

## Evaluación de troquel progresivo con acero AISI 1045 con corte fino utilizando método de elemento finito

M. Fernando Alejandro-Villa Martínez., Dr. Norma Aurea-Rangel Vázquez., M. Christian Irving Enrique-Rodríguez González.

<sup>a</sup> Universidad Tecnológica de Aguascalientes, Blvd Juan Pablo II, No. 1302, Fracc. Exhacienda La Cantera, CP 20200 [villa@utags.edu.mx](mailto:villa@utags.edu.mx), Aguascalientes, Aguascalientes México.

<sup>b</sup> Instituto Tecnológico Nacional, Campus Aguascalientes, Av. Adolfo López Mateos #1801 Ote. Fracc. Bona Gens, C.P. 20256, [geometry198128@gmail.com](mailto:geometry198128@gmail.com), Aguascalientes, Aguascalientes México.

<sup>c</sup> Universidad Tecnológica de Aguascalientes, Blvd Juan Pablo II, No. 1302, Fracc. Exhacienda La Cantera, CP 20200 [crodriguez@utags.edu.mx](mailto:crodriguez@utags.edu.mx), Aguascalientes, Aguascalientes México.

### Resumen

*Esta investigación centró el estudio y la evaluación del diseño de un troquel progresivo de acero AISI 1045 con acción mecánica y la característica de generar corte fino en placas metálicas con el objetivo de evaluar la vida útil del troquel a través del análisis de elementos finitos (FEA), utilizando como herramienta de diseño y análisis la plataforma CATIA V5, que permitieron generar un modelo virtual con la caracterización de la deformación en los perímetros de corte y los ángulos de desgarre, utilizando el acero AISI 1023 como material de prueba.*

**Palabras clave**—Corte fino, Elemento finito, Troquel.

### Abstract

*An study and evaluation of a mechanical die with the characteristic of fine blanking and focused the study and evaluation of the design of a progressive die of AISI 1045 steel with mechanical action and the characteristic of generating fine cutting in metal plates with the objective of evaluating the life of the die through the analysis of finite elements (FEA ), using the CATIA V5 platform as a design and analysis tool, which allowed the generation of a virtual model with the characterization of the deformation in the cutting perimeters and tear angles, using AISI 1023 steel as a test material.*

**Keywords**— Die cut, Fine blanking, Finite elemen.,

## 1. INTRODUCCIÓN

La definición de corte de borde fino, comúnmente conocido como corte fino, es muy imprecisa pero la descripción más aceptada es la de organización Internacional Fine-Blanking: Corte Fino, es un proceso híbrido de formado de metal combinando las tecnologías de estampado y extrusión en frío. Esto produce una parte con una excepcional calidad de

borde, superior planicidad, secciones de paredes delgadas y espaciamiento linear se mantendrá dentro de 0.001”.

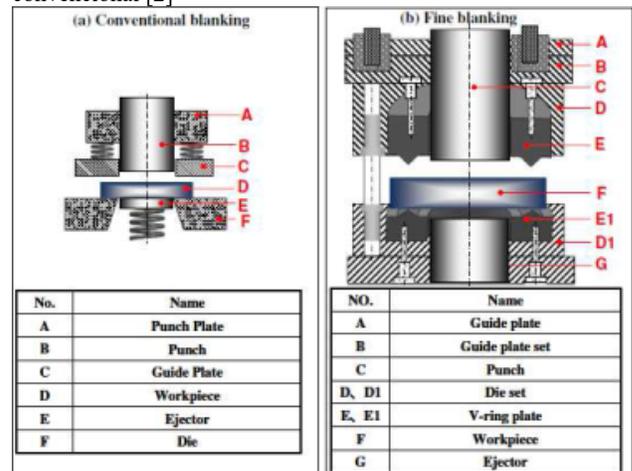
La calidad y el costo son juicios críticos cuando es seleccionado un método de manufactura. Como un costo efectivo de la tecnología de manufactura, el método de corte fino se ha convertido en una necesidad en muchos de los principales sectores industriales, en sustitución a opciones de manufactura más caras. [1]

El análisis estático de un prototipo por medio de FEA permite valorar un efecto físico muy parecido a una prueba de ensayo de tensión para conocer la resistencia que presentan las piezas cuando son sometidas a cargas externas, el uso del método por elemento finito es identificado como útil herramienta de análisis [2]. En este trabajo el análisis del fallo y la introducción de mejoras en el producto fueron realizados mediante un modelo por elementos finitos con la plataforma CATIA V5 para evaluar los esfuerzos y establecer el corte en una geometría circular para evaluar el desgarre de la lámina de acero AISI 1023 a cortar con un perfil del troquelado de acero 1045.

## 2. CONTENIDO

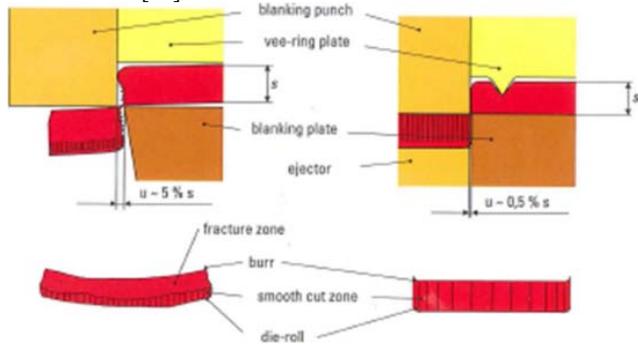
Los procesos de corte fino se establecen del criterio de desgarramiento en el material entre las zonas de corte, para producir piezas por troquelado fino, se requiere de un troquel preciso con un punzón inferior y una holgura de matriz (1/2 del espesor del material) se requiere junto con esto una prensa de triple acción para sujetar el material durante la operación de corte. Las tres acciones en la prensa proveen la presión de cizallamiento, la presión del anillo-V, y la contrapresión. Estos deben mantenerse constantes en todo el desplazamiento para asegurar piezas de buena calidad.

Fig. 1 Configuración esquemática de corte fino y corte convencional [2]



La figura 1, se muestra las características de un troquel convencional y un troquel de corte fino, describiendo las partes que le componen.

Fig. 2 - Diferencia de resultados entre el corte fino y corte convencional [16]

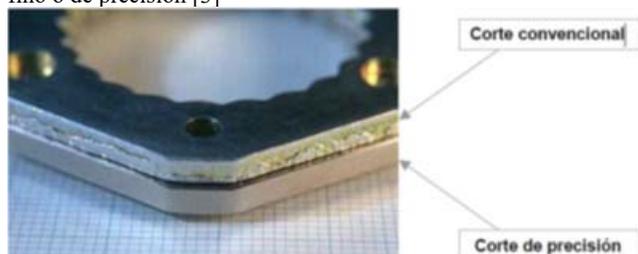


La figura 2 muestra los colores asignados a un troquel (naranja) y la característica de desgarre en el material (rojo), así como los dados que forman la sujeción entre el material a cortar y el material sobrante (amarillo). En donde para generar el corte es necesario el uso de la prensa de corte fino, la cual no es una prensa estándar de estampado. Las prensas de corte fino son únicas por proveer tres movimientos específicos:

- Un movimiento de agujijón, la cual trae la placa de agujijón (Vee ring) hacia arriba y mantiene el material en su lugar durante el corte.
- Un movimiento de corte, la cual proporciona la fuerza de supresión para empujar la pieza en la cavidad de la matriz para obtener la pieza cortada.
- Un movimiento de contrapresión, el cual mantiene la pieza contra el punzón durante el corte y expulsa la parte de la pieza de la cavidad de la matriz después de haberse completado el corte. [5]

El proceso de corte fino requiere una secuencia controlada de movimientos con un preciso punto muerto superior. La estricta holgura de corte de la matriz podría no cambiar incluso bajo niveles altos de esfuerzo. Las prensas de corte fino por lo tanto deben cumplir con estrictos requerimientos de precisión, incluyendo cuñas deslizantes, marcos altamente rígidos y paralelismo entre las superficies de sujeción del troquel como se muestra en la tabla 1. [1]

Fig. 3 - Muestra de las superficies de corte convencional y corte fino o de precisión [3]



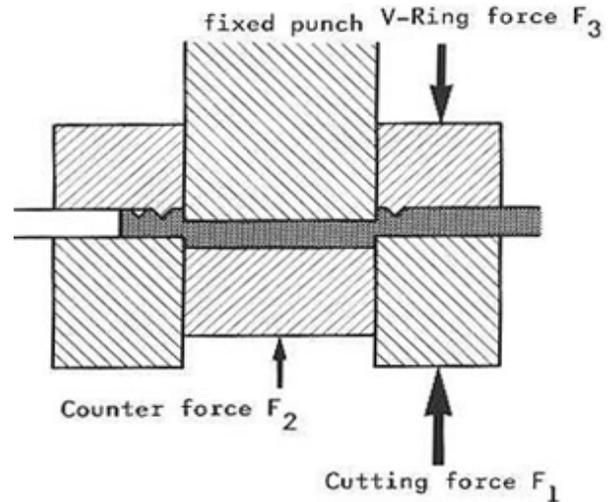
En la figura 3, se observa que en un corete convencional se aprecian los desgarros existentes en los costados del corte, mientras que en el corte fino se eliminan del desgarre del material.

Tabla 1 - Principales características obtenidas en un corte fino y un corte convencional [3]

CORTE FINO	CORTE CONVENCIONAL
Piezas con gran planitud.	Piezas carentes de total planitud.
Gran perpendicularidad entre la cara de corte y la superficie.	Falta de perpendicularidad.
Bajo grado de rugosidad en la superficie de corte.	No hay control de rugosidad en la superficie de corte.
No hay presencia de desgarro en la cara de corte.	Desgarro en 2/3 partes del espesor.
Se obtiene medidas con precisión centesimal.	Se obtiene medidas con precisión decimal.
La banda circula por la parte superior de matriz.	La banda circula por la parte inferior de la matriz.
La expulsión de la pieza y del retal se realiza conjuntamente mediante cañones de aire.	La expulsión de la pieza y del retal se realiza en forma separada.
La tolerancia de corte está en torno al 1 % del espesor del material.	La tolerancia de corte está entre el 7% y el 10% del espesor del material.

Para que sea posible el desgarre en el material, es necesario que la fuerza que debe ejercer el punzón sobre la chapa para poder perforarla o cortarla. El esfuerzo de corte es un proceso que tiene lugar cuando el punzón, en el momento de contactar con el material, inicia su acción de compresión seguida de una reacción o resistencia equivalente por parte del material [3]. En ese momento el punzón debe vencer la resistencia que le ofrece el material y seguir su proceso de descenso hasta sobrepasarlo y cortarlo en su totalidad.

Fig. 4 - Fuerzas en matriz de Punzón fijo [2]



La figura 4, se muestra la deformación en el proceso de corte, así como las direcciones del troquel al momento de realizar el corte, se aprecia la deformación en el material y la característica que impide que exista desgarre en el proceso de corte.

El esfuerzo de corte viene determinado de la siguiente forma:

<b>Fs = p*s*Rm*fl</b>		Unidad
Fs	Fuerza de corte	163,816.78 N
p	Perímetro de pieza	157.08 mm
s	Espesor del material	1.8 mm
Rm	Resistencia de tracción	673.7 MPa
fl	0.6 a 0.85	0.86

La tabla 2 muestra la relación de corte en una lámina de calibre 16 (1.8 mm) entre el esfuerzo aplicado para el corte y el espesor de corte de en la lámina.

Tabla 2 - Deformación de chapa

CHAPA 1.8 mm	
Espesor de material mm	Fuerza de corte en N
1.8	163,816.784
1.7	154,715.852
1.6	145,614.919
1.5	136,513.987
1.4	127,413.054
1.3	118,312.122
1.2	109,211.189
1.1	100,110.257
1.0	91,009.325
0.9	81,908.392
0.8	72,807.460
0.7	63,706.527
0.6	54,605.595
0.5	45,504.662
0.4	36,403.730
0.3	27,302.797
0.2	18,201.865
0.1	9,100.932
0	0.000

El software que se utilizará para hacer el modelo en 3D de la chapa metálica, así como los cálculos por elementos finitos (FEA) será el CATIA V5, la ventaja de este programa que pueden calcular mallas complejas para evaluar los puntos de fractura en el modelo, así como es posible que las piezas o partes del sistema puedan tener el mejor acomodo y obtener el mayor aprovechamiento de la lámina.

La secuencia para diseñar la chapa metálica es:

- Generar el modelo conceptual.
- Crear el diseño en 3D.
- Obtiene el diseño 2D en desarrollo.
- Ejecuta el maquinado y dobles.
- Producción.

Con el uso del software para el diseño de chapa metálica favorecerá la planificación, así como reducirá el número de pruebas en herramientas y la fabricación posterior del prototipo.

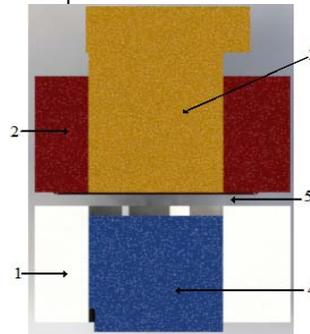
La tabla 3 muestra los diversos tipos de calibres de láminas:

Tabla de Calibres para Lámina			
Calibre	Pulgadas	Milímetros	Libras por Pie Cuadrado
7	.187	4.7	7.871
8	.165	4.2	6.93
10	.135	3.4	5.670
11	.120	3.0	5.040
12	.105	2.7	4.427
13	.090	2.3	3.780
14	.075	1.9	3.154
16	.060	1.5	2.520
18	.048	1.2	2.016
20	.036	0.9	1.512
22	.030	0.8	1.260
24	.024	0.6	1.008
26	.020	0.5	0.756
28	.015	0.4	0.634

En la figura 5, se muestra la forma del troquel y las cinco principales características que se analizaron por medio de FEA en donde, el modelo solo se observa en dos dimensiones y fue evaluado en el contexto lineal de la deformación en la placa de acero AISI 1023. Para el diseño del troquel, solo se especificó, la superficie de contacto y se analizaron los puntos que inciden en la fatiga de la chapa metálica, considerando los siguientes aspectos:

- Anclas: en bastidor superior e inferior así como en base desecho de la chapa metálica.
- Fuerza: 30,000 N en la zona de impacto.
- Malla: Tipo de malla octaedros, con un tamaño de 0.25 mm en la superficie de apoyo con tolerancia de 1 mm, en la zona ce corte tamaño de malla 0.05 mm. Con tolerancia de 0.01 mm.

Fig. 5 – Diseño del troquel

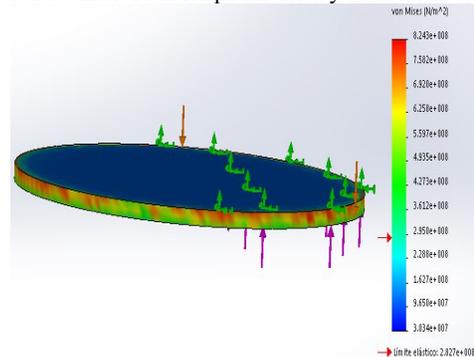


Las características y condiciones de frontera en el análisis y evaluación del troquel utilizando elemento finito en 2D, se simplifica solo analizando 5 elementos del troquel.

- Plato de corte
- Plato guía
- Punzón sujeción superior
- Eyector
- Chapa metálica

La figura 6 se aprecia el análisis por elemento finito en donde se determinó un esfuerzo a la fatiga de 290 MPa, además el mayor desgarré se visualizó en los extremos.

Fig. 6 - Modelo línea de la chapa metálica y su deformación.



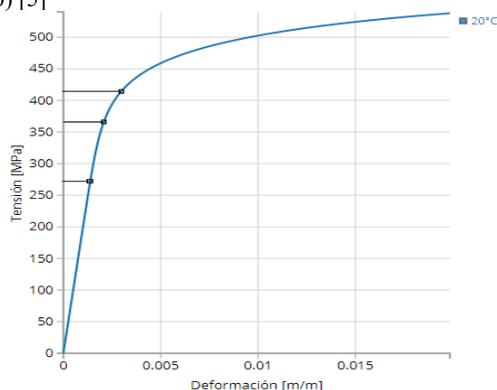
Para el diseño del troquel, solo se especificó, la superficie de contacto y se estudiaron los puntos que inciden en la fatiga

de la chapa metálica, en la figura 8 se muestran los aspectos de anclaje y esfuerzos identificados para su modelado en dos dimensiones, considerando los siguientes aspectos:

- Anclas: en bastidor superior e inferior y en la parte derecho de la chapa metálica.
- Fuerza 1: 92,245 N en la zona de impacto.
- Fuerza 2: 104,144 N en la zona del anillo perimetral.
- Fuerza 3: 385,237 N en la zona de contrapresión.
- Malla: Tipo de malla octaedros, con un tamaño de 0.25 mm en la superficie de apoyo con tolerancia de 1 mm, en la zona de corte tamaño de malla 0.05 mm con tolerancia de 0.01 mm.

Los datos de la tabla de referencia del acero del AISI 1023 Carbón Steel (UNS G10230) en la figura 7, se muestran los valores del límite elástico (360 MPa) y el límite de fluencia (425 MPa) se encuentran dentro de la zona de máximo esfuerzo.

Fig. 7 – Gráfica esfuerzo deformación del acero AISI 1023 (UNS G10230) [5]



Comprobando los datos de tabla del acero AISI 1023 con la gráfica de esfuerzo deformación mostrada en la Fig. 7, se validaron los resultados del modelo evaluado por elemento finito, los valores se localizaron dentro de los límites permisibles para su máxima deformación y su desprendimiento, para la forma de la chapa metálica.

### 3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La valoración de los esfuerzos para realizar el corte de la chapa metálica de acero AISI 1023, se calcularon los esfuerzos de von Mises para los elementos en el troquel progresivo, el máximo esfuerzo para el dador de corte fino fueron de 282 MPa. Aplicando un factor de seguridad de 3 se obtuvo que el componente se considera alto, es decir, el diseño propuesto cumple con las características. La determinación de los esfuerzos simulados bajo el criterio de von Mises en la chapa metálica muestran un esfuerzo máximo de 361 MPa, este esfuerzo es menor al esfuerzo de fluencia, definido en el cálculo por tensión el cual es de 435 MPa, por lo tanto indica que el valor de la chapa metálica

está en la zona plástica y permite el corte por el perímetro de la geometría establecida.

### 3.1 RECOMENDACIONES

Uno de los factores a considerar es la evaluación y valoración del calibre de lámina o chapa metálica que se pretenda generar, los troqueles fabricados base a corte fino requieren de alta precisión y tolerancia muy cerradas que formen el agarre entre los extremos (anillo perimetral) y la matriz de corte, derivado de estos factores, se considera las fuerzas necesaria de aplicación tanto en la sujeción de la pieza matriz y el corte en los exteriores, si no es valorada con precisión la fuerza necesaria el desgarre puede presentarse en las y general una mala formación.

Otro aspecto importante a considera son las distancia relativas entre el anillo perimetral y las tolerancias de corte, este factor es la unión que favorece el desprendimiento de material sin existir fatiga sobre la zona de la matriz de corte y el anillo perimetral.

Los materiales a seleccionar para la generación de un troquel son un factor determinante entre el desprendimiento de material y la durabilidad de la matriz de corte, esto coadyuva a evaluar los ciclos de vida del molde matriz, así como los calibres de lámina a cortar.

Otro aspecto importante es la valoración costos vs beneficio, si bien generar un troquel con tolerancias muy cerradas favorece el desgaste del mismo, adherido un costo de mantenimiento sobre el troquel evaluado en los ciclos de trabajo. Pero otorga piezas de mayor calidad, sin la necesidad de re trabajar la materia de forma, es importante considera los riesgos económicos y la necesidad de crear piezas con las características de un corte fino.

### 4. REFERENCIAS

- [1] SOTO, J.M., 2014. Diseño de un troquel progresivo [en línea]. Septiembre 2014. S.I.: UNICAN. Disponible en: <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/5855/371367.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [2] ASM Handbook Volume 14-B Metalworking: Sheet Forming; Fine Edge Blanking; pág. 177-190. Publisher: ASM International, Published: October 01, 1990, ISBN: 978-0-87170-378-1, [www.asminternational.org](http://www.asminternational.org).
- [3] MORI IRON WORKS CO., [sin fecha]. Hydraulic Fineblanking Press (FB-FDEBH). Hydraulic Press of high technology [en línea]. [Consulta: 16 agosto 2017]. Disponible en: [http://www.moriiron.com/english/cpt\\_product/fb](http://www.moriiron.com/english/cpt_product/fb).
- [4] ADAMUS, J., LACKI, P. y WIĘCKOWSKI, W., 2011. Numerical Simulation of the Fine Blanking Process of Sheet Titanium. Archives of Metallurgy and Materials [en línea], vol. 56, no. 2. [Consulta: 8 abril 2019]. ISSN 1733-3490. DOI 10.2478/v10172-011-0046-4. Disponible en: <http://content.sciendo.com/view/journals/amm/56/2/article-p431.xml>.
- [5] CERÓN HOYOS, J.E., 2013. DESARROLLO DE ASPECTOS METODOLÓGICOS EN EL DISEÑO DE MATRICES PROGRESIVAS [en línea]. Santander: Universidad de Cantabria. Disponible en: <https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/2570>.