

Anexo 1:

***Objetivos,
competencias,
dedicación
estimada
y bibliografía
recomendada.***

• **OBJETIVOS DE APRENDIZAJE:**

- Identificar los procesos de extrusión, trefilado y estirado, incluyendo ventajas e inconvenientes de cada uno de ellos.
- Conocer los diferentes tipos de procesos de extrusión.
- Identificar los defectos que puede presentar su aplicación y como corregirlos o reducirlos.
- Conocer la maquinaria necesaria para realizar los diferentes procesos.
- Identificar piezas o elementos que tenemos en nuestro entorno y se realizan mediante los procesos explicados.
- Seleccionar los procesos de fabricación más adecuados a partir del conocimiento de las capacidades y limitaciones de éstos y según las exigencias tecnológicas, técnicas y económicas tanto de producto como de mercado.

• **COMPETENCIAS ADQUIRIDAS:**

• **Competencias genéricas:**

1. Capacidad para planificar, presupuestar, organizar, dirigir y controlar tareas, personas y recursos (C2).
2. Capacidad para combinar los conocimientos básicos y los especializados de Ingeniería para generar propuestas innovadoras y competitivas en la actividad profesional (C3).
3. Capacidad para resolver problemas y tomar decisiones con iniciativa, creatividad y razonamiento crítico (C4).
4. Capacidad para analizar y valorar el impacto social y medioambiental de las soluciones técnicas actuando con ética, responsabilidad profesional y compromiso social, buscando siempre la calidad y la mejora continua (C7).

• **Competencias específicas:**

5. Conocimientos básicos de los sistemas de producción y fabricación. (C26)
6. Capacidad para definir, implantar y gestionar sistemas y procesos de fabricación para la conformación de conjuntos mecánicos según especificaciones de diseño (C40).
7. Capacidad para definir e implantar sistemas de control de calidad aplicados a productos y procesos de fabricación, incluyendo sistemas de control metrológico. (C41).

• **DEDICACIÓN ESTIMADA:**

El tiempo estimado de trabajo del alumno para la realización de esta actividad es de 45 minutos:

- | | |
|---|-------------|
| - Lectura y comprensión del dossier → | 30 minutos. |
| - Visualización y comprensión de las diferentes animaciones → | 5 minutos. |
| - Realización de la autoevaluación → | 5 minutos. |
| - Realización de la encuesta posterior → | 5 minutos. |

• **BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA:**

- Manufactura. Ingeniería y tecnología.

Serope Kalpakjian, Steven Schmid.

Ed. Prentice Hall.

- Fundamentos de Manufactura Moderna. Materiales, Procesos y Sistemas.

Mikell P.Groover.

Ed. Prentice Hall.

Anexo 2:

Extrusión

y estirado

de metales.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
1.EXTRUSIÓN	3
1.1. INTRODUCCIÓN.....	3
1.2. EL PROCESO DE EXTRUSIÓN	4
1.2.1. DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURA EN LA EXTRUSIÓN.....	5
1.2.2. FLUJO DEL METAL DURANTE LA EXTRUSIÓN	7
1.2.3. FUERZAS DE EXTRUSIÓN.	9
1.3. CLASIFICACIÓN.....	11
1.3.1. EXTRUSIÓN EN CALIENTE.....	11
1.3.2. EXTRUSIÓN EN FRÍO.	12
1.3.3. EXTRUSIÓN DIRECTA.....	14
1.3.4. EXTRUSIÓN INDIRECTA.....	17
1.3.5. EXTRUSIÓN HIDROSTÁTICA.....	19
1.3.6. EXTRUSIÓN POR IMPACTO.....	20
1.4. DEFECTOS.....	21
1.5. PRODUCCIÓN DE TUBOS EXTRUIDOS.....	23
1.6. DADOS DE EXTRUSIÓN.	25
1.7. EQUIPOS DE EXTRUSIÓN.	26
2. ESTIRADO Y TREFILADO.	28
2.1. INTRODUCCIÓN.....	28
2.1.1. DIFERENCIAS ENTRE TREFILADO Y ESTIRADO	28
2.1.2. METALES Y ALEACIONES APTAS	29
2.2. EL PROCESO DE ESTIRADO.....	30
2.3. EL PROCESO DE TREFILADO.....	31
2.4. DEFECTOS.....	31
2.5. EQUIPO DE ESTIRADO.	32
2.6. EJEMPLOS DE ESTIRADO Y TREFILADO.....	32
3. BIBLIOGRAFÍA.....	34

1. EXTRUSIÓN.

1.1. INTRODUCCIÓN.

La extrusión es un proceso de conformado por compresión, en el cual el material de trabajo, palanquilla o lingote es forzado a fluir a través de la abertura de un dado para darle forma a su sección transversal. El proceso puede parecerse a apretar un tubo de pasta de dientes.

La extrusión data desde el año 1800. Originalmente fue desarrollado para la fabricación de tubo de plomo.

La extrusión en la fabricación de piezas metálicas es un método relativamente nuevo. Los problemas por encontrar el material adecuado para el dado, que soporte las altas temperaturas y presiones requeridas para extruir los metales más duros y fuertes, no fueron resueltos sino hasta bien entrado el siglo XX.

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

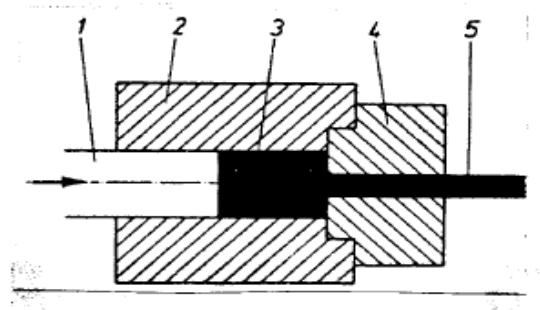
Las ventajas de los procesos modernos incluyen:

- Posibilidad de extruir una gran variedad de formas, especialmente mediante extrusión en caliente; sin embargo, una limitación es la geometría de la sección transversal que debe ser la misma a lo largo de todo el proceso.
- Se mejoran la estructura del grano y las propiedades de resistencia con la extrusión en frío o en caliente.
- Son posibles tolerancias muy estrechas, en especial en la extrusión en frío.
- En algunas operaciones de extrusión se genera poco o ningún material de desperdicio.

1.2. EL PROCESO DE EXTRUSIÓN.

La extrusión en prensa es un procedimiento de conformación por deformación plástica, que consiste en moldear una masa de material dúctil, en caliente o frío, por compresión en un recipiente. En un extremo está la matriz que presenta un orificio con las dimensiones aproximadas del producto que se desea obtener y por el otro un émbolo o punzón que se encargará de hacer la presión necesaria.

Si el esfuerzo de compresión se transmite al metal por medio del punzón se le denomina extrusión directa, si se transmite por medio de la matriz extrusión indirecta.



Extrusión: 1, punzón; 2, contenedor; 3, metal; 4, matriz; 5, pieza extruída.

Fig. 1. Ejemplo de extrusión directa.

Los metales típicos que se extruyen en caliente son: aluminio, cobre, magnesio, zinc, estaño y sus aleaciones. Estos mismos materiales también se pueden extruir algunas veces en frío, pero no es lo normal. Las aleaciones de acero se extruyen habitualmente en caliente, excepto los aceros más suaves y más dúctiles que se suelen extruir en frío (por ejemplo, aceros de bajo carbono y aceros inoxidables). El aluminio es probablemente el metal ideal para extrusión (en caliente o en frío), muchos productos comerciales de aluminio se hacen por este proceso como por ejemplo, perfiles estructurales y marcos para puertas y ventanas.

Por este procedimiento se obtienen perfiles o tubos de secciones perfectamente uniformes y de excelente acabado.

Las variables de la extrusión son el ángulo del dado o matriz, la relación de extrusión, la temperatura, la velocidad del pistón y el lubricante que se usa.

Un parámetro que describe la forma del producto es el diámetro del círculo circunscrito (DCC), el del círculo más pequeño en el que cabe el perfil extruido.

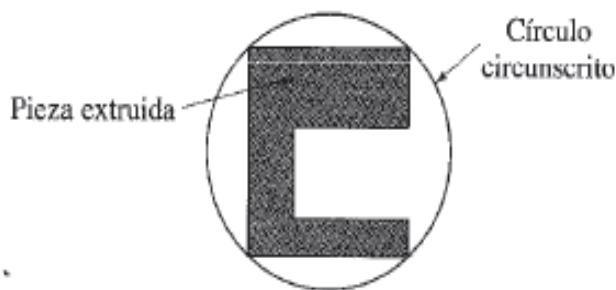


Fig. 2. Método para determinar el diámetro del círculo circunscrito (DCC) de un perfil extruido. Fuente: Kalpakjian.

1.2.1. DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURA EN LA EXTRUSIÓN

La mayoría de la extrusión industrial es esencialmente un proceso de trabajo en caliente donde el material a extruir es calentado a una temperatura uniforme antes de insertarlo en el contenedor.

El lingote se calienta a la temperatura de trabajo en caliente, como regla general ésta es de dos terceras partes de la temperatura de fusión en grados K, por ejemplo, aluminio 600 K, cobre 800 K.

El contenedor se calienta siempre a una temperatura más baja que el material a extruir haciendo que el exterior de éste tienda a enfriarse una vez que hace contacto con

el contenedor. Las capas exteriores del lingote son continuamente enfriadas durante el resto del ciclo.

Las velocidades de deformación en estas zonas pueden ser tales que provoquen considerables elevaciones de temperatura. Si estas elevaciones son excesivas, entonces el metal puede exceder su punto de fusión dando origen a fusión incipiente. El metal extruido será expulsado desde la apertura del dado, en forma de explosiones, para dar la clásica fractura de "abeto".

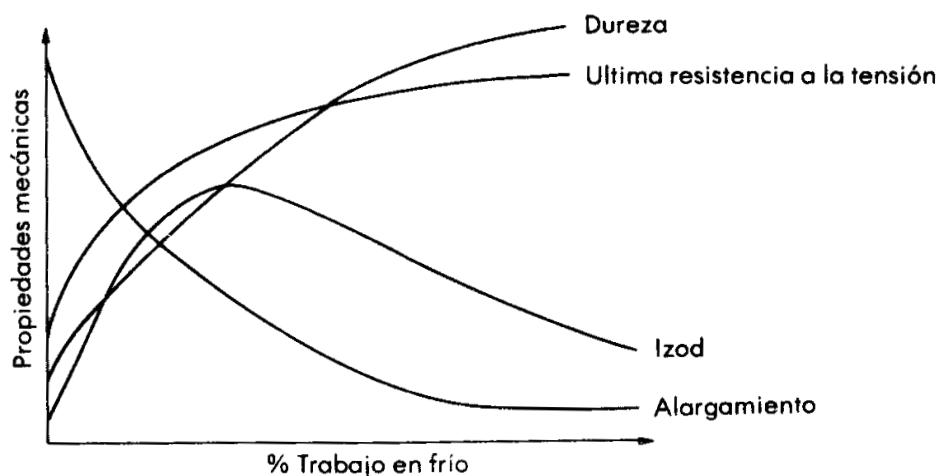


Fig. 3. Evolución de las propiedades mecánicas respecto a la reducción de temperatura en el proceso de extrusión

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. La explicación de la formación de estos granos grandes se ha dado en la Fig. 3. Este es un problema particularmente severo para las aleaciones de aluminio y ha sido estudiado por Smith. Concluye que para evitar granos grandes periféricos y fusión incipiente, es necesario imponer un control preciso de la temperatura de recalentamiento del lingote, temperatura del contenedor y velocidad del émbolo.

De Smith se investigaron los parámetros de operación y se propusieron guías para la eliminación de los mayores defectos del producto.

1.2.2. FLUJO DEL METAL DURANTE LA EXTRUSIÓN.

Es importante el patrón de líneas de flujo del metal en la extrusión por su influencia sobre la calidad y las propiedades mecánicas del producto final.

Al investigarse el flujo en la extrusión, pudo deducirse que si un lingote se corta longitudinalmente por la mitad y las dos mitades se colocan juntas y extruidas a través de un dado, que esté colocado axialmente, el hecho de que el lingote esté cortado, no afectará el flujo. Por otro lado, si el dado se coloca asimétricamente, entonces es obvio que el lingote cortado, fluirá en forma diferente a otro que no esté cortado, como se muestra en la Fig. 4.

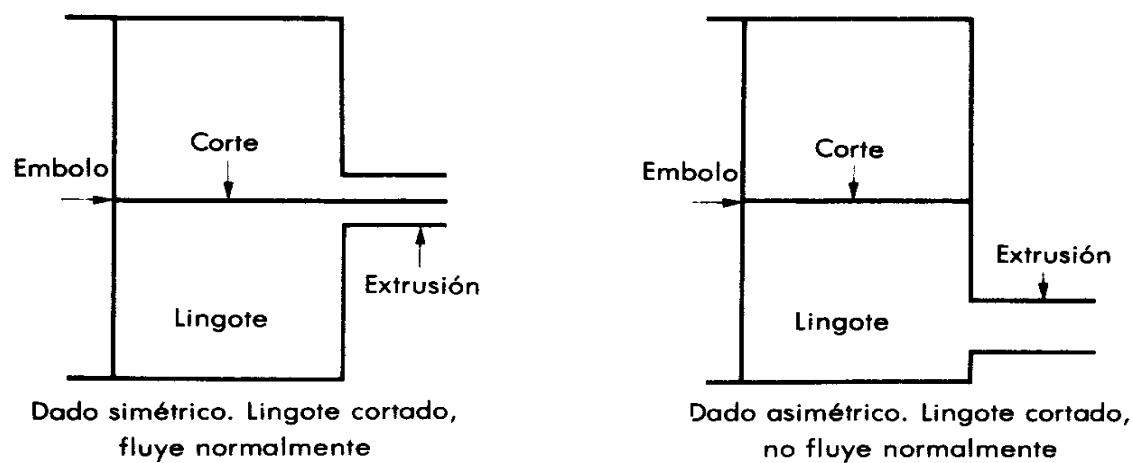


Fig. 4. Influencia de la simetría del dado en el flujo.

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. El 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. 5).

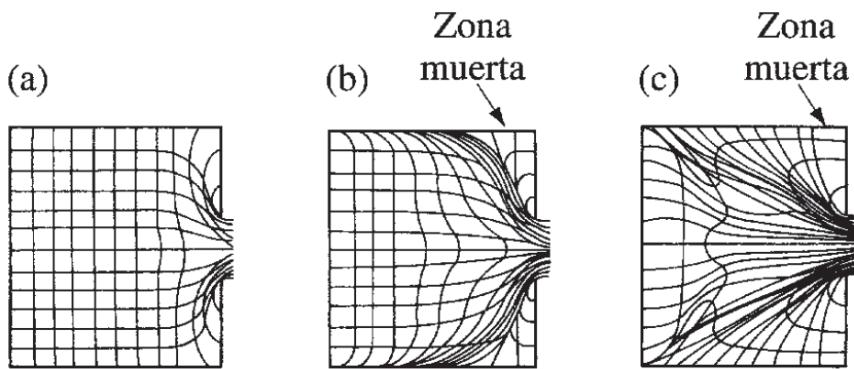


Fig. 5. Flujo de metal a extruir con dados cuadrados. Fuente: Kalpakjian.

En el patrón de flujo tipo A, no hay fricción entre el lingote y el contenedor, el metal se desliza hacia el dado sin deformación en toda su longitud. Esto se demuestra por el hecho de que las líneas horizontales del patrón de la rejilla permanecen así hasta que llegan al dado. Cerca del dado, el lado exterior del lingote es detenido 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 fuertes.

El tipo C, muestra el patrón de flujo cuando hay mucha fricción 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 el punzón.

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. Este patrón de extrusión tipo C da lugar a dos clases de defectos: el

"agrietamiento interno" y el "agrietamiento de abeto", que están detallados más adelante en el apartado de defectos.

El patrón de flujo en la extrusión es muy complejo y está cambiando continuamente durante todo el ciclo. Sin embargo, mucho trabajo se ha llevado a cabo para entender y explicar tales patrones encontrando métodos para minimizarlos o eliminarlos.

1.2.3. FUERZAS DE EXTRUSIÓN.

Usaremos la fig. 6 como referencia para nuestra revisión de algunos parámetros de extrusión. El diagrama asume que tanto el lingote como la extrusión tienen una sección redonda transversal.

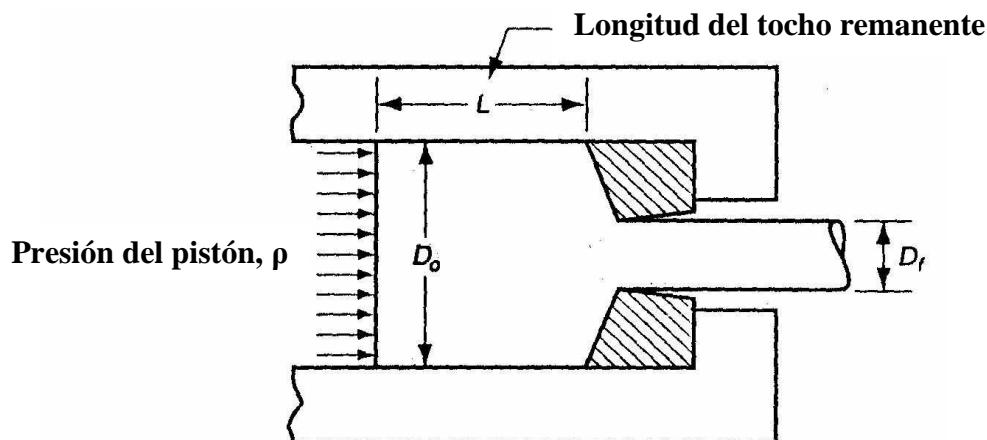


Fig. 6. Presión y otras variables en la extrusión directa. Fuente: Groover.

Un parámetro importante es la relación de extrusión también llamada relación de reducción. La relación se define como:

$$r_x = \frac{A_0}{A_f}$$

Donde

r_x = relación de extrusión;

A_0 = área de la sección transversal del tocho inicial (mm^2)

A_f = área final de la sección recta de la parte extruida (mm^2)

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 y la velocidad.

La fuerza de extrusión F se calcula con la formula:

$$F = A_0 k \ln \left(\frac{A_0}{A_f} \right)$$

K = constante de extrusión (ver fig. 7).

A_0 = área transversal de la palanquilla.

A_f = área transversal del material extruido.

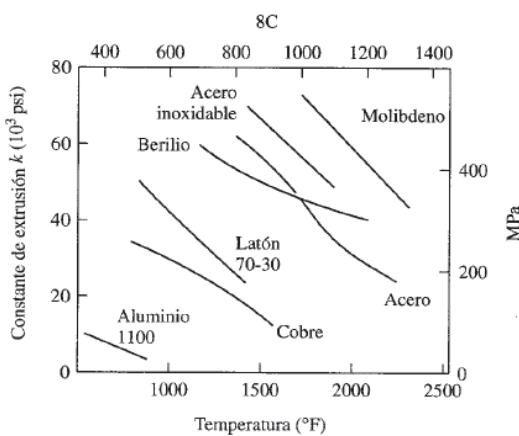


Fig. 7. Constante de extrusión k para diversos metales a distintas temperaturas. Fuente: Kalpakjian.

1.3. CLASIFICACIÓN.

1.3.1. EXTRUSIÓN EN CALIENTE.

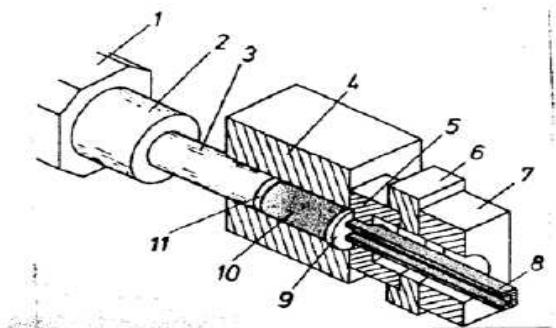
En la extrusión en caliente es necesario el calentamiento previo del lingote a una temperatura por encima de su temperatura de cristalización, ver ejemplos fig. 8.

Intervalos de temperatura de extrusión para diversos metales	
	°C
Plomo	200–250
Aluminio y sus aleaciones	375–475
Cobre y sus aleaciones	650–975
Aceros	875–1300
Aleaciones refractarias	975–2200

Fig. 8. Tabla de temperaturas de extrusión en caliente. Fuente: Kalpakjian.

Esto reduce la resistencia y aumenta 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 de las características del flujo de grano en el producto final. La lubricación es un aspecto crítico de la extrusión en caliente de ciertos metales (por ejemplo acero), y se han 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.

La extrusión en caliente, también, se puede realizar por extrusión directa o por extrusión inversa.



Partes esenciales de una prensa de extrusión en caliente:
1, cilindro; 2, émbolo; 3, punzón; 4, contenedor; 5, matriz; 6, portamatriz; 7, bastidor; 8, perfil extruido; 9 y 11, discos limpiadores; 10, material.

Fig. 8. Ejemplo de extrusión directa en caliente y sus principales partes.

1.3.2. EXTRUSIÓN EN FRÍO.

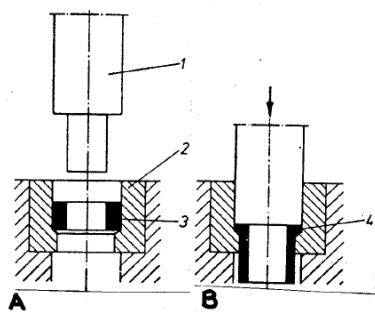
En general, la extrusión en frío se usa para producir partes discretas, frecuentemente en forma terminada (o en forma casi terminada). El término extrusión por impacto se usa para indicar una extrusión fría de alta velocidad.

La extrusión en frío tiene las siguientes ventajas sobre la extrusión en caliente:

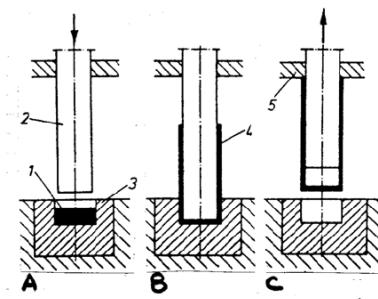
- Mejores propiedades mecánicas, debido al endurecimiento por deformación.
- Buen control de tolerancias dimensionales.
- Ausencia de capas de óxido.
- Mejores acabados superficiales.
- Altas velocidades de producción.
- Elimina la necesidad de calentar la palanquilla.

Se requiere el empleo de materiales muy dúctiles y grandes presiones de actuación, que generalmente se dan por impacto.

La extrusión en frío se realiza por extrusión directa o por extrusión indirecta.



Extrusión en frío. Método directo: 1, punzón; 2, matriz; 3, preforma de metal; 4, pieza extruida.



Extrusión en frío. Método inverso: 1, preforma; 2, punzón; 3, matriz; 4, pieza extruida; 5, extractor.

Fig. 9. Ejemplos de extrusión en frío por método directo e indirecto.

La extrusión en frío ha logrado gran aceptación en la industria, en especial para herramientas o partes de automóviles, motocicletas, bicicletas y electrodomésticos.

Ejemplo de pieza extruida en frío:

En la fig. 10 vemos un producto extruido en frío parecido al componente metálico de una bujía automotriz. Primero se corta un tramo del extremo de una varilla redonda (fig. 10 izquierda), después se extruye en frío (fig. 10 centro) con un agujero ciego. El material del fondo de ese agujero se troquela y se saca, obteniendo el producto terminado (fig. 10 derecha).

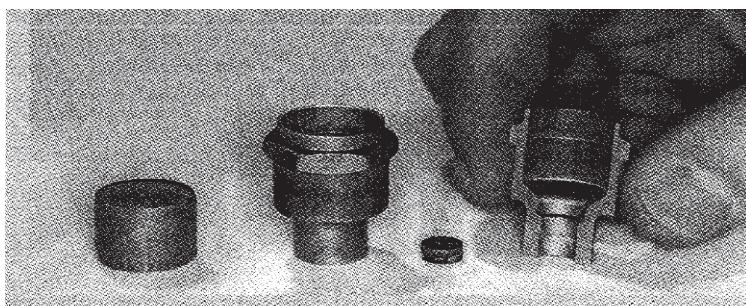


Fig. 10. Pasos para la extrusión de una bujía extruida en frío. Fuente: Kalpakjian.

1.3.3. EXTRUSIÓN DIRECTA.

La extrusión directa (también llamada extrusión hacia adelante) se ilustra en la fig. 11. Un tocho de metal se carga a un recipiente y un pistón comprime el material forzándolo a fluir a través de una o más aberturas que hay en un dado situado en el extremo opuesto del recipiente. Al aproximarse el pistón 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.

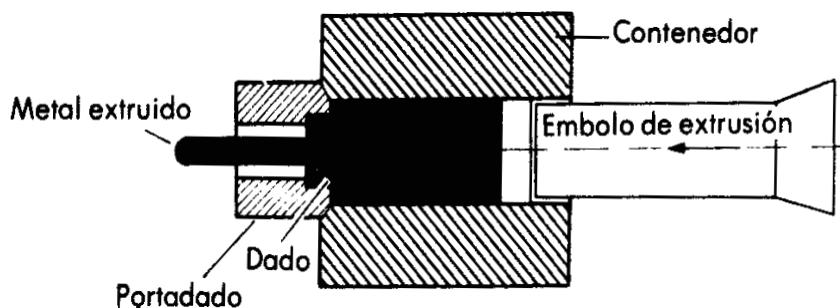


Fig. 11. Extrusión directa.

Un problema en la extrusión directa es la gran fricción que existe entre el tocho y la pared interna del recipiente al forzar el deslizamiento del tocho hacia la abertura del dado. Esta fricción ocasiona un incremento sustancial de la fuerza requerida en el pistón para la extrusión directa. 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 extruidos. Para resolver este problema se usa un bloque simulado entre el pistón y el tocho de trabajo, el diámetro del bloque es ligeramente menor que el diámetro del tocho, de manera que en el recipiente queda un anillo metal de trabajo (capas de óxido en su mayoría), dejando el producto final libre de óxidos.

En la extrusión directa se pueden hacer secciones huecas (por ejemplo, tubos) por medio del proceso que se ilustra en la fig. 12. El tocho inicial se prepara con una

perforación paralela a su eje. Esto permite el paso de un mandril que se fija en el bloque simulado. Al comprimir el tocho, se fuerza al material a fluir a través del claro entre el mandril y la abertura del dado. La sección transversal resultante es tubular. Otras formas semihuecas se extruyen normalmente de esta misma manera.

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. Algunas posibilidades se ilustran en la fig. 12.

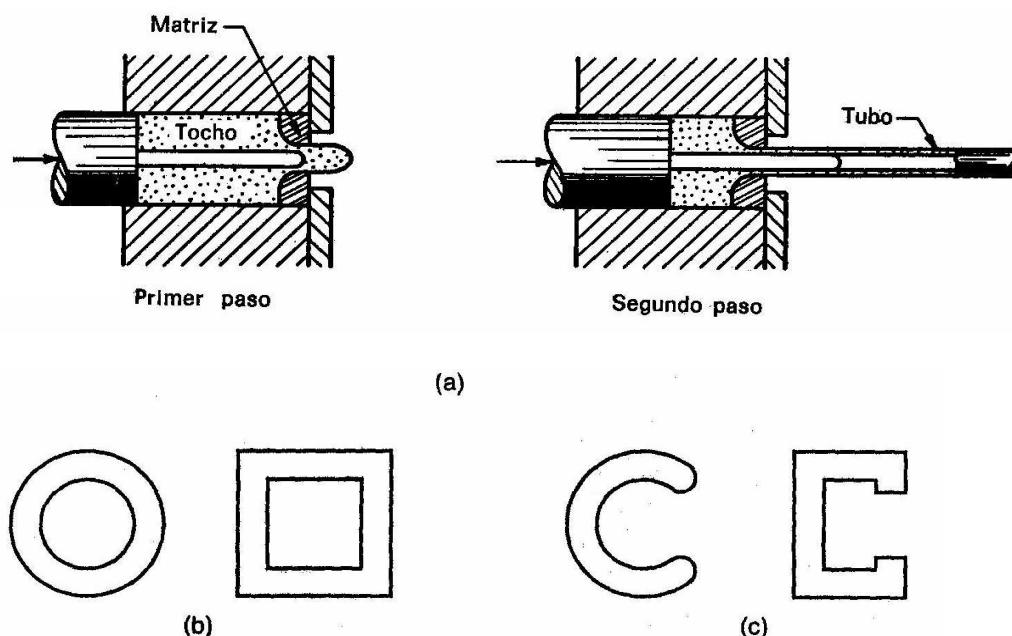


Fig. 12 (a) Extrusión directa para producir una sección transversal hueca o semihueca; (b) hueca y (c) semihueca.

Colocando celdas de carga sobre el émbolo de extrusión, es posible seguir los cambios de la carga durante el ciclo de extrusión como se muestra en la Fig. 13.

La carga se eleva bruscamente, mientras el lingote está siendo recalcado, pero una vez que comienza la extrusión la carga desciende. 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.

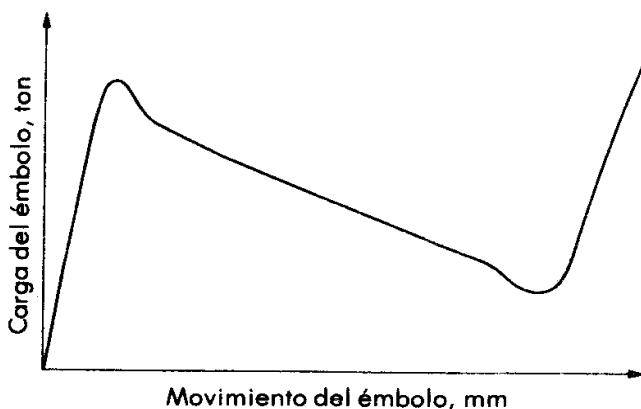


Fig. 13 Gráfica carga – movimiento.

Durante las primeras etapas de la extrusión, Fig. 14 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, Fig. 14 b.

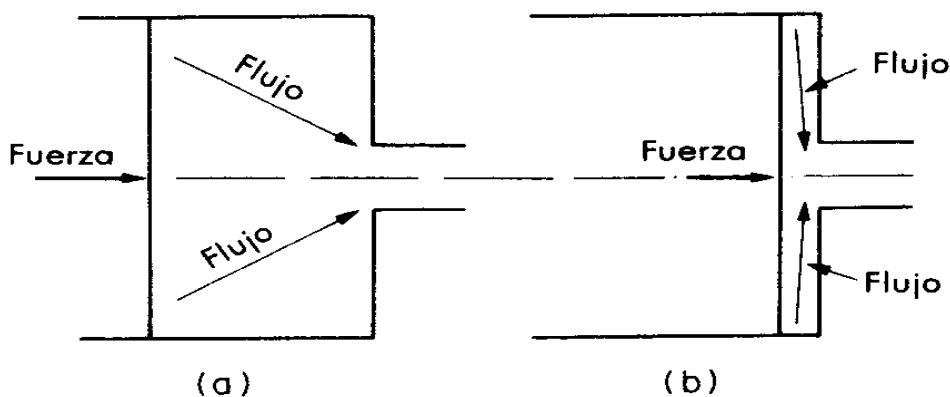


Fig. 14. Esquema del flujo y la fuerza en un proceso de extrusión.

1.3.4. EXTRUSIÓN INDIRECTA.

En la extrusión indirecta, también llamada extrusión hacia atrás o extrusión inversa (fig. 15), el dado está montado sobre el pistón, en lugar de estar en el extremo opuesto del recipiente. Al penetrar el pistón en el material de trabajo fuerza al metal a fluir a través del dado en una dirección opuesta a la del pistón. Como el tocho no se mueve con respecto al recipiente, no hay fricción en las paredes del recipiente. Por consiguiente, la fuerza del pistón es menor que en la extrusión directa. Las limitaciones de la extrusión indirecta son impuestas por la menor rigidez del pistón hueco y la dificultad de sostener el producto extruido tal como sale del dado.

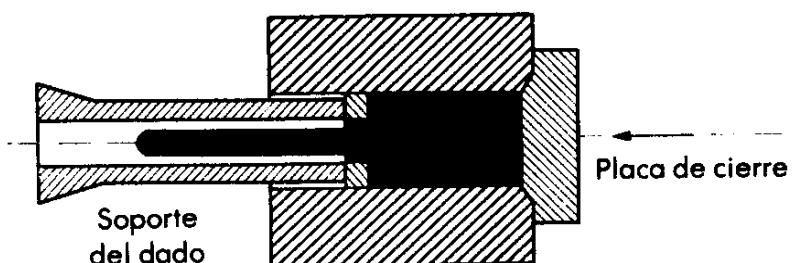


Fig. 15 Extrusión indirecta.

La extrusión indirecta puede producir secciones huecas, como las de la fig. 16. En este método el pistón presiona en el tocho, forzando al material a fluir alrededor del pistón y tomar una forma de copa. Hay limitaciones prácticas en la longitud de la parte extruida que pueden resolverse por este método. El sostenimiento del pistón se convierte en un problema a medida que la longitud del trabajo aumenta.

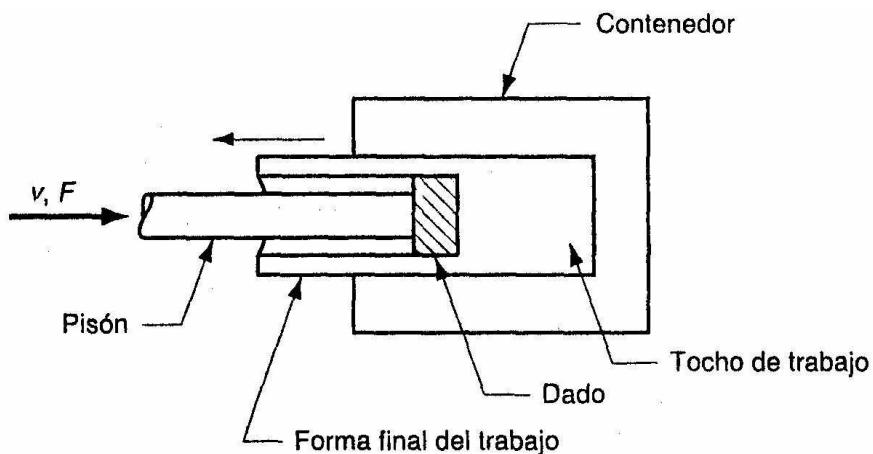


Fig. 16. Extrusión indirecta para producir una sección transversal hueca. Fuente: Groover.

El contenedor es similar al del proceso de extrusión directa, excepto, que en lugar de un dado y un émbolo, en los lados opuestos del lingote hay un soporte hueco del dado y una placa de cierre. 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. El diagrama carga/movimiento del émbolo, para esta clase de prensa se muestra en la Fig. 17.

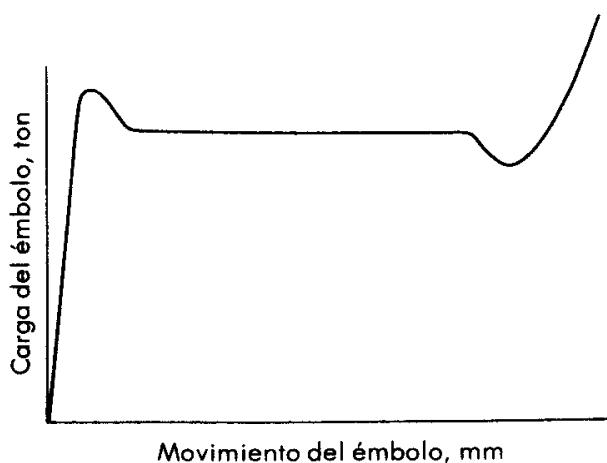


Fig. 17. Gráfica carga – movimiento para una prensa vertical.

Comparando la Fig. 13 con la Fig. 17, 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 indirecta no hay movimiento relativo entre el lingote y el contenedor, por tanto, no puede haber fuerza de fricción. Se requiere una carga máxima más baja cuando se usa extrusión indirecta.

1.3.5. EXTRUSIÓN HIDROSTÁTICA.

Un problema de la extrusión directa es la fricción a lo largo del 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 fig. 18, 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 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.

A pesar de las ventajas de este proceso, ha tenido aplicaciones industriales limitadas por la naturaleza algo compleja del herramiental, la experiencia necesaria por

las altas presiones con las que se trabaja, el diseño del equipo especializado y por los largos ciclos de trabajo necesarios.

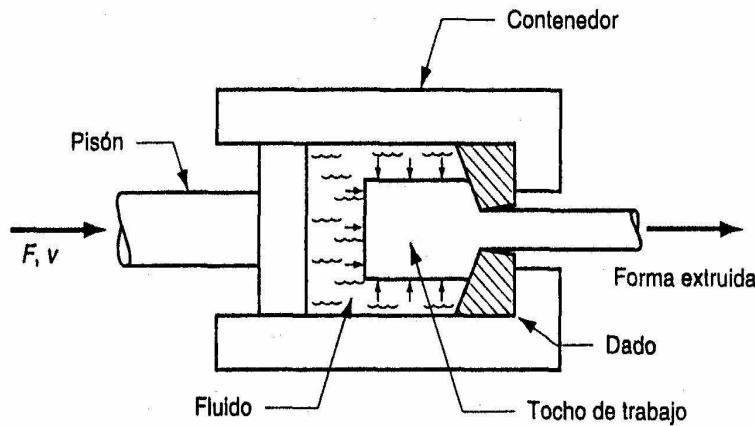


Fig. 18 Extrusión hidrostática. Fuente: Groover.

1.3.6. EXTRUSIÓN POR IMPACTO.

La extrusión por impacto se realiza a altas velocidades y carreras más cortas que la extrusión convencional. Se usa para hacer componentes individuales. Como su nombre lo indica, el punzón golpea a la parte de trabajo más que aplicar presión. La extrusión por impacto se puede llevar a cabo como extrusión hacia adelante, extrusión hacia atrás o una combinación de ambas. Algunos ejemplos representativos se muestran en la fig. 19.

La extrusión por impacto se hace usualmente en frío. Los productos hechos por este proceso incluyen tubos para pastas de dientes y cajas de baterías. Estos ejemplos muestran que se pueden hacer paredes muy delgadas en las partes extruidas por impacto. Las características de alta velocidad del proceso por impacto permiten grandes reducciones y altas velocidades de producción, de aquí su alta importancia comercial.

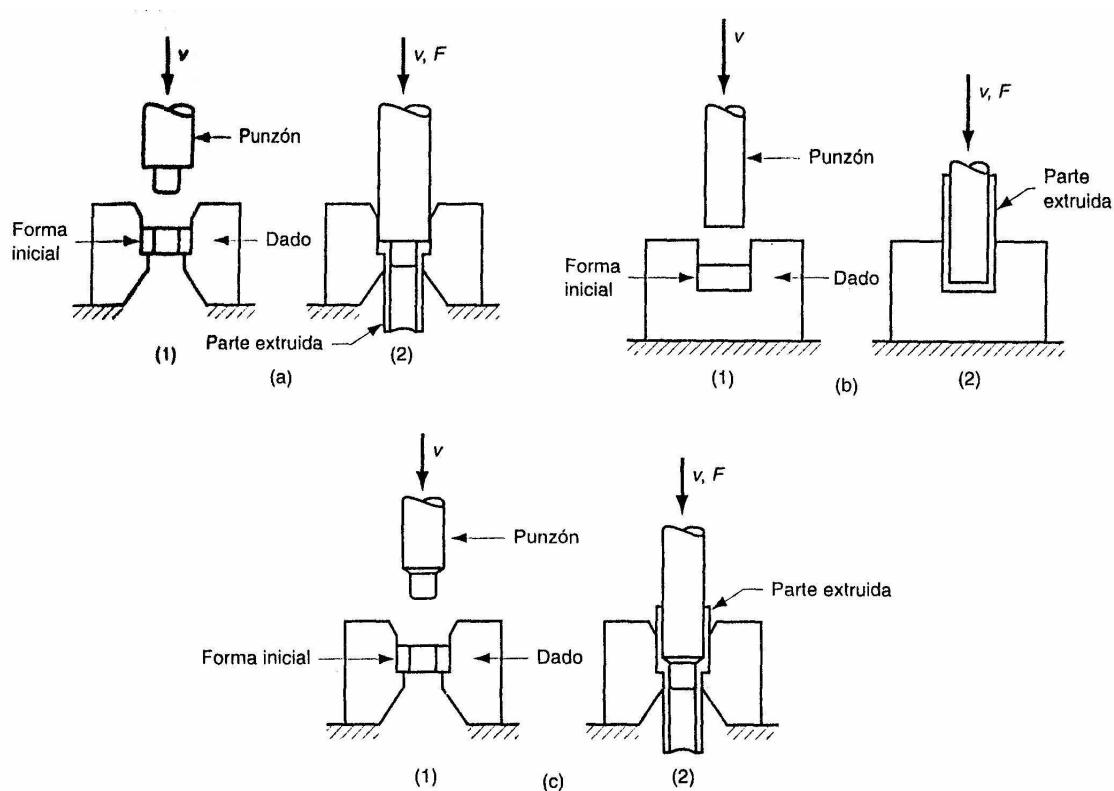


Fig. 19. Varios ejemplos de extrusión por impacto: (a) hacia delante (b) hacia atrás y (c) combinación de las dos. Fuente: Groover.

1.4. DEFECTOS.

Debido a la considerable deformación asociada a las operaciones de extrusión, pueden ocurrir numerosos defectos en los productos extruidos. Los defectos se pueden clasificar en las siguientes categorías que se ilustran en la fig. 20:

- Agrietamiento interno (fractura de punta de flecha, reventado o agrietado central y fractura tipo Chevron). Este defecto es una grieta interna que se desarrolla como resultado de los esfuerzos de tensión. Tienden a ocurrir bajo condiciones que ocasionan gran deformación en regiones de trabajo apartadas del eje central. El movimiento de material más grande en las regiones exteriores, estira el material a lo largo del centro de la pieza de trabajo. Si los esfuerzos son lo suficientemente grandes, ocurre el reventado central. Las condiciones que

promueven estas fallas son los ángulos obtusos del dado, las bajas relaciones de extrusión y las impurezas del metal de trabajo que sirven como puntos de inicio para las grietas. Lo difícil de este defecto es su detección ya que no se observa generalmente por inspección visual.

- Tubificado (cola de tubo y cola de pescado). La tubificación es un defecto asociado con la extrusión directa. Como se puede apreciar en la fig. 20 (b), es un hundimiento en el extremo del tocho. El uso de un bloque simulado, cuyo diámetro sea ligeramente menor que el del tocho, ayuda a evitar la tubificación.

La manera de reducir este defecto es controlar la fricción y minimizar los gradientes de temperatura. Otro método es maquinar la superficie de la palanquilla antes de la extrusión para eliminar las costras y las impurezas superficiales.

- Agrietamiento superficial (grietas de tipo abeto o de alta velocidad). Este defecto es resultado de las altas temperaturas de la pieza de trabajo que causan el desarrollo de grietas en la superficie; ocurre frecuentemente cuando la velocidad de extrusión es demasiado alta y conduce a altas velocidades de deformación asociadas con generación de calor. Otros factores que contribuyen al agrietamiento superficial son la alta fricción y el enfriamiento rápido de la superficie de los tochos a altas temperaturas en la extrusión en caliente.

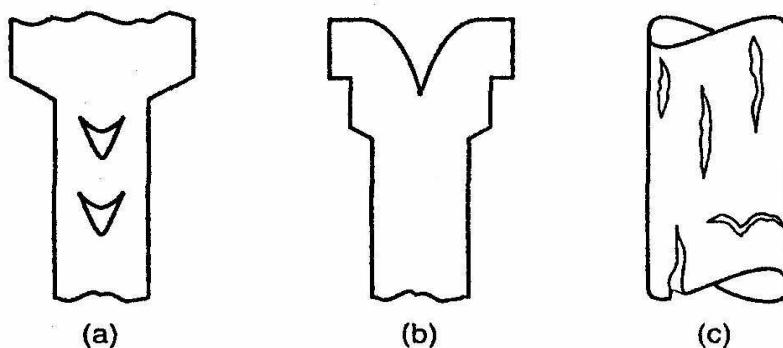


Fig. 20. Algunos defectos comunes en extrusión: (a) reventado central, (b) tubificación (bolsa de contracción) y (c) agrietado superficial. Fuente: Groover.

1.5. PRODUCCIÓN DE TUBOS EXTRUIDOS.

La extrusión es un método ideal de producir tubos sin costura. Es necesario utilizar un mandril. Hay tres tipos de mandril que pueden usarse:

(a) fijo, (b) flotante y (c) perforante.

Los tipos (a) y (b) están fijos al émbolo como se muestra en la Fig. 21 y el lingote debe perforarse de manera que el mandril pueda sobresalir a través del lingote y tomar su posición en el orificio del dado. La tendencia moderna es la de usar el mandril flotante, más que uno fijo, puesto que él mismo se centra y, por tanto, produce tubos con concentricidad dentro del 1 %.

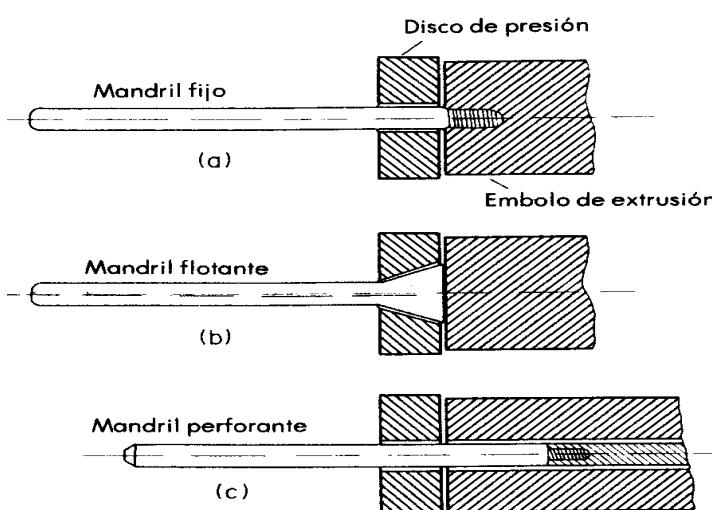


Fig. 21. Tipos de mandril.

Por otro lado, los mandriles fijos producen tubos excéntricos a menos que se tenga cuidado, para perforar con precisión el lingote. Cuando se usa mandril perforador, el lingote es sólido y el mandril se retrae dentro del émbolo. Después que el lingote caliente se coloca dentro del contenedor, el mandril es empujado dentro del lingote y pasa a través de él para colocarse en el orificio del dado. Las principales ventajas de este proceso son velocidad y economía, porque elimina la operación de perforado por separado y el equipo especial requerido.

Las desventajas son que las prensas requeridas, son mucho más grandes y mucho más caras que las del tipo sin perforador. La operación severa de perforado, algunas

veces da abundantes grietas y desgarres en el agujero del lingote produciendo defectos en el tubo. Por estas razones, el perforado no se lleva a cabo en tubos de aluminio y sus aleaciones, y se usa principalmente en aleaciones de cobre donde no son necesarios buenos acabados superficiales, requeridos en usos hidráulicos y de alta presión. Un desarrollo reciente ha sido la introducción de dados puente, donde el mandril normal se ha reemplazado por uno más pequeño, sostenido en posición en el orificio del dado, con tres brazos delgados de araña, como se muestra en la Fig. 22.

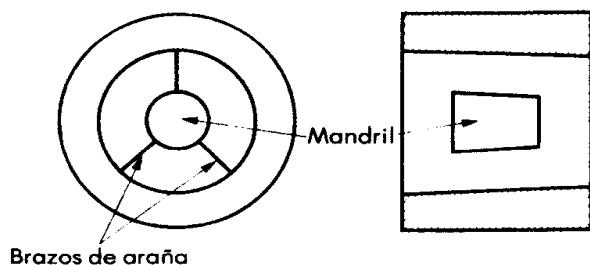


Fig. 22. Mandril con tres brazos de araña.

El metal es rebanado por los tres brazos de araña cuando es extruido, para dar tres segmentos separados, pero éstos son inmediatamente comprimidos por el soporte cónico del dado sin exponerse al aire, por lo que las superficies limpias se sueldan por presión, para formar un tubo completo. Cuando este proceso fue propuesto inicialmente, los clientes tendían a ser renuentes a aceptar el producto, que era considerado inferior a los tubos sin costura normales. Sin embargo, ahora se acepta que los tubos hechos con dados puente son tan buenos, si no es que superiores a los tubos extruidos normalmente. Se muestran dados puente de tres y cuatro aberturas en las Figs. 22 y 23.

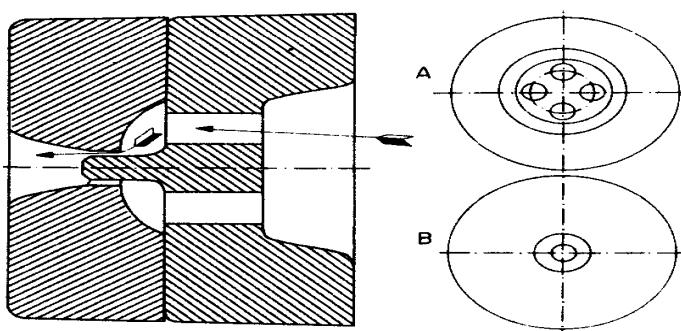


Fig. 23. Dado puente de cuatro aberturas.

1.6. DADOS DE EXTRUSIÓN.

Los factores importantes en un dado de extrusión son el ángulo del dado y la forma del orificio. El ángulo del dado, más precisamente la mitad del ángulo del dado, es el ángulo α de la fig. 24(a). Para ángulos menores, el área superficial del dado aumenta, así como también la fricción entre el dado y el tocho. Mayor fricción significa mayor fuerza en el pistón. Por otra parte, un ángulo grande del dado ocasiona mayor turbulencia del flujo de metal durante la reducción, y también aumenta la fuerza requerida por el pistón. El efecto del ángulo del dado sobre la fuerza del pistón es una función en forma de U como se muestra en la fig. 24 (b). Existe un ángulo óptimo del dado como se puede apreciar en la gráfica. Este ángulo es difícil de determinar y depende de varios factores como material de trabajo, temperatura del tocho y lubricación. Los diseñadores de dados usan reglas empíricas para decidir el ángulo apropiado.

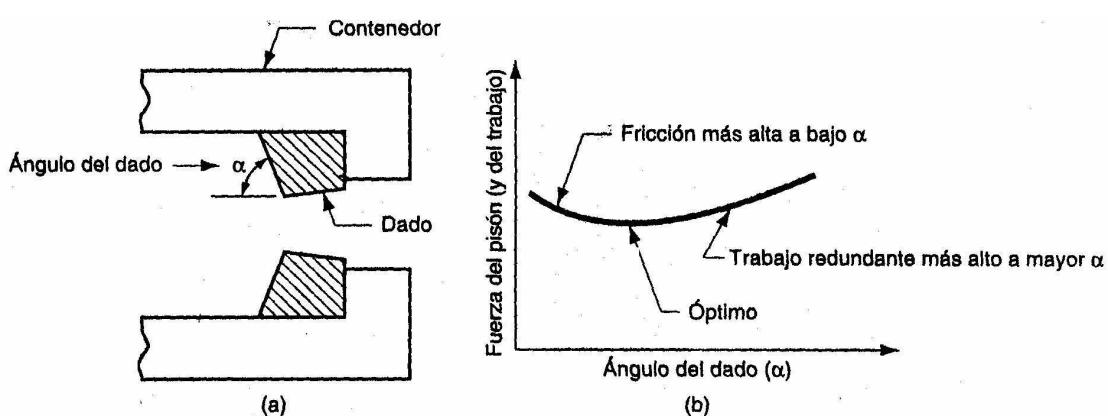


Fig. 24. (a) Definición del ángulo del dado en extrusión directa, (b) efecto del ángulo del dado sobre la fuerza del pistón. Fuente: Groover.

Los materiales para dados de extrusión en caliente incluyen aceros de herramienta y aceros aleados. Las propiedades más importantes de estos materiales son alta resistencia al desgaste, alta dureza en caliente y alta conductividad térmica para remover el calor del proceso. Se pueden recubrir los dados con materiales como zirconia, para prolongar su vida.

Los materiales para dados de extrusión en frío incluyen aceros de herramienta y carburos cementados. 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 de los dados y buen control dimensional.

1.7. EQUIPOS DE EXTRUSIÓN.

Las prensas de extrusión pueden ser horizontales o verticales, dependiendo de la orientación de los ejes de trabajo. Los tipos horizontales son los más comunes. Estas prensas son adecuadas porque se puede controlar la carrera y la velocidad de la operación. Se han construido prensas con una fuerza en el ariete de hasta 14000 toneladas. Las prensas de extrusión son accionadas normalmente por fuerza hidráulica.

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

1.8. EJEMPLOS DE EXTRUSIÓN.

Entre los productos característicos de la extrusión están los rieles para puertas corredizas, tubos de distintos perfiles transversales, marcos para puertas y ventanas. Los productos extruidos se pueden cortar en tramos, con lo que se transforman en piezas discretas como soportes, engranajes y perchas, como se muestra en la fig. 25.

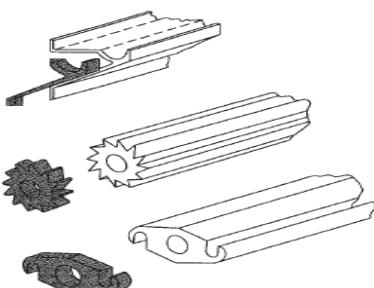


Fig. 25. Piezas extruidas y ejemplos de productos fabricados cortando tramos de piezas extruidas. Fuente: Kalpakjian.

Las secciones huecas o complejas se pueden sacar en un solo movimiento, sin soldadura ni flexión. Tienen tolerancia excelente.

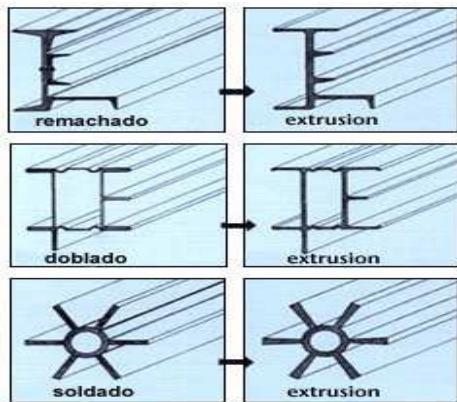


Fig. 26. Ejemplos de piezas realizadas usando diferentes métodos.

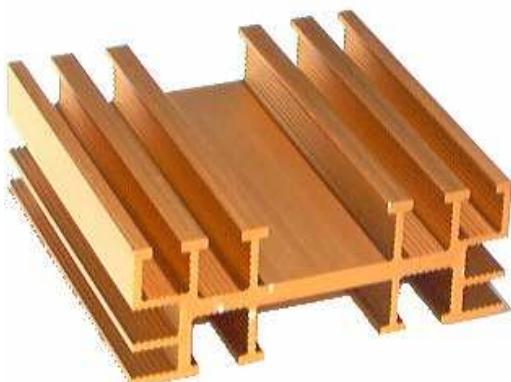


Fig. 27. Extrusión de sección transversal

compleja para un disipador de calor.



Fig. 28. Ejemplos de piezas extruidas.



Fig. 29 .Diferentes marcos de puertas y ventanas

2. ESTIRADO Y TREFILADO.

2.1. INTRODUCCIÓN.

El estirado es una operación que se inventó entre el año 1000 y 1500.

El estirado y el trefilado son dos procedimientos de conformación de materiales dúctiles que se realizan estirándolos a través de orificios calibrados, denominados hileras.

La operación consiste en deformar el metal mediante la aplicación de una fuerza delantera que obliga al metal a pasar por la abertura de la matriz, que controla la geometría, y el tamaño de la sección de salida.

En este proceso grandes cantidades de barras, tubos, alambres y secciones especiales son terminadas mediante estirado en frío.

Se requiere tener en cuenta muchos factores. La velocidad depende del material y de la reducción de área transversal, pudiendo ir desde 1 hasta 50 m/s. La reducción de área transversal por paso va desde 0 hasta 45%.

2.1.1. DIFERENCIAS ENTRE TREFILADO Y ESTIRADO.

Aunque el procedimiento es fundamentalmente el mismo, se distingue el estirado del trefilado en tres aspectos principales:

- En la clase de material que se aplica. El estirado se aplica a barras de 4 a 6 metros de longitud y diámetro superior a 10mm, y también a tubos. El trefilado se aplica a redondos de secciones pequeñas de 5 a 8mm de diámetro, o secciones grandes, para las cuales se utiliza equipos voluminosos de trefilado.
- En el objeto de la operación. El objeto del estirado es principalmente calibrar, endurecer con la deformación o dar forma determinada a la barra, siendo en este

procedimiento el adelgazamiento del material más que el fin, el medio para conseguir los fines expuestos. Además en los aceros estirados mejoran la maquinabilidad, sobre todo los denominados aceros de fácil mecanización, como los aceros al plomo y los aceros al azufre. En cambio en el trefilado se pretende casi exclusivamente adelgazar el material, siendo su endurecimiento y calibrado objetivos secundarios.

- En la realización de la operación. En el estirado, la operación se realiza en una sola pasada, mientras que en el trefilado se adelgaza el material en varias pasadas.

2.1.2. METALES Y ALEACIONES APTAS PARA CONFORMACIÓN POR ESTIRADO.

Los materiales y aleaciones que se someten a conformación por estirado deben ser:

- Suficientemente dúctiles.
- De suficiente resistencia a la tracción, para que no se rompan al estirar.
- De excelente calidad en cuanto a uniformidad de composición y estructura, ya que cualquier defecto puede provocar la rotura de la barra.

Los materiales más empleados para la conformación por estirado son los aceros al carbono y aleados, el cobre, los latones, el aluminio y sus aleaciones y el magnesio y sus aleaciones.

Los materiales para las matrices suelen ser aceros para herramientas y carburos, en ocasiones se pueden cromar o recubrir con nitruro de titanio para mejorar la resistencia al desgaste.

La hilera o matriz se divide en cuatro partes (fig. 30):

- Ángulo de entrada con su campana.

- Ángulo de acercamiento.
- Cara interior o sección de calibrado, que es cilíndrica, donde se ajusta bien el diámetro de la barra y se pule su superficie.
- Ángulo de desahogo posterior.

Las cuatro secciones tienen los ángulos de unión entre sí redondeados para facilitar el flujo del material.

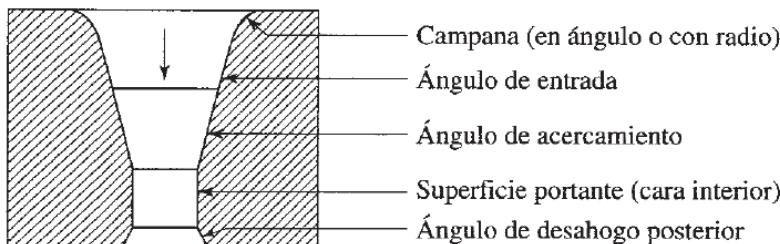


Fig. 30. Matriz típica para estirar varilla o alambres redondos. Fuente: Kalpakjian.

La lubricación es esencial para mejorar la vida del dado, reducir las fuerzas y la temperatura y mejorar el acabado superficial.

2.2. EL PROCESO DE ESTIRADO.

Por estirado se fabrican barras calibradas de acero y metales no ferreos de hasta 6 metros de longitud. Los perfiles calibrados hexagonales se emplean en la fabricación de tornillos y tuercas por arranque de viruta.

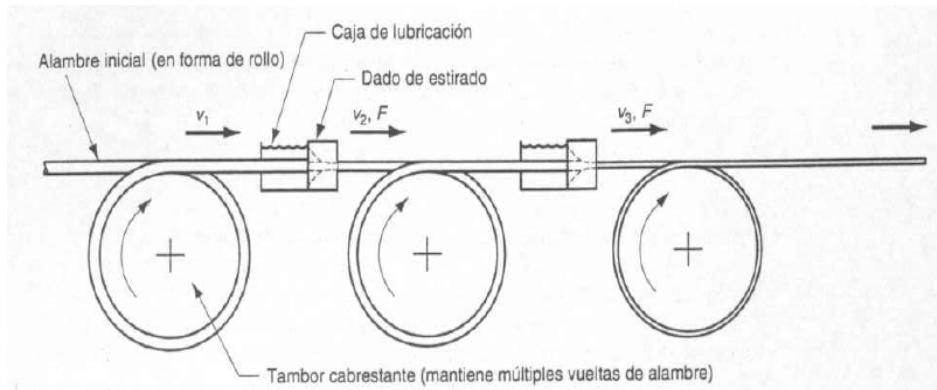


Fig. 31. Estirado continuo de alambre. Fuente: Groover.

2.3. EL PROCESO DE TREFILADO.

El trefilado tiene una enorme importancia industrial. Se trefilan, entre otros, el acero dulce (de bajo contenido de C) para la obtención de todo tipo de alambres (ataduras, telas metálicas, etc.), los aceros semiduros y duros (puntas, clavos, agujas, muelles, etc.), los aceros aleados, el cobre, el aluminio, el bronce, etc.

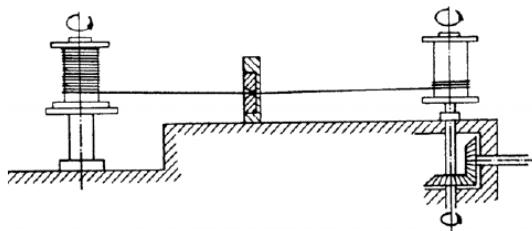


Fig. 32. Banco de trefilar.

2.4. DEFECTOS.

Los defectos son parecidos a los que se observan en la extrusión:

- Traslapes, que son pliegues longitudinales del material.
- Agrietamiento interno.

- Rayas y marcas de dado, que pueden resultar por la mala selección de los parámetros del proceso, mala lubricación o mal estado del dado.
- Esfuerzos residuales.

2.5. EQUIPO DE ESTIRADO.

Hay dos tipos básicos de equipo de estirado: la hilera y el banco de estirado.

- La hilera
- El banco de estirado contiene un solo dado y su diseño se parece a una máquina de pruebas de tensión (fig. 33). La fuerza de tracción se obtiene de una cadena o se activa hidráulicamente. Se suelen emplear para estirar tramos de varillas o tubos con diámetros mayores de 20 mm.

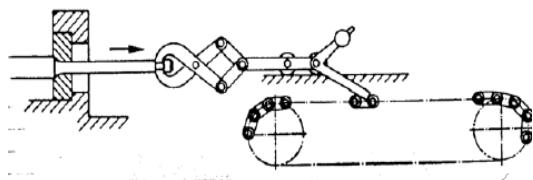


Fig. 33. Banco de estirar.

2.6. EJEMPLOS DE ESTIRADO Y TREFILADO.

Las varillas estiradas se usan en ejes, husillos y pistones pequeños, y como materia prima para remaches, pernos y tornillos.

Los alambres y sus productos tienen una gran variedad de aplicaciones, como por ejemplo cableados eléctricos y electrónicos, cables, miembros estructurales

sometidos a tensión, electrodos de soldar, resortes, radios para ruedas de bicicleta e instrumentos musicales de cuerda.



Fig. 34. Alambre trefilado.



Fig. 35. Electrodos.



Fig. 36. Radios de bicicletas.



Fig. 37. Valla de alambre trefilado.



Fig. 38. Muelles.



Fig. 39. Clavos.

3. BIBLIOGRAFÍA.

- Manufactura, ingeniería y tecnología. KARLPAKJIAN.
- Fundamentos de Manufactura Moderna. Materiales, Procesos y Sistemas. GROOVER.
- Diferentes fuentes y textos consultados y obtenidos a través de internet.

Anexo 3:

Autoevaluación.

Autoevaluación:

Preguntas de respuestas múltiples. Responde a las preguntas marcando la o las respuestas correctas.

1. Indica las variables que intervienen en el proceso de extrusión.

- La temperatura.
- La relación de extrusión.
- El lubricante.
- La velocidad del pistón.

2. ¿Conoces la relación de extrusión o relación de reducción? Indica la formula para determinarla.

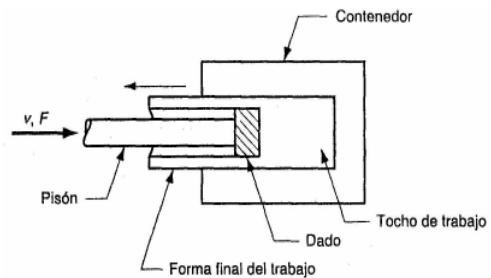
- $A_0 * k * \ln(A_f / A_0)$
- $A_0 * k * \ln(A_0 / A_f)$
- A_f / A_0
- A_0 / A_f

3. Indica las ventajas de la extrusión en frío sobre la caliente.

- Aumenta la ductilidad del metal.
- Mejor control de tolerancias dimensionales.
- Reducción de la fuerza del pistón.
- Ausencia de capas de óxido.

4. Identifica el tipo de extrusión.

- Directa.
- Por impacto.
- Indirecta.
- Hidrostática.



5. ¿A que temperatura aproximada debemos calentar el contenedor?

- A la misma temperatura de fusión en grados K del material a extruir.
- A 1/2 de la temperatura de fusión en grados K del material a extruir.
- A 1/3 de la temperatura de fusión en grados K del material a extruir.
- A 2/3 de la temperatura de fusión en grados K del material a extruir.

6. Señala las verdaderas diferencias entre el trefilado y el estirado.

- En el trefilado se pretende casi exclusivamente adelgazar el material, siendo su endurecimiento y calibrado objetivos secundarios.
- En el estirado la operación se realiza en varias pasadas.
- En el trefilado se adelgaza el material en una pasada.
- Ninguna es verdad.

7. Indica para que tipo de extrusión, en las mismas condiciones de trabajo, necesitamos mayor carga máxima en el pistón.

- Hidrostática.
- Indirecta.
- Directa.
- No depende del tipo de extrusión.

8. ¿Con que tipo de mandril es más fácil que se produzcan tubos excéntricos?

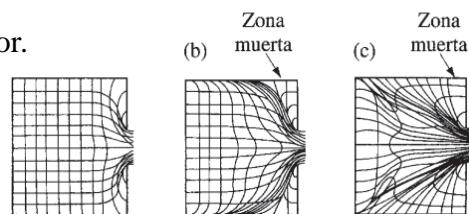
- Perforante.
- Directo.
- Flotante.
- Fijo.

9. Señala las ventajas de la extrusión directa frente a la indirecta.

- Hace posible una infinita variedad de formas en la sección transversal.
- Es requerida menos carga máxima en el pistón.
- Limita el tamaño de la sección que puede ser producida por este proceso.
- No hay fricción en las paredes del recipiente.

10. Identifica correctamente el patrón (c) de la figura.

- No hay fricción entre el lingote y el contenedor.
- Hay cierta fricción entre el lingote y el contenedor.
- Hay mucha fricción entre el lingote y el contenedor.

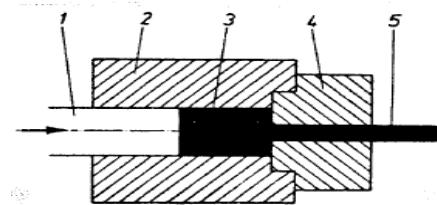


11. Señala las causas por las que se calienta el material antes de extruirlo.

- Aumenta la ductilidad del metal.
- No necesita lubricación.
- Evita las capas de óxido.
- Reduce la resistencia.

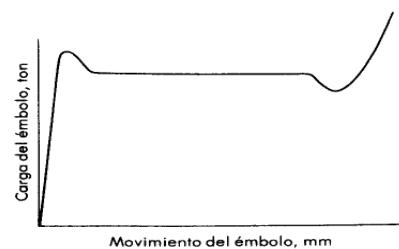
12. En la siguiente figura identifica el contenedor y la matriz.

- 2 y 4.
- 2 v 3.
- 4 v 3.
- 4 y 2.



13. La siguiente gráfica de carga- movimiento. ¿A que tipo de extrusión la asocias?

- Directa.
- Indirecta.
- Por impacto.
- A cualquiera de ellas.



14. Indica las posibles soluciones si al extruir detectamos que nos esta saliendo el defecto de grietas superficiales o agrietamiento tipo abeto.

- Reducir la temperatura del material a extruir.
- Reducir la velocidad de extrusión.
- Maquinar la superficie del material antes de la extrusión.
- Todas son verdaderas.

15. Indica las ventajas de la extrusión por impacto frente a la extrusión convencional.

- Se pueden extruir piezas muy pesadas.
- Se realizan carreras más cortas.
- Se pueden hacer paredes muy delgadas.
- Altas velocidades de producción.

16. Indica las posibles soluciones si al extruir detectamos que nos está saliendo el defecto de óxidos interiores o tubificado.

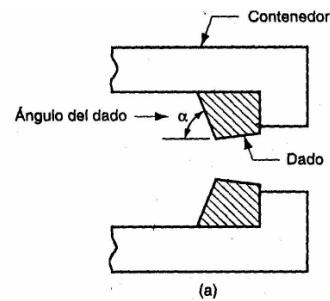
- Reducir la fricción entre el contenedor y el material.
- Minimizar los gradientes de temperatura.
- Elevar la velocidad de extrusión.
- Elevar la temperatura del material a extruir.

17. Indica los parámetros de los que depende la fuerza de extrusión.

- Resistencia del material.
- La relación de extrusión.
- La temperatura.
- La velocidad.

18. ¿Qué ángulo α del dado crees que es más adecuado para favorecer la extrusión?

- Inferior a 45° .
- Superior a 45° .
- Aproximado a 45° .
- Depende del material de trabajo, la temperatura del tocho y la lubricación.



19. Los materiales que se someten a conformación por estirado deben ser:

- Suficientemente dúctiles.
- Resistentes a la tracción.
- De excelente calidad en cuanto a uniformidad de composición y estructura.
- Todas las anteriores.

20. Indica las desventajas de la extrusión hidrostática frente al resto de extrusiones.

- La fricción entre el contenedor y el material a extruir es muy elevada.
- Es necesario preparar el material para ajustarlo al ángulo de entrada del dado.
- Proceso lento que requiere ciclos largos de trabajo.
- Se necesitan prensas más robustas y más fuertes.