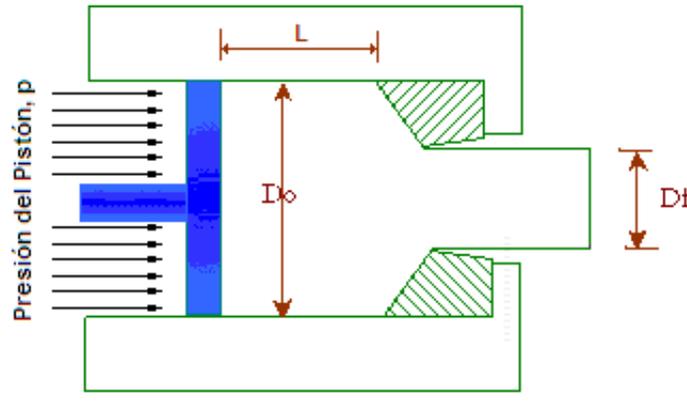
### **2.1.3 Análisis matemático:**<sup>9</sup>

#### **Análisis de extrusión el frío.**

Usaremos la figura 2.10 para la revisión de algunos parámetros de extrusión, el diagrama asume que tanto el tocho como la extrusión tienen una sección redonda transversal.

---

<sup>9</sup> Groover, Mikell, FUNDAMENTOS DE MANUFACTURA MODERNA, págs.  
Kalpakjian, Schmid, MANUFACTURA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA, págs.

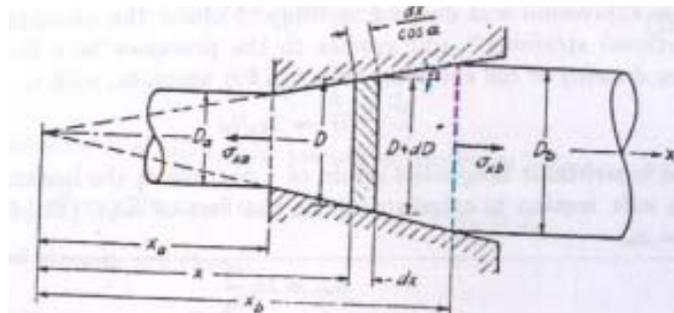


**Figura 2.10** Esquema simplificado para el diseño del contenedor

### Extrusión y trefilado de cuerpos cilíndricos<sup>10</sup>

Las fuerzas friccionales que actúan entre el metal y el dado son tangenciales a la presión normal entre el dado y el metal y se opone al movimiento relativo.

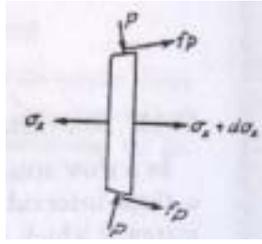
Estas fuerzas dependen de los materiales, la temperatura y la fuerza de extrusión. Las deformaciones en el material y las dimensiones se ven en la siguiente figura, asumiendo que el estado de esfuerzos para un cuerpo cilíndrico se da principalmente en el eje x.



**Figura 2.11** Dimensiones y esfuerzos en la extrusión

Si analizamos un elemento diferencial podemos apreciar de mejor forma los esfuerzos, presiones y fuerzas aplicadas.

<sup>10</sup> Hoffman, Sachs, INTRODUCTION TO THE THEORY OF PLASTICITY FOR ENGINEERS, Pag. 176



**Figura 2.12** Esfuerzos en el material

Según criterios de plasticidad como el de la energía de distorsión, tenemos las siguientes expresiones matemáticas:

$$\sigma_{rh} = \frac{C' D_b^{2n}}{B} + \sigma_0 \frac{1+B}{B} \quad (\text{Ec. 2.3})$$

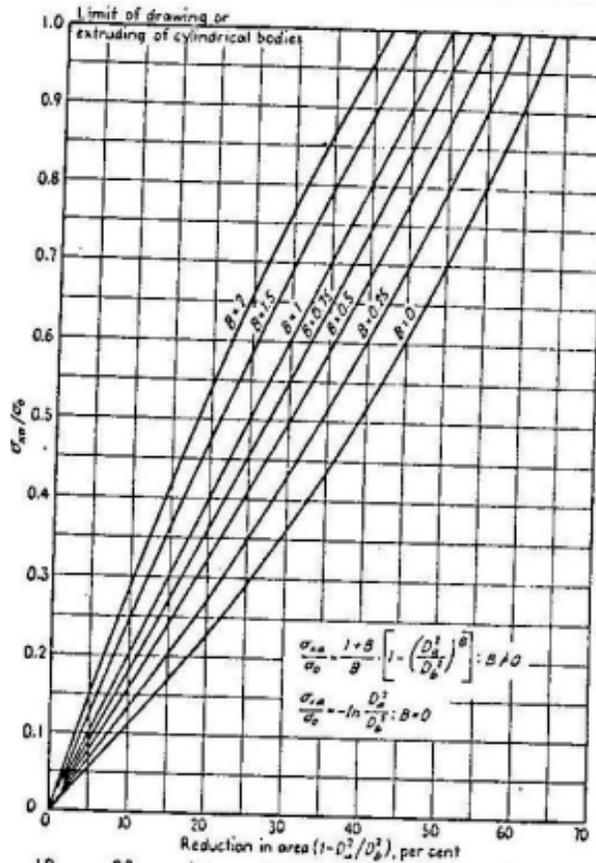
$$C' = \left( \sigma_{rh} - \sigma_0 \frac{1+B}{B} \right) \frac{B}{D_b^{2n}} \quad (\text{Ec. 2.4})$$

$$\frac{\sigma_r}{\sigma_0} = \frac{1+B}{B} \left[ 1 - \left( \frac{D^2}{D_b^2} \right)^n \right] + \frac{\sigma_{rh}}{\sigma_0} \left( \frac{D^2}{D_b^2} \right)^n \quad (\text{Ec. 2.5})$$

$$\frac{\sigma_{ra}}{\sigma_0} = \frac{1+B}{B} \left[ 1 - \left( \frac{D_a^2}{D_b^2} \right)^n \right] + \frac{\sigma_{rh}}{\sigma_0} \left( \frac{D_a^2}{D_b^2} \right)^n \quad (\text{Ec. 2.6})$$

$$\frac{\sigma_{ra}}{\sigma_0} = \frac{1+B}{B} \left[ 1 - \left( \frac{D_a^2}{D_b^2} \right)^n \right] \quad (\text{Ec. 2.7})$$

Ecuación para la cual necesitamos el valor de B, que se ve en la siguiente figura.



**Figura 2.13** Efecto de la reducción en los esfuerzos

Uno de los parámetros importantes es la *relación de extrusión*, o *relación de reducción* y se define como:

$$r_x = \frac{A_0}{A_f} \quad (2.8)$$

El valor de  $r_x$  se puede usar para determinar el esfuerzo real en la extrusión dado que la deformación ideal ocurre sin fricción y sin trabajo redundante:

$$\varepsilon = \ln r_x \quad (2.9)$$

Con el esfuerzo de deformación, podemos calcular la presión aplicada por el pistón para comprimir el tocho a través de la abertura del dado aplicando la siguiente fórmula:

$$p = \overline{Y}_f \ln r_x \quad (2.10)$$

Esta ecuación no considera la fricción, la cual no está aislada del proceso, por lo tanto, la siguiente ecuación empírica propuesta por Johnson para estimar la deformación de extrusión ha ganado considerable reconocimiento, y es la que se usará en los cálculos del proyecto:

$$\epsilon_x = a + b \ln r_x \quad (2.11)$$

Los valores típicos de las constantes son  $a = 0.8$  y  $b = 1.2$  a  $1.5$ . Los valores de  $a$  y  $b$  tienden a aumentar cuando se incrementa el ángulo dado.

En la extrusión directa, el efecto de fricción en las paredes del recipiente y el tocho ocasiona que la presión del pistón sea más grande que la extrusión indirecta.

Podemos escribir la siguiente expresión que aísla la fuerza de fricción en el recipiente de la extrusión directa:

$$\frac{pf \pi D_o^2}{4} = u p_c \pi D_o L \quad (2.12)$$

Donde:

$\pi D_o L$  : se conoce como área de la interfase entre el tocho y la pared del recipiente (mm<sup>2</sup>)

El miembro a la derecha de la ecuación indica la fuerza de fricción entre el tocho y el contenedor, y el lado izquierdo da la fuerza adicional del pisón para superar dicha fricción. En el peor de los casos, ocurre la adherencia en la pared del recipiente con los cual el esfuerzo de fricción iguala la resistencia a la fluencia cortante del metal de trabajo:

$$u p_c \pi D_o L = Y_s \pi D_o L \quad (2.13)$$

Si asumimos  $Y_s = \frac{\bar{Y}_f}{2}$ ;

Entonces Pf se reduce a:

$$p = \bar{Y}_f \left( \varepsilon_x + \frac{2L}{D_o} \right) \quad (2.14)$$

Donde el término  $\frac{2L}{D_o}$ , representa la presión adicional debida a la fricción en la interfase contenedor-tocho. Nótese que p disminuye al disminuir la longitud remanente (L), probablemente la ecuación anterior sobreestima la presión del pisón. Las presiones podrían ser menores que los valores calculados por esta ecuación con una buena lubricación.

La fuerza del pisón en la extrusión directa o indirecta es simplemente la presión p multiplicada por el área del tocho  $A_o$ :

$$F = p A_o \quad (2.15)$$

El requerimiento de potencia para llevar a cabo la operación de extrusión es:

$$P = F v \quad (2.16)$$

Para trabajo en frío se recomienda reducir el diámetro original en un 63% cuando está libre de expandirse lateralmente, y en trabajo en caliente este porcentaje puede aumentar. Sin embargo para el conformado del tocho dentro de un tubo, el esfuerzo de compresión puede ser mayor al de fluencia y pueden darse reducciones mayores al 63%.<sup>11</sup>

Es importante también tomar en cuenta el criterio de fabricantes de matrices, quienes aconsejan que la relación entre el área inicial y la final sea menor a diez para la extrusión en caliente de aleaciones de cobre.

### **Análisis extrusión en caliente.**

La fuerza que se requiere en la extrusión depende de la resistencia del material de la palanquilla, la relación de extrusión, la fracción entre las superficies de la palanquilla y la cámara, y de variables de proceso como la temperatura de la palanquilla y la velocidad de extrusión, entonces la fuerza de extrusión en caliente se calcula por:

$$F = A_o k \ln\left(\frac{A_o}{A_f}\right) \quad (2.17)$$

Donde k es la **constante de extrusión** y  $A_o$  y  $A_f$  , son las áreas transversales de la palanquilla y el producto respectivamente.

### **2.1.4 Análisis Térmico**

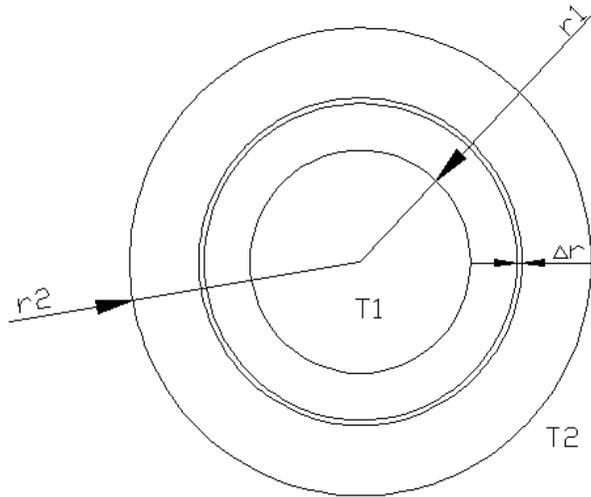
#### **Conducción en capas cilíndricas:**

La conducción unidimensional y estacionaria requiere que la temperatura sea solo función de la coordenada radial r. En el caso de una capa cilíndrica, el área

---

<sup>11</sup> Hoffman, Sachs, INTRODUCTION TO THE THEORY OF PLASTICITY FOR ENGINEERS, Pag. 167

de flujo varía en la dirección del flujo de calor. Para una capa cilíndrica de longitud  $L$  el área de flujo es  $A = 2\pi rL$ .  $A$  aumenta al aumentar  $r$ . La figura 2.14 Muestra una capa cilíndrica de longitud  $L$ , radio interior  $r_1$  y radio exterior  $r_2$ . La superficie interna se mantiene a temperatura  $T_1$  y la superficie externa a la temperatura  $T_2$ .



**Figura 2.14** Capa cilíndrica

Un volumen de control elemental se halla entre los radios  $r$  y  $r+\Delta r$ . Si las temperaturas no varían con el tiempo y  $Q.v=0$ , el principio de conservación de la energía exige que el flujo de calor a través de la cara  $r$  sea igual al de la cara  $r+\Delta r$ .

De acuerdo a deducciones matemáticas se obtiene que:<sup>12</sup>

$$\dot{Q}|_v = \dot{Q}|_{r + \Delta r} \quad (2.18)$$

<sup>12</sup> A.F. Mills, TRANSFERENCIA DE CALOR, págs. 9-12

$$\frac{T_1 - T}{T_1 - T_2} = \frac{\ln(r/r_1)}{\ln(r_2/r_1)} \quad (2.19)$$

$$\dot{Q} = \frac{2\pi kL(T_1 - T_2)}{\ln(r_2/r_1)} \quad (2.20)$$

### Ley de Joule:

La resistencia es el componente que transforma la energía eléctrica en energía calorífica, (por ejemplo un hornillo eléctrico, una estufa eléctrica, una plancha etc.). Mediante la ley de Joule podemos determinar la cantidad de calor que es capaz de entregar una resistencia, esta cantidad de calor dependerá de la intensidad de corriente que por ella circule y de la cantidad de tiempo que esté conectada, luego podemos enunciar la ley de Joule diciendo que la cantidad de calor desprendido por una resistencia es directamente proporcional a la intensidad de corriente a la diferencia de potencial y al tiempo.

$$Q = 0,24 I V t \quad (2.21)$$

Donde:

Q = cantidad de calor

0,24 = constante de proporcionalidad

I = intensidad que circula por la resistencia

V = diferencia de potencial que existe en el extremo de la R

t = tiempo de conexión (segundos)

Unidad = CALORIA multiplo = KILOCALORIA

La potencia disipada por efecto Joule será:

$$P = R I^2 = \frac{V^2}{R} \quad (2.22)$$

Donde:

R: Resistencia electrica

## **2.2 Estudio de los equipos de extrusión existentes y su funcionamiento.<sup>13</sup>**

Para que sea realizado el proceso de extrusión, es necesario aplicar presión al material fundido, forzándolo a pasar de modo uniforme y constante a través de la matriz.

### **a. Extrusora de desplazamiento positivo.**

Se obtiene la acción de transporte mediante el desplazamiento de un elemento de la propia extrusora. En la matriz la reología del polímero tiene mayor influencia sobre el proceso.

### **b. Extrusora de pistón (inyectora).**

Un pistón, cuyo accionamiento puede ser hidráulico o mecánico, fuerza al material a pasar a través de la matriz. Es utilizada para la extrusión de polímeros termofijos, politetrafluoretileno, Polietileno de Alta Densidad de Ultra Alto Peso Molecular (PEAD – UAPM), metales y materiales cerámicos.

### **c. Extrusora de fricción.**

La acción del transporte, conseguida aprovechándose las características físicas del polímero y la fricción de éste con las paredes metálicas transportadoras de la

---

<sup>13</sup> Schey, John, PROCESOS DE MANUFACTURA, págs. 366, 367

máquina, donde ocurre la transformación de energía mecánica en calor que ayuda a la fusión del polímero. La reología del polímero tiene influencia sobre todo el proceso. Los tipos son: extrusora de cilindros y extrusora de rosca.

#### **d. Extrusora de cilindros.**

Consiste, básicamente, en dos cilindros próximamente dispuestos. El material a ser procesado pasa entre estos cilindros y es forzado a pasar por una matriz. Este proceso es utilizado para algunos elastómeros y termoplásticos. La figura 2 representa una esquematización de este tipo de extrusora.

#### **e. Extrusora de rosca.**

Las extrusoras de rosca pueden estar constituidas por una, dos o más roscas. Son las más utilizadas para la extrusión de termoplásticos, comparadas con todos los demás tipos de extrusoras.

### **2.3 Prensas**

Las prensas se propulsan hidráulica o mecánicamente.

#### **a. Las prensas hidráulicas.**

Se atascan cuando alcanzan su límite de carga y se pueden usar con matrices que hacen contacto (besan) al final de la carrera. Las prensas hidráulicas son en particular adecuadas para la forja isotérmica, donde se requiere una tasa de deformación muy baja.

Este tipo de prensas son especialmente apropiadas para la producción semicontinua de secciones largas como en la extrusión directa.

Las prensas de extrusión pueden ser horizontales o verticales dependiendo de la orientación de los ejes de trabajo.

## **b. Las prensas mecánicas.**

Son de varios tipos de construcción. Tienen una carrera prefija y desarrollan una fuerza infinita al final de ella. Por lo tanto, en el forjado en matriz cerrada verdadera, se debe permitir el escape de material en exceso o se debe fijar con extremo cuidado su separación, análogamente con el proceso de extrusión.

Frecuentemente se usa la impulsión mecánica para la extrusión en frío de partes individuales, tales como la extrusión por impacto.

Al configurar la prensa, se debe tomar en cuenta la extensión elástica del bastidor. Las constantes de resorte de la prensa raramente exceden 4MN/mm. Debido a las velocidades menores y a los tiempos de contacto mayores, las piezas de trabajo se deben preformar de manera cuidadosa si se van a fabricar partes complejas a través del forjado o extrusión en caliente en prensa.

## **c. Prensas de tornillo.**

Reducen la marcha a medida que la energía almacenada se agota en el golpe, de ahí que sus características estén entre las de las prensas mecánicas y los de los martinets.

## **d. Prensas de arietes múltiples.**

Prensas de arietes y los manipuladores asociados a ellas se pueden controlar por computadora para formar el núcleo de un sistema flexible de forjado.

## **e. Recalcadores horizontales**

Para el trabajo en caliente y en frío y los cabeceadores fríos para el trabajo en frío componen una clase especial de prensas, ambos empiezan con tramos rectos de alambre o de barra. Para los cabeceadores fríos el material se

alimenta mediante rodillos posicionadores de agarre, algunas veces a través de un enderezador de rodillos múltiples o incluso de una matriz de estirado que suministra una barra de tolerancias cerradas.

El extremo de la barra o del alambre se deforma en pasos sucesivos que varían desde el recalado simple hasta la operación más compleja combinada de forjado-extrusión.

## **2.4 Obtención de la fundición de Cobre Zinc 70 – 30**

La aleación de cobre zinc 70 – 30 tiene un punto de fusión de 1000°C.

Para obtener una fundición homogénea es necesario poner en el crisol pedazos pequeños del material en la proporción requerida, como queremos sacar un tocho de 54,2 g de aleación, necesitamos 37,94 g de cobre y 16,26 g de zinc.

Como el producto de la fundición tiene superficie irregular, consideramos una sobremedida de 1 mm en el diámetro para poder darle un mejor acabado, es por esto que debemos fundir 46,83 g de cobre y 20,07 g de zinc.

La fundición se realiza en el laboratorio de Metalurgia de la Carrera, donde se usa el horno mufla, crisoles, pinzas, moldes, arena de fundición y todo el equipo de seguridad necesario.

Para conservar las propiedades mecánicas requeridas para la extrusión, el enfriamiento se hace gradualmente a temperatura ambiente.

## **2.5 Propiedades de la aleación Cu-Zn 70-30**

### **a. Propiedades de Cobre**

El cobre es uno de los metales de mayor uso, de apariencia metálica y color pardo rojizo.

Elemento químico, de símbolo Cu, con número atómico 29; uno de los metales de transición e importante metal no ferroso.

Su punto de fusión es de 1.083 °C, mientras que su punto de ebullición es de unos 2.567 °C, y la temperatura de recristalización es de 200 °C<sup>14</sup>, y tiene una densidad de 8,9 g/cm<sup>3</sup>. Su masa atómica es 63,546.

Propiedades: elevada conductividad del calor y electricidad, gran resistencia a la corrosión, gran maleabilidad y ductilidad.

Su utilidad se debe a la combinación de sus propiedades químicas, físicas y mecánicas, así como a sus propiedades eléctricas y su abundancia. El cobre fue uno de los primeros metales usados por los humanos.

La mayor parte del cobre del mundo se obtiene de los sulfuros minerales como la calcocita, covelita, calcopirita, bornita y enargita. Los minerales oxidados son la cuprita, tenorita, malaquita, azurita, crisocola y brocantita. El cobre natural, antes abundante en Estados Unidos, se extrae ahora sólo en Michigan.

El grado del mineral empleado en la producción de cobre ha ido disminuyendo regularmente, conforme se han agotado los minerales más ricos y ha crecido la demanda de cobre. Hay grandes cantidades de cobre en la Tierra para uso futuro si se utilizan los minerales de los grados más bajos, y no hay probabilidad de que se agoten durante un largo periodo.

Un metal comparativamente pesado, el cobre sólido puro, tiene una densidad de 8.96 g/cm<sup>3</sup> a 20°C, mientras que el del tipo comercial varía con el método de manufactura, oscilando entre 8.90 y 8.94.

El punto de fusión del cobre es de 1083.0 +/- 0.1°C (1981.4 +/- 0.2°F). Su punto de ebullición normal es de 2595°C (4703°F).

El cobre no es magnético; o más exactamente, es un poco paramagnético. Su conductividad térmica y eléctrica son muy altas. Es uno de los metales que puede tenerse en estado más puro, es moderadamente duro, es tenaz en extremo y resistente al desgaste.

---

<sup>14</sup> Askeland, Donald, Ciencia e Ingeniería de los Materiales. Pág: 193

La fuerza del cobre está acompañada de una alta ductibilidad. Las propiedades mecánicas y eléctricas de un metal dependen en gran medida de las condiciones físicas, temperatura y tamaño de grano del metal.

De los cientos de compuestos de cobre, sólo unos cuantos son fabricados de manera industrial en gran escala. El más importante es el sulfato de cobre(II) pentahidratado o azul de vitriolo,  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ . Otros incluyen la mezcla de Burdeos;  $3\text{Cu}(\text{OH})_2\text{CuSO}_4$ ; verde de París, un complejo de metaarsenito y acetato de cobre; cianuro cuproso,  $\text{CuCN}$ ; óxido cuproso,  $\text{Cu}_2\text{O}$ ; cloruro cúprico,  $\text{CuCl}_2$ ; óxido cúprico,  $\text{CuO}$ ; carbonato básico cúprico; naftenato de cobre, el agente más ampliamente utilizado en la prevención de la putrefacción de la madera, telas, cuerdas y redes de pesca. Las principales aplicaciones de los compuestos de cobre las encontramos en la agricultura, en especial como fungicidas e insecticidas; como pigmentos; en soluciones galvanoplásticas; en celdas primarias; como mordentes en teñido, y como catalizadores.

Debido a su extraordinaria conductividad, sólo superada por la plata, el uso más extendido del cobre se da en la industria eléctrica. Su ductilidad permite transformarlo en cables de cualquier diámetro, a partir de 0,025 mm. La resistencia a la tracción del alambre de cobre estirado es de unos 4200 kg/cm<sup>2</sup>. Puede usarse tanto en cables y líneas de alta tensión exteriores como en el cableado eléctrico en interiores, cables de lámparas y maquinaria eléctrica en general: generadores, motores, reguladores, equipos de señalización, aparatos electromagnéticos y sistemas de comunicaciones.

A lo largo de la historia, el cobre se ha utilizado para acuñar monedas y confeccionar útiles de cocina, tinajas y objetos ornamentales. En un tiempo era frecuente reforzar con cobre la quilla de los barcos de madera para proteger el casco ante posibles colisiones. El cobre se puede galvanizar fácilmente como tal o como base para otros metales. Con este fin se emplean grandes cantidades en la producción de electrotipos (reproducción de caracteres de impresión).

## **b. Propiedades del Zinc**

Elemento químico de símbolo Zn, número atómico 30 y peso atómico 65.37. Es un metal maleable, dúctil y de color gris. Se conocen 15 isótopos, cinco de los cuales son estables y tienen masas atómicas de 64, 66, 67, 68 y 70. Cerca de la mitad del zinc común se encuentra como isótopo de masa atómica 64.

Los usos más importantes del zinc los constituyen las aleaciones y el recubrimiento protector de otros metales. El hierro o el acero recubiertos con zinc se denominan galvanizados, y esto puede hacerse por inmersión del artículo en zinc fundido (proceso de hot-dip), depositando zinc electrolíticamente sobre el artículo como un baño chapeado (electro galvanizado), exponiendo el artículo a zinc en polvo cerca de su punto de fusión (sherardizing) o rociándolo con zinc fundido (metalizado).

El zinc puro y recientemente pulido es de color blanco azulado, lustroso y moderadamente duro (2.5 en la escala de Mohs). El aire húmedo provoca su empañamiento superficial, haciendo que tenga color gris. El zinc puro es dúctil y maleable pudiéndose enrollar y tensar, pero cantidades pequeñas de otros metales como contaminantes pueden volverlo quebradizo. Se funde a 420°C (788°F) y hierve a 907°C (1665°F), y su temperatura de recristalización es menor a la temperatura ambiente. Su densidad es 7.13 veces mayor que la del agua, ya que un pie cúbico (0.028m<sup>3</sup>) pesa 445 lb (200 Kg).

El zinc es buen conductor del calor y la electricidad. Como conductor del calor, tiene una cuarta parte de la eficiencia de la plata. A 0.91°K es un superconductor eléctrico. El zinc puro no es ferromagnético.

El zinc es siempre divalente en sus compuestos, excepto algunos cuando se une a otros metales, que se denominan aleaciones de zinc. Forma también muchos compuestos de coordinación. En la mayor parte de ellos la unidad estructural

fundamental es un ion central de zinc, rodeado por cuatro grupos coordinados dispuestos espacialmente en las esquinas de un tetraedro regular.<sup>15</sup>

### **c. Propiedades de la aleación Cobre-Zinc**

Las aleaciones útiles de cobre y zinc contienen hasta un 40 % de zinc, las que contienen del 30 al 35 % son las de mayor aplicación por ser baratas, muy dúctiles y fáciles de trabajar. Al disminuir el contenido de zinc, las aleaciones se aproximan cada vez más al cobre en sus propiedades y mejoran su resistencia a la corrosión. Se pueden presentar agrietamientos por esfuerzos producidos en la elaboración con latones de alto contenido de zinc pero raras veces en los de 15% de zinc, este es un agrietamiento espontáneo, que se produce por la exposición a la corrosión atmosférica en objetos de latón con grandes tensiones superficiales residuales. Puede evitarse por medio del recocido de alivio de tensiones de 246 a 276 grados centígrados, sin que se ablande la pieza. Debe observarse que las aleaciones susceptibles al agrietamiento espontáneo por esfuerzos producidos en la elaboración, aún cuando estén exentas de deformaciones internas, se agrietarán al ser expuestas a condiciones de corrosión bajo grandes esfuerzos de servicio.

Las aleaciones de zinc del 5 al 20% son de aplicación en operaciones de soldado con soldadura fuerte, a causa de no ser susceptibles al agrietamiento por esfuerzos producidos en la elaboración, debido a su color rojo y porque su alto punto de fusión es conveniente.

El trabajo en frío aumenta la dureza y la resistencia a la tracción y disminuye la ductilidad, medida por el alargamiento o reducción del área. El recocido por debajo de cierta temperatura no tiene prácticamente efecto alguno, por el intervalo(rango), de cristalización se produce un descenso rápido de la resistencia y un aumento de la ductilidad. En este punto, el efecto del trabajo en frío es eliminado casi en su totalidad.

---

<sup>15</sup> [www.utp.edu.co/publio17/cobre](http://www.utp.edu.co/publio17/cobre)

La temperatura de extrusión en caliente del latón es aproximadamente 600°C, la temperatura de fusión 1000°C, calor específico (cp) 385 J/kg°K, coeficiente de conducción (k) 111 W/mK y su densidad es 8522 kg/m<sup>3</sup>.

Su módulo de elasticidad es de 15,9E6 lb/plg<sup>2</sup>, resistencia a la tracción de 47 Ksi, conductividad térmica 84,6 Btu/(h\*pie<sup>2</sup>\*F\*pie) y su relación de Poisson es 0,331.<sup>16</sup>

El latón para resortes debe laminarse con una dureza que sea compatible con las operaciones subsiguientes de formado. Para artículos que requieren dobleces pronunciados, o para las operaciones de embutido profundo, debe usarse latón recocido.

La adición de plomo al latón lo hace de corte fácil y notablemente maquinable. Las adiciones del 0.75 al 1.25% de estaño mejoran su resistencia a la corrosión. El aluminio se agrega al latón para mejorar su resistencia a la corrosión, particularmente en las aplicaciones de tubos para condensadores. El bronce de manganeso es un latón complejo para el trabajo en caliente, de alta resistencia mecánica y de resistencia al desgaste por abrasivos. El latón naval se usa para árboles (flechas) en los barcos.

Se fabrican perfiles por extrusión de muchas aleaciones de cobre en una amplia variedad de formas. La extrusión es importante ya que muchos objetos, como piñones, articulaciones, alambre, brazos o ménsulas y cañones de cerraduras, pueden hacerse directamente a partir de varillas extruidas.

## **2.6 Aplicaciones del alambre de Cu-Zn.**

La combinación 70% cobre 30% zinc es una de las aleaciones cobre-zinc más utilizadas. Es maleable, dúctil, excelente para trabajos en frío pero deficiente para trabajo en caliente y deficientes propiedades para mecanizado.

---

<sup>16</sup> Avallone, Baumeister, MANUAL DEL INGENIERO MECÁNICO, págs. 5-5, 4-86

No se puede tratar en caliente para desarrollar dureza. Desarrolla una alta resistencia a la tensión con el trabajo en frío. El templado se ve afectado por la laminación en frío.

Clasificado como excelente en soldaduras blandas. Bueno para soldadura fuerte con aleaciones de plata o soldado con oxiacetileno y bastante bueno a efectos de resistencia en soldadura por arco de carbono. Utilizado en cartuchos estampados, tubos, elementos de las máquinas de ojetes, cierres por presión, etc.

### 2.6.1 En la Industria

La aleación 65% cobre y 35% zinc. Conocido como "Latón alto" o "Latón dos a uno". Aleación cobre-zinc de color amarillo. Utilizada en muy gran medida en el pasado, reemplazada ahora por el Latón de Cartucho.

Los procesos de fusión, colada y extrusión, bajo estricto control, producen las distintas calidades, ligadas íntima y homogéneamente, que demanda cada mercado y aplicación específica.

Esta diversidad de propiedades determina los campos de aplicación industrial más propios del latón. Algunos de los más representativos:



**Figura 2.15** Accesorios fabricados de latón

- a. Cerrajería.
  - Bombillos
  - Pitones
  - Candados
  - Llaves
- b. Valvulería
  - Grifería
  - Roscado
  - Mecanizado
  - Estampado
- c. Tornillería
  - Todo tipo de tornillería clásica
  - Normalizada
- d. Decoración
  - Lámparas
- e. Componentes eléctricos
  - Enchufes
  - Clavijas
- f. Automoción
  - Termostatos
  - Válvulas
- h. Varios
  - Puntas de bolígrafo
  - aplicaciones navales, relojería.<sup>17</sup>

---

<sup>17</sup> <http://www.steelmill.com/Dictionary/dictionaryofmetallurgyNR.html>

## 2.6.2 Investigación de la potabilización de agua por medio de energía solar<sup>18</sup>

La **Electrólisis** consiste en la descomposición mediante una corriente eléctrica de sustancias ionizadas denominadas electrolitos. La palabra *electrólisis* procede de dos radicales, *electro* que hace referencia a electricidad y *lisis* que quiere decir ruptura.

En la purificación de agua, se incluye una sustancia ajena, de la cual se obtendrá cloro mediante la electrolisis, esta sustancia llamada comúnmente sal, cloruro de sodio, es adiciona en proporciones mínimas y adecuadas para la potabilización, al pasar la corriente eléctrica por la mezcla, el cloro se disocia, haciendo que el agua se purifique, además el agua rompe su moléculas liberando oxígeno, que actúa como desinfectante natura.

La celda electroquímica es la combinación del agua, electrodos y electricidad que circula por éstos. Los electrodos para este tipo de electrolisis son generalmente, cobre o sus aleaciones y carbón.

Como se definió antes, los alambres obtenidos se usaran como electrodos en este proceso, los cuales era obtenidos por medio de torneado, el cual es un proceso lento, y tediosos, obteniendo poco electrodo en mucho tiempo, por lo que la extrusión agilizará la obtención de los electrodos, usados en el proyecto de potabilización de agua por medio de paneles fotovoltaicos, desarrollado anteriormente, por compañeros de la carrera.

---

<sup>18</sup> Extracto tomado del proyecto de grado. "Diseño y construcción de un modelo experimental generador de cloro para desinfección de agua a partir de energía fotovoltaica" Autores: Aulestia Milton y Auz Walter.

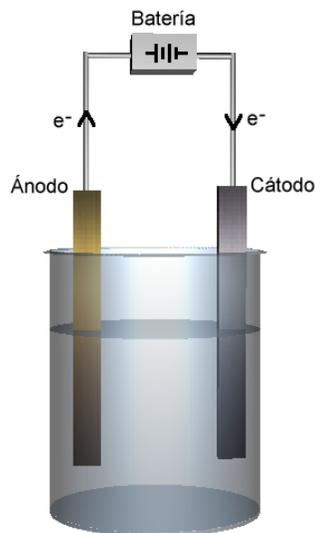
### **Procedimiento de Potabilización de agua:**

La calibración de la celda se realiza dependiendo del volumen de agua que se procederá a desinfectar, además se debe considerar la temperatura ambiental y temperatura del agua.

Los electrodos deben permanecer dentro de la solución lo que permitirá que se genere la reacción química, dependiendo de la distancia que se tenga entre la celda electroquímica se ubican los electrodos, teniendo en cuenta que nunca estén en contacto porque se produce otro tipo de reacción.

### **Pasos que sigue la desinfección del agua, según el proyecto de generador de cloro para desinfección de agua a partir de agua potable.**

- Preparación del recipiente de plástico traslucido, dimensionamiento o señalización de volumen requerido y colocación de los electrodos con sus conexiones requeridas.
- Llenar de agua al volumen indicado
- Colocar la sal la cantidad necesaria para la mezcla
- Revolver el agua con la sal hasta que se diluya totalmente
- Dejar la solución un momento hasta que este en reposo
- Conectar la energía eléctrica requerida producida por las celda fotovoltaicas
- Esperar el tiempo necesario para el proceso de la celda electroquímica.



**Figura. 2.16** Esquema resumido de la celda electroquímica

### **Ánodo y Cátodo.**

Los electrodos se dividen en ánodo, el cual el proceso está sometido a oxidación, y cátodo el cual dentro de la celda electroquímica está en un proceso de reducción.

Con la extrusión de latón, obtenemos un alambre, el cual se usará como ánodo en el proceso de potabilizar el agua.

### **2.7 Estudio del impacto ambiental**

Para la realización de este proyecto es necesario tomar en cuenta la afectación que puede tener al ambiente, entendiendo ambiente como todo lo que rodea al equipo, incluyendo al personal de trabajo, es por esto que analizaremos ciertos puntos de importancia según los cuales dirigiremos este estudio.

### **Localización del equipo:**

Este equipo de extrusión está diseñado para ser operado en taller por lo cual debe brindar mayor seguridad al momento de ser utilizado que si fuera operado en un espacio abierto, considerando nivel bajo de ruido, temperaturas tolerables de trabajo o en su defecto aislamiento o señales oportunas de advertencia, espacio adecuado para su operación, emisión controlada de gases, materiales no tóxicos entre los principales.

### **Temperatura de trabajo:**

Para la extrusión de aleación cobre-zinc en proporción 70/30, el equipo debe alcanzar una temperatura de 300 grados Celsius, por lo que es conveniente pintar un aviso que alerte a las personas que estén cerca, por otro lado, esta temperatura no afecta al ambiente, ya que se disipa con rapidez en el aire sin que ocurra un choque térmico.

### **Materiales:**

Se utilizan diversos materiales para la construcción de este equipo, siendo el principal el acero de aleación, el cual tiene buena conductividad térmica para disipar calor del proceso, evitando alterar el ambiente, además de ser un material que en ningún estado es nocivo para la salud o el medio ambiente.

### **Seguridad:**

Por tratarse de un trabajo en taller, es vital utilizar el equipo de seguridad industrial respectivo, respetar la distancia mínima de operación, señales y avisos, contar con la suficiente concentración para manejar la prensa hidráulica y el equipo de extrusión, alistar el lugar donde va a ser depositado el alambre que sale caliente, y en general estar preparados para cualquier eventualidad.