



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Manual técnico del proceso de
punzonado en una empresa de
manufactura**

INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES

Que para obtener el título de

Ingeniero Mecánico

P R E S E N T A

Juan Gerardo Jiménez Flores

ASESOR DE INFORME

Dr. Adrián Espinosa Bautista



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2019

Prólogo

En este documento se presenta el informe del trabajo realizado en el área de ingeniería en una empresa relacionada con el área metalmeccánica.

El principal objetivo de este proyecto es el crear un documento en donde se concentre información relacionada al proceso de punzonado de lámina y chapa metálica, descripción general del proceso, herramientas utilizadas, defectos más comunes, ecuaciones relacionadas al cálculo del herramental y tonelaje necesario para perforar.

En el capítulo uno se describirá la empresa, los procesos de manufactura por los que pasan los productos antes de ser terminados, los tipos de productos que se manejan, el mercado que se atiende actualmente, el puesto desempeñado y las actividades realizadas.

En el segundo capítulo se abordarán conceptos teóricos que preceden al proyecto a describir. Este marco teórico trata sobre conceptos básicos del proceso de corte en metales, condiciones de corte, holguras entre punzón y matriz, tipos de troqueladoras, descripción de las sollicitaciones que se presentan en un proceso de punzonado y la descripción de los métodos que actualmente se utilizan para determinar la fuerza de corte.

En el tercer capítulo se presenta el proyecto elegido, el cual aborda los elementos del manual técnico haciendo referencia a lo visto en el capítulo dos, pero de una manera más detallada y aplicada al sistema de la empresa. Se presentan tablas de referencia para la selección de herramientas, lubricantes recomendados para punzonado, defectos principales y etapas del proceso.

En el cuarto capítulo se reportan los resultados obtenidos en el capítulo tres, el cómo funcionará este trabajo en beneficio del nuevo personal para el área de punzonado y sobre cómo se podrían corregir los defectos de punzonado más comunes que se han presentado.

Finalmente, en un quinto capítulo se hace una recopilación de conclusiones sobre el trabajo realizado.

INDICE

CAPÍTULO I. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA	1
1.1. Historia de APHEN Aceros Perforados y Mallas.....	1
1.2. Misión	2
1.3. Visión	2
1.4. Procesos de manufactura dentro de la empresa.....	2
Arco eléctrico 4000 (°C)	4
1.5. Línea de productos.....	8
1.6. Organigrama	9
1.7. Descripción del puesto	10
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO DE CORTE EN LÁMINA	12
2.1. Trabajo en lámina	12
2.2. Análisis del proceso de corte.....	12
2.3. Herramienta para punzonado	15
2.4. Fuerza de corte	16
CAPÍTULO III. DESARROLLO DE MANUAL TÉCNICO DE CAPACITACIÓN EN PUNZONADO	18
3.1. Planteamiento.....	18
3.2. Máquinas de punzonado.....	18
3.3. Herramental utilizado	19
3.4. Descripción del proceso de corte	22
3.5. Modelos más comunes de fuerza de corte	22
Método propuesto por Trumpf	23
Método de cálculo de fuerza de Mate Tooling.....	23
3.6. Defectos principales en el punzonado	26
CAPÍTULO IV. RESULTADOS	28
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES	29
Bibliografía	30

CAPÍTULO I. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

1.1. Historia de APHEN Aceros Perforados y Mallas

Aceros Perforados y Mallas es una empresa mediana que comenzó el 12 de diciembre del año 2000. Inicialmente se enfocó a la distribución de una amplia variedad de productos metálicos, como lámina perforada, mallas, filtros, cribas para granos y corte láser en lámina.

Anteriormente estos procesos se desarrollaban con máquinas y herramientas manuales, sin embargo, con la incorporación de maquinaria de control numérico en sus procesos pudo acceder a un mercado más rentable y ser una empresa con capacidad competitiva a nivel nacional y en camino a la exportación internacional.

Su participación en la industria desde entonces ha ido revolucionando la demanda del mercado al manejar un enfoque flexible en sus productos, diseñándolos conforme a las especificaciones y necesidades del cliente, lo que la convierte en una de las mejores opciones de compra de productos derivados de lámina metálica mencionados.

Actualmente la empresa trabaja varios procesos en lámina para fabricar productos de diversa aplicación, entre ellos se encuentra el rolado, la soldadura, corte láser, dobléz y principalmente el punzonado.

Cuenta con una planta productora ubicada al norte de la Ciudad de México en la delegación Azcapotzalco, contando con una plantilla de aproximadamente 100 empleados.

Teniendo una alta demanda de productos relacionados a la industria metalmecánica, abarcando en gran parte barandales, mallas, cribas para ingenios azucareros y agricultores, decoración artística de edificios y universidades, rejas y en general productos derivados de la lámina metálica.

En los meses de más alta demanda se llegan a fabricar de 4 a 6 toneladas brutas por mes de lámina perforada, sin tomar en cuenta los demás productos que se manejan. En promedio se cuenta con una producción mensual de 3 a 3.5 toneladas brutas lo que equivale aproximadamente a 40 toneladas anuales de lámina perforada.

1.2. Misión

Ser una empresa líder y competitiva a nivel nacional, superando las expectativas de los clientes, con altos estándares de calidad, comprometidos con una filosofía de mejora continua.

1.3. Visión

Proveer soluciones a las necesidades de nuestros clientes, transformando nuestro conocimiento en la fabricación especial, de manera eficiente, oportuna y rentable.

1.4. Procesos de manufactura dentro de la empresa

En esta empresa se cuenta con varios procesos de manufactura mediante los cuales se fabrican los diversos productos que se ofrecen al mercado, los cuales se describirán a continuación.

Punzonado: En esta área se perforan las láminas con punzones de gran variedad en formas y dimensiones, se cuenta con 8 máquinas con una capacidad de perforación de hasta 19 toneladas, en las cuales se pueden perforar láminas metálicas de diferentes materiales como acero al carbón de diferentes grados, inoxidable, aluminio, latón y láminas galvanizada. Estas máquinas cuentan con una interfaz programable de control numérico.

Ficha técnica	
Descripción	Capacidad
Mesa de trabajo	2400x1200mm
Dimensión de herramienta	88.9mm
Precisión de máquina	± 0.1 mm
Máximo calibre de lámina	9.53 mm
Consumo promedio	4.5 (Kw/h)
Tonelaje	30 Ton.



Figura 1.1 Punzonadora euromac bx ® (12)

Corte: En esta área se cortan las láminas a la medida solicitada con una cortadora de cizalla neumática de control numérico.

Datos técnicos	
Descripción	Capacidad
Longitud de corte	3100 mm
Capacidad de corte	Acero suave: 6mm Acero Inoxidable: 4mm
Precisión	± 0.1 mm
Bajadas por minuto	15
Max. Espesor de corte	7.3 mm



Figura 1.2 Cizalla Durma®. (15)

Láser: En esta área se realizan cortes con una máquina láser que utiliza oxígeno y nitrógeno como materia prima para corte de metales, es una máquina de control numérico programable.

Datos técnicos	
Descripción	Capacidad
Capacidad de dimensión de lámina	3048x1524 mm
Máximo peso de lámina	500 Kg.
Precisión	± 0.05 mm
Capacidades de corte (Espesor)	Acero Suave 12mm Inoxidable 6mm Aluminio 6mm Cobre 6mm



Figura 1.3 Cortadora laser Durma®. (15)

Soldadura: En esta área se ensamblan y ajustan los diversos materiales que se trabajan según las especificaciones del producto como uniones de láminas, tuberías y estructuras de PTR en los diferentes metales manejados por la empresa. Se trabaja con soldadura autógena, actualmente el ensamble se realiza manualmente por operadores.

Soldadura Autógena	
Arco eléctrico	4000 (°C)
Oxiacetilénica	3200 (°C)
MIG TIG	>4000 (°C)
	>4000 (°C)



Figura 1.4 Departamento de soldadura. (16)

Doblez: En esta área se realizan los dobleces necesarios a las láminas según las especificaciones del producto, se pueden doblar todos los materiales metálicos manejados por la empresa, pero la capacidad de doblez es variable de acuerdo al espesor y material en específico. Es una máquina de control numérico programable.

Datos técnicos	
Descripción	Capacidad
Tonelaje	60 Ton.
Doblez longitudinal	2250 mm
Potencia de motor	5.5 Kw



Figura 1.5 Departamento de doblez. (15)

El proveedor proporciona una relación para saber si el material y espesor deseado se podrán doblar con esta máquina.

Cálculo de tonelaje	$F = \frac{(1.42)(L)(Rm)(S^2)}{(1000)(V)}$
---------------------	--

F: Fuerza de doblaje (Ton.)

L: Longitud (mm)

Rm: Resistencia a la tracción del material (daN/mm²)

daN/ m²=10N/ m²=1Kg/ m²

V: Ancho de dado en V

S²:Espesor de material

Rolado: En esta área se rolan o planchan las láminas según las especificaciones del producto, cuando se requieren planchar es debido a la deformación excesiva que se tuvo en el proceso de punzonado, el material más común es el acero al carbón de baja concentración y el inoxidable T-304, por su relativa facilidad de manejo en procesos.

Datos técnicos	
Longitud de rolado	3100 mm
Capacidad de rolado de espesor	12 mm
Potencia de motor	11 Kw
Capacidad de tanque hidráulico	400 L
Máximo diámetro de rolado	270 mm



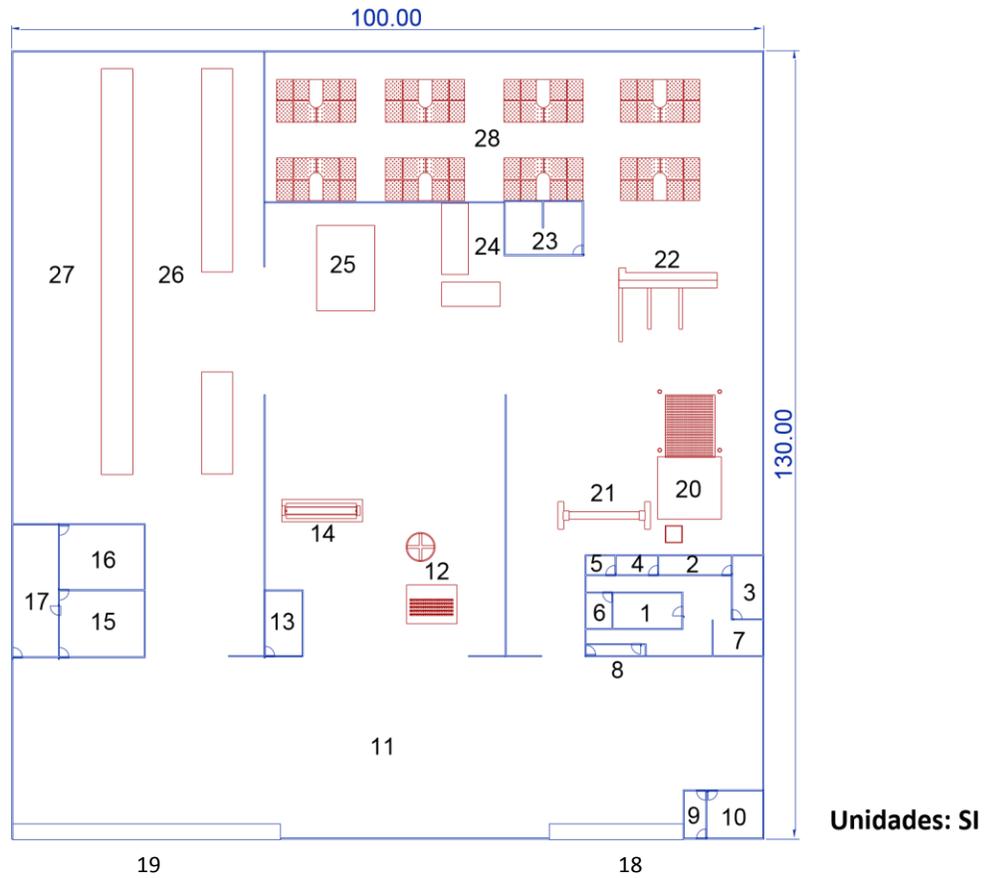
Figura 1.6 Roladora Durma (15)

Ingeniería: En esta área es donde se diseñan los planos de fabricación de todos los productos manejados por la empresa, se plantea la ruta de procesos para llegar a un producto final, se calculan los costos, el tiempo estimado y los materiales que se emplearan en la fabricación de estos. Otra tarea importante del ingeniero proyectista es visitar a los clientes y realizar el levantamiento en sitio del proyecto deseado.

Actualmente se cuenta con una plantilla de cuatro ingenieros y un jefe de departamento que se encargan de llevar a cabo las actividades antes mencionadas, así como de innovar y mejorar el diseño de procesos.



Figura 1.7 Departamento de Ingeniería (11)



Departamentos en la empresa

- | | |
|--------------------------------|---------------------------|
| 1-Ingeniería | 15-Ventas 1 |
| 2-Compras | 16-Ventas 2 |
| 3-Capacitación | 17-Dirección |
| 4-Recursos Humanos | 18-Entrada de proveedores |
| 5-Gerencia de Recursos Humanos | 19-Entrada de clientes |
| 6-Gerencia de Ventas | 20-Láser |
| 7-Facturación | 21-Doblez |
| 8-Recepción | 22-Cizalla |
| 9-Entrada de personal | 23-Almacén de herramienta |
| 10-Vigilancia | 24-Soldadura |
| 11-Estacionamiento | 25-Ensamble |
| 12-Cribas | 26-Almacén 1 |
| 13-Control de almacén | 27-Almacén 2 |
| 14-Rolado | 28-Punzonado |

Figura 1.8 Plano general de la empresa

1.5. Línea de productos

En la empresa se fabrican la mayoría de los productos derivados del trabajo en lámina y tejidos metálicos. El producto de mayor demanda es la lámina perforada en acero al carbono y en acero inoxidable del tipo T-304.

Otro fuerte de fabricación en la empresa son las estructuras de paso industriales como escaleras, puentes y estructuras en general que garantizan la seguridad del personal.

El mobiliario urbano también se encuentra presente entre los productos más destacables como contenedores de desechos en parques, paradas de autobuses, bancas para espacios recreativos y juegos metálicos para niños.

A continuación, se muestran figuras que describen los productos manejados.

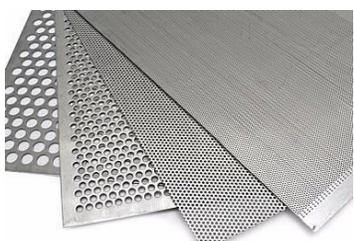


Lámina perforada



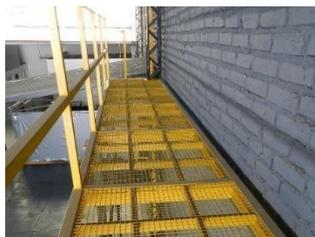
Mobiliario en parques



Mobiliario médico



Mobiliario urbano



Pasos industriales



Puertas residenciales



Cribas



Mallas

Figura 1.9 Productos más destacados

1.6. Organigrama

La empresa cuenta con 4 áreas principales y una dirección las cuales se muestran como sigue.

- Dirección
- Administración y finanzas
- Gerencia comercial
- Gerencia de planta
- Gerencia de planificación y desarrollo

El área de ingeniería se encuentra dentro de la gerencia comercial como se muestra en el diagrama.

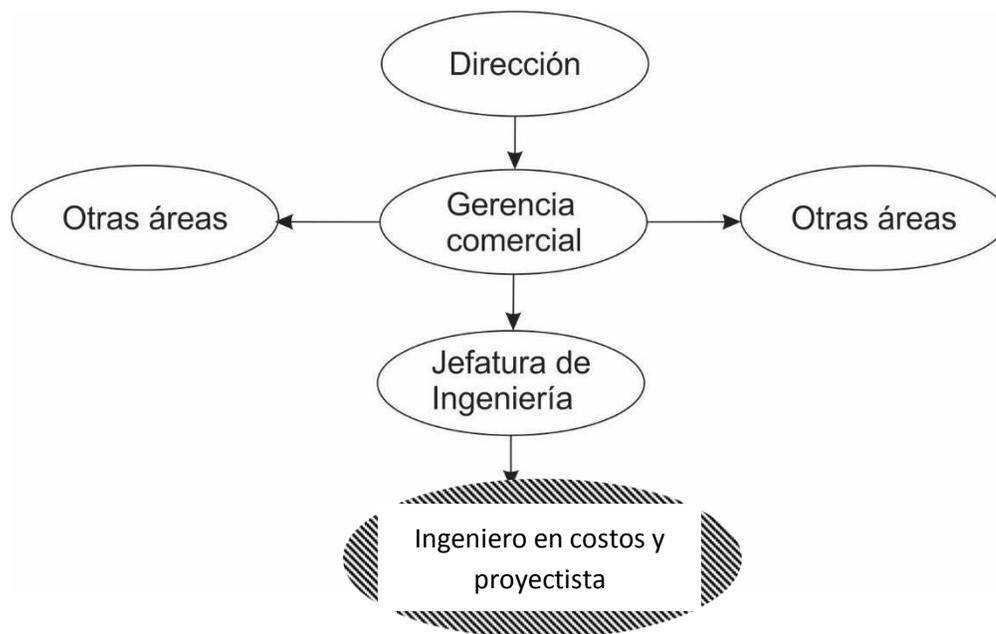


Figura 1.10 Sección del organigrama en donde aparece el puesto desempeñado como ingeniero proyectista

1.7. Descripción del puesto

En esta área se llevan a cabo los desarrollos de las órdenes de trabajo solicitadas a la empresa. El personal de esta área es denominado ingeniero proyectista, su principal función es realizar los planos de fabricación de los productos solicitados y marcar la ruta de procesos por la que pasara la materia prima hasta convertirse en un producto final, se encarga de diseñar y proporcionar los programas de control numérico necesarios para el área de punzonado y láser.

Otra de sus actividades importantes es apoyar al área de ventas a realizar las cotizaciones de proyectos cuando estos requieren de varios procesos por los que pasará la materia prima para convertirse en uno o varios productos.

Una actividad especial del ingeniero proyectista es atender las demandas de los clientes realizando una visita a su planta, negocio o ubicación en general en donde se podrán discutir aspectos técnicos de la orden de trabajo y asesorar al cliente en cuanto a materia prima a utilizar, costos y tiempos de entrega o bien levantamiento de planos para fabricar el producto solicitado.

El ingeniero proyectista se encarga de atender y suministrar indicaciones a cada una de las áreas productivas para el seguimiento de los planos del producto y se pueda llegar correctamente al resultado esperado. El personal a cargo del departamento de ingeniería son los 6 jefes de área de producción, es decir, soldadura, rolado, doblez, punzonado, corte en cizalla y laser por lo que es responsable de dar indicaciones correctas en cada plano para ejecutar el proceso

En el departamento de ingeniería se manejan varios materiales metálicos, principalmente el acero al carbón rolado en caliente y frío dependiendo del calibre, acero A36, acero inoxidable tipo T430, T-316 y T304, acero galvanizado, Aluminio H14, latón y aleaciones de titanio.

Proyecto destacado

En el área de ingeniería se desarrolló un proyecto en especial. El objetivo de este proyecto era disminuir al máximo el tiempo de programación de las máquinas punzonadoras, esto debido a que la interfaz de programación actual es relativamente lenta y complicada para generar arreglos aleatorios de perforado.

Para lograr esto se generó una macro en Excel® que seguía el patrón de instrucciones a las máquinas, para lo cual, solo había que introducir datos numéricos para que el programa asignara a cada instrucción un valor y así generar un código G.

Mi participación en este proyecto fue la implementación del programa en las punzonadoras puesto que a mi llegada a la empresa ya se encontraba en la etapa final de desarrollo.

El programa se generaba introduciendo los datos solicitados por Excel® los cuales eran, tipo de material, dimensiones de la chapa, calibre, tipo de perforación, arreglo estándar o aleatorio y separación entre barrenos. Posteriormente con estos datos el programa generaba coordenadas y las asignaba con instrucciones a comandos que las punzonadoras pudieran descifrar para generar el código G.

Es así como se eliminó el uso de la interfaz proveniente de la marca y se implementó el uso de un desarrollo interno para la optimización en la programación.

De acuerdo al objetivo planteado se logró reducir el tiempo de programación de 1 hora a tan solo 10 minutos y además se logró eliminar el límite que se tenía en patrones de perforado, con este nuevo método de programación se podía generar cualquier arreglo aleatorio.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO DE CORTE EN LÁMINA

2.1. Trabajo en lámina

El trabajo metálico de láminas incluye operaciones de corte y formado realizado sobre láminas de metal. Los espesores del material típicos están entre los 0.4 mm (1/64 de in) y 6.35 mm (1/4 de in). Cuando el espesor excede de 6 mm se llama placa en lugar de lámina, sin embargo, existen discrepancias en este concepto.

La mayoría de los procesos con láminas se realiza a temperatura ambiente, excepto cuando el material es muy grueso, frágil o la deformación es excesiva.

Los tres principales procesos sobre láminas son el corte, dobléz y embutido. El corte se utiliza para separar láminas grandes en piezas menores, para cortar perimetralmente o para perforación de lámina. El dobléz y embutido se utilizan para transformar láminas de metal en piezas de forma especial.

La mayoría de las operaciones con lámina metálicas se ejecutan en máquinas herramienta llamadas prensas de estampado, las cuales difieren de las prensas de extrusión y forjado. Las herramientas que se usan para realizar el trabajo en lámina se denominan punzón y matriz, y a los productos fabricados en lámina se les denomina troquelados. (1)

2.2. Análisis del proceso de corte

El corte de lámina se realiza por una acción de cizalla entre dos bordes afilados de corte. La acción de cizalla se describe cuando el punzón se mueve hacia abajo sobrepasando el borde estacionario inferior de corte de la matriz. Cuando el punzón empieza a empujar la lámina ocurre una deformación plástica en la superficie de la lámina, conforme este se mueve hacia abajo ocurre la penetración en la cual comprime la lámina y corta el metal. Esta zona de penetración equivale aproximadamente a una tercera parte del espesor de la lámina.

A medida que el punzón continua su recorrido por el espesor de la lámina se inicia la fractura entre los bordes del punzón y la matriz.

Si el espacio entre el punzón y la matriz es correcto las dos líneas de fractura se encuentran y el resultado es una separación limpia entre las dos piezas.

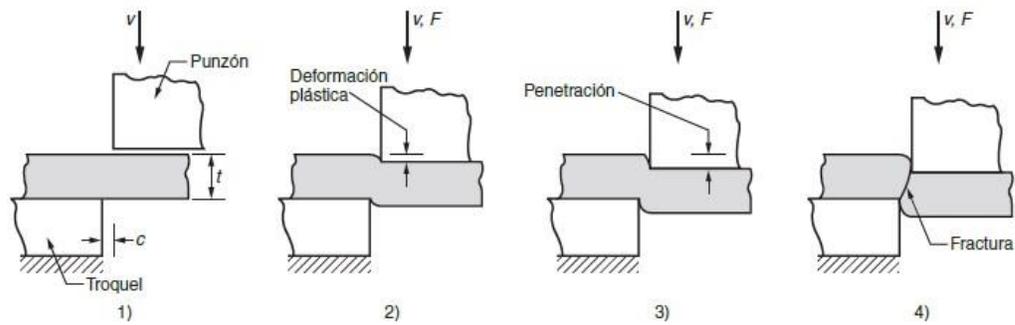


Figura 2.1 Etapas del proceso de corte en lámina (1)

Los bordes cizallados de la lámina tienen formas características. Encima de la superficie de corte hay una región llamada redondeado la cual corresponde a la depresión hecha por el punzón en el trabajo antes de empezar el corte. Aquí es donde empieza la deformación plástica, justo debajo del redondeado continua la región de bruñido, la cual resulta de la penetración antes de hacer fractura. Debajo del bruñido esta la zona de fractura, la cual es una superficie claramente rugosa donde el movimiento del punzón hacia abajo causa la fractura del material.

Finalmente, al fondo del borde se encuentra la rebaba, un filo causado por la elongación del metal durante la separación final de las dos piezas. (1)

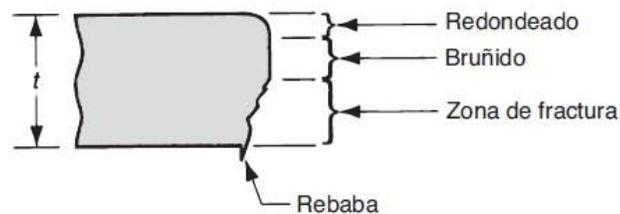


Figura 2.2 Forma característica de un corte (1)

Los parámetros más importantes en el corte de lámina son el espacio o claro entre el punzón y matriz, el espesor del material, el tipo de metal, resistencia y longitud de corte.

El espacio o claro es la distancia entre el punzón y el matriz comúnmente fluctúan entre el 4 y 8% del espesor de la lámina. El efecto de un espacio inapropiado causa defectos en el corte, si el espacio es demasiado pequeño las líneas de fractura tienden a pasar una sobre la otra, causando un doble bruñido y requiriendo mayor fuerza de corte. Si por el contrario es demasiado grande, los bordes pellizcan el metal provocando una rebaba excesiva. (1)

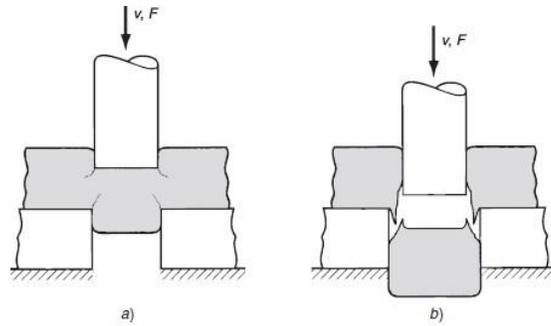


Figura 2.4 a) Holgura insuficiente, b) Exceso de holgura

El espacio correcto depende del tipo de lámina y espesor. El recomendable se puede calcular mediante las siguientes relaciones, cada una pertenece a un autor, sin embargo, tienen el mismo propósito y su uso estará determinado de acuerdo a los resultados obtenidos.

$$C = A_c t$$

$$h = 0.095t \text{ Para metales suaves } h$$

$$= 0.06t \text{ para aluminio } h = 0.18t$$

Para metales duros

Donde c =espacio (mm), A_c = Tolerancia del espacio y t espesor del material (mm). La tolerancia se determina de acuerdo con el tipo de material, h se presenta como la holgura de la matriz o bien el equivalente a $2c$.

Los materiales se clasifican por conveniencia en tres grupos con un valor de tolerancia asociado a cada grupo.

Grupo metálico	A_c
Aleaciones de aluminio 1100S y 5052S, todos los templados	0.045
Aleaciones de aluminio 2024ST y 6061ST, latón, todos los temple, acero suave, laminado en frío y acero inoxidable frío.	0.060
Acero laminado en frío, dureza media, acero inoxidable de dureza media y alta.	0.075

Tabla 2.1 Clasificación de los metales para selección del factor A_c (1)

En la siguiente figura se observan los parámetros C y h mencionados y como se aplican en el proceso de corte.

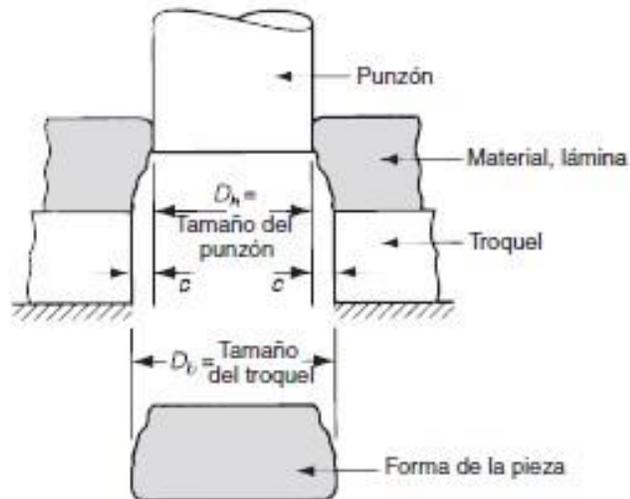


Figura 2.5 Parámetros involucrados en el corte (1)

2.3. Herramienta para punzonado

De igual manera y de acuerdo a la figura si lo que se desea es perforar la lámina con un determinado diámetro se determina como sigue:

Diámetro del punzón para corte de barrenos

$$D_h$$

Diámetro de matriz para corte de barrenos

$$D_h + 2c$$

Para que las formas o padecerías caigan a través de la matriz, la abertura de esta requiere tener un espacio angular entre 0.25° y 1.5° de cada lado para evitar el retorno provocado por el mismo punzón después del corte.

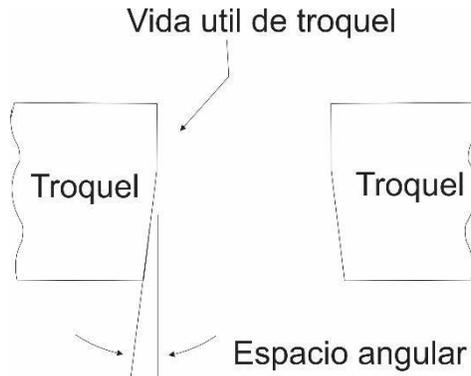


Figura 2.6 Ángulo de troquel (1)

2.4. Fuerza de corte

Es importante conocer la fuerza de corte en el trabajo en lámina ya que este determinará el tonelaje de la prensa para penetrar la lámina. En este caso se han desarrollado numerosas investigaciones y publicaciones de artículos de fabricantes de herramientas, máquinas y académicos de diversas universidades, sin embargo, hasta el día de hoy no se ha encontrado una única relación que determine la fuerza de corte en el proceso.

Se han encontrado hasta 11 modelos diferentes para calcular la fuerza de corte, cada uno de ellos tiene sus propias consideraciones en específico, sin embargo, todos coinciden en que la fuerza de corte es función del espesor del material, longitud de corte y la resistencia al corte del material la cual puede ser variable en función de la holgura de la matriz. (2)

En este caso se utilizará una ecuación general para determinar el valor de la fuerza de corte F en se puede determinar mediante la siguiente relación

$$F = StL$$

Donde S = resistencia al corte de la lámina (MPa), t = espesor del material (mm) y L longitud del borde o perímetro de corte (mm).

En caso de que no se conozca la resistencia al corte del material de la lámina, se puede estimar la fuerza de corte mediante el uso de la resistencia a la tensión, de la siguiente manera:

$$F = 0.7TS_t L$$

Donde TS = resistencia última a la tensión (MPa), t = espesor del material y L continúa siendo la longitud perimetral. (1)

El esfuerzo de la máquina se determina como un 30% extra a la fuerza de corte, es decir.

$$\text{Carga de prensa} = 1.3 F$$

Las ecuaciones anteriores suponen un corte al mismo tiempo a todo lo largo del borde L . En este caso el esfuerzo al corte será el máximo para esa configuración de punzón y matriz. Es posible reducir el esfuerzo máximo usando un borde de corte sesgado en el punzón o en el troquel, este ángulo de corte distribuye el corte en el tiempo y reduce la fuerza que se experimenta a cada momento. Sin embargo, la energía requerida para la operación seguirá siendo la misma si el corte se realiza en un solo paso o bien de manera distribuida. (3)

CAPÍTULO III. DESARROLLO DE MANUAL TÉCNICO DE CAPACITACIÓN EN PUNZONADO

3.1. Planteamiento

Como proyecto desarrollé un manual técnico para capacitación de personal en el área de punzonado, esto debido a la observación del proceso, me pude percatar que la mayoría del personal en el área son estudiantes de últimos semestres de las carreras de ingeniería mecánica, mecatrónica e industrial y únicamente se les estaba capacitando como si fueran operadores de nivel técnico. Por esta razón decidí investigar y recopilar información en este informe de carácter técnico relacionada al proceso de punzonado pero enfocado a un perfil de ingeniería para que el empleado entienda el comportamiento de la chapa y de las herramientas para punzonado así como poder resolver un problema cuando se presente durante el proceso.

En la primera parte hago una descripción sobre las definiciones más importantes

Punzonado

Se conoce como punzonado al proceso de manufactura en el cual una lámina o chapa metálica es sometida a esfuerzos de corte localizados por las herramientas de corte llamadas punzón y matriz para generar sobre esta un indefinido número de perforaciones con la forma del punzón seleccionado.

Embutido

Se conoce como embutido al proceso de manufactura en el cual una lámina o chapa metálica es golpeada por un punzón contra una matriz para que esta se deforme plásticamente y adopte la forma del punzón seleccionado sin que esta pueda regresar a su estado original.

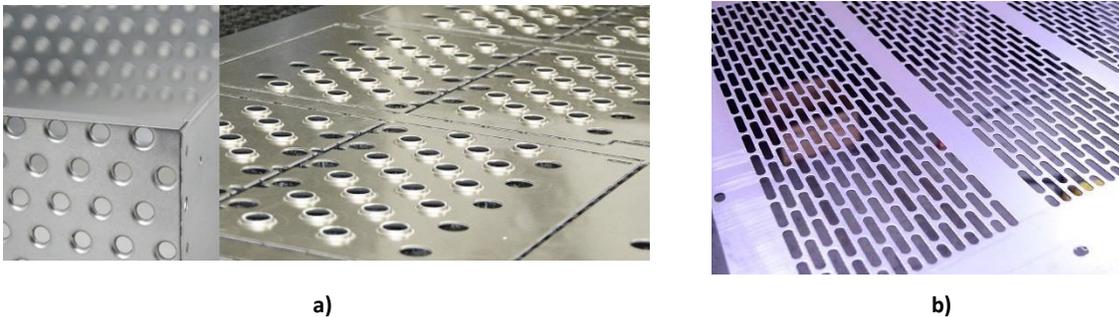


Figura 3.1 a) Proceso de embutido b) Proceso de punzonado

3.2. Máquinas de punzonado

Se conoce como punzonadora a la máquina que realiza este proceso de manufactura o bien troqueladora. En este ramo industrial existen varias marcas, pero en general se manejan dos tipos de estructuras básicas, las cuales son bastidor y tipo C o cuello de ganso. La fuerza de corte de las

máquinas ronda entre las 30 y 60 toneladas dependiendo del espesor y dureza que se desee perforar.

En las máquinas se encuentra una interfaz para generar los programas de control numérico que controlaran la máquina para perforar las formas y arreglos deseados. Los datos que solicita la máquina son generalmente las coordenadas del primer barreno y a partir de este generar copias horizontales y verticales según el patrón de punzonado que se quiera generar, así como las características del barreno de dimensión y forma. En el punzonado existe una gran cantidad de formas de punzones los cuales pueden ser redondos, oblongos, cuadrados y punzones de perforación artística como trébol, estrellas y rectángulos entre otros.

Las máquinas de punzonado deben tener la capacidad de soportar continuamente cargas y reacciones sobre su estructura durante largos periodos de tiempo, regularmente trabajan durante 6 días continuos y se apagan durante 24 horas en esta empresa.

Según datos del proveedor el monobloque de la marca Euromac® soporta hasta 700 N/mm^2 lo que equivale a $71\,380 \text{ Ton/m}^2$.



a)



b)

Figura 3.2 a) Punzonadora de bastidor b) Punzonadora de cuello de ganso

3.3. Herramental utilizado

Estas herramientas que reporto aquí son las más usuales en el área, de estas depende en gran medida la calidad de nuestra pieza final.

Punzón

Esta herramienta es la que realiza el corte superior en la lámina y es la que lleva la fuerza de la punzonadora, contiene un cuerpo de refuerzo y venas de lubricación, su vida útil se encuentra en el inserto superior la cual es generalmente de 20 mm y se va perdiendo conforme se realizan afilados.

El material del punzón para espesores menores de 3mm, generalmente es acero rápido F-5603 (AISI M2) o F-5221 (AISI D2), que tienen buena resistencia al desgaste y una tenacidad media-baja. Para chapas de 3 a 8 mm se recomienda utilizar aceros F-5220 (AISI O1) o F-5227 (AISI A2), que son aceros más tenaces que los anteriores, pero menos resistentes al desgaste. Al igual que sucede con otras herramientas de corte, los punzones se presentan también recubiertos de TiC, TiN, CrC, W2C y TiC-TiN (doble capa). Con ello, se incrementa notablemente la vida del punzón, con un consecuente aumento del costo.



Figura 3.3 Punzón y sus características principales (14)

Matrices

Estas herramientas son la contraparte de los punzones y son las encargadas de generar el corte inferior a la lámina, es importante señalar que de estas herramientas dependen varios factores importantes en el punzonado como el acabado del corte, la vida útil del punzón, la fuerza necesaria para el corte y por consecuencia el consumo energético de la máquina.

Generalmente el material de las matrices es de acero herramental cromado, su vida útil se encuentra la parte superior y es de aproximadamente 3 mm, el cuello interno de la matriz se divide en dos partes, la parte superior es la que genera el corte y la parte inferior tiene un ángulo que no permite el retorno de la rebaba de corte hacia la lámina.

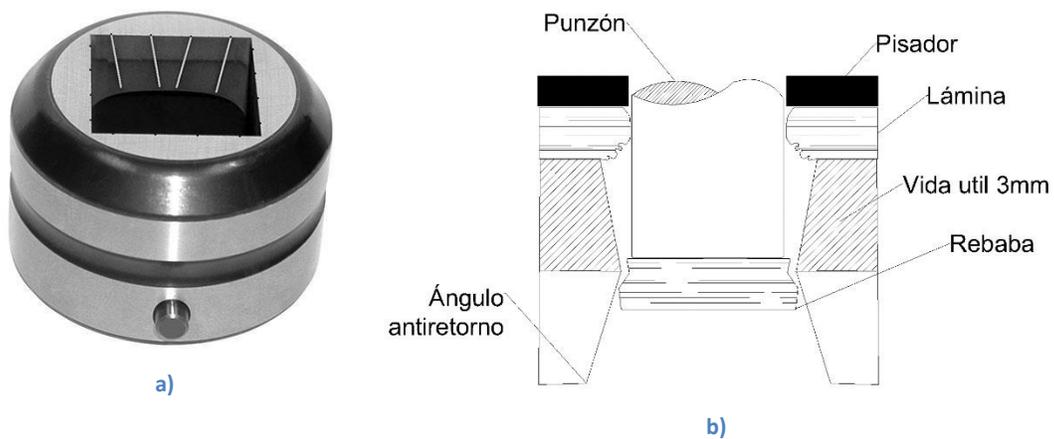


Figura 3.4 a) Matriz Mate tooling, b) Forma del mecanizado interno de la matriz para que no se regrese la rebaba

Estaciones

Otra herramienta que es esencial para el proceso son las estaciones en donde se montan las matrices y los punzones para perforar. Estas herramientas nunca entran en contacto con la lámina a perforar, pero si cumplen una función importante ya que a través de estos se transmite el movimiento y potencia de la máquina.

Existen cuatro clasificaciones de las estaciones y se denominan por letras como sigue.

Estación	Dimensión de punzón (In)
A	1/2"
B	1-1/4"
C	2"
D	3-1/2"
E	4-1/2"

Tabla 3.1 Tipos de estaciones

3.4. Descripción del proceso de corte

Después de investigar en la literatura y en artículos y además con la experiencia en el área de ingeniería pude clasificar el proceso en los siguientes cuatro pasos.

En la figura 2.1 se observan las cuatro etapas en las que se puede describir el corte del material con el punzón.

1. Posicionamiento: En la etapa uno se posiciona el punzón a la distancia deseada para que solo marque la lámina o bien para que ya inicie la perforación, a esta etapa se le conoce como darle carrera al punzón.
2. Deformación: Los esfuerzos del punzón sobre la chapa metálica, originan en esta deformación, inicialmente elástica y después plástica o permanente alrededor de los bordes del punzón y a esta etapa se le conoce como bruñido.
3. Penetración: En esta etapa los filos del borde del punzón y de la matriz penetran en la chapa metálica produciendo grietas que deberían encontrarse en un mismo punto si es que la holgura de la matriz fue correctamente seleccionada.
4. Fractura: Si las grietas se encontraron en un mismo punto se producirá un corte limpio y con poca rebaba, sino es el caso puede aparecer exceso de rebaba o desgaste excesivo y prematuro del herramental.

A continuación, presento parámetros que pueden brindar información sobre la situación interna del proceso.

El primero es un radio R que aparece en la parte superior por donde entra el punzón, si el radio es muy pronunciado es resultado de una holgura de matriz excesiva lo que permite al material deformarse plásticamente más de lo que debería antes de cortarse.

El segundo parámetro es una zona brillante llamada bruñido y esta abarca comúnmente $\frac{1}{3}$ del espesor de la chapa metálica si la relación espesor de chapa y tamaño de punzón es 1 a 1 o bien el punzón es mayor, en caso de que el punzón sea menor que el espesor de la chapa esta zona se extenderá.

El tercero y cuarto parámetro dependen directamente del juego entre la matriz y el punzón, si el juego es insuficiente se produce una fractura forzada ya que las líneas de corte no se encuentran en su recorrido y el material tiene que romperse por la excesiva carga del punzón al seguir avanzando, por lo anterior el desgaste de las herramientas es mayor al igual que el consumo energético.

3.5. Modelos más comunes de fuerza de corte

Existe multitud de modelos que pretenden predecir la fuerza necesaria para llevar a cabo el corte en la chapa metálica con la herramienta seleccionada, sin embargo, todos estos modelos coinciden en que dependerá del espesor de la chapa, el perímetro de corte y la resistencia al corte del material o bien un porcentaje de la resistencia a la tensión que varía entre el 70 y 80 por ciento dependiendo de las consideraciones del autor.

Los principales modelos los enlisto a continuación

Método propuesto por los fabricantes Mecos y Amada.

Estos fabricantes proponen el mismo método de cálculo el cual depende del perímetro de corte del punzón, el espesor de la chapa y el esfuerzo de corte del material.

$$F = \frac{1}{(10000)}Pt\zeta \text{ [Ton]}$$

P: Perímetro [mm]

t:Espesor de chapa [mm]

ζ: Resistencia al corte [Kg/mm²]

Método propuesto por Trumpf

Trumpf es una compañía mundial en la producción de tecnología para la conformación de chapa metálica.

$$F = PtfRm\frac{0.9}{(1000)} \text{ [Ton]}$$

P: Perímetro [mm]

t: Espesor de chapa [mm]

f: Factor de material dado por el proveedor de maquinaria.

Rm: Resistencia al corte [N/mm²]

Método de cálculo de fuerza de Mate Tooling

$$F = Pt(Mt)(Mm) \text{ [Ton]}$$

P:Perímetro[mm]

t:Espesor de chapa [mm]

Mt: Factor de conversión en: 0.0352 [ton/mm²] o 25 [ton imp/in²]

Mm: Factor multiplicador dado en manual de proveedor de maquinaria.

Holguras de matriz

Para la selección de herramienta se realiza el cálculo de la holgura para las matrices con tablas de valores establecidos en relación al espesor del material, comúnmente son proporcionadas por el proveedor de maquinaria y los valores son prácticamente los mismos, sin embargo, es importante adecuar estas tablas experimentalmente a cada proceso.

Para el caso del presente trabajo realicé una calculadora en el programa Excel[®] basado en las siguientes tablas para los materiales más comunes que se someten a proceso de punzonado.

Las ecuaciones que tomé en cuenta para hacer esta calculadora son las reportadas en el capítulo dos y en el modelo de corte más general, así como las ya utilizadas por la empresa. El principal beneficio de estas calculadoras se verá reflejado en la selección más rápida y precisa.

A continuación, presento las tablas para seleccionar la herramienta de acuerdo al material.

Calibre\Material	Holguras en pulgadas			
	Aluminio	Acero Negro	Galvanizado	Inoxidable
30	0.0000	0.0030	0.0030	0.0400
28	0.0000	0.0040	0.0040	0.0040
26	0.0030	0.0040	0.0040	0.0050
24	0.0030	0.0050	0.0050	0.0060
22	0.0040	0.0060	0.0060	0.0080
20	0.0060	0.0080	0.0080	0.0100
18	0.0060	0.0100	0.0100	0.0120
16	0.0080	0.0150	0.0150	0.0190
14	0.0100	0.0190	0.0190	0.0220
12	0.0120	0.0260	0.0260	0.0310
11	0.0200	0.0360	0.0360	0.0400
10	0.0200	0.0400	0.0400	0.0440
3/16	0.0380	0.0470	0.0470	0.0560
1/4	0.0500	0.0630	0.0630	0.0750

Tabla 3.2 Holguras de matriz propuestas en la empresa

Tipo de material por fuerza de corte	Rango de espesores	Porcentaje
Al (0.172 Kn/mm²)	MENOR QUE 0.098" (2.50 mm)	0.15
	0.098" (2.50 mm) a 0.197" (5.00 mm)	0.2
	MAYOR QUE 0.197" (5.00 mm)	0.25
AC-Negro (0.34 Kn/mm²)	MENOR QUE 0.118" (3.00 mm)	0.2
	0.118" (3.00 mm) a 0.237" (6.00 mm)	0.25
	MAYOR QUE 0.237" (6.00 mm)	0.3
Inoxidable (0.517 Kn/mm²)	MENOR QUE 0.0059" (1.50 mm)	0.2
	0.059" (1.50 mm) a 0.110" (2.80 mm)	0.25
	0.110" (2.80 mm) a 0.157" (4.00 mm)	0.3
	MAYOR QUE 0.157" (4.00 mm)	0.35

Tabla 3.4 Holguras de matriz propuestas por Mate Tooling®

Para el caso de la tabla 3.4 se multiplica el espesor del material por el porcentaje indicado y se le suma al diámetro del punzón, de esta manera se obtiene la holgura que debería tener la matriz.

Método de tabla	Datos (in)	Datos (mm)
Diámetro de punzón	0.75	19.05
Material	Inoxidable	NE
Calibre	10	254
Espesor	0.1350	3.429
Holgura de matriz	0.044	1.1176
Matriz a seleccionar	0.794	20.1676

a)

Método de porcentajes	Datos (in)	Datos (mm)
Diámetro de punzón	0.75	19.05
Material	Inoxidable	NE
Calibre	10	254
Espesor	0.1350	3.429
Holgura de matriz	0.0405	1.0287
Matriz a seleccionar	0.7905	20.0787

b)

Figura 3.5 Comparativa de resultados en la calculadora a) Datos de tabla, b) Datos de porcentajes

3.6. Defectos principales en el punzonado

Como mencioné al inicio del capítulo considero importante estudiar los principales problemas que se presentan durante el proceso y a continuación menciono los que en mi experiencia más se presentan en el día a día de la empresa.

Retorno de rebaba.

Un problema usual, es cuando regresa la rebaba después de ser cortada y daña la lámina y a continuación se enlistan una serie de propuestas para solucionar el problema.

- Usar matrices con conicidad llamadas slug free para facilitar la caída del material sobrante, desmagnetizar las herramientas después de afilarlas ya que algunas máquinas afiladoras poseen polos magnéticos, sobre todo si se perforaran materiales férricos.
- Calcular la holgura de la matriz en milésimas de pulgada, esto debido a que de esta manera es más difícil que la rebaba suba por el conducto con ángulo después de ser cortada. Asegurarse de que el punzón rebasa el ángulo de la matriz cuando baja el cual que evita que regrese la rebaba.
- Afilar el punzón con ángulo de esta manera la rebaba no tendera a tener forma plana y se aumenta la penetración del punzón.
- Usar el lubricante adecuado el cual puede ser un aceite hidráulico 46-68 ISO.

Subida de la lámina con el punzón.

Otro problema común que encontré es cuando el punzón perfora la lámina esta tiende a contraerse contra las paredes del punzón, lo que puede resultar en que se incremente el contacto con este subiéndose junto con su carrera. Para evitar esto se proponen las siguientes soluciones.

- Se puede incrementar la holgura de la matriz, sacrificando en medida la calidad del barreno, ya que entre más holgura tenga la matriz más conicidad tendrán los barrenos.
- Verificar los muelles del portapunzón ya que como cualquier elemento mecánico van perdiendo tensión durante su tiempo de vida útil ya que estos son los responsables de subir el punzón después de perforar.
- Verificar las paredes del punzón ya que con ciertos materiales no férricos como el aluminio pueden adherirse partículas a sus paredes, ocasionando un mayor contacto entre las paredes del barreno y el punzón.

- Usar lubricante adecuado ya que así el coeficiente de fricción del punzón con la lámina es reducido.

Adhesión de material al punzón con ciertos materiales.

Algunos materiales no férricos tienden a adherirse al punzón lo que ocasiona su engrosamiento provocando jalones de lámina.

Para solucionar este problema concluí que estos defectos pueden evitarse de manera similar a los anteriores jugando con la holgura de la matriz, lubricando adecuadamente la herramienta, usar lubricantes especiales antidesgaste y de igual manera punzonar este tipo de materiales con una velocidad menor, de esta forma no aumentará tanto la fricción en las paredes del punzón.

Problemas de tonelaje

Un problema muy común que se presenta es la pregunta de si el material y perforación que el cliente está solicitando se podrá punzonar sin problemas, muchas veces este problema tiene que ver con el tonelaje necesario para lograr perforar el material sin dañar la máquina y herramientas utilizadas.

Como reporto anteriormente el cálculo del tonelaje está relacionado con el perímetro del punzón, el espesor de la chapa y la resistencia al corte del material.

A continuación, enlisto los rangos de valores y la ecuación más comúnmente utilizada para conocer este valor.

$$T = (\text{Perímetro})(\text{Espesor})(\text{Esfuerzo de corte})/1000$$

Esfuerzos de corte más utilizados en el punzonado de chapa metálica

Aluminio 20-25 $\frac{kg}{mm^2}$

Acero 37 – 45 $\frac{kg}{mm^2}$

Inoxidable 60 – 70 $\frac{kg}{mm^2}$

CAPÍTULO IV. RESULTADOS

Generé una recopilación de información técnica enfocada al proceso de punzonado que se aplica en la empresa para ser usada como medio de capacitación y referencia a la hora de enfrentar problemas en el proceso.

Describí los modelos teóricos más comunes que tratan de conjuntar las variables físicas que se ven involucradas entre la holgura que debe de tener un punzón y una matriz para poder perforar el material que se pretenda.

Conjunte en el manual los defectos de punzonado más comunes, la razón física del porque se presentan y una o más propuestas de solución.

Describí de una manera teórica y práctica el proceso de punzonado enfocando el trabajo a los operadores, entre los cuales la mayoría son estudiantes de los últimos semestres de ingeniería.

Generé tablas digitales para calcular la herramienta necesaria para el material y espesor que se desean perforar y ahorrar tiempo en lugar de buscar datos en las tablas impresas que actualmente existen en la empresa.

Realice un resumen sobre lo que se puede encontrar en esta empresa, el valor que aporta a la sociedad y cómo funciona internamente para generar productos de valor comercial.

Generé un reporte laboral en el que se encontrará información sobre el proceso de punzonado, herramientas, materiales, calibres de lámina, tipos de maquinaria empleada en este proceso y las principales compañías que aportan tecnología y conocimiento en este ámbito.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES

El objetivo de este trabajo es el aportar a la capacitación técnica de los operadores del área de punzonado, esto debido a la experiencia propia de haber laborado como operador y no haber tenido una capacitación técnica descriptiva del proceso. Además, cuando se presentaba un defecto del proceso de punzonado no se entendía el porqué de dicho defecto, sin embargo, considero que con este manual se tendrá una referencia más confiable que la práctica empírica.

Creo que la documentación de esta información beneficia principalmente a los departamentos de punzonado, herramienta e ingeniería ya que con la comprensión del proceso teórico se pueden implementar mejoras en la producción de láminas perforadas, conocer las limitaciones de las máquinas y herramientas, así como decidir cuales materiales y espesores pueden ser punzonados con la tecnología actualmente adquirida.

La información que presento es solo la base de cada particularidad del universo del punzonado esto debido a que cada elemento relacionado es un caso completo de estudio, como por ejemplo el cálculo de fuerza de punzonado en donde se pueden encontrar una gran variedad de propuestas hechas por investigadores y compañías del medio sin llegar a una sola conclusión definitiva.

Concluyo en que el haber resumido la información de este proceso me aportara particularmente como profesionista la comprensión del proceso de perforación de láminas y procesos de troquelado en general, con lo cual poder partir de un punto clave para el desarrollo de procesos y tecnología para los procesos de manufactura.

Bibliografía

1. **Groover, Mikel P.** Fundamentos de manufactura modern. *Fundamentos de manufactura modern*. Ciudad de México: Mc Graw Hill, 2007, págs. 440-474. [Citado el: 04 de noviembre de 2018.]
2. *Aplicación integrada para el cálculo de esfuerzos en el punzonado de chapa.* **Eduardo Cuesta, Braulio J. Álvarez, David B. Fernández, S. Mateos.** 2010, Researchgate. [Citado el: 05 de noviembre de 2018.]
3. **Armando Ortiz P. Osvaldo R. Cervantes, Juan Armando Ortiz V.** Modelado de procesos de manufactura. *Modelado de procesos de manufactura*. Ciudad de México: Editorial de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, 2013, págs. 222-224. [Citado el: 05 de noviembre de 2018.]
4. **aceros monterrey.** [En línea] [Citado el: 05 de noviembre de 2018.]
<http://www.acerosmonterrey.com/servicios.php>.
5. **alibaba.** [En línea] [Citado el: 05 de noviembre de 2018.]
<https://spanish.alibaba.com/product-detail/yishujia-factory-laser-cut-steel-main-gate-designlatest-main-iron-gates-for-sale-60438391357.html>.
6. **ferrecatalogo.** [En línea] [Citado el: 05 de noviembre de 2018.]
http://www.ferrecatalogo.com/resultados_maquina.php?Maquina=Punzonadoras%20CNC%20s%20erie%20BX&Button1=Maquina.
7. **mequim.** [En línea] [Citado el: 05 de noviembre de 2018.]
<http://www.mequim.com.pe/producto/188-Cilindro-de-oxigeno-con-porta-balon>.
8. **MercadoLibre.** [En línea] [Citado el: 05 de noviembre de 2018.]
https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-580358228-bote-de-basura-de-malla-de-alambregalvanizado-de-45-galones-_JM?quantity=1.
9. **perfometal.** [En línea] [Citado el: 05 de noviembre de 2018.]
<https://www.perfometal.com.mx/productos/l%C3%A1mina-perforada/l%C3%A1minaperforada-inoxidable>.
10. **perfometales.** [En línea] [Citado el: 05 de noviembre de 2018.]
<http://perfometales.com/?p=82>.
11. **ventilacionvimex.** [En línea] [Citado el: 05 de noviembre de 2018.]
<http://ventilacionvimex.com/departamento-de-ingenieria>.
12. **Euromac. Euromac.** [En línea] [Citado el: 06 de noviembre de 2018.]
<https://www.euromac.com/es/>.

13. Ferremayoreo. Ferremayoreo. [En línea] [Citado el: 06 de noviembre de 2018.] http://www.ferrecatalogo.com/resultados_maquina.php?Maquina=Punzonadoras%20Hidraulicas%20de%20torreta%20serie%20TP&Button1=Maquina.
14. tooling, Mate. Mate tooling. <https://www.mate.com/>. [En línea] [Citado el: 06 de noviembre de 2018.] <https://www.mate.com/>.
15. *disma*. [En línea] [Citado el: 10 de noviembre de 2018.] <http://disma.mx/dobladoras.html>.
16. *gnccaldereria*. [En línea] [Citado el: 05 de noviembre de 2018.] <http://www.gnccaldereria.es/principios-soldadura-electrica-arco/>.
17. *inoplay*. [En línea] [Citado el: 10 de noviembre de 2018.] <http://www.inoplay.com.mx/juegos-infantiles/resbaladillas-y-toboganes>.
18. *Aspectos analíticos y tecnológicos del proceso de punzonado*. S. Mateos, Carlos Rico, Eduardo Cuesta, Gonzalo V. 2002, Researchgate.
19. *mn del golfo*. [En línea] [Citado el: 06 de noviembre de 2018.] <http://www.mndelgolfo.com/reportaje/sirve-la-malla-electrosoldada/>.