

Proceso de diseño de un troquel progresivo para grapa que regula la longitud de recorrido de corriente eléctrica en una resistencia

Alfonso Campos Vázquez

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL, UPIITA, MÉXICO, D. F. ing_campos@hotmail.com

Alejandro Escamilla Navarro

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL, UPIITA, MÉXICO, D. F., aescamin@hotmail.com

Verónica Alejandra Alonso Gil

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL, ESIME AZC, MÉXICO, D. F., Email

ABSTRACT

A progressive die is a tool used to press working to transform sheet metal into useful products, using two or more punching operations. Proper selection in the order of the sequence of operations leads to efficient tool, cost and product quality. This paper presents the methodology for Ratings Set the sequence of operations of a blank, using the traditional method based on the suggestions of SME and the designer's experience.

Keywords: Progressive die, fuzzy logic, sequencing stamping operation.

RESUMEN

Un troquel progresivo, es una herramienta para trabajo en prensa utilizado para transformar chapa (lámina metálica) en productos útiles, mediante dos o más operaciones de troquelado. La selección apropiada en el orden de la secuencia de operaciones conduce a una herramienta eficiente, en costo y calidad del producto. En este trabajo se presenta la metodología para establecer la secuencia de operaciones de una pieza troquelada, mediante el método tradicional basado en las sugerencias de SME y en la experiencia del diseñador.

Palabras claves: troquel progresivo, lógica difusa, secuencia operaciones de troquelado.

1. INTRODUCCIÓN

La empresa Controles y Servicios, S. A. de México, fabrica resistencias de potencia para protección de generadores y transformadores, frenado dinámico, control de velocidad, entre otros productos. Uno de su productos es un conjunto de resistencias en espiral de acero inoxidable con un revestimiento interno de cerámica y unidos a las placas laterales mediante un birlo y tuercas como se puede observar en la figura 1. Las propiedades eléctricas de la resistencia mostrada se pueden modificar si se cambia la longitud de recorrido de la corriente eléctrica sobre la espiral.



Figura 1: Juego de resistencias eléctrica para control dinámico de frenado

La empresa Controles y Servicios, S. A. diseña una pieza que puede ensamblarse sobre la espiral que forma la resistencia, la cual denomina “grapa”. En la figura 2 se muestra la grapa, colocada en el lado izquierdo; en el extremo derecho se tiene el borne donde inicia el recorrido de la corriente eléctrica. Más adelante se describe la grapa.

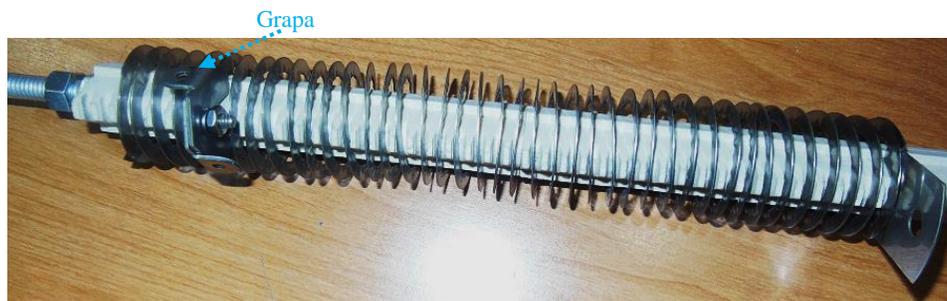


Figura 2: Resistencia eléctrica con grapa reguladora de longitud

Se define el término Troquelado como aquel conjunto de operaciones con las cuales, sin producir virutas, sometemos una chapa plana a una o más transformaciones (deformaciones plásticas), con el fin de obtener una pieza que posea forma geométrica propia, sea ésta plana o hueca. La realización práctica de estas operaciones se logra mediante dispositivos especiales llamados troqueles, los cuales se trabajan en prensas mecánicas que imprimen al troquel un impacto para obtener las formas predeterminadas en los punzones y matrices que conforman al troquel. Bor-Tsuen Lin, considera que la configuración típica de un troquel progresivo está dividida en dos partes. La primera son las partes que denomina principales, que son: el porta-troquel (Zapata superior e inferiores), matriz punzon, puente; las cuales son esquematizadas en la figura 3a. Los punzones y matriz son los elementos que ejecutan el trabajo de troquelado (conformado metálico) sobre la chapa, por tanto, considerados los de mayor importancia. La segunda parte de elementos son llamadas partes normalizadas y son los tornillos, pernos, entre otros, es decir, componentes comerciales.

Las operaciones que realiza el troquel progresivo sobre la chapa, de esquema, son indicadas en la parte b de la figura 3. Las operaciones de troquelado inicial en el lado derecho del troquel y la tira de lámina avanza hacia el lado izquierdo de la herramienta.

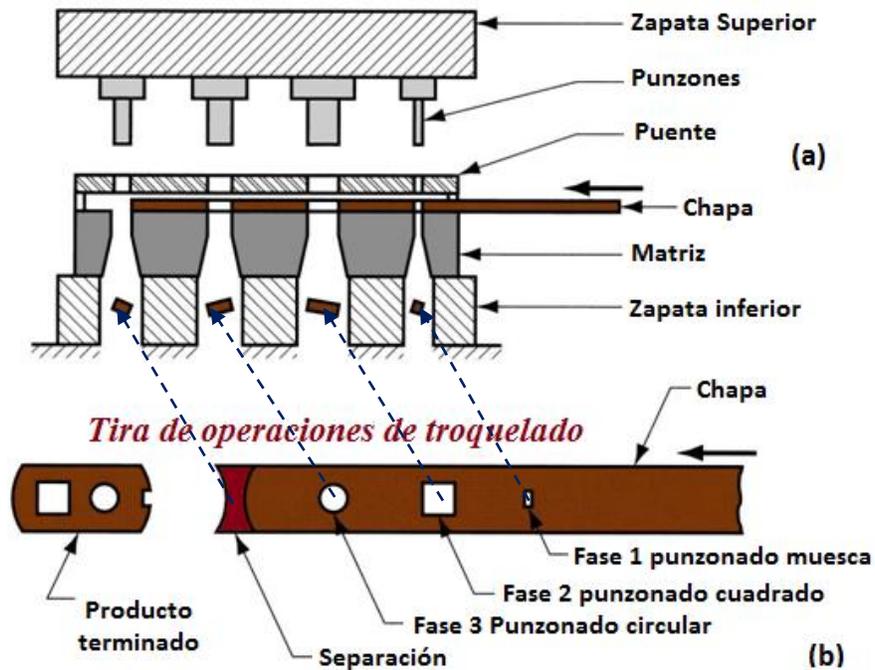


Figura 3: a) Componentes de un troquel progresivo, b) tira de lámina donde se indican las operaciones de troquelado en la secuencia de operaciones (adaptado de Kalpakjian S.)

Cuando una pieza solo requiere una operación de troquelado y por tanto una herramienta simple, es relativamente sencillo diseñarla; pero cuando se van a realizar varias operaciones en un mismo troquel debe encontrarse la secuencia de operaciones que ofrezca la herramienta con menor costo, tiempo de fabricación y seguramente con el menor número de operaciones de troquelado. La sociedad de ingenieros en manufactura americana (SME, por sus siglas en inglés) en su libro “Progressive dies” propone una metodología para determinar la secuencia de operaciones en un troquel progresivo, que fundamentalmente consta de las siguientes fases:

1. Análisis de la pieza que se desea fabricar mediante procesos de troquelado.
2. Dibujar la silueta de la pieza para concebir las formas de los punzones y matrices que permitan configurarla después de varias operaciones de troquelado.
3. Dibujar la tira de lámina que se obtendrá después de las operaciones de troquelado antes concebidas.
4. Revisar que los punzonados sobre la tira no esté cercanos para evitar que se pueda fracturar la matriz.

Farsi M. A. y Arezoo B., proponen una metodología para desarrollar una secuencia de operaciones confiable para el caso de los dobles la cual se esquematiza en la figura 4. Establece como plano madre de una pieza es aquel que no sufrirá dobleces durante el troquelado, para su determinación se consideran tres aspectos, 1) es el plano que rodean los demás plados que se doblan en la chapa, 2) plano localizado en el centro de la pieza y 3) el plano más grande de la parte.

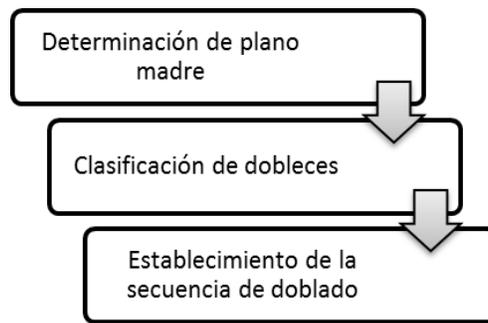


Figura 4: Fases para la selección de secuencia de dobleces. Adaptado de Farci, Arezoo 2009.

Bor-Tsuen Lin, et. Al, establecen que la información mínima requerida para el diseño de un troquel progresivo son el espesor de la chapa, el paso o avance de cada operación de troquelado en la progresión, indicando las operaciones en un dibujo de planta (de la matriz) que especifique en cada estación del troquel la operación de troquelado que se llevará a cabo. Las dimensiones del troquel son consecuencia del análisis anterior. Es muy conveniente considerar la holgura que debe tener el ensamble entre punzones y matrices para el punzonado, lo cual indica el grado de precisión requerido al manufacturar el troquel. Vukota Boljanovic recomienda para un material de acero “duro” una holgura igual al 6.5% del espesor de la chapa.

2. ANÁLISIS DE LA PIEZA

La grapa (figura 5) es una pieza formada por dos partes troqueladas de acero inoxidable, unidas con un tornillo y tuca, con los cuales se hace la presión sobre la espiral. La pieza de lámina es la misma la que se ve al frente y la de atrás, para solo requerir un troquel para ambas piezas



Figura 5: Grapa.

Como primer paso para el diseño, se establece la forma plana que deberá de tener la pieza, considerando los dobleces abatidos en el plano madre de la grapa. La figura obtenida es denominada silueta figura 6.

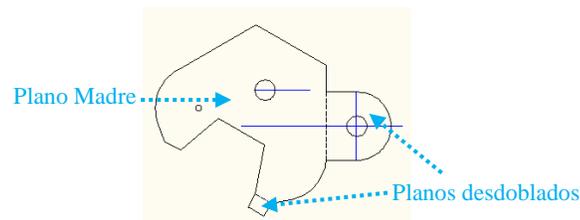


Figura 6: Silueta.

La silueta tiene una forma irregular, esto es, no tiene líneas de simetría la pieza. El contorno de la pieza se obtiene con segmentos de recta y arcos circulares. Tiene dos orificios circulares y los dobleces son rectos. Dado que no se puede formar la silueta y hacer los dobleces es una misma operación, se requiere un troquel progresivo para obtener la silueta necesaria. La tabla uno resume la información necesaria de acuerdo bon Bor-Tsuen Lin.

Tabla 1: Propiedades de la chapa y dimensiones silueta.

Material	Acero inoxidable martensítico 403. Resistencia máxima 520 MPa.
Espesor	Lámina Calibre 16, 1.57 mm
Dimensiones	Ancho: 39.2 mm. Altura: 48 mm
Operaciones de troquelado	<ul style="list-style-type: none"> • Punzonados • Dobleces a 90°
Holgura entre punzones y matriz	0.1 mm

3. SECUENCIA DE OPERACIONES.

Primero se determina la orientación de la silueta en la progresión. La decisión depende del mayor número de piezas que se obtienen de una lámina de acero inoxidable comercial.

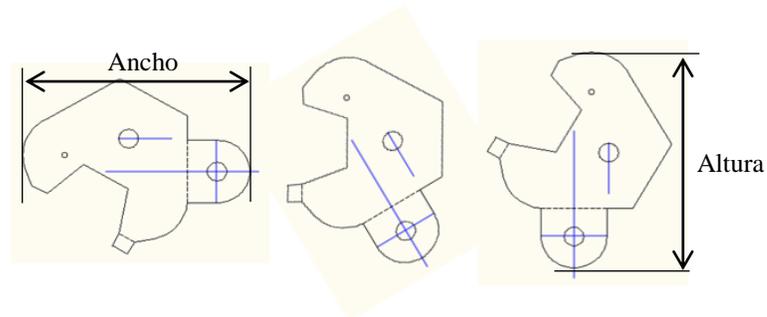


Figura 7: Análisis de corte de silueta.

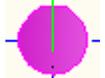
En cada una de las posiciones mostradas en la figura 7, se termina el número de piezas que se pueden obtener de una lámina de 914.4 X 3048 mm (3 X 10 pies). El ancho de cada configuración se aumenta 2 milímetros para separar cada el troquelado de cada silueta; en cuanto a la altura se añade un milímetro en la parte superior y milímetro y medio en la inferior, también para efectos de conformado por punzonado. En la tabla 2, se muestra para cada caso, el número de tiras para la altura respectiva que se obtendrá de la lámina, y el número de piezas por cada tira, multiplicando estos valores se obtiene el total de piezas por lámina en cada caso. Se observa que el caso 2 es el mejor. Con respecto a este caso el caso uno representaría el 29.5% menos de piezas.

Tabla 2: Número de piezas por lámina.

No de silueta	Ancho mm	Altura mm	No de tiras por lámina	No de piezas por tira	No total de piezas por lámina
1	50	41.7	21	60	1260
2	31.75	48	19	94	1786
3	41.2	50.5	19	72	1368

Ya definida la posición de la silueta, se dibuja la silueta varias veces en el cual se puede visualizar los troquelados requeridos para lograr la forma deseada, en cuanto a los punzonados; además, también la manera en que se puede llevar a cabo los dobleces, este dibujo se muestra en la figura 8. En la tabla 3 se indica la simbología de los procesos de punzonado (color verde) y de doblez (color azul), necesarios para conformar la pieza.

Tabla 3: Simbología de operaciones de troquelado y elementos de sujeción.

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	IMPLICACIONES EN LA HERRAMIENTA
	Punzonado con figura	Indica que la forma de un corte por punzonado; esto es, la forma del hueco en la matriz, la forma sólida en el punzón, el hueco en la zapata inferior para dar salida al material punzonado. En el planchador debe pasar el punzón.
	Punzón piloto	La matriz tiene un barreno donde el punzón piloto posiciona a la tira
	Indica doblez por rozamiento a 90°	La matriz debe permitir la introducción de punzón que empuja la lámina hacia abajo.
	Perno de registro	Barreno rimado en matriz y zapata inferior.
	Fijación mediante tornillo tipo Allen	En la matriz paso para el tornillo, en la zapata inferior machuelo.

Utilizando la simbología anterior se van estableciendo las operaciones en cada fase de la progresión de troquelado. La cuales son cinco en la dirección indicada por la flecha. La descripción de cada fase está referida a la figura 8, que es el diseño propiamente del troquel progresivo.

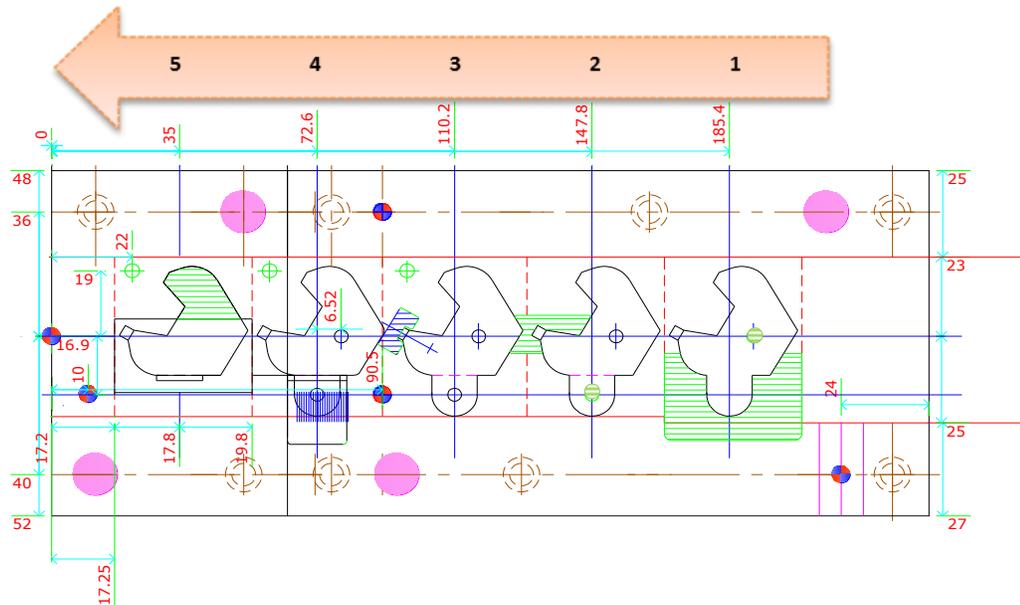


Figura 8: Dibujo de planta del troquel.

Fase 1. Se realiza un punzonado que da la forma inferior con el ancho del paso (el achurado verde muestra la forma en la matriz y la correspondiente del punzón), además queda liberada la oreja que deberá doblarse en una fase posterior. Además se punzona el agujero redondo. También se hace un tercer barreno, que no forma parte de la pieza, que servirá de piloto en las fases 4 y 5, dado que la tira de lámina es menos ancha que al inicio y tiende a deformarse torciéndose, lo que no permite una progresión correcta, este piloto endereza la porción de chapa “rebelde”.

Fase 2. Se realizan dos punzonados, el que libera la otra parte que se doblará posteriormente y el segundo barreno circular. El primer punzonado de esta fase corta la silueta por dos lados donde está la lengüeta, y el picho que corresponde a la posición de fase tres. Además el barreno realizado en la fase 1 se utiliza como piloto, es decir se tendrá un punzón que entre en la cavidad circular y no permita que la lámina se mueva, para ello este punzón debe entrar antes que los punzones corten la chapa.

Fase 3 Se realiza el dobléz pequeño.

Fase 4. Se realiza el dobléz mayor. No se hacen simultáneamente porque al no ser iguales halan la lámina con diferente fuerza perdiendo precisión.

Fase 5. Finalmente se punzona la parte superior de la pieza cortándola totalmente de la tira, y caerá la pieza terminada.

4. SELECCIÓN DE MATERIAL PARA MATRIZ Y PUNZONES.

En la fabricación de matrices y punzones se utilizan aceros grado herramienta. En el mercado mexicano se tiene opciones de varios proveedores internacionales, por ejemplo Aceros Carpenter y Thyssen group Steel. Estas empresas proporcionan las características que se presentan a continuación, de los aceros grado herramienta que ofertan, para cortar acero inoxidable se tiene dos opciones convenientes:

Tabla 4: Acero grado herramienta para manufactura de matriz y punzones.

ACERO AISI	CARACTERÍSTICAS	APLICACIONES
D2	Acero grado herramienta alto carbón y alto cromo. Dimensionalmente estable de excelente rendimiento al corte y resistencia al desgaste. Especialmente apto para temple al aire.	Matrices y Punzones, Troquelado Fino Dados para Acuñado, Herramientas de Roscado, Partes de Desgaste, Dados de Laminación, Insertos para Moldes, Cuchillas, Slitters y Cizallas, Cuchillas para Molino de Plástico
W1	Acero herramienta con endurecido al agua El acero es siempre inspeccionado por macroataque durante la fabricación para asegurar su limpieza. En secciones muy finas pueden ser endurecidas en aceite y las piezas serán duras totalmente. Tiene tendencia a la deformación durante el temple así como a la descarburación, es recomendable que el endurecimiento se realice en hornos de atmósfera controlada. Este tipo de acero es de fácil maquinado en condición de recocido.	Brocas, rimas, punzones, dados para estampado, dados de formado, matrices para punzonar, dados para roscar, calibradores, herramientas moleteadoras, Mandriles, cortadores etc.

Tomando en cuenta lo anterior y basados en la experiencia en la manufactura de troqueles, se decide utilizar el acero AISI D2. Además el acero D2 ofrece un balance entre tenacidad y desgaste que son las solicitaciones requeridas en un matriz para punzonado, según se observa en el siguiente diagrama, proporcionado por el proveedor de acero Servicio Industrial, S. A. de C. V.

Propiedades:

- Composición Química en %

C	Si	Mn	Cr	Mo	V
1.55	0.3	0.35	12	0.75	0.9

Tratamiento térmico. Después del maquinado debe hacerse un relevado de esfuerzos (alivio de tensiones) calentado toda la masa a 650 °C por dos horas, enfriando lentamente a 500 °C y después libremente al aire. El temple requiere de dos precalentamientos primero a 600 °C luego a 900 °C; el rango temperatura de austenización es de 1020 a 1080 °C. El enfriamiento para realizar el temple puede ser en aceite para geometrías simples, al aire con gas forzado. El diagrama de revenido nos indica que la dureza máxima que el acero D2 alcanza es de 62.5 Rc. La temperatura mínima de revenido es de 180 °C. Este acero es muy estable a una dureza de 58 Rc porque es la que se elige como dureza de diseño, esto se alcanza con intervalo de temperatura de revenido de 300 a 500 °C.

5. CONCLUSIONES

- El diseño de la grapa permite sujetarla de manera segura en la espiral de la resistencia, para reducir la longitud de recorrido de corriente eléctrica, con lo cual se puede ofertar diferentes rangos de desempeño con un mismo arreglo.
- La aplicación de la metodología establecida proporciono con relativa facilidad la secuencia de operaciones de troquelado.

- El diseño del troquel condujo a la obtención de la pieza de manera exitosa, no fue necesario modificar en ningún momento la propuesta inicial.

REFERENCES

- Bor-Tsuen, L., Kun-Min, H., Kuan-Yu, and Cheng-Yi H. (2013). "Development of an automated structural design system for progressive dies". *Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 68, pp 1887-1889.
- Farsi, M.A., and Arezoo B. (2009). "Development of a new method to determine bending sequence in progressive dies". *Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 43, pp 52-60.
- Kalpakjian, S., Schmid, S.R., (2013). "Manufacturing Engineering & Technology", 7th Edition, *Prentice Hall*, USA.
- SME (1994). "Progressive Dies", 2nd Edition, *Society of manufacturing engineers*, USA.
- Vukota Boljanovic, (2014). "Sheet Metal Forming Processes and Die Design", Second Edition, *Industrial Press*, USA.

Authorization and Disclaimer

Authors authorize LACCEI to publish the paper in the conference proceedings. Neither LACCEI nor the editors are responsible either for the content or for the implications of what is expressed in the paper.