

METODOLOGÍA DE CONFORMACIÓN DE PIEZAS POR DOBLADO Y TROQUELADO EN CHAPAS METÁLICAS

Y. C. CALA¹, O. L. BREFFE², M. V. R. FERNÁNDEZ³
Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa¹, Universidad de Moa^{2,3}
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2934-0001>¹
ycorreac@ismm.edu.cu¹

Submetido 29/05/2020 - Aceito 18/12/2020

DOI: 10.15628/holos.2020.10283

RESUMEN

El uso de técnicas para el conformado de piezas metálicas es cada vez más creciente, en tal sentido se vinculan procesos para dar origen a las mismas, y garantizar el máximo aprovechamiento del material es de vital necesidad. El presente trabajo está enmarcado en el empleo de una metodología para la conformación de piezas mediante doblado y troquelado, en este caso se propone una bisagra inferior de la puerta de un refrigerador. Para el doblado se tuvo en cuenta las fórmulas descritas por Goover 1997, relacionadas con la determinación de la tolerancia de doblado, longitud del desarrollo de la chapa, fuerza de doblado y ubicación de la línea neutra.

En el troquelado se estudiaron dos formas de ordenamiento de piezas en la chapa, y se aplicó la metodología empleada por Mallo 1988. Se obtuvo que, la longitud del desarrollo de la pieza es a 70,7462 mm, la fuerza de doblado ejercida por el punzón es de 724,6800 kp, la línea neutra está ubicada a 0,6540 mm, la que se encuentra más cerca del radio interior de doblado, la mejor disposición de la pieza en la chapa es en la posición 1, donde se logró conformar 560 piezas, 34 más que en la posición 2, lo que representa un aprovechamiento del material de 88,3370 %. El costo de fabricación de la pieza es de US\$/pieza 0,0561.

PALABRAS-CLAVE: Conformación de metales, chapas de metal, doblado, troquelado.

FORMING PIECES METHODOLOGY FOR BENDING AND DIE CUTTING IN METALLIC SHEETS

ABSTRACT

The use of the metal forming technology is increasingly growing, in this sense processes are linked to give rise to them, and guaranteeing the maximum use of the material is vitally necessary. The present work is framed in the use of a methodology for the formation of pieces by bending and stamping, in this case a lower hinge of the door of a refrigerator is proposed. For bending, the formulas described by Goover 1997 were considered, related to the determination of the bending tolerance, length of development of the sheet, bending force and location of the neutral line.

In die cutting, two forms of ordering of pieces in the sheet were studied, and the methodology used by Mallo 1988 was applied. It was obtained that the length of the development of the piece is 70.7462 mm, the bending force exerted by the punch is 724.6800 kp, the neutral line is located at 0.6540 mm, which is closest to the radius inside bending, the best arrangement of the piece on the sheet is in position 1, where it was possible to form 560 pieces, 34 more than in position 2, which represents a material use of 88.3370%. The manufacturing cost of the piece is US \$/piece 0.0561.

KEYWORDS: metal forming, sheet metal, bending, die-cutting.

1 INTRODUCCIÓN

El empleo de metodologías para la conformación de piezas metálicas que garanticen soluciones de ordenamiento del material de partida, es en la actualidad uno de los puntos de mayor atención en las industrias manufactureras. A pesar de la marcada evolución sufrida por estas tecnologías, el aprovechamiento del material continúa representando un importante indicador de eficiencia para evaluar la calidad de la distribución de las piezas, la cantidad producida y los costos de producción. Según Lange (1997) los procesos de conformación de piezas por deformación se caracterizan por su alta productividad, bajos costos de producción por piezas, bajo consumo de material y con cualidades de producto diseñados especialmente para una función.

Varios han sido los investigadores que se han dedicado al estudio de los procesos de obtención de piezas por conformación, por ejemplo, Goover (1997) para la conformación de una pieza metálica proveniente de una chapa plana de 3 mm de espesor, con resistencia a la tracción de 65000 Lbf/pulg², realiza un doblado en V, con un ángulo de 120 grados. La longitud de uno de los lados de la pieza es 38,10 mm, la longitud del otro lado es de 25,40 mm y el ancho en la dirección al eje de doblado es de 44,45 mm. Obtiene como resultados, que la longitud del ángulo de doblado de la pieza o tolerancia de doblado es de 6,0706 mm y la longitud final de la pieza, que coincide con la longitud exacta a cortar por el troquel es de 69,5706 mm, en tanto la fuerza de corte ejercida por el troquel considerando la geometría del punzón es de 2324 Lb.

Rodríguez (2014) implementa una metodología para la optimización de un proceso de doblado de una pata que soporta el cuerpo de una hornilla eléctrica, mediante dos herramientas de inteligencia artificial, soportadas en los software Matlab y Netbeans. La metodología incluye el cálculo de parámetros como: recuperación elástica, determinación de la fibra neutra, longitud inicial de la pieza, radio mínimo de doblado, dilatación lateral y fuerza de doblado. Se obtuvo que la fibra neutra se encuentra a 0,465 mm, el radio de curvatura se recomienda que sea mayor o igual al espesor del material, la longitud final de la pieza es 192,52 mm, la cual tiene incluida una longitud del ángulo de doblado de 5,23 mm. La fuerza de doblado de 1997 N.

Lastre, Arbola y Cordovés (2010) realizan un estudio de diferentes esquemas para la distribución de piezas irregulares en superficies planas (chapas), siendo las que consideran la geometría real de la pieza durante su posicionamiento las de mayor aprovechamiento de material. Una de las etapas del proceso implica evaluar y crear conglomerados entre las piezas que mejor vecindad posean, bajo los criterios de acoplamiento estudiados. Durante la generación de opciones de posicionamiento entre las piezas, es necesario establecer cual de las posiciones es la mejor respecto al aprovechamiento del material, para ello se establecen dos indicadores:

Máximo perímetro de coincidencia: Este indicador considera regiones de contornos y refleja la calidad del conglomerado (acople entre piezas).

Mínimo polígono contenedor: Este indicador considera el carácter geométrico deseable del conglomerado, refleja calidad de acople.

En esta investigación se utiliza una herramienta computacional denominada DIPRONEST, la que se compara con el método VFSRA (Very Fast Simulated Re-annealing Algorithm), propuesto por Yuping y Shouwei (2005), el cual es considerado como uno de los mejores enfoques en la distribución de piezas irregulares en chapas planas. Para la comparación de los métodos se establecieron 5 lotes, cada uno con 140 piezas, los que se colocaron en una chapa de 2000 mm de longitud por 1000 mm de ancho. Las distribuciones generadas por cada método, para cada uno de los lotes, fueron comparadas según el aprovechamiento de material y el tiempo de generación de soluciones. En todos los casos los resultados alcanzados por DIPRONEST superan en 5,43 % los valores de aprovechamiento del material respecto al método VFSRA. Como promedio DIPRONEST logra mejorar el tiempo de entrega de soluciones respecto al procedimiento VFSRA en 20 minutos aproximadamente.

Diferentes investigadores, como Álvarez (2009), se han enfocado en el diseño de troqueles; en tal sentido propone una metodología para el diseño de troqueles de corte de chapas metálicas para la Empresa Inorca Ltda de Colombia. En la etapa de diseño se realizan cálculos relacionados con la fuerza de corte, expulsión y centro de presión. Para la proyección de los elementos emplea el software SolidWorks 2006. La pieza a conformar para dar origen al troquel es la platina de enganche ET L-90, la que posee un espesor de 4 mm y se conformará en una chapa de acero de 2440 mm de longitud por 1220 mm de ancho, ubicada en posición vertical. La pieza tiene longitud de 107,10 mm y ancho de 36,00 mm. El ancho mínimo de la tira determinado es de 122 mm, la cantidad de tiras por chapas es 20; la cantidad de piezas por tiras es 28, para un total de 560 piezas.

Martin (2016) propone una metodología para el diseño de troqueles de corte y la validación mediante su aplicación para la conformación de un disco de 98 mm de diámetro, utilizado en el centro trasero y delantero de un ventilador modelo VE78. Para ello se utiliza una chapa de 3000 mm de longitud y 1500 mm de ancho, con un espesor de 1 mm. La cantidad de tiras por chapas y cantidad de piezas por tiras los determina de forma transversal y longitudinal, llegando a la conclusión que ambas posiciones pueden ser utilizadas, emplea 30 tiras por chapas y 15 piezas por tiras, para un total de 450 piezas, en el que se logra un 75,4296 % de aprovechamiento del material.

Izquierdo (2017) realiza una búsqueda bibliográfica sobre el diseño de troqueles de corte y punzonado, con el objetivo de realizar el diseño de un troquel para la conformación de una brida de hornilla eléctrica. La pieza objeto de estudio es conformada en una chapa de 2000 mm de longitud, 1000 mm de ancho y espesor de 1 mm. Utiliza las posiciones longitudinales y transversales, concluyendo que la posición transversal es la más eficaz desde el punto de vista de aprovechamiento de material y cantidad de piezas a fabricar, se logró aprovechar el 78,2 % del material y se fabricaron 1428 piezas por chapas.

Almarales (2017) propone una metodología para el diseño de troqueles asistido por computadoras. El ejemplo de fabricación de piezas lo basa en la conformación de cierre de bisagra y

agarradera, perteneciente al sistema de cierre de cajuelas de Amatralladoras Kalashnikov Modernizada. La chapa utilizada para conformar las dos piezas tiene una longitud de 2000 mm, ancho de 1000 mm, con espesor de 1 mm. La cantidad de piezas a fabricar es 50000. Se emplean 3 posiciones de las piezas (horizontal, vertical e inclinada). Para el cierre de bisagra, con dimensiones de 30x15,06 mm, propone la variante con la pieza en vertical, logrando una cantidad de tiras por chapas de 30; la cantidad de piezas por tiras es 124, para un total de 3720 piezas. Para la agarradera con dimensiones de 117,85x25 mm propone la variante con la pieza horizontal, en la cual obtiene 40 tiras por chapas; 16 piezas por tiras, para un total de 640 piezas.

Todo lo anterior trae como consecuencia que se busquen alternativas tecnológicas para lograr un tratamiento integral del material y sostenibilidad en la producción de piezas. En tal sentido, el objetivo del presente trabajo está enmarcado en el empleo de una metodología para la conformación de piezas por doblado y troquelado en chapas metálicas, en la que se alcance la mayor eficiencia.

2 MÉTODOS Y MATERIALES

La pieza a conformar es encargada de soportar cargas y permitir el movimiento de la puerta. Se propone utilizar para su conformación el aluminio 3004, el que es un material que se puede usar para trabajos generales de chapas metálicas, con buena trabajabilidad y resistencia a la corrosión, por lo que es una aleación de uso general (KNIGHT GROUP, 2018). En la figura 1 se muestra el semiproducto (figura 1a) y la pieza conformada (figura 1b), con un espesor de 2 mm.

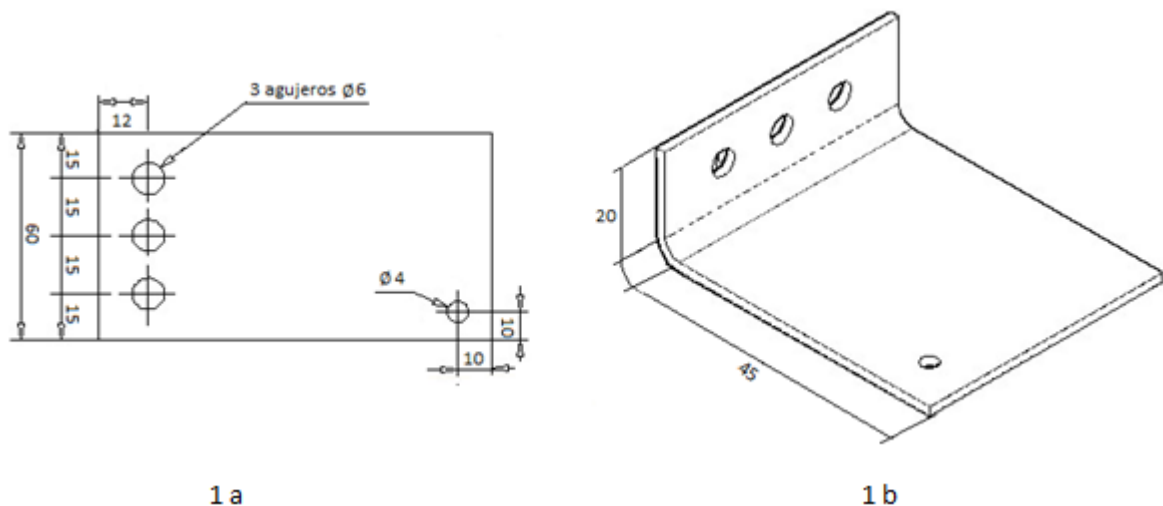


Figura 1: Semiproducto a conformar (1a). Pieza conformada (1b)

2.1 Ingeniería del doblado

Para obtener un elemento doblado según un perfil preestablecido, es necesario realizar la operación preliminar de cortar su desarrollo (Rossi, 1979). Esto se realiza a través de cálculos para evitar el desperdicio de material.

Para determinar en el semiproducto la longitud correcta a troquelar, primeramente se determina la tolerancia de doblado (BA), luego este resultado se suma a las dimensiones de sus lados, para lo que se utilizan las fórmulas 1; 2 y 3 (Groover, 1997).

$$BA = \pi \frac{A}{180} (R + Kba \cdot t) \quad (1)$$

donde:

BA: Tolerancia de doblado, mm;

A: Ángulo de doblado: 90°;

R: Radio de doblado: 3 mm;

t: Espesor del material, mm;

Kba: Factor para estimar el estirado, adimensional;

Kba = 0,33; si $R < 2t$

Kba = 0,50; si $R \geq 2t$.

Luego de obtenido este resultado se determina el desarrollo del elemento doblado o la longitud final del semiproducto.

$$Lf = B + C + BA \quad (2)$$

donde:

Lf: Longitud final del semiproducto, mm;

B y C: Lados laterales del semiproducto, mm.

Para determinar la fuerza de doblado ejercida se utiliza la fórmula 3.

$$F = \frac{Kbf \cdot TS \cdot W \cdot t^2}{D} \quad (3)$$

donde:

F: Fuerza de doblado, kp;

TS: Resistencia a la tracción del material: 18,3 kp/mm² (Fink, 1981).

W: Ancho de la parte en la dirección del eje de doblez: 60 mm;

t: Espesor del material, mm;

D: Dimensión del dado abierto: 2 mm;

Kbf: Constante que depende del proceso de doblado, adimensional;

Kbf = 1,33; para Dobrado en V

Kbf = 0,33; para Dobrado de bordes.

La determinación de la línea neutra se aplica a materiales que fueron doblados. En teoría esta línea ni se estira, ni se comprime. En tal sentido su determinación se aplica en cálculos de

desarrollo de elementos doblados. La ubicación correcta de la misma corrobora el buen empleo del proceso de doblado.

Investigadores como Rodríguez (2014) determinan la ubicación de la línea neutra a través de la tabla 1, para esto se considera la relación entre el radio interior (r) y el espesor de la chapa (s).

Tabla 1: Posición de la línea neutra en función de la relación r/s

Para r/s	Factor
0,2	$0,347 \cdot s$
0,5	$0,387 \cdot s$
1	$0,421 \cdot s$
2	$0,451 \cdot s$
3	$0,465 \cdot s$

2.2 Proceso de troquelado

Para realizar el troquelado se procede a la disposición de la pieza en la chapa. Los factores que determinan las dimensiones de una matriz y la posición de la abertura en la matriz propiamente dicha, son la forma y el tamaño de la pieza. Ésta se presenta frecuentemente en forma irregular, tanto que, si viene dispuesta transversal o longitudinalmente en el centro de la matriz, ocasiona una notable pérdida de espacio con el consiguiente desperdicio de material. En este caso, es conveniente estudiar la mejor disposición, de modo que permita reducir al mínimo la pérdida de material (Rossi, 1979), diseñar la posición de la pieza en la tira para evitar grandes desperdicios (Boljanovic, 2014) y lograr la conformación de una mayor cantidad de piezas en un menor número de chapas (Almarales, 2017). En la figura 2 se muestran los dos tipos de disposiciones a tener en cuenta.

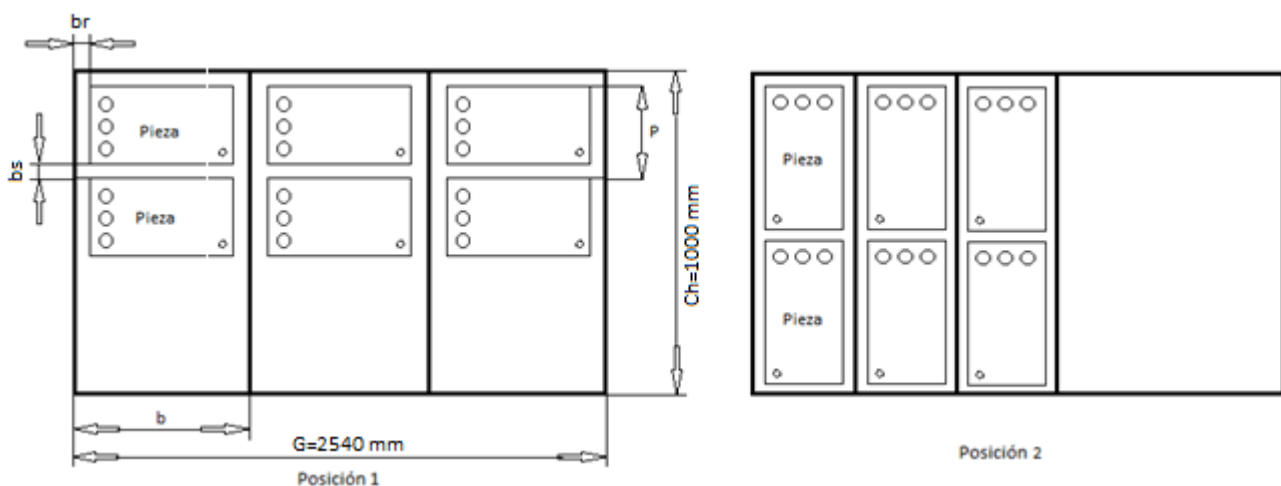


Figura 2. Disposición del semiproducto en la chapa

Como muestra la figura, primeramente, se aplica el troquelado a la chapa para conformar la pieza en la posición 1, luego se aplica en la posición 2. Para la determinación de la forma en que se ordenan las piezas sobre la chapa son necesarios dos parámetros, la separación entre piezas (bs) y entre piezas y bordes (br) (Mallo, 1992). Estos parámetros deben ser igual o superior al espesor de la chapa (Rossi, 1979).

El procedimiento de troquelado empleado fue descrito por (Mallo, 1988):

Para el cálculo del ancho mínimo de la tira (b) se utiliza la ecuación 4.

$$b = A1 + 2br \quad (4)$$

donde:

b : Ancho mínimo de la tira, mm;

$A1$: Largo de la pieza, mm;

El largo de la pieza está en correspondencia con la posición que ocupa en la chapa.

El paso o avance (P) se determina por la ecuación 5.

$$P = B1 + bs \quad (5)$$

donde:

P : Paso o avance, mm;

$B1$: Ancho de la pieza, mm;

Cantidad de tiras por chapas (NT)

$$NT = \frac{G}{b} \quad (6)$$

donde:

NT : Cantidad de tiras por chapas, adimensional;

G : Largo de la chapa, mm;

Cantidad de piezas por tira (NP)

$$NP = \frac{Ch}{P} \quad (7)$$

donde:

NP : Cantidad de piezas por tira, adimensional;

Ch : Ancho de la chapa, mm;

Cantidad total de piezas (TP)

$$TP = NT \cdot NP \quad (8)$$

donde:

TP : Cantidad total de piezas, adimensional;

Factor de aprovechamiento (K)

$$K = \frac{Ap \cdot TP}{Ar} \cdot 100 \% \quad (9)$$

donde:

Ap : Área de la pieza, mm²;

Ar : Área de la chapa, mm²;

Fuerza de corte (F_c)

$$F_c = 1,3 \cdot s \cdot t_c \cdot PT \quad (10)$$

donde:

s: Espesor del material, mm;

t_c : Resistencia de corte del material: 11,2 kp/mm² (Fink, 1981).

PT: Perímetro de la pieza, mm;

Para determinar la norma de consumo de 1000 piezas se tiene en cuenta la masa de la chapa (14 kg) y la cantidad total de piezas. Para la cantidad de material necesario a planificar se utilizó la cantidad de piezas a fabricar exigidas por el cliente (50000 piezas) y un porcentaje determinado de piezas defectuosas (0,01).

$$50000(1 + 0,01) \quad (11)$$

La norma de consumo para la cantidad de material necesario tiene en cuenta la norma de 1000 piezas y la cantidad de material necesario a planificar. Con respecto al costo total de una pieza se divide la norma de consumo de la cantidad de material necesario sobre el costo de una tonelada de material, luego este valor se divide sobre la cantidad de piezas a fabricar.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Luego de explicar las operaciones de conformado para la obtención de piezas se procede a la interpretación de los principales resultados.

3.1 Análisis de la ingeniería de doblado

Al realizar el proceso de doblado del material en estudio, la longitud del ángulo de doblado (BA) es de 5,7462 mm. Este valor es de gran importancia a la hora de medir el material para realizar el corte. Resultado semejante fue obtenido por Goover (1997), donde para una pieza con similar configuración geométrica a la estudiada, obtuvo un ángulo de doblado de 6,0706 mm. Por su parte Rodríguez (2014) obtuvo un ángulo de doblado de 5,2300 mm al doblar una pata que sujeta el cuerpo de una hornilla eléctrica, en ambas investigaciones el objetivo era determinar la longitud final de corte de las piezas.

El corte del desarrollo del material es a la longitud de 70,7462 mm. Tal resultado da la longitud de partida que debe cumplir el semiproducto para que después de su deformación, mediante el doblado, la pieza final cumpla las dimensiones de diseño (García, 2005). Varios investigadores como García (2005), Galisteo (2018), Falk (1986) y Valvueda y Urbano (2008) plantean que la longitud de partida del material es la misma que la longitud de la línea neutra, ya que al no estar sometida a tensiones mantiene constante su longitud. Una correcta longitud de desarrollo evita el desperdicio de material (Rossi, 1979) y el costo en exceso del proceso y las piezas. Goover (1997) obtuvo una longitud final de la pieza de 69,5706 mm.

La fuerza de doblado ejercida por el punzón es de 724,68 kp. Similar resultado fue obtenido por Ferreiro (2011) al calcular la fuerza de doblado ejercida para una pieza de 140 mm de longitud y 42 mm de ancho, obteniéndose una fuerza de doblado de 896 kp. Goover (1997) calcula la fuerza para un proceso de doblado en V, alcanzado el valor de 2364 lbf (1072,29 kp).

Para la determinación de la línea neutra se utiliza la tabla 1. En tal sentido su ubicación es a 0,654 mm, encontrándose más cerca del radio interior de doblado que del radio exterior (Galisteo, 2018). Con esta ubicación se corrobora lo planteado por Rossi (1979), que en materiales que sobrepasen 1 mm de espesor, la línea neutra se encuentra aproximadamente a 1/3 de la curva interior.

3.2 Análisis del proceso de troquelado

Luego de dispuesto el semiproducto sobre la chapa, se procede a realizar los cálculos correspondientes para determinar cuál de las dos variantes es la más efectiva, desde el punto de vista económico y de ahorro de material.

En la tabla 2 se muestran los parámetros de ordenamiento, de consumo y la fuerza de corte, determinados al semiproducto en las dos posiciones fijadas.

Tabla 2: Parámetros de ordenamiento, de consumo y fuerza de corte

Parámetros	Posición 1	Posición 2
Ancho mínimo de la tira (b); mm	74,7462	64,0000
Paso (P); mm	62,0000	72,7462
Cantidad tiras x Chapa (NT)	33,9816	39,6875
Cantidad de piezas x tiras (NP)	16,1290	13,7464
Norma de consumo para 1000 piezas; kg	25,8780	27,6134
Cantidad de material necesario a planificar	50500	50500
Fuerza de corte; kp	9626,2682	9626,2682

El ancho mínimo de la tira y el paso están relacionados con las posiciones en que son colocadas las piezas. Álvarez (2009) para la conformación de una platina de enganche con configuración geométrica similar a la pieza estudiada, coloca la pieza en posición vertical y utiliza un ancho mínimo de la tira de 122 mm; el paso entre piezas no lo tuvo en cuenta. Martin (2016) para la conformación de un disco utiliza la posición transversal y longitudinal de la chapa, llegando a la conclusión que ambas posiciones pueden ser utilizadas desde el punto de vista económico y de ahorro de material, utiliza un ancho mínimo de la tira igual a 100 mm y un paso de 99 mm. Baez (2017) para la conformación de un soporte del pivote de un gato hidráulico utiliza un ancho de tira de 89 mm, mientras que el paso empleado es de 19 mm.

En la posición 1, la cantidad de tiras por chapas es 33,9816, inferior a las 39,6875 de la posición 2; pero en la posición 1 se conformarán 16 piezas por tiras, siendo superior en 3 piezas por tiras con respecto a las 13 conformadas en la posición 2. Al culminar el cálculo de la cantidad de tiras por chapas en la posición 1, se llega a la conclusión que existe una última tira sobrante en la chapa con una dimensión de 73,25 mm, en la que se conformarán otras piezas con el objetivo de aprovechar todo el material. Aplicando la misma metodología Álvarez (2009) utiliza 20 tiras por

chapas y 28 piezas por tiras; Martin (2016) utiliza 30 tiras por chapas y 15 piezas por tiras, en ambas investigaciones se obtienen resultando similares a la presente investigación.

La norma de consumo para 1000 piezas en la posición 1 es de 25,8780 kg, siendo inferior en un 6,7060 % con respecto a la posición 2, en tal sentido se muestra un ahorro de material conformando la pieza en la posición 1. En las dos posiciones se requiere planificar material para 50500 piezas, está relacionado con un porcentaje determinado de piezas defectuosas que están presentes en cada proceso de obtención de piezas. Izquierdo (2017) empleando la metodología aplicada para la conformación de 60000 bridas y teniendo en cuenta el punzonado, planifica material para 60900 piezas. La fuerza de corte ejercida por el punzón en las dos posiciones es de 9626,2682 kp.

La cantidad total de piezas para las posiciones en estudio se muestra en la figura 3.

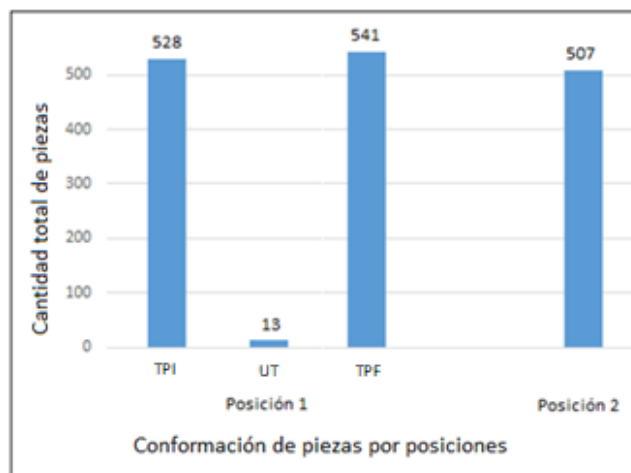


Figura 3. Cantidad total de piezas

Realizado los cálculos para la posición 1 se obtiene un total inicial de piezas igual a 528 (TPI), pero como existe una última tira sobrante en la chapa con una dimensión de 73,25 mm se procede a girar la pieza 90 grados y se coloca sobre la última tira (UT), obteniéndose un total de 13 nuevas piezas; finalmente estas nuevas piezas se suman a las obtenidas inicialmente y se obtiene un total de 541 piezas (TPF). Para la posición 2, se obtiene un total de 507 piezas, siendo inferior en 34 piezas, lo que representa un 6,2846 % menos de piezas conformadas con respecto a la posición 1. Similar resultado fue obtenido por Álvarez (2009) al conformar 560 piezas. Almarales (2017) en la posición vertical conforma 600 agarraderas de sección rectangular, al emplear la posición horizontal alcanza mejores resultados, llegando a conformar 640 piezas.

El factor de aprovechamiento del material se muestra en la figura 4. En la posición 1 existe un aprovechamiento de 88,3370 %, que supera en un 6,2846 % al aprovechamiento del material en la posición 2, el que alcanza un 82,7853 %. Según plantea Ferreiro (2011) siempre que la forma de la pieza no presente grandes irregularidades, se considera un rendimiento óptimo del material cuando es aprovechado entre un 75 y 80 %; en su investigación evalúa dos posiciones en la chapa y en la horizontal alcanza un factor de aprovechamiento de 89,31 %. Con el empleo de la misma

tecnología varios investigadores obtuvieron resultados inferiores, tal es el caso de Martin (2016) donde obtuvo un 75,4296 % de aprovechamiento de material para la conformación de un disco. Izquierdo (2017) evaluó las posiciones transversales y longitudinales para la conformación de una brida de hornilla eléctrica; para el primer caso obtuvo un 78,2 % de aprovechamiento y para el segundo caso un 73,9 %, en tal sentido propone el primer caso que supera en un 5,49 % de efectividad al segundo caso. (Lastre *et al.*, 2010) emplean un esquema diferente al utilizado para el posicionamiento de piezas irregulares en chapas, alcanzando un factor de aprovechamiento promedio de 80,93 %. En todos los casos se considera un rendimiento óptimo.

La cantidad de chapas utilizadas para la conformación de la pieza también se muestra en la figura 4.

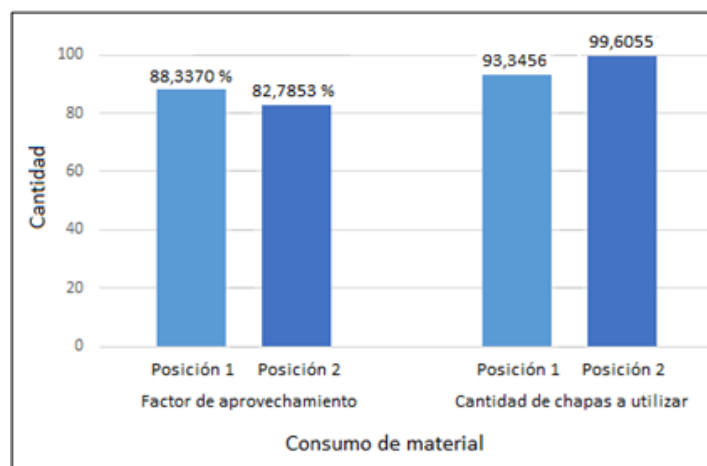


Figura 4. Aprovechamiento del material

En la posición 1, se utilizaron 93,3456 chapas, inferior en un 6,7061 % a las 99,6055 utilizadas en la posición 2. Tal resultado demuestra que la posición 1 es la más efectiva desde el punto de vista de ahorro de material. Varios investigadores para la conformación de diversas piezas obtuvieron los siguientes resultados; Izquierdo (2017) para la conformación de bridas de hornilla eléctrica utiliza una chapa de 2000 mm de longitud por 1000 mm de ancho y emplea un total de 43 chapas. Almarales (2017) para la conformación de un cierre de bisagra utiliza 14 chapas; mientras que para una agarradera emplea 79; en la investigación para la conformación de ambas piezas se utiliza una chapa igual a la utilizada por Izquierdo (2017).

La cantidad de material necesario se muestra en la figura 5. Para la posición 1 se utilizaron 1,3068 T, siendo menor en 0,0876 T con respecto a la posición 2 donde se utilizaron 1,3944 T. Tal disminución de material necesario representa un ahorro de 6,7033 %. La conformación de las piezas en la posición 1 ahorran US\$ 188,34. Moreno (2018) para la conformación de 24000 hebillas de cinturón de seguridad de acero inoxidable (aproximadamente la mitad de las piezas conformadas en la presente investigación), utilizó 10 chapas con una masa de 75 kg cada una, lo que representa una cantidad de material necesario de 0,75 T.

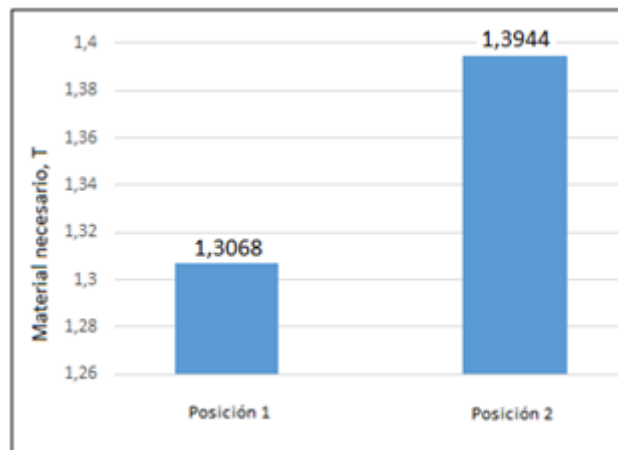


Figura 5. Cantidad de material necesario a utilizar

El costo de fabricación de una pieza se muestra en la figura 6. Colocando la pieza en la posición 1, se alcanza un costo de fabricación de US\$/pieza 0,0561; siendo menor en US\$/pieza 0,0038 con respecto a la ubicación de la pieza en la posición 2, donde el costo sería US\$/pieza 0,0599. Moreno (2018) utilizando el proceso de troquelado descrito alcanza un costo por piezas de € 0,37, equivalentemente a US\$/pieza 0,39.

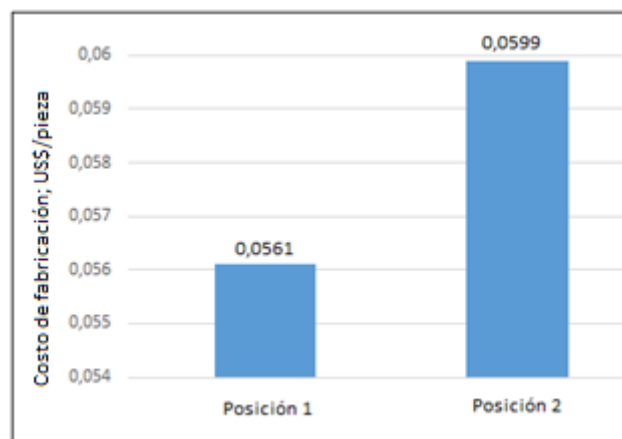


Figura 6. Costo por pieza

El porcentaje que representa el costo por pieza utilizando la posición 1 con respecto a la posición 2 es de 6,7736.

4 CONCLUSIONES

En los procesos de obtención de piezas por conformación uno de los retos fundamentales es el aumento de la producción con el consiguiente ahorro de material; en tal sentido, se combinan los procesos de doblado y troquelado. En el doblado se determina la longitud exacta del material de partida, teniendo en cuenta la longitud del ángulo de doblado y la ubicación de la línea neutra. Para el troquelado se determina que la posición 1 es la más efectiva, en la que se conforman la mayor

cantidad de piezas con el máximo aprovechamiento del material y se alcanza un menor consumo de material y el menor costo en la producción de una pieza.

5 REFERENCIAS

- Almarales, C. (2017). *Diseño de troqueles progresivos para la obtención de piezas del sistema de cierre de las cajuelas para proyectiles de la Ametralladora Kalashnikov Modernizada (PKM)*. (Tesis de Pregrado). Universidad de Holguín, Holguín.
- Álvarez, L. S. (2009). *Metodología para el diseño de troqueles de corte de chapa*. (Tesis de Pregrado). Universidad Autónoma de Occidente, Santiago de Cali.
- Boljanovic, V. (2014). *Sheet Metal Forming Processes and Die Design*. New York: Industrial Press.
- Falk, D., Gockel, H. K., Lernet, F., & Schlossorsch. (1986). *Metalotecnia fundamental*. Barcelona: Reverté.
- Ferreiro, M. (2011). *Diseño de una mariz progresiva para chapa*. (Tesis de Pregrado). Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.
- Galisteo, F. A. (2018). *Análisis de recuperación elástica en doblado de chapa gruesa de aluminio*. (Tesis de Pregrado). Universidad de Sevilla, Sevilla.
- García, M. L. (2005). *Contribución al estudio del proceso de doblado al aire de chapa. Modelo de predicción del ángulo de recuperación y del radio de doblado final*. (Tesis doctoral). Universidad de Girona, Girona.
- Groover, M. P. (1997). *Fundamentos de manufactura moderna. Materiales, procesos y sistemas*. México: Pearson Educación.
- Izquierdo, Y. (2017). *Diseño de un troquel de corte y punzonado para obtener la brida de una resistencia eléctrica*. (Tesis de Pregrado). Universidad Central de Las Villas, Santa Clara.
- KNIGHT GROUP. (2018). *Aleaciones de aluminio*. Bélgica
- Lange, K. (1997). Modern metal forming technology for industrial production. *Journal of Materials Processing Technology*, 2-13.
- Lastre, A. M., Arbola, J., & Cordovés, A. (2010). Optimización de la distribución de piezas irregulares en chapas. *Ingeniería Mecánica*, 1-12.
- Mallo, M. (1988). *Herramientas de conformar*. Habana: Pueblo y Educación.
- Mallo, M. (1992). *Conformación de metales*. Guantánamo: Pueblo y Educación.

- Martin, I. (2016). *Metodología para el diseño de un troquel de corte*. (Tesis de Pregrado). Universidad Central de Las Villas, Santa Clara.
- Moreno, C. (2018). *Diseño y estudio técnico de un troquel progresivo para la fabricación de hebillas de cinturones de seguridad de automóvil*. (Tesis de Pregrado). Universidad Politécnica de Valencia, Valencia.
- Rodríguez, M. S. D. (2014). *Optimización de los procesos de doblado de chapas mediante herramientas de inteligencia artificial*. (Tesis de Pregrado). Universidad Central de Las Villas, Santa Clara.
- Rossi, M. (1979). *Estampado en frío de la chapa*. Madrid: Dossat, S. A.
- Valvuela, F. G., & Urbano, L. J. (2008). *Determinación experimental de la recuperación elástica en el doblado con dado basculante y doblado en V, para láminas de acero al carbono AISI 1008*. (Tesis de Pregrado). Universidad de Carabobo, Carabobo.
- Yuping, J., & Showei, Z. C. (2005). "A very fast simulated re-annealing algorithm for the leather nesting problem". *Int J Adv Manuf Technol*, 1113–1118.

COMO CITAR ESTE ARTIGO:

Cala, Y. C., Breffe, O. L., Fernández, M. V. R. (2020). Metodología de conformación de piezas por doblado y troquelado en chapas metálicas. *Holos*. 36(8), 1-15.

SOBRE OS AUTORES**Y. C. CALA**

Professor de la Facultad de Metalurgia y Electromecánica.

E-mail: ycorreac@ismm.edu.cu

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2934-0001>

O. L. BREFFE

Profesor del Departamento Metalurgia-Química.

E-mail: oloyola@ismm.edu.cu

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0664-5929>

M. V. R. FERNÁNDEZ

Profesora del Departamento Metalurgia-Química.

E-mail: vrojascuba@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2934-9105>

Editor(a) Responsável: Francinaide de Lima Silva Nascimento

Pareceristas *Ad Hoc*: Elves Matiolo e Beatriz Ramírez Serrano

