

3.3.5. TROQUELADO DE METALES

En términos sencillos, el troquelado es un método para trabajar láminas metálicas en frío, en forma y tamaño predeterminados, por medio de un troquel y una prensa. El troquel determina el tamaño y forma de la pieza terminada y la prensa suministra la fuerza necesaria para efectuar el cambio.

Cada troquel está especialmente construido para la operación que va a efectuar y no es adecuado para otras operaciones. El troquel tiene dos mitades, entre las cuales se coloca la lámina metálica. Cuando las dos mitades del troquel se juntan se lleva a cabo la operación. Normalmente, la mitad superior del troquel es el punzón (la parte más pequeña) y la mitad inferior es la matriz (la parte más grande). Cuando las dos mitades del troquel se juntan, el punzón entra en la matriz.

En la matriz se realizan unas aberturas, por medio de varios métodos. La forma del punzón corresponde a la abertura de la matriz pero es ligeramente más pequeño, en una cantidad igual a la determinada por el "Juego entre matriz y punzón" requerida. El tipo y espesor del material y la operación que se va a llevar a cabo establecen dicho juego.

Las dos partes se encuentran montadas en un portatroquel: la matriz montada sobre la base y el punzón en una zapata superior. El uso de un portatroquel asegura una alineación adecuada del punzón y la matriz, sin importar el estado de la prensa. Los troqueles más simples son los que se emplean para hacer agujeros en una lámina.

La prensa usada para llevar a cabo estos cambios de forma tiene una mesa estacionaria o platina, sobre la cual se sujeta la matriz. Una corredera guiada o carro, que sujeta el punzón, se mueve hacia arriba y abajo perpendicularmente a la platina. El movimiento y la fuerza del carro son suministrados por un cigüeñal, un excéntrico o cualquier otro medio mecánico. También se emplean prensas accionadas hidráulicamente.

El troquelado de láminas metálicas incluye el corte o cizallado (sección 3.3.1), el doblado o formado (sección 3.3.2) y las operaciones de embutido superficial o profundo (sección 3.3.3). El corte alrededor de toda la periferia de una pieza se llama "recortado". El corte de agujeros en una pieza de trabajo se llama "punzado" o, "perforado". La figura 3.85 muestra un troquel recortador con regla de acero.

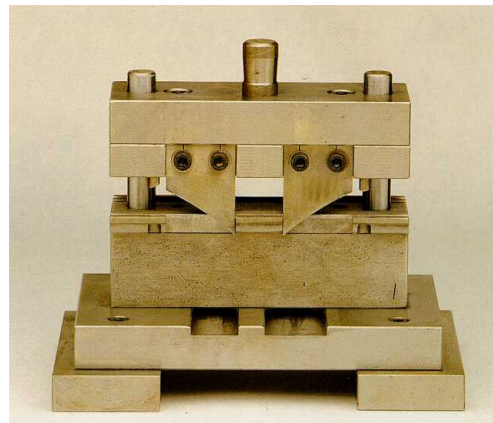
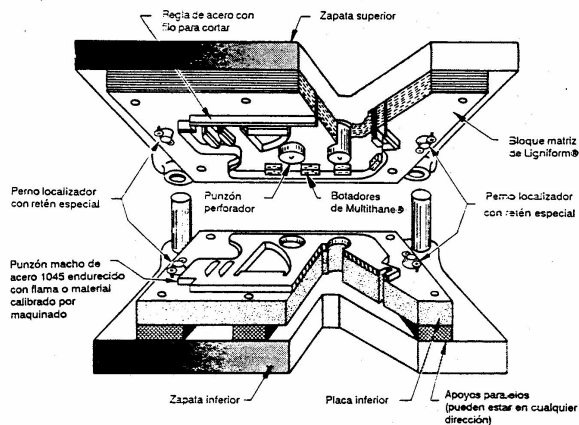


FIGURA 3.85 Vistas de un troquel recortador con regla de acero.

Portatroquel maestro: troquelado en troquel ajustable: es un método útil para operaciones de troquelado secundarias (después del recortado). El punzonado, recorte en ángulo, avellanado y otras operaciones se encuentran entre las que se pueden efectuar. Este sistema emplea combinaciones reutilizables de matriz y punzón para cada agujero u otro elemento que se troquele en la pieza de trabajo. Estas combinaciones se sujetan a un portatroquel maestro reutilizable. El número de juegos de punzón-matriz usados y su posición determinan la configuración de la pieza de trabajo troquelada. En cada combinación punzón-matriz se tienen incorporados dispositivos botadores, los cuales están atornillados al portatroquel maestro o sostenidos magnéticamente como se muestra en la figura 3.86. Con frecuencia se emplean plantillas para colocar las combinaciones punzón-matriz en especial si el trabajo se realiza periódicamente.

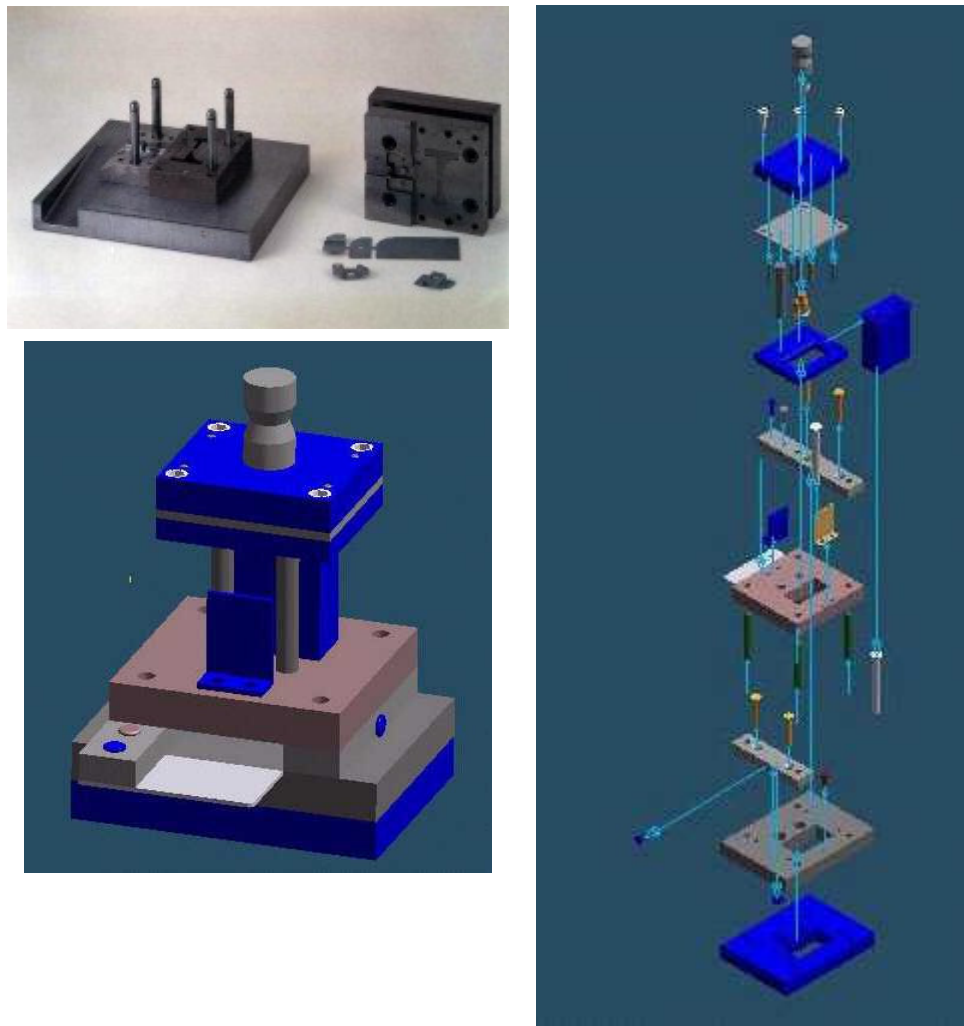


FIGURA 3.86 porta troquel combinado

Características y aplicaciones del troquelado de metales Quizá la principal característica de las piezas metálicas troqueladas es que, con unas cuantas excepciones, el espesor de la pared es esencialmente el mismo en toda la pieza. Las piezas troqueladas terminadas son, algunas veces,

bastante complicadas en forma, con muchas salientes, brazos, agujeros de varias formas, huecos, cavidades y secciones levantadas como se muestra es la figura 3.87. En todos los casos, el espesor de la pared es esencialmente uniforme. No se realizan repujados gruesos del tipo que se encuentra en muchos vaciados.

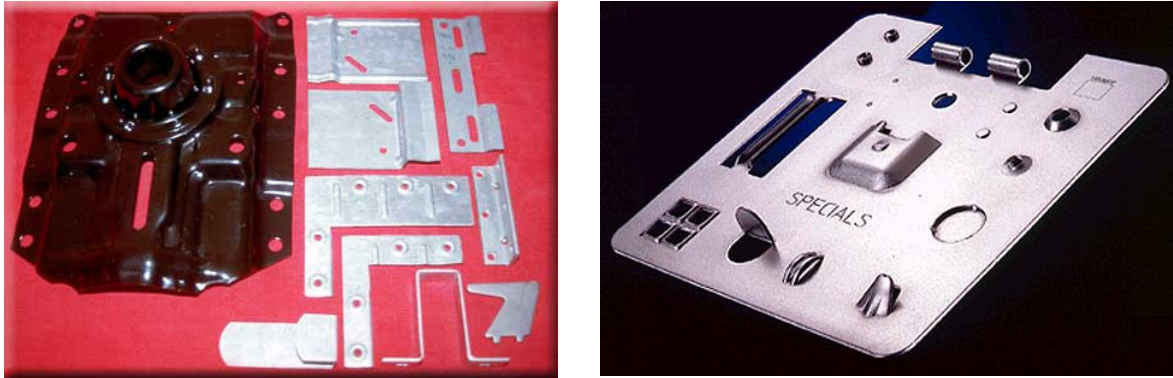


FIGURA 3.87 Colección de piezas troqueladas

Los troquelados se llevan a cabo en espesores que varían desde 0.025 mm hasta 9 mm de espesor. El tamaño de las piezas troqueladas va desde la más pequeña usada en los relojes de pulsera, hasta los grandes tableros empleados en camiones o aviones.

El ingeniero de diseño debe tener presente el borde característico de una pieza troquelada, especialmente si incluye superficies de rozamiento o si, por apariencia u otras razones, se requieren bordes tersos. El diseñador también debe estar consciente de las rebabas que quedan en un lado de las piezas troqueladas y ser cuidadoso al diseñarlas, con objeto de poder removerlas con facilidad o que no interfieran con las subsecuentes operaciones o funcionamiento.

3.3.5.1. Troquelado convencional

Las piezas troqueladas pueden maquinarse después del recortado o doblado si se requieren dimensiones más precisas de las que pueden producirse por troquelado, o cuando se requieren formas que no son factibles solamente por troquelado. Ejemplos de esto es el escariado de los barrenos centrales de poleas o engranes troquelados, superficies rectificadas para darles planicidad y ranuras o áreas de alivio que requieren un cambio en el espesor de la pieza.

Cantidades económicas para producción El troquelado convencional es un proceso de alta producción. La producción es muy rápida, de 35 a 500 o más golpes por minuto. Si la producción total es suficiente para justificar el uso de troqueles compuestos o progresivos, tanto el recortado como el doblado pueden realizarse en un solo golpe de prensa. En estos casos, las piezas pueden producirse completas a una velocidad de miles por hora.

Un troquel progresivo para la producción de piezas similares a las ilustradas en la figura 3.87 requiere altos rangos de producción (250 000 piezas al año, por ejemplo) para justificar la inversión. Los troqueles convencionales para producir tales piezas podrían constar de un troquel recortador y perforador

y de un troquel doblador que juntos, cuestan sólo la mitad de un troquel progresivo. Como regla general, un troquel progresivo no deberá considerarse, a menos que puedan eliminarse cuando menos dos operaciones secundarias.

El costo de los troqueles de doblez varía considerablemente, según su complejidad y tamaño. Un troquel simple convencional para formar un doblez puede ser muy barato, mientras que un troquel para doblado complejo o un troquel de embutido para una pieza grande puede requerir una inversión grande.

Como resultado de estos significativos costos de herramental para el troquelado de metales, aun con bajos costos de mano de obra por unidad con operaciones múltiples, el troquelado convencional es un proceso para alta producción.

Las prensas troqueladoras son relativamente bajas en costo comparadas con otro equipo para alta producción. Sin embargo, el costo de la prensa no es un factor significativo en el cálculo del tamaño del lote económico, debido a que las prensas son versátiles. Casi cualquier prensa tiene la posibilidad de realizar un amplio rango de operaciones de troquelado.

Troquelado de pequeños volúmenes En forma muy general, puede decirse que para condiciones promedio, la línea divisora entre producciones de poco volumen y las regulares (de volumen medio) está entre 5000 y 10000 piezas por partida o lote. Probablemente lo más importante es la cantidad total que se espera produzca el herramental durante su vida. Si esta cantidad es menor de 20 000, entonces los métodos para pequeños volúmenes probablemente darán los costos totales más bajos. Cuando se requiere de 10000 a 20000 piezas, puede ser ventajoso tener tanto estimaciones de herramental convencional como de herramental para bajos volúmenes de producción. Esto permite hacer un estudio comparativo de costos.

Otra regla para diferenciar el método de bajo volumen y el regular es la siguiente: cuando el costo de los troqueles excede el costo de las piezas por producir, se trata de un trabajo de bajo volumen.

Otra ventaja de los métodos para *volúmenes pequeños* es el poco tiempo requerido para la elaboración del herramental necesario. Debe notarse, sin embargo, que la calidad de las piezas producidas con el herramental de tipo permanente es usualmente superior que la producida con troqueles temporales y, por tanto, la intercambiabilidad de las piezas producidas es mejor.

Los métodos de troquelado para bajos *volúmenes* deben considerarse en cualesquiera de las siguientes condiciones: (1) Para producciones piloto, prototipo o experimentales, particularmente cuando se esperan cambios de diseño, por lo que aún no es recomendable el uso de herramental permanente. (2) Para producción de piezas de repuesto después de que el herramental original se ha desechado. (3) Para productos como equipo industrial, médico o de laboratorio cuyos volúmenes de producción no son grandes. (4) En los casos en que es esencial el envío inmediato de un componente para el éxito comercial de un producto (por ejemplo, un artículo de temporada cuyo desarrollo ha comenzado tardíamente o *requiere mucho* tiempo). Con un menor tiempo de fabricación del herramental, la producción *puede empezar con* más rapidez. En estos casos, los requerimientos económicos básicos (bajo costo y alta productividad) pueden desecharse con el herramental temporal. Estas consideraciones deben tomarse en consideración cuando luego se desarrolle el herramental de tipo permanente. (5) Como repuesto a herramientas de tipo *permanente*, cuyo trabajo es esencial, a fin de evitar

interrupciones en el proceso de manufactura. (6) Para negocios con escaso *presupuesto donde* no se considera conveniente invertir una gran suma en costoso herramental permanente.

Recomendaciones para diseño *Utilización del material* Las piezas deben diseñarse para lograr el máximo aprovechamiento del material. Las formas que pueden acomodarse muy juntas son mejores que las que tienen que espaciarse sobre el material. Una pieza en forma de L se acomoda mejor que una en forma de T.

Otros ejemplos se ilustran en la figura 3.88. Este aprovechamiento del material también requiere una estrecha comunicación entre el diseñador y el fabricante de troqueles, o cuando menos la habilidad del diseñador para visualizar una distribución como lo haría el fabricante de troqueles.

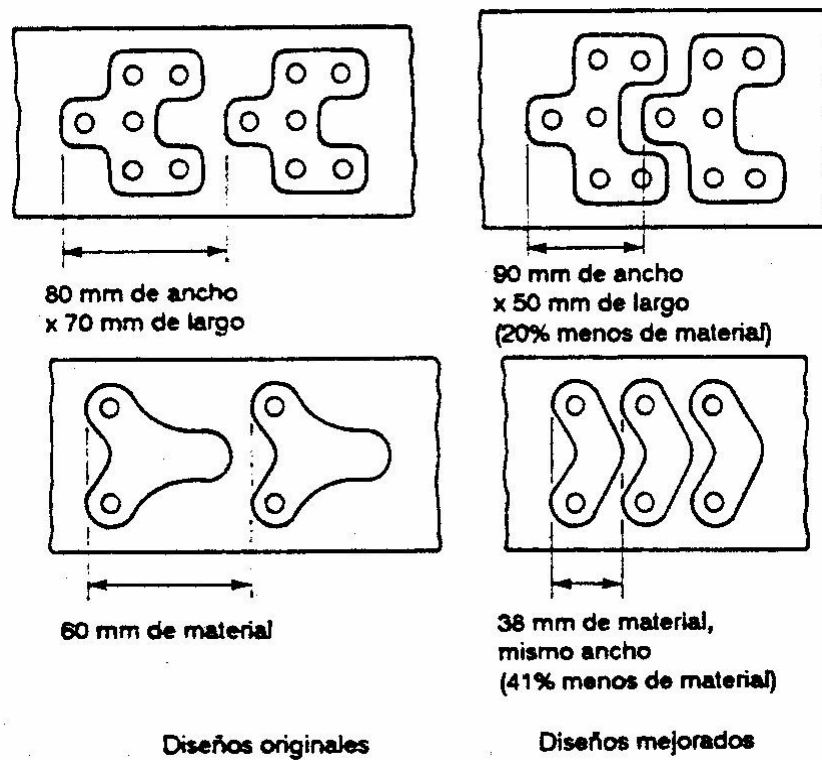


FIGURA 3.88 Dos ejemplos de piezas para permitir un mejor acomodo de las planillas y, en consecuencia, un mejor aprovechamiento del material.

También debe considerarse el aprovechamiento de las porciones sobrantes para producir piezas adicionales. En el caso de grandes proyectos, muchas piezas requerirán el mismo espesor y material. Al diseñar una pieza pequeña a partir de un pedazo de material remanente del recorte de una pieza más grande, el diseñador ahorra material. En estos casos, deben hacerse las anotaciones pertinentes en el dibujo para proporcionarla información al personal de manufactura. La figura 3.89 presenta un ejemplo de este tipo de casos.

Otro ejemplo es el troquel típico para la laminación de un motor en el que las piezas de la armadura y del campo se hacen de la misma tira de material con muy poco desperdicio véase la figura 3.90.

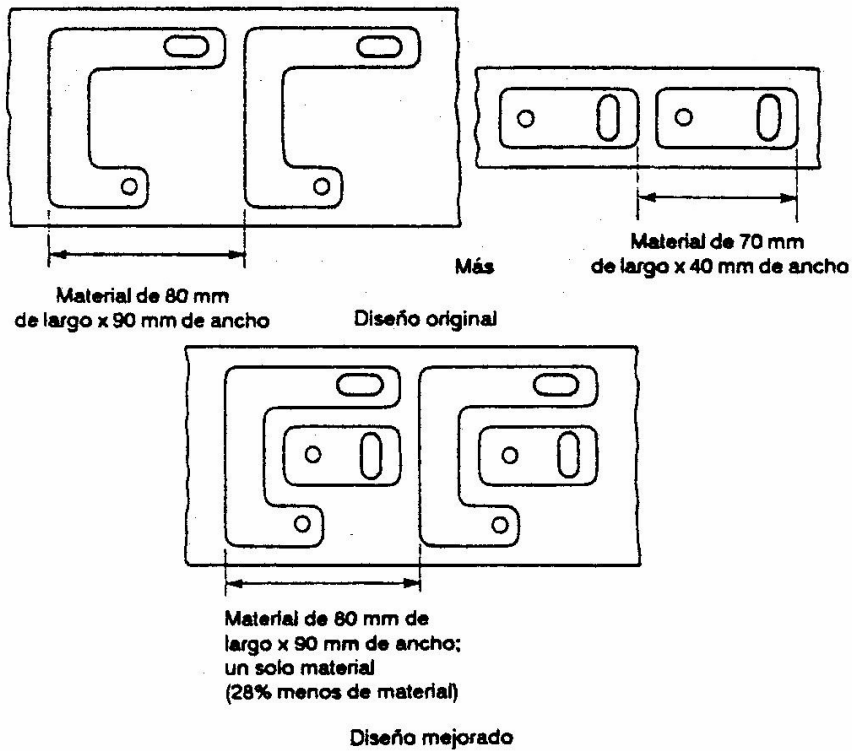


FIGURA. 3.89 Los rediseños pequeños permiten que una pieza pueda cortarse del material sobrante del recorte de otra pieza.

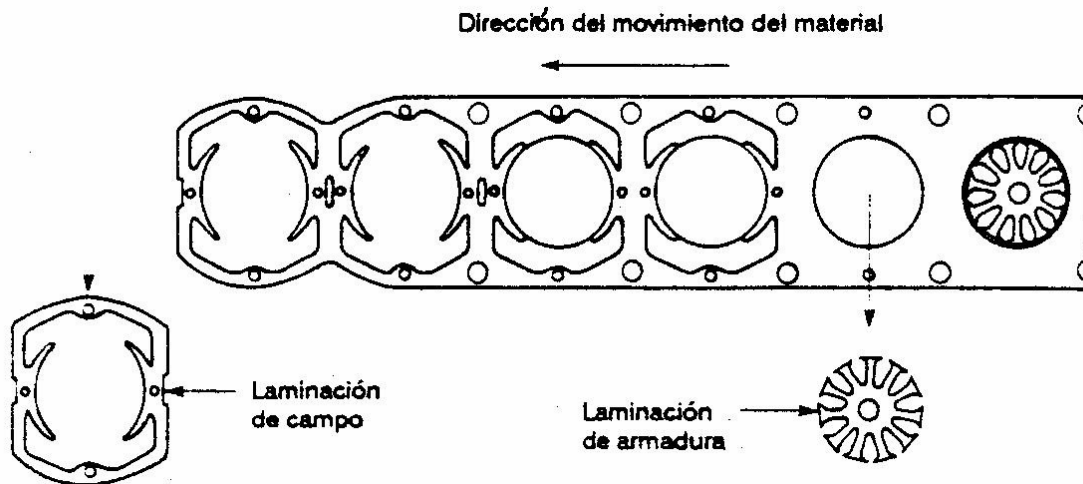


FIGURA 3.90 Secuencia típica del recorte de laminaciones para un motor con un troquel progresivo; muestra cómo Las laminaciones tanto de la armadura como de campos se cortan de la misma tira de material con muy poco desperdicio. (Cortesía de Pie Singer Company.)

Agujeros. El diámetro de los agujeros perforados no debe ser menor al espesor del material, como se muestra en la figura 3.91. Los manguitos de soporte de punzones especialmente sincronizados o el método de troquelado fino, permiten hacer agujeros más pequeños; pero con el herramental convencional de troquelado, la rotura de punzones se vuelve excesiva si se intentan perforar agujeros más pequeños que el mínimo establecido.

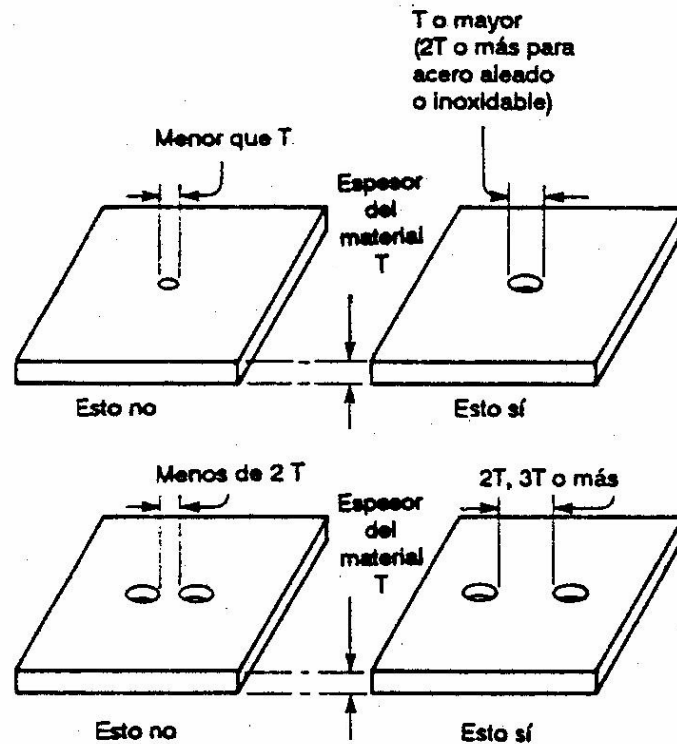


FIGURA 3.91 Reglas de diseño para el tamaño y espaciado de los agujeros

El espaciado entre agujeros debe tener un mínimo de 2 veces el espesor del material, aun cuando se prefieren 3 veces desde el punto de vista de la resistencia del troquel. Por ejemplo, si el espesor de la pared es demasiado pequeño, la capacidad de la matriz para resistir la presión de perforado es amenazada seriamente.

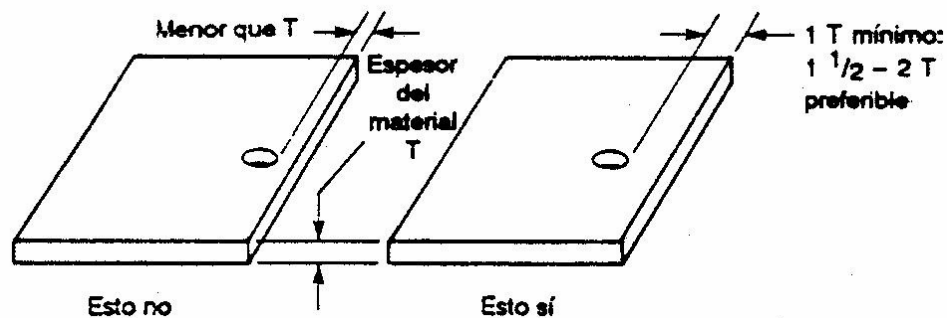


FIGURA 3.92 Los agujeros perforados no deben localizarse demasiado cerca del borde de la pieza.

La distancia mínima del borde de un agujero al siguiente debe ser cuando menos igual al espesor del material, aunque es preferible que sea de 1.5 a 2 veces al espesor véase figura 3.92. Un espaciamiento demasiado pequeño hace que la pieza se deforme en el área del borde que esta junto al agujero.

Perforar un agujero antes de doblar la pieza es menos costoso que efectuar el perforado o barrenado de la pieza como una operación secundaria. La distancia mínima entre el borde inferior de un agujero y la otra superficie debe ser 1.5 veces el espesor del material, más el radio del doblé, según se ilustra en la figura 3.93. El agujero se distorsiona si esta distancia mínima no se respeta.

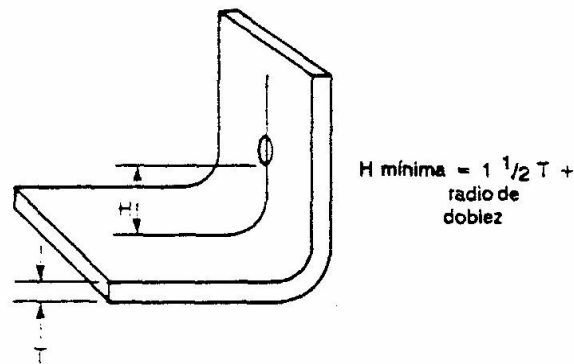


FIGURA 3.93 Espaciamiento mínimo entre un agujero perforado y un doblé para evitar la distorsión del agujero.

Los autores han empleado el siguiente método para eliminar o minimizar la distorsión cuando el diseño requiere que el borde inferior del agujero esté a una distancia menor que la distancia mínima recomendada.

Una ranura no funcional, ya sea cuadrada o rectangular, puede perforarse directamente debajo del agujero o agujeros deseados (debe respetarse la distancia mínima de un espesor de pared entre los agujeros). Debido a esto, durante el doblé ningún esfuerzo o deformación (o al menos muy poca) se transmite al agujero figura 3.94. El método de prueba y error en la experiencia son necesarias para determinar dimensiones.



FIGURA. 3.94 Método para evitar la distorsión de agujeros ubicados junto a un doblé.

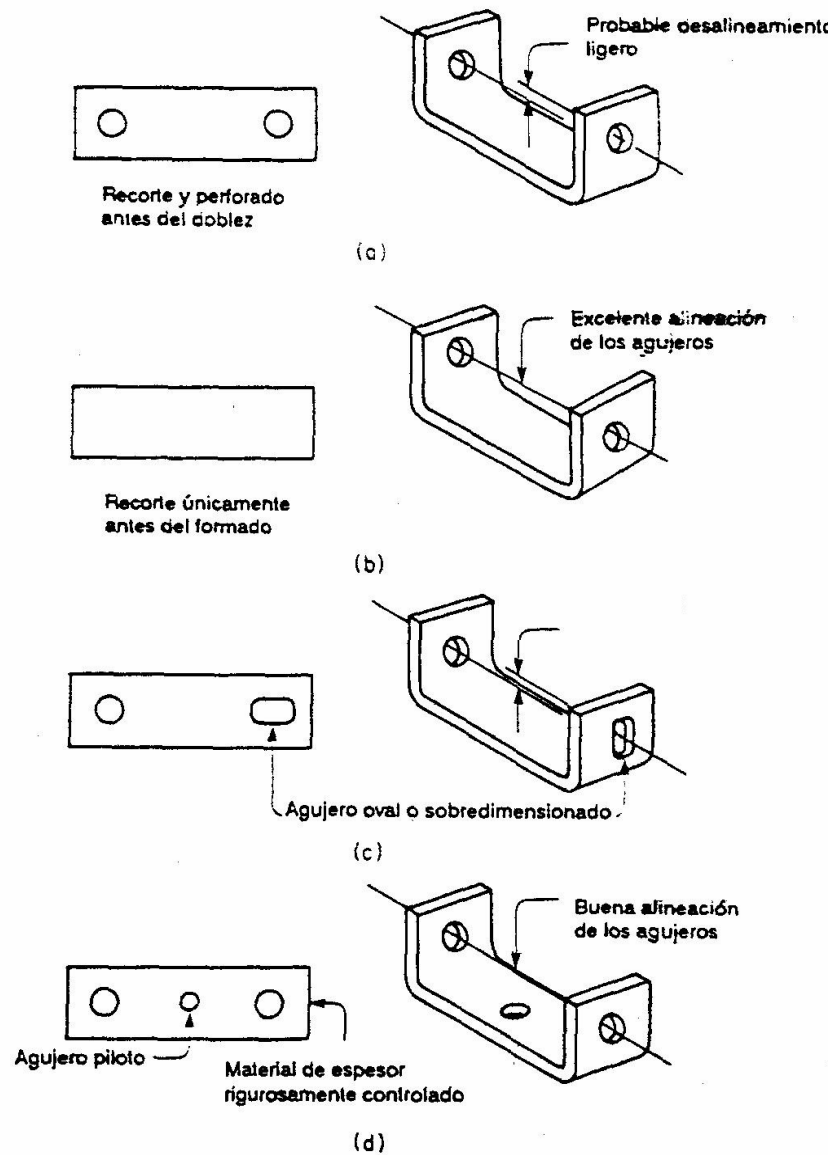


FIGURA 3.95 Problema de alineación de los agujeros en los extremos opuestos de una pieza doblada en U. (a) Método normal. No se recomienda si se requiere una alineación precisa de los agujeros. (b) Método más preciso: agujeros perforados o barrenados después del doblado. (c) Los agujeros ovales o sobredimensionados compensan el desalineamiento. (d) El agujero piloto asegura que la plantilla quede centrada en la matriz de doblado.

A menudo se desea incluir dos agujeros alineados en los extremos opuestos de una pieza doblada en U, con objeto de sostener una flecha o con algún otro propósito. Los diseñadores deben entender que es difícil doblar una pieza a partir de una plantilla preperforada que tenga los agujeros alineados con precisión. Pueden considerarse varias alternativas: (1) perforar o barrenar los agujeros después del formado. Esto es más caro, pero permite una excelente alineación. (2) Usar amplias tolerancias en los agujeros o hacer en uno de ellos una ranura para alinear la pieza, si la función de la pieza lo permite. (3) Incluir un agujero piloto en el fondo de la U. Se hace coincidir este agujero con un perno localizado en la

matriz de doblado, en el cual se coloca la plantilla. (Otro punto, si verdaderamente se quiere alinear con precisión mediante este método, es usar materiales con un estrecho control de espesor. Aun cuando el material con una estrecha tolerancia de espesor tiene un precio mayor, el costo adicional puede más que compensarse por los ahorros realizados al no tener que llevara cabo una operación secundaria véase la figura 3.95.

El diseñador de piezas troqueladas debe intentar siempre especificar agujeros redondos en lugar de agujeros cuadrados, rectangulares u otras formas. Los costos de hacer punzones y matrices redondos son bastante más bajos que para cualquier otra forma.

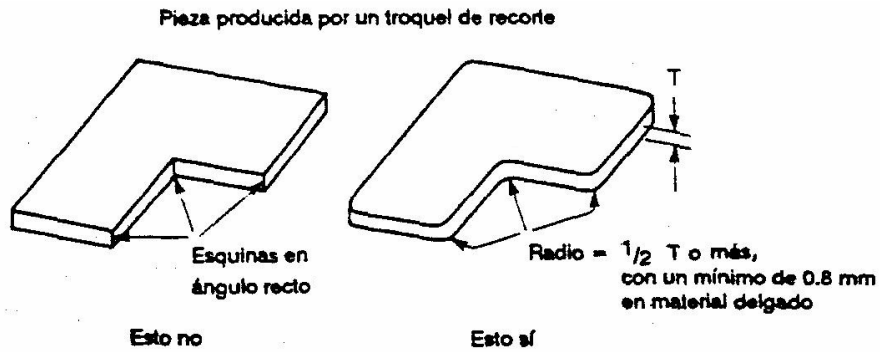


FIGURA 3.96 Reglas de diseño para radios de esquinas interiores y exteriores en piezas recortadas.

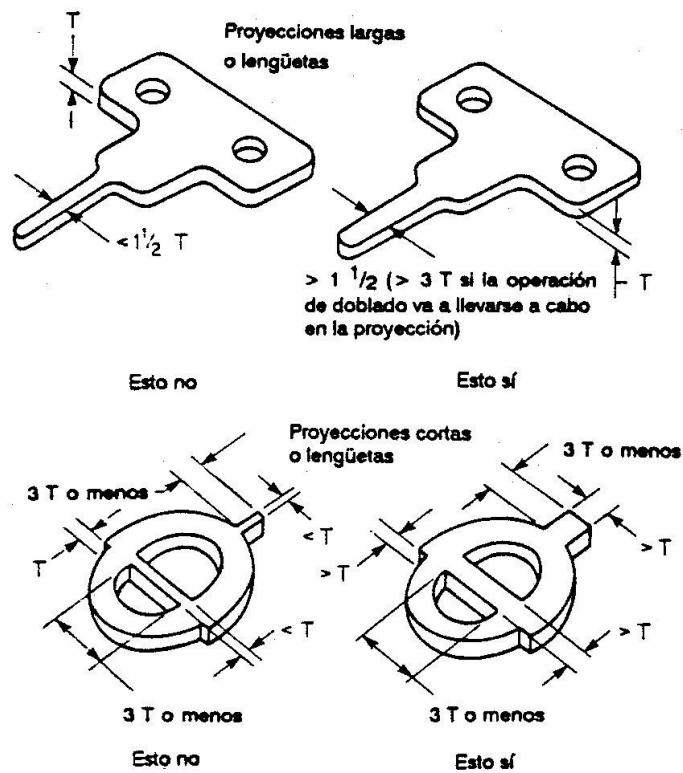


FIGURA 3.97 Las proyecciones y lengüetas estrechas hacen que los punzones del troquel sean estrechos y frágiles. Esto debe evitarse. Las proyecciones deben ser anchas si posteriormente van a someterse a operaciones de doblado.

Aristas afiladas. Las aristas a escuadra, ya sea internas o externas, deben evitarse siempre que sea posible. Las aristas externas a escuadra tienden a romper prematuramente los punzones o matrices, originando rasgaduras, grandes rebabas o bordes ásperos en el área de la arista de la pieza recortada. Asimismo las aristas interiores a escuadra en punzones y matrices son un punto de concentración de esfuerzo que pueden llevar a la rotura y falla durante el tratamiento térmico o uso. Una regla general es dejar la arista con un radio mínimo de redondeo de una y media veces el espesor del material y nunca menor de 0.8 mm véase figura 3.96. Debe recordarse que inevitablemente habrá una arista a escuadra siempre que dos bordes producidos por operaciones de cizallado, ranurado o recortado hagan intersección en ángulo aproximadamente recto. Tales esquinas pueden redondearse puliendo la pieza en tambor o mediante alguna otra operación secundaria.

Secciones estrechas Las proyecciones largas y estrechas deben evitarse, dado que tienden a distorsionarse y requieren punzones delgados y frágiles. Como regla general, las secciones largas no deben ser menores de 1.5 veces el espesor del material. Si la proyección o lengüeta es relativamente corta, esta precaución puede ser menos estricta. La figura 3.97 muestra algunos ejemplos

3.3.5.2. Proceso de troquelado fino

El proceso de troquelado fino es una técnica de prensado que utiliza una prensa especial y herramientas y troqueles de precisión para la producción de piezas que quedan casi terminadas y listas para usar cuando salen de la prensa de troquelado fino, a diferencia de las piezas que se troquelean por métodos convencionales. El troquelado fino produce piezas con superficies cortadas limpiamente a lo largo de todo el espesor del material. En comparación, las piezas troqueladas convencionalmente por lo general exhiben un borde cortado con limpieza sólo sobre un tercio del espesor del material y el resto presenta fracturas. Con el troquelado convencional, cuando estas superficies desempeñan alguna función, se puede requerir alguna forma de operación secundaria de acabado, como, rectificando, escariado, pulido, etc. A menudo se necesitan varias de estas operaciones para terminar la pieza. Cuando se emplea el troquelado fino, aparte del mejoramiento de la calidad de las superficies cortadas, puede obtenerse una mayor precisión dimensional; además el proceso permite operaciones que normalmente no se realizan con troquelado convencional.

Ciclo de la prensa En la figura 3.98 se presenta la secuencia de operaciones durante un ciclo de la prensa para troquelado fino: (1) el troquel se carga con material (2) El movimiento hacia arriba del carro levanta la platina inferior y el portatroquel. Esto levanta el material hasta la cara de la matriz. (3) Conforme cierra el troquel, el anillo V se encaja en el material. El material se sujeta entre el anillo V (o agujón) y la placa de la matriz, por fuera del perímetro de corte. El contrapunzón (el cual está bajo presión) sujeta el material contra la cara del punzón cortador por la parte interior del perímetro de corte. (4) Mientras la presión del anillo V y la contrapresión se mantienen constantes, el punzón continúa su carrera hacia arriba, cortando limpiamente la pieza. Ésta queda dentro de la matriz mientras que el recorte interior queda dentro del punzón. En la posición máxima superior, todas las presiones son eliminadas. (5) El carro se retrae y se abre el troquel. (6) Casi enseguida de que se abre el herramental,

se vuelve a aplicar la presión del anillo V. Esto desprende del punzón la tira del material que había quedado insertada en él y empuja el recorte interior fuera del punzón. La alimentación con material comienza. (7) Se vuelve a aplicar la contrapresión expulsando la pieza que continuaba en la matriz. (8) La pieza y el recorte se saca del área del troquel por medio de un chorro de aire o con un brazo removedor. (9) El ciclo se completa y queda listo para volver a empezar.

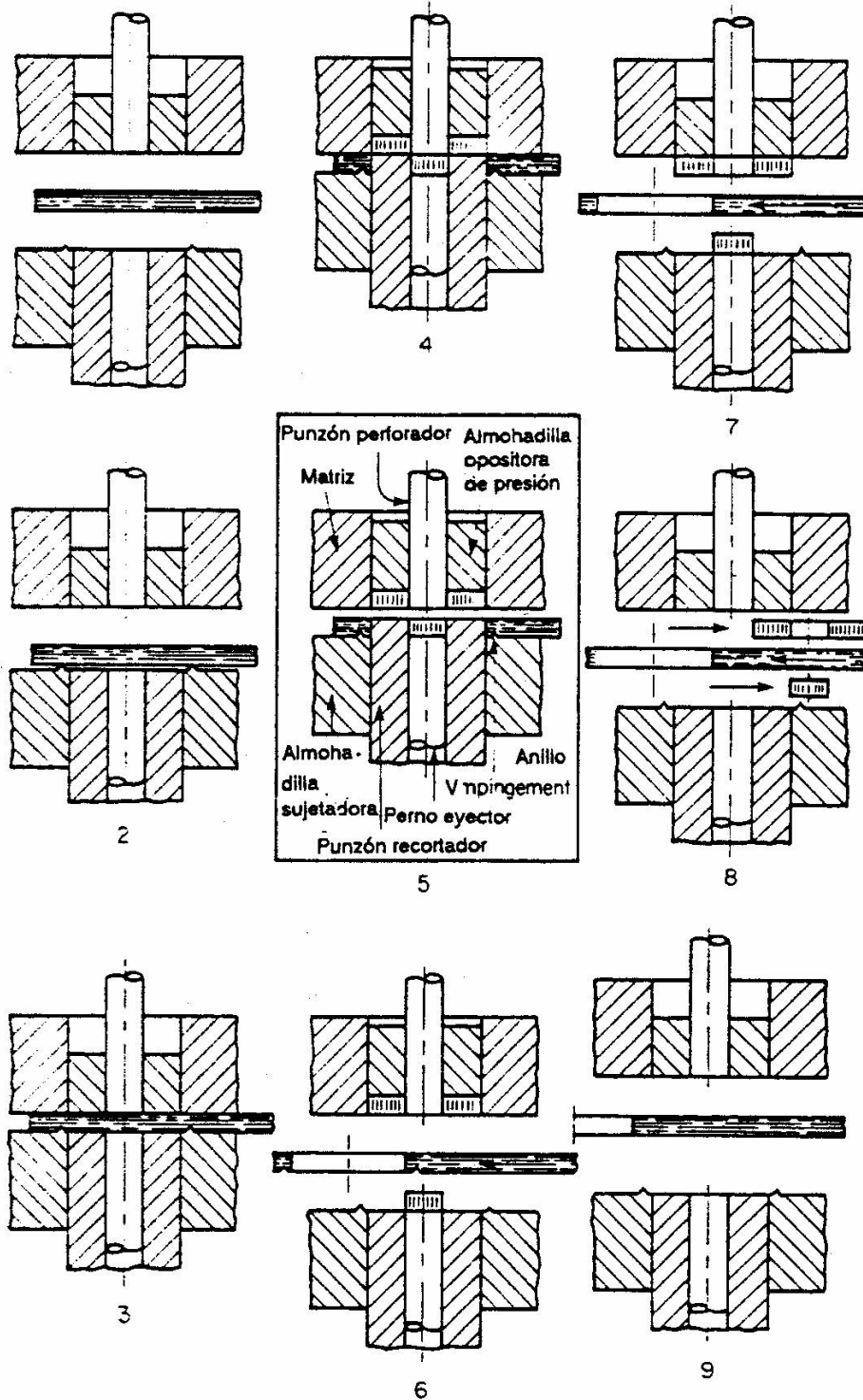


FIGURA 3.98 Ciclo de una prensa de troquelado fino.

Herramental troqueles, troqueles progresivos Siempre que es posible, se produce una pieza con un troquel compuesto con objeto de fabricarla en una sola operación. Los troqueles progresivos para troquelado fino han estado en uso por varios años.

Las operaciones que pueden efectuarse en los troqueles progresivos para troquelado fino son las siguientes:

- Achaflanado (interno o externo)
- Doblado (laterales, lengüetas salientes, etc.)
- Acuñaado para abocados adelgazado del material en componentes tipo martillo, bridas y monedas o medallas.
- Formado embutidos superficiales son posibles en ciertas piezas y materiales).

Características típicas y sus aplicaciones Las razones para considerar el troquelado fino incluyen la necesidad de acabados superficiales mejorados, forma de escuadra en los bordes cortados, mayor precisión dimensional y una apariencia y planicidad superiores, comparadas con las que se obtienen mediante el troquelado convencional

Se pueden incorporar piezas como pistas para levas, pernos localizadores, remaches y guías a la pieza hecha por troquelado fino. La producción de engranes, segmentos de engrane, trinquetes y cremalleras es uno de los principales campos de aplicación del troquelado fino.

Acabado superficial y escuadrado de los bordes El acabado promedio de la superficie en piezas hechas por troquelado fino es de $0.45 \mu\text{m}$. Es posible obtener un súper acabado de 0.1 a $0.2 \mu\text{m}$ con matrices de carburo para aplicaciones como levas especiales para las cuales se requiere una superficie pulida. Debido al desgaste de los troqueles y a los materiales usados, la cifra de $0.45 \mu\text{m}$ puede rebasarse después de producir cierto número de piezas.

La perpendicularidad de los bordes cortados rara vez es de 90 grados, pero no varía más de 40 a 50 minutos, aproximadamente. La calidad del material cortado y el estado del herramental son las condiciones que más influyen en estas características.

Cantidades económicas para producción Generalmente el troquelado fino puede clasificarse como un proceso de producción de alto volumen, ya que la calidad y el costo del herramental requieren una razonable cantidad de piezas para justificar el gasto. Una comparación entre varios métodos de producción debe mostrar una verdadera justificación, debido a que los costos del herramental no son el único factor que debe tomarse en cuenta. En algunos casos, cantidades de 1000 a 5000 piezas pueden amortizar el costo del herramental. Esto sucede cuando se elimina una costosa operación secundaria (como el perfilado por control numérico, rectificación o un escariado difícil) al diseñar la fabricación de la pieza por medio de troquelado fino. Como guía general, puede decirse que las cantidades mínimas por considerar están entre 10000 y 20000 piezas.

Comparaciones producción tiempo El ciclo de operación es ligeramente más lento en el troquelado fino que en el troquelado convencional. Una rapidez de prensa de 45 golpes por minuto podría ser un buen promedio en las operaciones de troquelado fino. Al comparar el troquelado fino con el troquelado

convencional, el costo total de todas las operaciones necesarias para completar una pieza incluyendo el maquinado secundario, deben considerarse.

Recomendaciones de diseño de piezas *Radios de redondea* En las piezas hechas por troquelado fino las aristas deben redondearse. Si no se redondea o si el radio es demasiado pequeño, el borde cerca de la esquina mostrará rasgaduras en el material en las zonas de corte. El punzón principal y los punzones interiores de la forma pueden generar rebabas en estas áreas después de un reducido periodo de uso

El ángulo de la arista el tipo y espesor del material determinan el radio de redondeo mínimo requerido. En general, se aplican los siguientes valores:

Ángulos obtusos: radio entre el 5 al 10% del espesor del material

Ángulos rectos: radio entre el 10 y 15% del espesor del material

Ángulos agudos: radio entre el 25 y 30% del espesor del material

Estos se refieren a aristas externas. Las aristas internas pueden dimensionarse usando dos tercios de los valores anteriores. En general, el radio máximo posible debe especificarse en todos los casos, ya que esta previsión puede beneficiar la duración del herramental, véase la figura 3.99

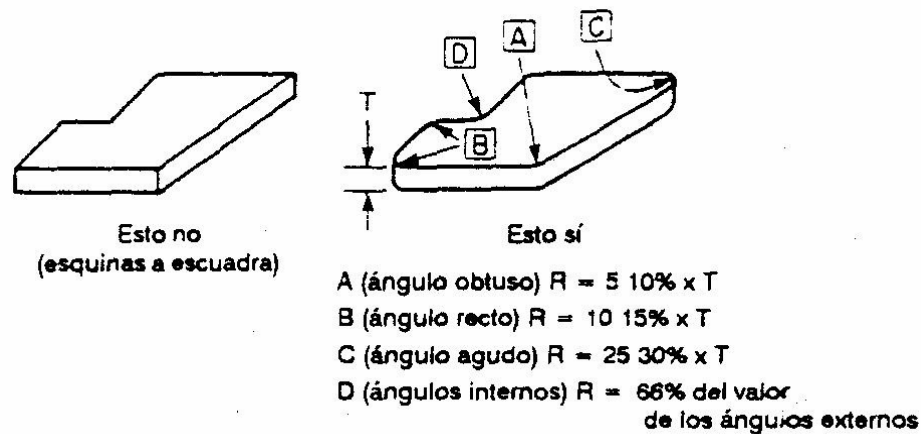


FIGURA 3.99 Radios de redondeo recomendados para piezas hechas por troquelado fino.

Agujeros y ranuras Por lo general, los agujeros en materiales de 1 a 4 mm de espesor pueden troquelarse dejando una distancia que corresponda al 60 o 65% del espesor del material entre el agujero y el borde. Cuando se trabaja con materiales más gruesos la presión específica de corte se hace mayor en esas áreas críticas. También se incrementa la rapidez de calentamiento de los componentes de corte. La experiencia señala que las distancias mencionadas deben aumentarse cuando se utilizan materiales de más de 4 mm de espesor.

Básicamente, se aplican los mismos datos tanto para el diámetro de los agujeros como para el ancho de las ranuras. Las recomendaciones para aplicaciones pueden obtenerse de los datos proporcionados en la figura 3.100.

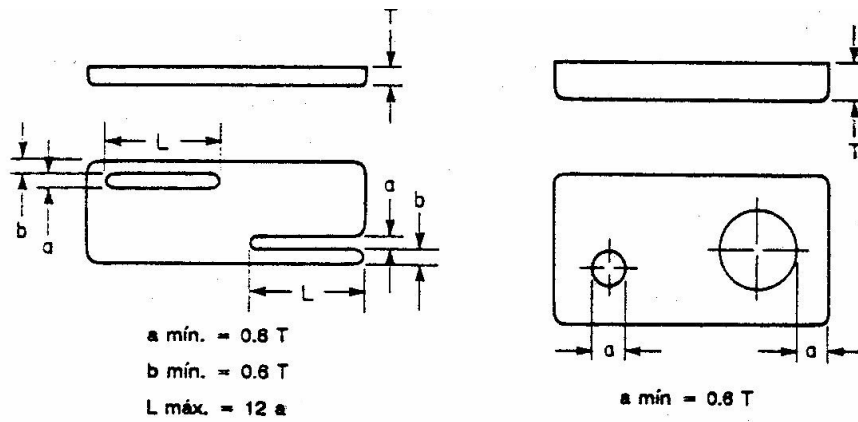


FIGURA 3.100 Regla de diseños para ranuras hechas por troquelado fino

Formas dentadas. Las formas de dientes para engranes, cremalleras, etc. pueden hacerse por troquelado fino cuando el ancho del diente en el radio del círculo de paso es el 60% o más del espesor del material. En ciertos casos, el ancho puede reducirse al 40% del espesor del material. Los factores determinantes son la forma del diente y el tipo de material trabajado.

Debe tenerse en cuenta que las crestas y la raíz de los dientes han de tener cierto radio. En prácticamente todos los casos esto es permisible, ya que la forma del diente en estas áreas generalmente no tiene ninguna función real.