

PRÁCTICA DE LABORATORIO: DEFORMACIÓN PLÁSTICA

Resumen

El presente informe tiene como objetivo demostrar que los procesos de manufactura por deformación plástica aplicada sobre los metales generan un reacomodo estructural del material, principalmente en las zonas donde mayormente se genera un cambio de geometría, produciendo una transformación que representa además un aumento en las dimensiones finales del material.

De acuerdo con lo anterior, este informe muestra en primer lugar, la identificación y caracterización del proceso, en segundo lugar, el análisis de resultados de la práctica y validación de la hipótesis, en tercer lugar se ilustra la secuencia de manufactura para el producto, finalmente se presentan los resultados y conclusiones del proceso.

Keywords: deformación plástica, plegado, taladro, ensamble, caja metálica.

1. Identificación y caracterización de los procesos de manufactura por deformación plástica:

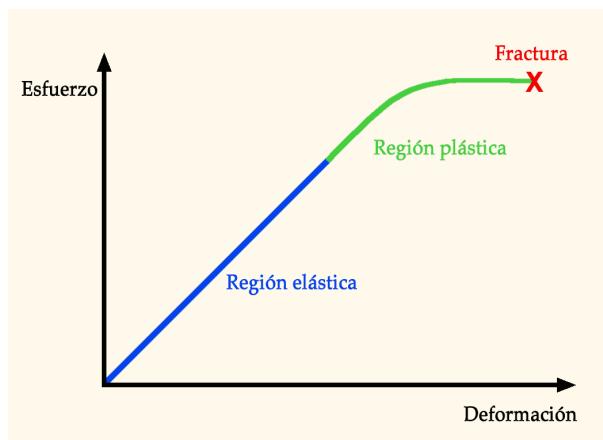


Gráfico 1. Esfuerzo-deformación

Los procesos de manufactura por deformación plástica ocurre cuando se aplica un esfuerzo sobre el material de forma que este no puede volver a su forma inicial, es decir, se lleva al material a la zona verde que se observa en la **gráfica 1**. Los tipos de esfuerzo más conocidos son: tensión, compresión, cortantes, etc.

Los procesos de manufactura por procesos de deformación plástica se dividen en proceso en caliente y en frío:



Diagrama 1. Procesos en frío y caliente de deformación plástica.

Los procesos calientes se dan por medio del suministro de calor al material con el fin de obtener una deformación plástica con un menor esfuerzo, suele ser ideal para trabajar con metales que se fracturan al ser trabajados en frío, por ejemplo: forjado, laminación. Por otro lado, el trabajo en frío hace referencia a temperatura ambiente o menor, donde es necesario aplicar un

mayor esfuerzo y como resultado se puede obtener mejor precisión, mejores acabados superficiales por ejemplo: embutición, laminación, estampación.

A continuación se nombrarán algunos procesos de fabricación por deformación plástica, su capacidad, efectos transformadores y sus variables de control específicas:

Proceso de laminado: proceso en el que se reduce el espesor de un material metálico o no metálico mediante la aplicación de presión entre dos rodillos o matrices que giran en sentido contrario, reduciendo el espesor del material.

El proceso de laminado puede producir piezas con diferentes formas y tamaños, incluyendo láminas, placas, perfiles, barras, alambres, etc. y puede utilizarse para una amplia gama de materiales metálicos y no metálicos, incluyendo acero, aluminio, titanio, plásticos, papel, entre otros.

En cuanto a su capacidad, el proceso de laminado es muy versátil, ya que puede utilizarse para producir tanto grandes lotes de piezas idénticas como piezas personalizadas.

El proceso de laminado produce una deformación plástica del material, lo que significa que el material se estira, se encoge y se comprime para reducir su espesor y mejorar sus propiedades mecánicas. Es por esto que, puede mejorar la resistencia, la dureza, la tenacidad, la ductilidad, la uniformidad del material, la textura superficial y otras propiedades del material.

Además, el proceso puede cambiar la microestructura del material, como la forma de los granos, la orientación cristalina, la distribución de tamaños de grano y la presencia de defectos como porosidades.

Algunas variables de control específicas del proceso son:

- La velocidad de laminación es una variable importante que controla la tasa de deformación

del material y afecta la calidad superficial y la uniformidad del espesor.

- La presión es una variable importante que controla la fuerza aplicada al material y afecta la densidad, la dureza y la textura del material.
- La temperatura es una variable importante que controla la deformación y la recristalización del material y afecta la estructura, la ductilidad y la calidad superficial del material.
- La lubricación es una variable importante que reduce la fricción entre los rodillos y el material y protege la superficie del material contra el desgaste y la adhesión.

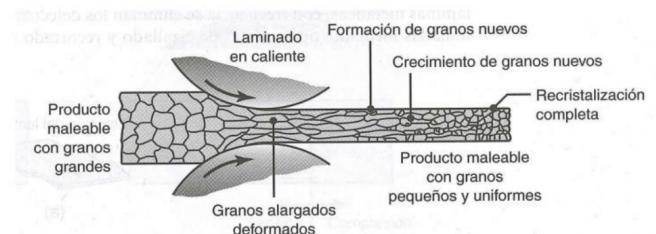


Ilustración 1. Proceso de laminado

Proceso de colada continua: proceso de solidificación que consiste en verter metal líquido en un molde continuamente para producir piezas metálicas con una sección transversal constante.

La colada continua se utiliza para producir una amplia variedad de productos, como barras, perfiles, tubos, alambres, láminas y bloques de metal. Por ende, se utilizan materiales metálicos como el acero, el aluminio, el cobre y el titanio.

Este es un proceso muy eficiente que permite la producción a gran escala de piezas de alta calidad a un costo relativamente bajo.

El efecto transformador de la colada continua se produce por un efecto de enfriamiento rápido en el metal líquido que se está vertiendo, lo que induce un proceso de solidificación que transforma el metal líquido en metal sólido. El proceso de solidificación induce cambios en la microestructura del material, incluyendo la formación de granos y la segregación de impurezas.

Algunas variables de control específicas del proceso son:

- La temperatura del metal líquido es una variable crítica que controla la velocidad de solidificación del metal y afecta la calidad del material.
- Volumen de metal controlará la cantidad de material utilizado en el proceso, limitando mediante el peso, el paso de metal líquido para su transformación
- La velocidad controla el enfriamiento del metal líquido y afecta la calidad de la pieza final.
- La geometría del molde es una variable importante que controla la forma de la pieza final y afecta la calidad superficial y la uniformidad del espesor.

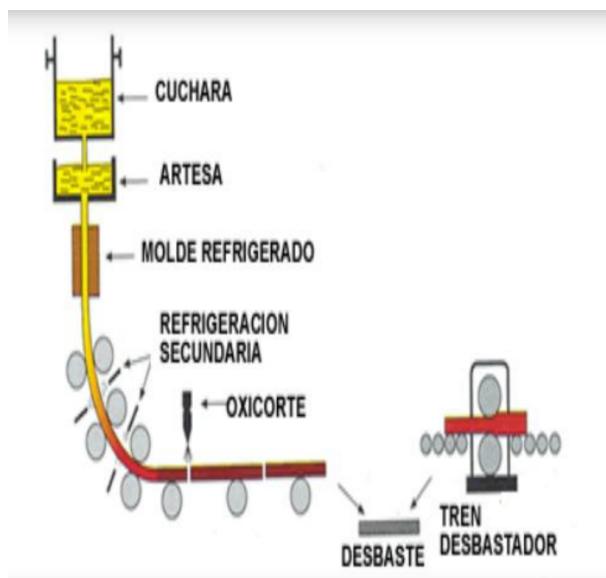


Ilustración 2. Proceso de colada continua

Proceso de forjado: se calienta el material por medio de golpes de un martillo o una prensa, donde aumentan sus propiedades mecánicas.

El proceso de forjado puede utilizarse para fabricar piezas de cualquier tamaño, desde pequeñas piezas de joyería hasta piezas grandes para la industria aeroespacial y la energía.

El proceso de forjado produce un cambio en la microestructura del material, lo que aumenta la resistencia mecánica y la durabilidad del producto final. Esto se da controlando principalmente la temperatura, la velocidad y la presión aplicada. La

temperatura se controla para evitar el endurecimiento del material durante el proceso de deformación, mientras que la velocidad y la presión se controlan para evitar el exceso de deformación.



Forjado de Prensas,

Ilustración 3. Proceso de forjado en prensa.

Proceso de estampado: proceso en el que se somete un metal a una compresión entre dos moldes, puede ser aplicada progresivamente o percusión. Se denomina estampación caliente cuando la temperatura del material es mayor de la temperatura de recristalización.



Ilustración: Presa de husillo francesa de 1831, usada para acuñar monedas

Ilustración 4. Proceso de estampación en calor

Cuando la temperatura es menor sería estampación fría.

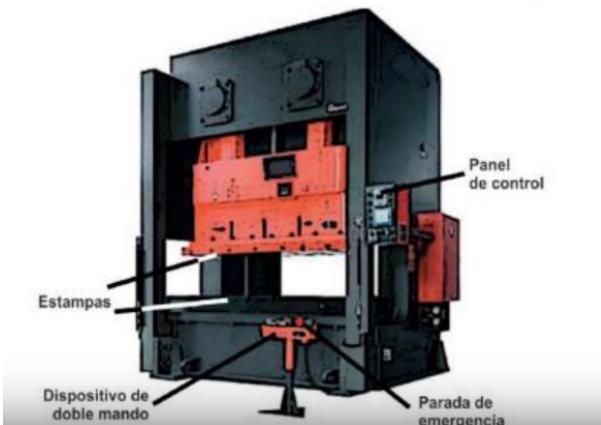


Ilustración 5. Proceso de estampación en frío

Proceso de curvado: Es un proceso de conformado que consiste en realizar una deformación plástica a un tubo mediante una máquina dobladora, en la que se instala la matriz de doblado, cuya forma se transfiere al tubo. Normalmente para esta operación se utilizan tubos de sección circular, aunque también es posible doblar perfiles rectangulares, cuadrados, sólidos o extruidos para adecuarse a las especificaciones del trabajo.

La materia prima utilizada principalmente en este proceso son materiales metálicos como el acero, el aluminio, el cobre y el titanio, así como materiales no metálicos como el plástico y la madera.

El efecto transformador del curvado se produce por el estiramiento y la compresión del material para obtener la forma deseada. Este proceso puede mejorar las propiedades mecánicas del material, como la resistencia, la dureza, la tenacidad y la ductilidad.

El curvado puede cambiar la microestructura del material, como la forma de los granos, la orientación cristalina y la distribución de tamaños de grano.

Algunas variables de control específicas del proceso son:

- El radio de curvatura controla la forma final del material y afecta la uniformidad del espesor y la calidad superficial.
- La fuerza de curvado controla la deformación del material y afecta la calidad del material, como la formación de arrugas o fisuras.

- La temperatura del material controla la ductilidad del material y afecta la formación de defectos como la oxidación o la fragilidad.



Ilustración 6. Proceso de curvado

Proceso de extrusión: proceso para crear objetos con sección transversal. Se empuja por medio de un troquel de una sección transversal deseada. La extrusión directa ocurre colocando una barra en un recipiente fuertemente reforzado. La extrusión indirecta, la barra y el contenedor se mueven juntos mientras el troquel está quieto. La longitud máxima de la extrusión está dada por la fuerza de la columna del soporte.

La ventaja del trabajo en caliente son:

- Los esfuerzos de fluidez son bajos
- Requerimientos de potencia bajo
- Grandes deformaciones.

La ventaja del trabajo en frío son:

- Control con exactitud
- Resistencia elevada
- Mejor acabado superficial

La desventaja del trabajo en caliente son:

- Requiere más energía
- Oxidación afecta el acabado superficial
- Propiedades menos definidas

La desventaja del trabajo en frío son:

- Alto esfuerzo de fluencia
- Ductilidad limitada
- Formas limitada

Para estos procesos se utilizan los siguientes instrumentos de medición:

Pie de rey: grosor normalmente en mm.

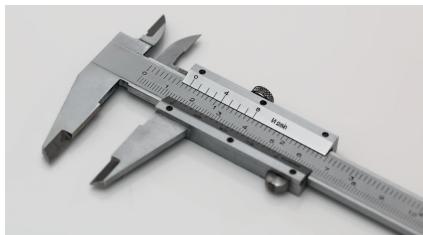


Ilustración 7. Pie de rey

Cinta métrica: mide dimensiones largo y ancho.



Ilustración 8. Cinta métrica

Escuadra graduada: medir el ángulo en que se ha deformado el material.

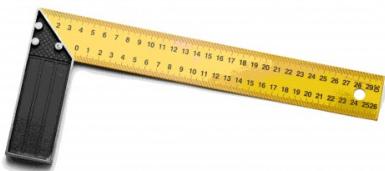


Ilustración 9. Escuadra graduada

Proceso de plegado: El plegado produce una deformación plástica del material, lo que significa que el material se estira y se comprime para obtener la forma deseada. Esto hace que se modifique la microestructura del material, como la forma de los granos, la orientación cristalina y la distribución de tamaños de grano. Además, resulta útil para dar forma a materiales planos como chapas, láminas o placas mediante la creación de ángulos rectos o curvados, que formaran parte de un producto final como cajas, cubos, estantes, marcos y soportes.

Por otra parte, identificamos las variables de control específicas del proceso como:

- El ángulo de plegado debido a que controla la forma final del material y afecta la uniformidad del espesor y la calidad superficial.

- La fuerza de plegado es una variable que controla la deformación del material y afecta la calidad del material, como la formación de arrugas o fisuras.

La fuerza de plegado se podría calcular utilizando la fórmula

$$F = C * \frac{(S^2 * Rm)}{V * L}$$

donde

F: fuerza de plegado (kN)

S: Espesor de la chapa

Rm: resistencia a la tracción del material (kN/cm²)

V: ancho de la abertura (mm)

L: longitud (metros)

C: Constante que depende de S y V: C = 1 + 4S/V

- La geometría de la herramienta de plegado y la distancia entre ellas son variables importantes que controlan la forma final del material y afectan la uniformidad del espesor y la calidad superficial.

2. Análisis de resultados de la práctica y validación de la hipótesis

A través del desarrollo de la práctica, identificamos que el plegado es un proceso de deformación plástica y visualmente el modelo tridimensional debe quedar como en la **ilustración 10.**



Ilustración 10. Modelo caja metálica

2.1. Planteamiento inicial

Según las instrucciones dadas, se definieron las medidas del producto a fabricar. Estas medidas fueron trazadas en la lámina con ayuda de un flexómetro y un lápiz. Además, se tomó el registro de las dimensiones planteadas antes de proceder con la fabricación de la caja como se presenta a continuación:

	Largo	Ancho	Altura
Retal	40.5 cm	37 cm	N/A

Tabla 1. Dimensiones iniciales de la lámina

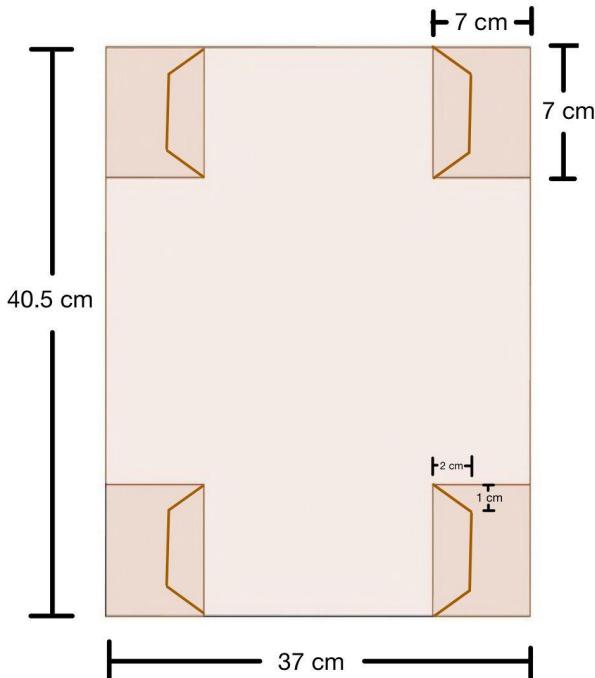


Ilustración 11. Dimensiones pliegue del retal

Luego de modificar la estructura de la lámina a través de los distintos procesos que se mencionan en el apartado 3. *Ilustración de la secuencia de manufactura para el producto*, se obtiene como resultado la caja metálica con las siguientes dimensiones:

	Largo	Ancho	Altura
Caja	26.5 cm	23.6 cm	7.2 cm

Tabla 1. Resultados dimensionales caja metálica

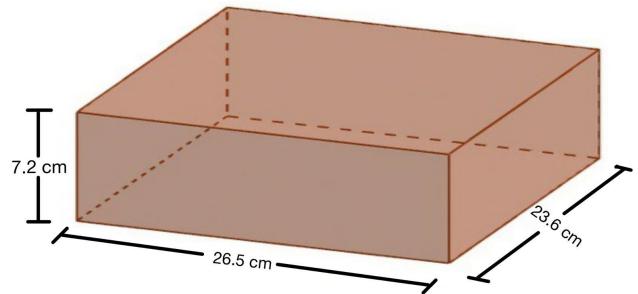


Ilustración 12. Dimensiones finales de la caja

Con estos resultados podemos afirmar que:

- Al sumar las longitudes finales, hubo un aumento en las dimensiones iniciales del retal, así:

$$26,5 \text{ cm} + 2 * 7,2 \text{ cm} = 40,9 \text{ cm}$$

$$23,6 \text{ cm} + 2 * 7,2 \text{ cm} = 38 \text{ cm}$$
- En la caja se puede tomar en cuenta el volumen, en contraste con el retal que no tiene altura.
- A pesar de que las pestañas de cada extremo del retal fueron medidas con mucha precisión para que la caja tuviera una altura de 7 cm, debido a la deformación plástica y al aumento de las dimensiones, la caja tuvo una altura de 7,2 cm, lo que también muestra un aumento en las medidas tomadas.

La hipótesis principal que soporta el desarrollo de la práctica indica que los procesos de manufactura por deformación plástica aplicada sobre los metales generan un reacomodo estructural del material, principalmente en las zonas donde mayormente, se genera un cambio de geometría, produciendo una transformación que representa además, un aumento en las dimensiones finales del material.

Para comprobar esta hipótesis, se compararon las mediciones de las dimensiones iniciales con las finales del material después del proceso de deformación plástica. Se observó que el material experimentó un aumento en sus dimensiones finales, pues pasó de también un radio de curvatura en sus pliegues, mostrando cómo la fibra externa

se estiró y que la interna se contrajo, se puede como en la siguiente ilustración:



Ilustración 13. Pliegue del retal

Se nota como en la fibra exterior del pliegue ya no se ve el óxido, porque en un principio, la lámina estaba completamente oxidada.

Lo que indica que se encontró evidencia tanto numérica como visual en los resultados de esta práctica que confirman la hipótesis inicial de que la deformación plástica produce un reordenamiento estructural del material y un aumento en sus dimensiones finales.

3. Ilustración de la secuencia de manufactura para el producto

Proceso: Fabricación de caja metálica

Material: Lámina de acero

Geometría principal: Hexaedro

Tipo: Manual

Materia Prima: Lámina de acero Cal 20

Forma comercial:

- **Calibre:** 20
- **Espesor:** 0.90 mm
- **Dimensiones:** 122 cm x 244 cm
- **Precio:** \$162.100 aprox.(año 2023)

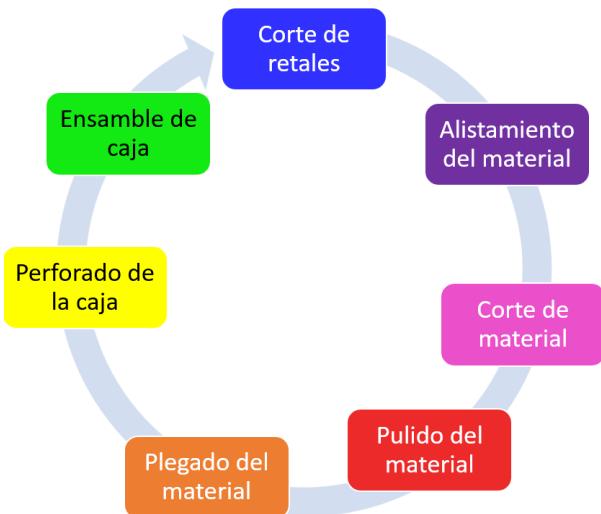


Figura 1. Diagrama de proceso de fabricación: caja metálica

A continuación se detalla la secuencia y recursos utilizados en cada estación del proceso de fabricación de cajas metálicas:



- > **Máquina:** Sierra caladora
- > **Tipo de operación:** Corte
- > **Aplicación:** Manual
- > **Herramientas:** Hojas de sierra para caladora para metal, prensa manual.
- > **Quién lo desarrolla:** Con apoyo de las herramientas y utilizando el insumo, una persona (operario).
- > **Producto que sale:** Retales de lámina de 40.5 cm x 37 cm.
- > **Variables de control:** velocidad de corte, potencia de corte, longitud del retal.

Se nos entregó una lámina que contaba con los trazos que indican el ancho para cada equipo, para cortarlo se utilizó la sierra caladora para cortar un retal con medidas de 40.5 x 37 cm.



Ilustración 14. Máquina caladora para cortar los retales.

Alistamiento del material

- **Máquina:** N/A
- **Tipo de operación:** Diseño estructural
- **Aplicación:** Manual
- **Herramientas:** Flexómetro, regla, lápiz.
- **Quién lo desarrolla:** Con apoyo de las herramientas y utilizando el insumo, una persona (operario).
- **Producto que sale:** Lámina de 40.5 cm x 37 cm con esquema a mano alzada de las dimensiones generales del producto.

Por medio de regla y escuadra se realizaron trazos para establecer las dimensiones, de tal forma que las pestañas quedaron de 2 cm, el largo 40.5 cm y ancho 37 cm. Una vez terminado los trazos se lleva a la máquina de corte sin fin.

Corte de material

- **Máquina:** Cortadora sin fin
- **Tipo de operación:** Corte
- **Aplicación:** Manual
- **Herramientas:** Hojas de sierra para cortadora sin fin.
- **Quién lo desarrolla:** con apoyo de las herramientas y utilizando el insumo, una persona (operario).
- **Producto que sale:** Lámina con perfil cortado según el plano con forma de caja de 40.5 cm x 37 cm con dimensiones generales del producto requeridas para llevar a cabo el proceso de blending.
- **Variables de control:** velocidad de corte, longitud del retal

Se alinea el trazo a la línea de corte, se desplaza el retal de forma recta hasta donde indica en el trazo. El proceso se repite en todos los trazos que se realizaron, el resultado queda de la siguiente manera.

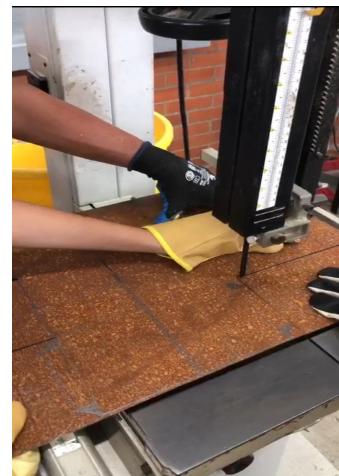


Ilustración 15. Corte de los trazos con cortadora sin fin.

Pulido del material

- **Máquina:** Pulidora de banco
- **Tipo de operación:** Pulido
- **Aplicación:** Manual
- **Herramientas:** Repuesto de banda de lija, lija manual
- **Quién lo desarrolla:** con apoyo de las herramientas y utilizando el insumo, una persona (operario).
- **Producto que sale:** Lámina sin rebaba.
- **Variables de control:** presión contra la superficie, tiempo de pulido, rugosidad de los bordes del retal (acabado superficial).

Debido al proceso de corte, en la superficie se produce la rebaba, el cual es “una característica no deseada en el material metálico”(Ims, 2017). Para eliminar esta característica se lleva a la pulidora.



Ilustración 16. Pulido de la rebaba del retal.



Ilustración 18. Resultado del proceso de plegado.

Plegado del material

- **Máquina:** Plegadora
- **Tipo de operación:** Plegado
- **Aplicación:** Manual
- **Herramientas:** Escuadra graduada a 90°
- **Quién lo desarrolla:** con apoyo de las herramientas y utilizando el insumo, una persona (operario).
- **Producto que sale:** Caja metálica en bruto.
- **Variables de control:** ángulo de elevación de la plegadora, es importante tener establecido hasta qué punto se eleva la plegadora para no dañar el material o realizar reprocesos.

Se ajusta la máquina al ancho del retal para realizar los pliegues. Es importante en el orden en que se realizan, para ello primero se pliega los lados que no tienen las pestañas, y luego los lados que tienen las pestañas.



Ilustración 17. Retal durante el proceso de plegado.

Perforado de la caja

- **Máquina:** Taladro
- **Tipo de operación:** Arranque de viruta por taladrado
- **Aplicación:** Manual
- **Herramienta:** Broca para metal
- **Quién lo desarrolla:** con apoyo de las herramientas y utilizando el insumo, una persona (operario).
- **Producto que sale:** Caja metálica lista para ensamblar.
- **Variables de control:** presión sobre la superficie, potencia del taladro, velocidad de perforación, distancia entre perforaciones.

Se tiene la forma de la caja, sin embargo, es necesario ajustarla, para eso se toma un taladro inalámbrico y se realiza dos perforaciones en los extremos de la cara que no poseen las pestañas, para que las pestañas, que están en la parte interna de la caja, también queden perforadas y posteriormente remachadas.



Ilustración 19. Perforación de los extremos de la caja.

Se insertaron en las perforaciones que se habían realizado anteriormente. Una vez finalizado el proceso, se obtiene el producto terminado.



Ilustración 21. Remachado de la caja.

Ensamble de caja

- **Máquina:** N/A
- **Tipo de operación:** Ensamblaje (no permanente)
- **Aplicación:** Manual
- **Herramientas:** Remachadora manual POP $\frac{1}{8}$ '
- **Insumos:** remaches POP $\frac{1}{8}$ '.
- **Quién lo desarrolla:** con apoyo de las herramientas y utilizando el insumo, una persona (operario).
- **Producto que sale:** Caja metálica terminada.
- **Variables de control:** al ser un proceso de ensamblaje, se mide la rigidez de la unión de los pliegues.

Remachado: por medio de una remachadora y remaches pop de $\frac{1}{8}$.



Ilustración 20. Remachadora



Ilustración 19. Remache pop $\frac{1}{8}$.

Como resultado del proceso se obtiene una caja con dimensiones de 7.2 cm de alto, 26.5 cm de largo y 23.6 cm de ancho.



Ilustración 22. Resultado de todo el proceso productivo.

4. Conclusiones

Al realizar la práctica del laboratorio, se evidenciaron ciertos factores en la producción de la caja donde pudimos concluir que:

1. La deformación plástica del material produce un reordenamiento estructural del material por causa de un esfuerzo sobre el material que sobrepasa su punto elástico y lo lleva a una deformación plástica y un aumento en sus dimensiones finales.
2. El proceso de plegado en especial genera una reestructuración geométrica que da como resultado un aumento en el área superficial del material.
3. En los procesos de corte de metal es común que se generen resultados no deseados como lo es la

rebaba, donde se controla y remueve por medio del pulido del material.

5. Recomendaciones

1. Diseñar y establecer las medidas longitudinales y angulares correctamente para el producto asignado, evitando restricciones para los demás procesos y en el resultado final.
2. Investigar acerca del uso adecuado de las diferentes máquinas utilizadas en cada proceso y cómo estas influyen en la transformación de la materia prima.
3. Una buena planeación estratégica del proceso, tener precisión y estabilidad al hacer uso de máquinas son algunos de los factores de los cuales dependerá un exitoso resultado del producto final.
4. Cada operario (estudiante) deberá conocer sus habilidades para desarrollar cada proceso, ya que un excelente trabajo en equipo será el resultado de explorar en qué hacer durante la práctica.
5. Calibración y uso correcto de los equipos de medición es importante para cumplir con las especificaciones del producto

- Procesos de deformación plástica. (2020, 2 junio). Issuu.
https://issuu.com/robertbrizuela/docs/revista_digital_1_procesos_de_fabricacion
- Gonzalez, J. (2021, 20 octubre). *PROCESO DE DEFORMACIÓN PLÁSTICA Y PROCESO DE MECANIZADO MEDIANTE EL USO DE TORNO*. Issuu.
https://issuu.com/juliogon1991/docs/proceso_de_manufactura_julio_gonzalez
- Aguilar Clavijo, M. (1974, agosto). *Consideraciones sobre la colada continua del acero*. Recuperado 13 de abril de 2023, de
<https://boletines.secv.es/upload/197413283.pdf>
- *El doblado de tubo de metal: tipos y aplicaciones* | Alsimet. (s. f.).
<http://www.alsimet.es/es/noticias/doblado-de-tubo-de-metal#:~:text=El%20curvado%20de%20tubo%2C%20tambi%C3%A9n,tan%20utilizada%20tuber%C3%ADa%20de%20cobre>.
- Palacios, J. (2022, abril) *Curvado de tubos para la fabricación de estructuras metálicas*. (2022, 20 abril). Fabricación de estructuras metálicas | JPalacios.
<https://www.jpalacios.es/curvado-tubos-perfiles-metalicos-estructuras-metalicas/>
- *Conceptos básicos del plegado de chapa*. (s. f.). Interempresas.
<https://www.interempresas.net/Deformacion-y-chapa/Articulos/232340-Conceptos-basicos-del-plegado-de-chapa.html>

Bibliografía

- Fajobe. (2023, February 7). *Lámina Galvanizada Calibre 20 (0.85 mm) 4x8' - Tienda Fajobe*. Tienda Fajobe.
<https://tienda.fajobe.com.co/producto/lamina-galvanizada-calibre-20-0-85-mm-4x8/>
- Ims, O. (2017, 9 enero). *Rebabas en productos metálicos procesados*.
https://www.olympus-ims.com/es/applications/ive_burrs_on_processed_metal_goods/