

### 3.3. TRABAJADO METALICO DE LAMINAS

El trabajado metálico de láminas incluye operaciones de corte y formado realizadas sobre láminas delgadas de metal. El espesor del material puede ser tan pequeño como varias décimas de milímetro, pero la mayor parte de los espesores del metal están entre 0.4 mm y 6 mm. Cuando el espesor excede de 6 mm se le llama placa en lugar de lámina. El material que se usa en el trabajo metálico de láminas se produce por laminado (sección 3.2.1).

La importancia comercial del trabajo con láminas es significativa. Considérese el número de productos industriales y de consumo que incluyen partes de hechas de lámina metálica: carrocerías de automóviles y camiones, aeroplanos, utensilios pequeños y grandes, muebles para oficina, partes de computadoras y equipo de oficina, etc. Aunque estos ejemplos son obvios debido a que tienen lámina en su exterior, muchos componentes internos de estos productos se hacen también de láminas o placas. Las partes de lámina de metal se caracterizan generalmente por su alta resistencia, buena precisión dimensional, buen acabado superficial y bajo costo relativo. Se pueden diseñar operaciones de producción masiva para el trabajo con láminas que abastezca las cantidades de componentes que se requieren en muchos de los productos arriba mencionados.

La mayoría de los procesos con láminas metálicas se realizan a temperatura ambiente (trabajo en frío). Excepto cuando el material es grueso, frágil o la deformación es significativa. Éstos son los casos usuales de trabajo en tibio (a  $0.3 T_m$ ) más que trabajo en caliente.

Las tres grandes categorías de los procesos con láminas metálicas son: 1) corte, 2) doblado y 3) embutido. El corte se usa para separar láminas grandes en piezas menores, para cortar un perímetro o hacer agujeros en una parte. El doblado y el embutido se usan para transformar láminas de metal en partes de forma especial.

Las herramientas que se usan para realizar el trabajo con láminas se llaman *punzón y dado*, la mayoría de las operaciones con lámina metálica se ejecutan en máquinas herramientas llamadas prensas. Se usa el término *prensa de troquelado* para distinguir estas prensas de las prensas de forjado y extrusión. Los productos hechos de lámina se llaman *troquelados o estampados*. Para facilitar la producción en masa, las láminas de metal se introducen en la prensas frecuentemente en forma de tiras o rollos. En las secciones finales del capítulo se describen varias operaciones que no utilizan las herramientas convencionales de punzón y dado, muchas de las cuales no se realizan en prensas de troquelado.

#### 3.3.1. OPERACIONES DE CORTE

El corte de lámina se realiza por una acción de cizalla entre dos bordes afilados. La acción de cizalla se describe en los cuatro pasos esquematizados en la figura 3.52, donde el borde superior de corte (el punzón) se mueve hacia abajo sobrepasando el borde estacionario inferior de corte (el dado). Cuando el punzón empieza a empujar el material de trabajo, ocurre una *deformación plástica* en las superficies de la lámina, conforme éste se mueve hacia abajo ocurre la *penetración*, en la cual comprime

la lámina y corta el metal. Esta zona de penetración es generalmente una tercera parte del espesor de la lámina. A medida que el punzón continúa su viaje dentro del trabajo, se inicia la *fractura* del material de trabajo entre los dos bordes de corte. Si el claro entre el punzón y el dado es correcto, las dos líneas de fractura se encuentran y el resultado es una separación limpia del material de trabajo en dos piezas.

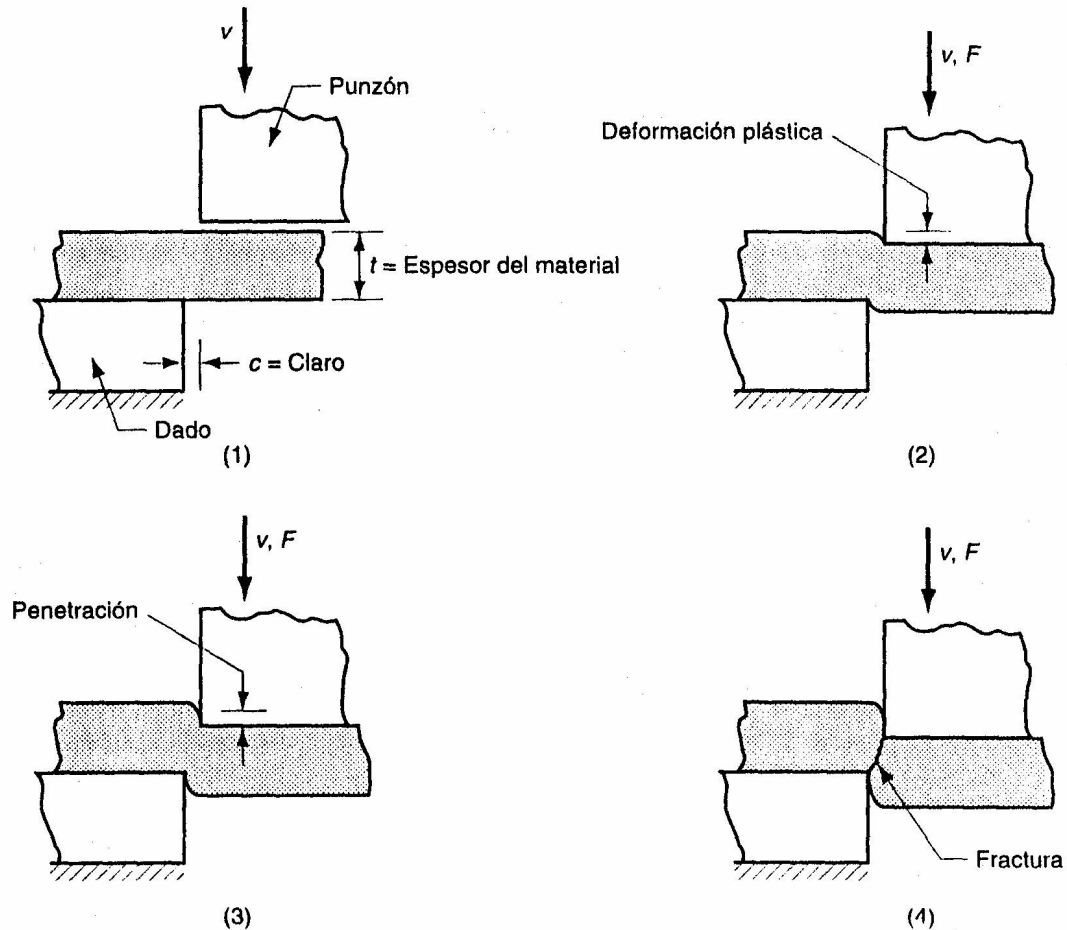


FIGURA 3.52 Cizallado o corte de una lámina metálica entre dos bordes cortantes: (1) inmediatamente antes de que el punzón entre en contacto con el material, (2) el punzón comienza a comprimir el material de trabajo causando deformación plástica, (3) el punzón comprime y penetra en el material de trabajo formando una superficie lisa de corte y (4) se inicia la fractura entre los dos bordes de corte opuestos que separan la lámina. Los símbolos  $v$  y  $F$  indican velocidad y fuerza aplicada, respectivamente.

Los bordes cizallados de la lámina tienen formas características que se muestran en la figura 3.53. Encima de la superficie de corte hay una región que se llama *redondeado*. Éste corresponde a la compresión hecha por el punzón en el material de trabajo antes de empezar el corte. Aquí es donde empieza la deformación plástica del material de trabajo; justo abajo del redondeado hay una región relativamente lisa llamada *bruñido*. Ésta resulta de la penetración del punzón en el material antes de empezar la fractura. Debajo del bruñido está la *zona de fractura*, una superficie relativamente tosca del borde de corte donde el movimiento continuo del punzón hacia abajo causa la fractura del metal.

Finalmente al fondo del borde está la *rebaba*, un filo causado por la elongación del metal durante la separación final de las dos piezas.

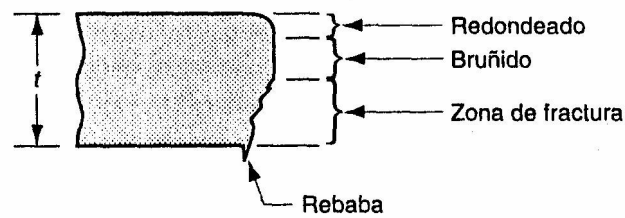


FIGURA 3.53 Bordes cizallados característicos del material de trabajo.

### 3.3.1.1. Cizallado, punzonado y perforado

El cizallado, punzonado y perforado son las tres operaciones de corte que se pueden desarrollar en una prensa.

**El cizallado** Es la operación de corte de una lámina de metal a lo largo de una línea recta entre dos bordes de corte como se muestra en la figura 3.54(a). El cizallado se usa típicamente para reducir grandes láminas a secciones mas pequeñas para operaciones posteriores de prensado. Se ejecuta en una máquina llamada *cizalla de potencia* o *cizalla recta*. La cuchilla superior de la cizalla de potencia está frecuentemente sesgada, como se muestra en la figura 3.54(b), para reducir la fuerza requerida de corte.

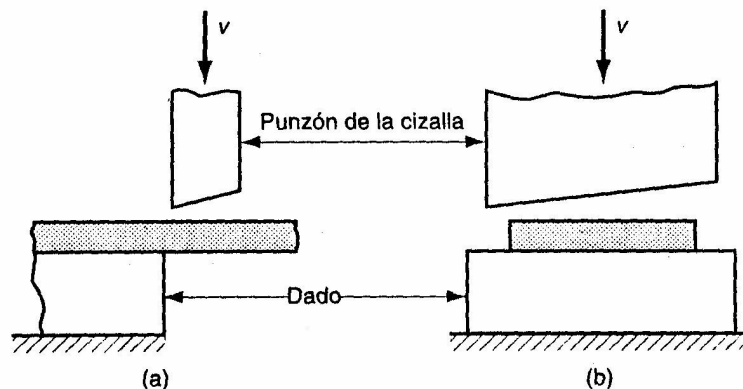


FIGURA 3.54 Operación de cizallado: (a) vista lateral de la operación, (b) vista frontal de la cizalla equipada con una cuchilla superior sesgada. El símbolo  $v$  indica velocidad.

**El punzonado** implica el corte de una lámina de metal a lo largo de una línea cerrada en un solo paso para separar la pieza del material circundante, como se muestra en la figura 3.55(a). La parte que se corta es el producto deseado en la operación y se designa como la parte o *pieza* deseada. El *perforado* es muy similar al punzonado, excepto que la pieza que se corta se desecha y se llama *pedacería*. El material remanente es la parte deseada. La distinción se ilustra en la figura 3.55(b).

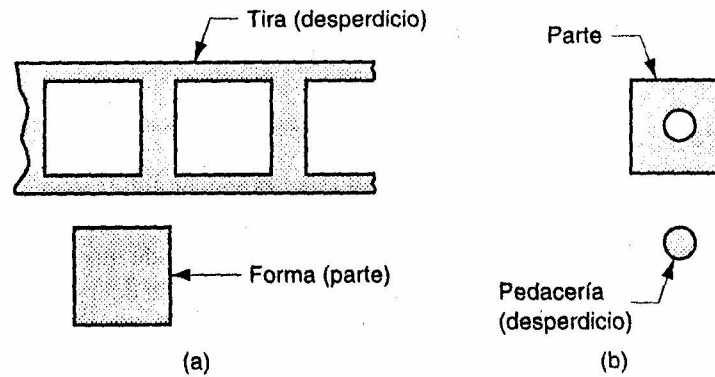


FIGURA 3.55 (a) Punzonado y (b) perforado.

### 3.3.1.2. Análisis de ingeniería del corte de láminas metálicas

Los parámetros importantes en el corte de láminas metálicas son el claro entre el punzón y el dado, el espesor del material, el tipo de metal y su resistencia, y la longitud del corte. A continuación examinamos algunos aspectos relacionados,

**Claro** En una operación de corte, el *claro*  $c$  es la distancia entre el punzón y el dado, tal como se muestra en la figura 3.52(1). Los claros típicos en el prensado convencional fluctúan entre 4 y 8% del espesor de la lámina metálica  $t$ . El efecto de los claros inapropiados se ilustra en la figura 3.56. Si el claro es demasiado pequeño, las líneas de fractura tienden a pasar una sobre otra, causando un doble bruñido y requiriendo mayor fuerza de corte. Si el claro es demasiado grande, los bordes de corte pellizcan el metal y resulta una rebaba excesiva. En operaciones especiales que requieren bordes muy rectos como en el rasurado y el perforado, el claro es solamente el 1 % del espesor del material.

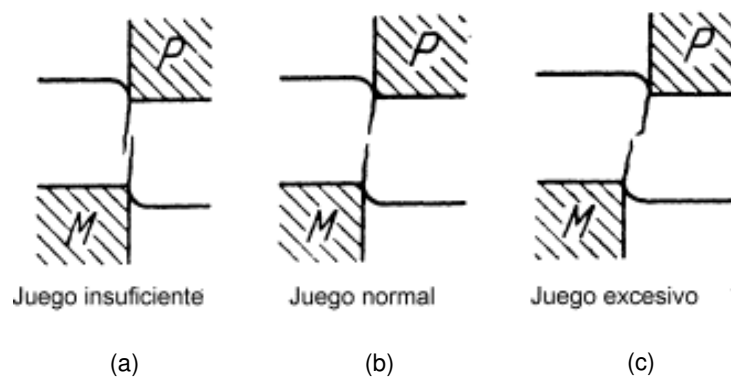


FIGURA 3.56 Efecto del claro: (a) un claro demasiado pequeño ocasiona una fractura poco menos que óptima y fuerzas excesivas, (b) claro normal ocasiona un corte óptimo (c) un claro demasiado grande ocasiona rebaba más grande.

El claro correcto depende del tipo de lámina y de su espesor. El claro recomendado se puede calcular por la siguiente fórmula:

$$c = at \quad (3.42)$$

Donde

$c$  = claro, (mm);

$a$  = tolerancia;

$t$  = espesor del material (mm)

La tolerancia se determina de acuerdo con tipo de metal, Los metales se clasifican por conveniencia en tres grupos dados en la tabla 3.4 con un valor de  $a$  asociado a cada grupo

TABLA 3.4 Valor de las tolerancias para los tres grupos de láminas metálicas.

Grupo metálico	$a$
Aleaciones de aluminio, todos los temples 1100S y 5052S	0.045
Aleaciones de aluminio 2024ST y 6061ST; latón, todos los temples; acero suave laminado en frío; acero inoxidable frío	0.060
Acero laminado en frío, dureza media; acero inoxidable dureza media y alta	0,075

Fuente: [2].

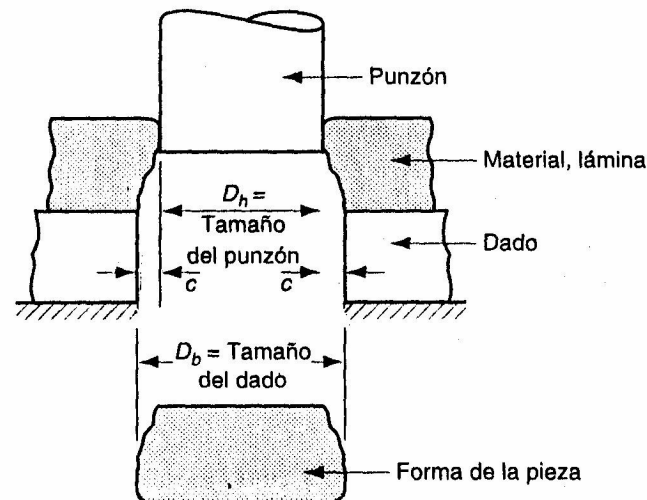


FIGURA 3.57 El tamaño del dado determina el tamaño de la forma  $D_b$ ; el tamaño del punzón determina el tamaño del agujero  $D_h$ .

Los valores calculados del claro se pueden aplicar al punzonado convencional y a las operaciones de perforado de agujeros para determinar el tamaño del punzón y del dado adecuado. Es evidente que la abertura del dado debe ser siempre más grande que el diámetro del punzón, de esto dependerá que la pedacería sean discos, como se ilustra en la figura 3.57 para una parte circular.

Debido a la geometría del borde cizallado, el tamaño del punzón y del dado para una forma o parte redonda de diámetro  $D_b$  se determina como sigue:

$$\text{Diámetro del punzón de corte de formas} = D_b - 2c \quad (3.43a)$$

$$\text{Diámetro del dado de corte de formas} = D_b \quad (3.43b)$$

Los tamaños del dado y del punzón para un agujero redondo de diámetro  $D_h$  se determinan como sigue:

$$\text{Diámetro del punzón para corte de agujeros} = D_h \quad (3.44a)$$

$$\text{Diámetro del dado para corte de agujeros} = D_h + 2c \quad (3.44b)$$

Para que las formas o la pedacería caigan a través del dado, la abertura del dado debe tener un claro angular entre  $0.25^\circ$  y  $1.5^\circ$  de cada lado. El claro angular se muestra en la figura 3.58.

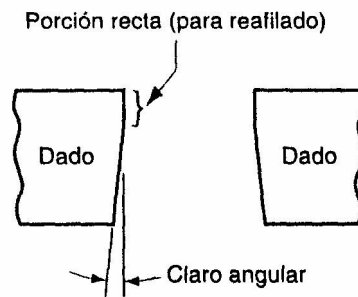


FIGURA 3.58 Claro angular.

**Fuerzas de corte** Es importante estimar la fuerza de corte porque ésta determina el tamaño (tonelaje) de la prensa necesaria. La fuerza de corte  $F$  en el trabajo de láminas puede determinarse por:

$$F = StL \quad (3.45)$$

Donde

$S$  = resistencia al corte de la lámina, (Pa);

$t$  = espesor del material (m);

$L$  = longitud del borde de corte, (m).

En el punzonado, perforado, rasurado y operaciones similares,  $L$  es la longitud del perímetro de la forma o agujero que se corta. En la determinación de  $L$  se puede anular el efecto menor del claro.

Sí se desconoce la resistencia al corte, se puede estimar la fuerza de corte mediante el uso de la resistencia a la tensión, de la siguiente manera

$$F = 0.7TSiL \quad (3.46)$$

Donde

$TS$  = resistencia última a la tensión, (MPa).

La ecuación anterior estima la fuerza de corte, suponiendo que el corte entero se hace al mismo tiempo a todo lo largo del borde de corte. En este caso la fuerza de corte será un máximo. Es posible, reducir la fuerza máxima usando un borde de corte sesgado en el punzón o en el dado, como se muestra en la figura 3.54(b). El ángulo (llamado *ángulo de corte*) distribuye el corte en el tiempo y reduce la fuerza que se experimenta a cada momento. De cualquier manera, la energía total requerida en la operación es la misma, ya sea que se concentre en un breve momento o se distribuya sobre un periodo más largo.

### EJEMPLO 3.5 Claro en el punzonado y fuerza

Se corta un disco de 75 mm de diámetro de una tira de acero laminado en frío medio endurecido de 3 mm de espesor, cuya resistencia al corte = 310 MPa. Determine a) los diámetros apropiados del punzón y del dado y b) la fuerza de corte.

#### Solución:

a) La tolerancia del claro para acero laminado en frío de dureza media es  $a = 0.075$ . Por consiguiente, el claro es:

$$c = at = 0.075 \cdot 3 = 0.225$$

El disco tendrá 75 mm de diámetro y el tamaño del dado determina el tamaño de la forma, por tanto,

$$\text{Diámetro de la abertura del dado} = 75 \text{ mm}$$

$$\text{Diámetro del punzón} = D_b - 2c = 75 - 2 \cdot 0.225 = 74.55 \text{ mm}$$

b) para determinar la fuerza de corte, se asume que el perímetro entero de la forma se corta en una sola operación. La longitud del borde de corte es:

$$L = \pi D_h = \pi \cdot 75 = 235.62 \text{ mm}$$

$$F = StL = 310 \times 10^6 \cdot 3 \times 10^{-3} \cdot 235.62 \times 10^{-3} = 219126.6 \text{ N} \approx 23 \text{ Toneladas}$$

#### 3.3.1.3. Otras operaciones de corte de láminas metálicas

Además del cizallado, punzonado y perforado hay algunas otras operaciones de corte con laminas. El mecanismo de corte en cada caso involucra las mismas operaciones de corte analizadas previamente.

**Corte en trozos y partido** El corte en trozos es una operación de corte en la cual las partes se separan de una tira de lámina metálica cortando el borde opuesto de la parte en secuencia, como se muestra en la figura 3.59(a) Cada corte produce una nueva parte. Las características que distinguen la operación de corte en trozos del corte convencional son que 1) los bordes de corte no son necesariamente rectos, y 2) las partes se pueden empalmar en la tira de tal manera que se evite el desperdicio. *El partido* involucra el corte de una tira de lámina por un punzón con dos bordes de corte que

coinciden con los bordes opuestos de la parte deseada, como se muestra en la figura 3.59(b). Esto puede requerirse cuando los contornos de la parte tienen forma irregular que impiden su empalme perfecto en la tira. El partido es menos eficiente que el corte en trozos debido a que produce algún material de desperdicio.

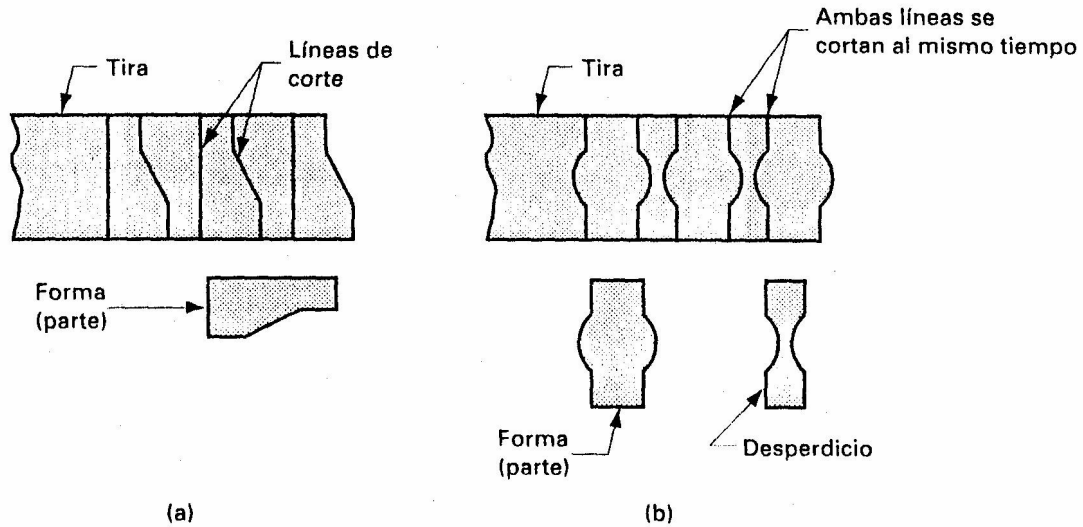


FIGURA 3.59(a) Corte en trozos y (b) partido.

**Ranurado, perforado múltiple y muescado** El término de *ranurado* se usa algunas veces para la operación de punzonado en la cual se corta un agujero rectangular o alargado, como se muestra en la figura 3.60(a). El *perforado* múltiple involucra la perforación simultánea de varios agujeros en una lámina de metal, como se muestra en la figura 3.60(b). El patrón de agujeros tiene generalmente propósitos decorativos o para permitir el paso de la luz, gases o fluidos.

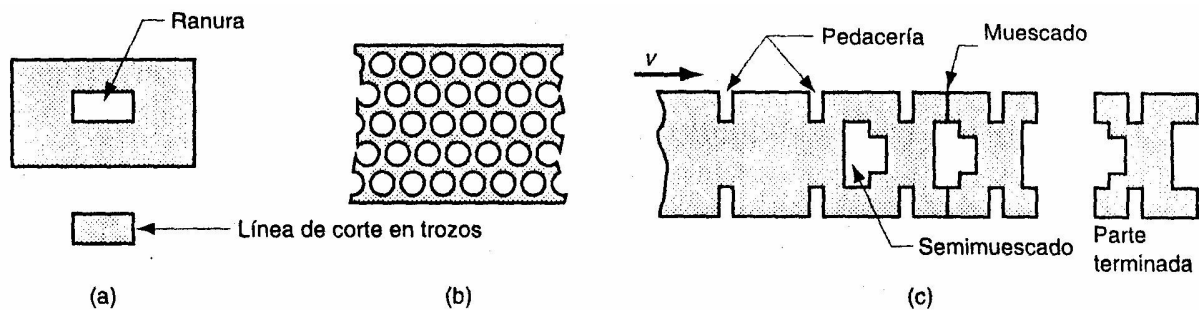


FIGURA 3.60 (a) Ranurado, (b) perforado múltiple, (c) muescado y semimuescado El símbolo  $v$  indica velocidad.

Para obtener el contorno deseado de la pieza, se cortan frecuentemente porciones de lamina por muescado o semímuescado. El *muescado* es el corte solo en una de las caras de la lámina. El *semimuescado* recorta una porción interior de la lámina; Estas operaciones se describen en la figura 3.60(c). Al lector le parecerá que el semimuescado es lo mismo que la operación de perforado o



ranurado. La diferencia es que el metal removido por el semimuescado crea parte del contorno de la pieza, mientras que el perforado y el ranurado genera agujeros en la pieza.

**Recorte, rasurado y punzonado fino** El *recorte* es una operación de corte que se realiza en una parte ya formada para remover el exceso de metal y fijar su tamaño. Un ejemplo típico es el recorte de la porción superior de una copa hecha por embutido profundo para fijar la dimensión deseada.

El *rasurado* es una operación de corte realizada con un claro muy pequeño destinada a obtener dimensiones precisas y bordes lisos y rectos, tal como se muestra en la figura 3.61(a) El rasurado es una operación secundaria típica o de acabado que se aplica sobre partes que han sido cortadas previamente.

El *punzonado fino* es una operación de cizallado que se usa para cortar partes con tolerancias muy estrechas y obtener bordes rectos y lisos en un solo paso. La disposición típica para esta operación se ilustra en la figura 3.61(b). Al principio del ciclo, una placa de presión con salientes en forma de V aplica una fuerza de sujeción  $F_h$  contra la lámina adyacente al punzón, a fin de comprimir el metal y prevenir la distorsión. El punzón desciende entonces con una velocidad más baja de lo normal y con claros más reducidos para producir las dimensiones y los bordes de corte deseados. El proceso se reserva usualmente para espesores relativamente pequeños del material.

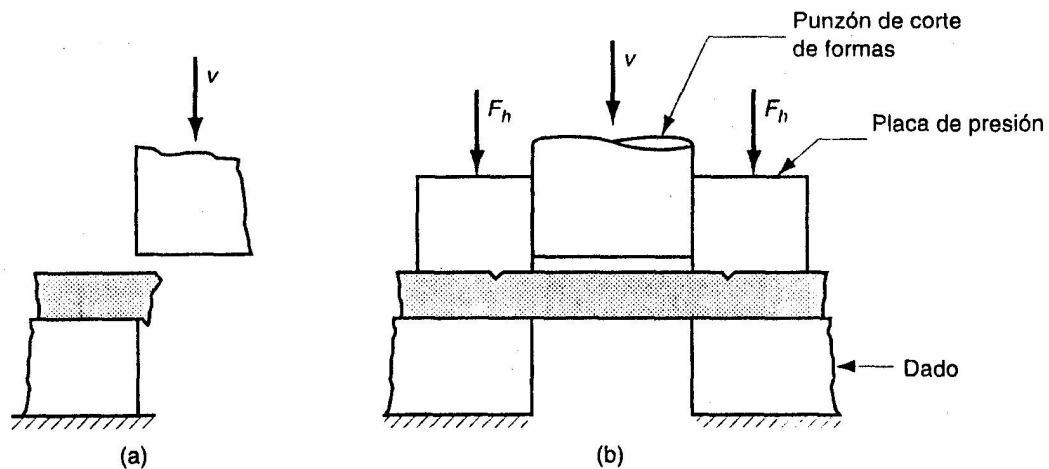


FIGURA 3.61 (a) Rasurado y (b) punzonado fino. Los símbolos  $v$  = velocidad del punzón y  $F_h$  = fuerza de sujeción de la forma.