



**UNIVERSIDAD  
DE ANTIOQUIA**

**PREFACTIBILIDAD DEL DISEÑO Y LA  
IMPLEMENTACIÓN DE PRENSA CHAPA PARA  
TROQUEL DE ANILLO 1 GALÓN**

**EDWIN MAURICIO GALLEGO OSORIO**

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Mecánica

Medellín, Colombia

2020



Prefactibilidad del diseño y la implementación de prensa chapa para troquel de  
anillo de galón

**Edwin Mauricio Gallego Osorio**

Informe de semestre de industria presentado como requisito parcial para optar al  
título de:

**Ingeniero Mecánico**

Asesores (a):

Edwin Lenin Chica Arrieta, PhD, MSc, Ingeniero Mecánico

Yaqueline Medina, Ingeniera de Alimentos- Jefe de ingeniería

Área de Ingeniería

Ingeniería de Procesos

Universidad de Antioquia

Departamento de Ingeniería Mecánica

Medellín, Colombia

2020

## **TABLA DE CONTENIDO**

1. Resumen .....	4
2. Introducción.....	5
3. Objetivos.....	5
3.1 Objetivo general.....	5
3.2 Objetivos específicos .....	5
4. Marco teórico.....	6
5. Metodología.....	9
6. Metodología de diseño .....	18
7. Criterios de evaluación. ....	20
8. Optimización del diseño.....	25
9. Resultados.....	32
10. Conclusiones .....	33
11. Referencias.....	33
12. Bibliografía .....	34
13. Anexos.....	34

## LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Partes de un troquel. (Montes, 2019) .....	7
Ilustración 2. Prensa chapa fija. (Montes, 2019).....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Ilustración 3. Prensa chapa flotante. (Montes, 2019).....	8
Ilustración 4. Prensa chapa tipo pistón (Prodenvases, 2020).....	8
Ilustración 5. Regla guía como prensa chapa (Prodenvases, 2020).....	19
Ilustración 6. Prensa chapa flotante. (Montes, 2019).....	19
Ilustración 7. Prensa chapa con accionamiento neumático (Prodenvases, 2020).....	20
Ilustración 8. Alturas troquel Anillo 1 GL embutiendo (Prodenvases, 2020).....	23
Ilustración 9. Componentes troquel Anillo 1 GL (Elaboración propia).....	24
Ilustración 10. Configuración del sistema prensa chapa (Elaboración propia).....	24
Ilustración 11. Dimensiones de prensa chapa (Elaboración propia).....	26
Ilustración 12. Propiedades de aleaciones de cobre (Elaboración propia).....	27
Ilustración 13. Calidad de Malla (Elaboración propia).....	28
Ilustración 14. Condiciones de carga (Elaboración propia).....	28
Ilustración 15. Condiciones de soporte (Elaboración propia).....	29
Ilustración 16. Deformación máxima en prensa chapa (Elaboración propia).....	29
Ilustración 17. Esfuerzos máximos en prensa chapa (Elaboración propia).....	30
Ilustración 18. Propiedades Bronce SAE 64. (ASM Specialty Handbook - Copper and Copper Alloys).....	31
Ilustración 19. Factor de seguridad (Elaboración propia).....	32

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Disponibilidad de la Línea Anillo 1 GL para 2019. ....	10
Tabla 2. Información técnica de línea Anillo 1 GL .....	11
Tabla 3. Costo de corte de bobina Scroll. ....	12
Tabla 4. Costo de litografía.....	12
Tabla 5. Costo de corte Rescroll. ....	13
Tabla 6. Costo del proceso de troquelado para Anillo 1GL. ....	13
Tabla 7. Costo de aplicación de compuesto.....	14
Tabla 8. Causas principales de la No Disponibilidad y el Tiempo invertido en solución de falla. ....	14
Tabla 9. Causas de no disponibilidad para la prensa Anillo 1 GL.....	15
Tabla 10. Causas de no disponibilidad relacionadas con el atranque del retal. ....	15
Tabla 11. Tiempos de no disponibilidad debido a cada causa.....	15
Tabla 12. Unidades no producidas a causa de la no disponibilidad de la línea Anillo 1 GL.....	16
Tabla 13. Dinero no ingresado a la compañía por No disponibilidad de línea Anillo 1 GL Brillante.....	17
Tabla 14. Dinero no ingresado a la compañía por No disponibilidad de línea Anillo 1 GL Barnizado. ....	17
Tabla 15. Dinero no ingresado a la compañía por No disponibilidad de línea Anillo 1 GL. ....	18
Tabla 16. Propuesta de las alternativas para prensa chapa. ....	21
Tabla 17. Criterios de evaluación. ....	21
Tabla 18. Criterio de selección. ....	22

## 1. Resumen

El propósito de este informe es detallar el análisis de prefactibilidad en la implementación de un sistema prensa chapa de acuerdo con la información de causas de falla que se presenta en la línea de producción de Anillos 1 GL. Es así como se estudió las principales causas de falla en la línea de producción Anillo 1 GL, determinando que falla se podía intervenir con la implementación de la prensa chapa, en el cual se encontró que los atranques del retal a causa de no tener un sistema prensa chapa representaba el 78.2% de las fallas asociadas al troquel de Anillo 1 GL, y a su vez un 15.02% de las causas totales de no disponibilidad de la línea de producción. Estos valores de no disponibilidad represento para la empresa que dejara de ingresar 460.626.068,65 \$COP por la no producción de anillos 1 GL, de los cuales 55.045.579,14 \$COP corresponden a falla de atranques de retal por la no implementación de la prensa chapa. Además, se planteó tres sistemas de prensa chapa para la implementación y se seleccionó el sistema prensa chapa con accionamiento neumático, debido a la baja intervención en el diseño actual del troquel, la eficiencia en su función y la seguridad en el funcionamiento. Finalmente se encuentra que los costos de implementación del sistema prensa chapa representa un aproximado del 6.36% del dinero que le dejo de ingresar a la empresa por causas de atranque de retal en el troquel.

## 2. Introducción

En la industria del sector de empaques se producen diferentes tipos de envases, entre ellos está el envase de un galón que consta de tres accesorios, esto es, cuerpo, anillo y fondo; siendo el anillo formado en un proceso de troquelado coaxial en dos operaciones independientes. Además, la línea está compuesta por una maquina rebordeadora, aplicador de compuesto, sistema de transporte del accesorio anillo de galón y finalmente un organizador de producto. Actualmente PRODENVASES S.A.S cuenta con una línea de producción de anillos en la que se han presentado considerables fallas en la producción, debido a que la tira de acero laminado (*Chapa*) que se usa para troquelar se pliega al momento en el que el punzón (*macho de corte*) hace el corte, generando así atasques en la regla guía del troquel y desencadenando una serie de fallas a causa de esto, posteriormente parando la producción por mantenimiento y calibración de la máquina, por lo tanto, se busca hacer un análisis de prefactibilidad en el diseño y la implementación de un prensa chapa; analizando los tiempos de paros de producción generados por los atasques de la tira, mantenimiento y calibración del troquel y determinar los ingresos que la empresa deja de obtener a causa de estos. Además, de buscar un diseño, que se ajuste al diseño actual del troquel de anillo 1 galón y que ataque directamente el problema de atranques de la chapa, para así poder garantizar la eficacia del proceso de producción.

## 3. Objetivos

### 3.1 Objetivo general

Evaluar la prefactibilidad de un sistema prensa chapa para los troqueles de anillo 1GL, con el fin de aumentar la disponibilidad de la línea 7 % y así reducir los costos de operación y mantenimiento.

### 3.2 Objetivos específicos

- Analizar la disponibilidad de la línea de producción de anillo 1GL del último año, con el fin de identificar los tiempos por paros que pueden eliminarse o reducirse mediante un sistema de prensa chapa.
- Indagar cuales son las causas principales que afectaron los resultados de disponibilidad del último año en la línea de producción de anillo 1GL.

- Plantear diferentes sistemas de prensa chapa, examinando múltiples opciones que se ajusten al diseño original del troquel, de tal forma que la intervención en el diseño total del sistema sea mínima.
- Seleccionar y diseñar un sistema prensa chapa para los troqueles actuales, que cumpla las condiciones dimensionales, geométricas y estructurales, y así permitan una correcta operación y mejora de su funcionamiento.

#### 4. Marco teórico

El troquelado es un proceso de manufactura comúnmente usado cuando se requieren grandes cantidades de un producto, esto implica la transformación, corte, doblado, embutido de chapas metálicas que generalmente se trabaja en frío con espesor determinado desde  $0.025\text{ mm}$  a  $9\text{ mm}$  (Castillo, 2001). Para generar un troquelado, se necesitan dos herramientas sumamente importantes: la prensa y el troquel.

Según Montaña (2004), la prensa es la encargada de generar los golpes o impactos con la fuerza necesaria para generar el troquelado, existen diferentes tipos de prensas tales como las accionadas por un cigüeñal, un eje excéntrico o con un pistón hidráulico. Por otro lado, el troquel es quien se encarga de dar forma y tamaño a la chapa para lograr el producto esperado; el troquel está formado principalmente por dos bases conocidas como superior e inferior, por lo general, en la base superior se encuentra el punzón y en la base inferior la matriz de corte. Además de los elementos ya mencionados, se presentan los mostrados a continuación en la ilustración 1.

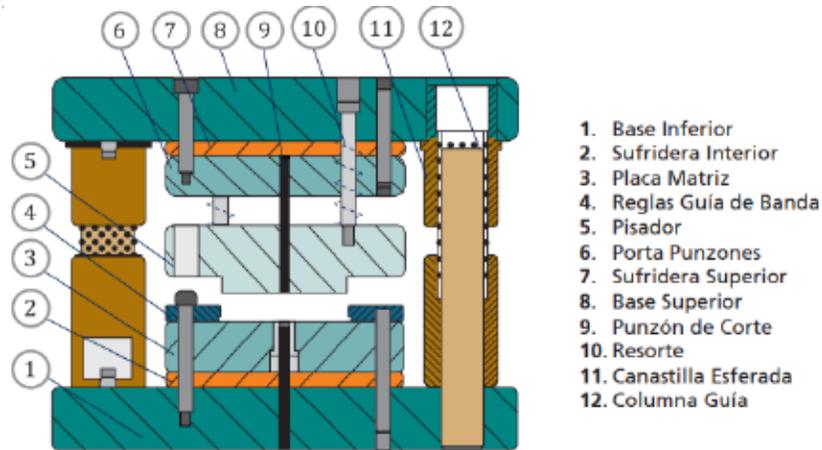


Ilustración 1. Partes de un troquel. (Montes, 2019)

Cuando se hace el proceso de corte, la chapa tiende a adherirse al punzón, en este tipo de situaciones es necesario el uso de prensa chapas o placas de extracción que eviten esta falla (Montes, 2019). Existe dos formas de diseño de estos elementos: fijas o flotantes.

- Prensa chapa fija: Están ubicadas en la base inferior y se sujetan sobre las reglas guía o directamente de la matriz de corte, ilustración 2.

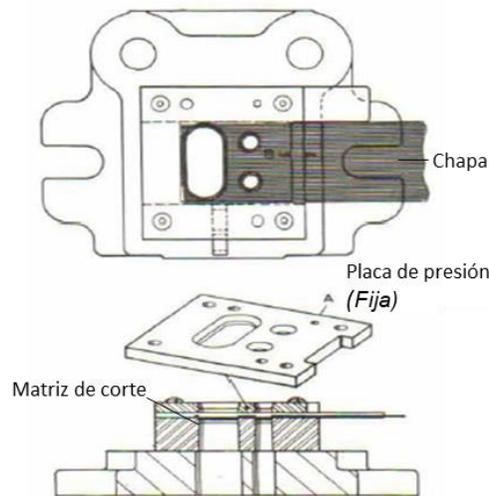


Ilustración 2. Prensa chapa fija. (Montes, 2019).

- Prensa chapa flotante: Este tipo de placas de extracción son usados en troqueles coaxiales con exposición de matriz, además pueden ser usadas en la base inferior o superior, su forma de accionamiento puede ser elástico mediante resortes o de forma neumática, ilustración 3.

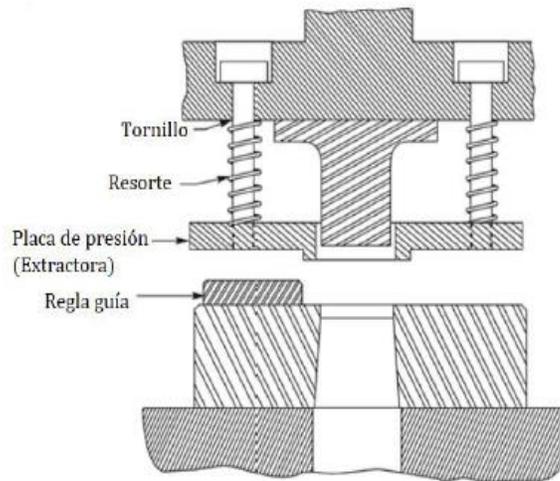


Ilustración 3. Prensa chapa flotante. (Montes, 2019).

Además de los sistemas mostrados, PRODENVASES incorpora en sus troqueles un sistema de prensa chapa con una configuración geométrica similar a un pistón, que desliza en los machos de corte superiores y que es totalmente accionado neumáticamente, ilustración 4.

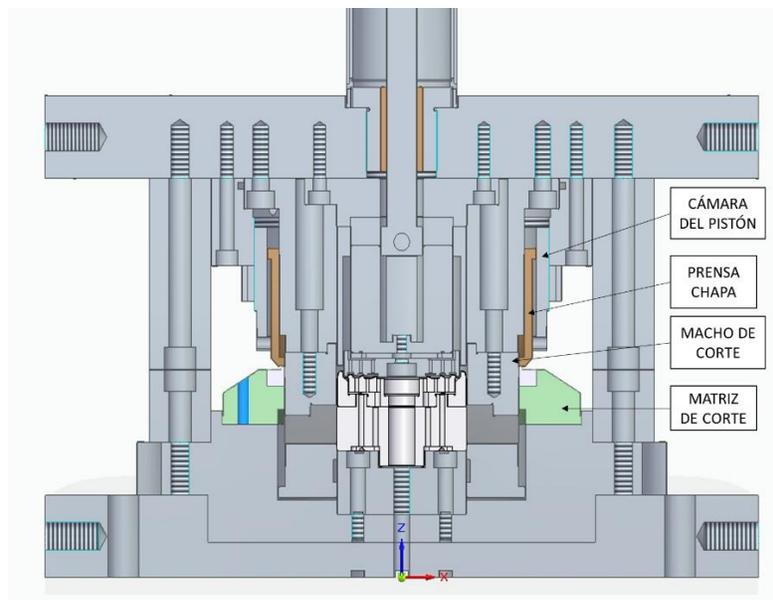


Ilustración 4. Prensa chapa tipo pistón (Prodenvases, 2020).

Montes (2019), especifica que la presión que debe generar la prensa chapa está determinada por la fuerza de extracción, que se determina de la siguiente forma:

$$Fe = 2.5 \times p \times t$$

*Ecuación 1. Fuerza extractora*

Donde:

$Fe$ = Fuerza de extracción [Kg.f]

$p$ = Perímetro de corte [mm]

$t$ = Espesor de lámina [mm]

Así mismo, Montes (2019), determina que el espesor de la prensa chapa, en el caso de ser flotante o fija, se calcula de la siguiente manera:

$$Ep = k\left(\frac{w}{30} + 2t\right)$$

*Ecuación 2. Espesor de prensa chapa.*

Donde:

$Ep$ = Espesor de prensa chapa [mm]

$k$ = Factor de seguridad, puede variar entre 1.4 y 1.6

$t$ = Espesor de lámina [mm]

$w$ = Ancho de lámina (mm)

En cuanto a elementos que generan la retracción de la prensa chapa, en el mercado se encuentran diferentes opciones como muelles de plato de acuerdo a la norma **DIN 2093**, resortes Helicoidales según norma **ISO 10243** denominados de carga liviana codificado como color verde, carga intermedia codificado como color azul, carga pesada codificado como color rojo y carga extrapesada codificada como color amarillo; y finalmente cauchos o colchones de uretano.

## 5. Metodología

De acuerdo con las actividades planteadas para el desarrollo de los objetivos que se querían alcanzar en este trabajo, lo primero que se realizó fue hacer una consulta de los históricos de disponibilidad en el año 2019 de la línea troquel Anillo 1 GL. La variación en la disponibilidad está determinada por las fallas presentadas en los tiempos programados de operación de la línea, entre los cuales se presentan ajustes de la prensa y el troquel, mantenimiento de los cortantes del

troquel y ajuste de los demás componentes presentes en la línea, los cuales se detallan en la sección de causas de no disponibilidad de la Línea Anillo 1 Gl en la Tabla 1.

En efecto, los valores encontrados de disponibilidad para la línea Anillo 1 Gl de acuerdo al año 2019 son los mostrados en la Tabla 1.

Tabla 1. *Disponibilidad de la Línea Anillo 1 GL para 2019.*

Enero	76,7%
Febrero	83,5%
Marzo	79,1%
Abril	89,3%
Mayo	97,6%
Junio	100,0%
Julio	100,0%
Agosto	92,4%
Septiembre	80,5%
Octubre	75,4%
Noviembre	96,0%
Diciembre	87,8%

Según estos datos, el promedio anual de disponibilidad en el año 2019 de la línea Anillo 1 GL fue del **88.2 %**, entonces se plantea el crecimiento de disponibilidad a lograr con la implementación de la prensa chapa en **6,8%** para poder alcanzar una disponibilidad esperada de la Línea Anillo 1 GL de 95%.

Luego se procedió a analizar los tiempos de No disponibilidad de la Línea Anillo 1 Gl de acuerdo a los datos encontrados en las fallas generales de la línea, estos indicaron que el tiempo total de No Disponibilidad fue de **22,426.467** minutos, que equivalen a **373.77** horas y así mismo a **46.72** turnos para ese año. Con este importante dato y sabiendo que la producción de anillos de galón se centra en dos tipos de anillo, los cuales son Anillo Brillante y Anillo Laca gris o Barnizado con una producción promedio de **72%** y **28%** respectivamente. Además, conociendo el valor de venta por cada anillo y la producción de anillos por minuto del troquel se pudo determinar el total de dinero que dejó de ingresar a la compañía por causa de no disponibilidad de la línea Anillo 1 GL. De este análisis se determinó que el total de dinero que dejó de ingresar a la compañía fue de **460.626.068,65 \$COP** (Cuatrocientos sesenta millones, seiscientos veinte seis mil, sesenta y ocho

pesos) indirectamente por la no producción de estos accesorios. Estos datos se especifican más claramente en la Tabla 2.

Tabla 2. *Información técnica de línea Anillo 1 GL.*

Troquelados por minuto en Prensa Anillo 1 Gl	76
Tiempo total de no disponibilidad de la línea Anillo 1 GL Para el año 2019	22.426,47
Total, de anillos no producidos por no disponibilidad de la línea Anillo 1 GL	1.704.411,49
Costo por unidad Brillante (\$COP)	262,81
Costo por unidad Barnizado (\$COP)	289,40
Porcentaje de unidades Brillantes producidas en el año 2019	72%
Porcentaje de unidades Barnizadas producidas en el año 2019	28%
Unidades Brillantes No producidas en el año 2019	1.227.176,27
Unidades Barnizadas No producidas en el año 2019	477.235,22
Dinero que se dejó de producir por no disponibilidad de línea Anillo 1 GL (\$COP)	460.626.068,65

Los costos de cada anillo son determinados por cada uno de los procesos que se hacen para la formación de este, y de igual forma lo que complementa cada proceso. Entonces el costo total se determina de la siguiente forma.

- a) **Proceso de corte de bobina:** este proceso se da lugar cuando se tiene la materia prima (Hoja lata en bobina o rollo) y se corta a un tamaño determinado del cual se formarán 20 anillos posteriormente. También es conocido como corte de primer scroll o simplemente scroll y conlleva los siguientes costos por unidad, que son mostrados en la Tabla 3.

Tabla 3. *Costo de corte de bobina Scroll.*

Complemento	Anillo Barnizado	Anillo Brillante
Energía	0.68 \$COP	0.68 \$COP
Mano de obra directa	1.23 \$COP	1.23 \$COP
Mano de obra indirecta	0.79 \$COP	0.79 \$COP
Depreciación de la maquina	1.03 \$COP	1.03 \$COP
Suministros	0.11 \$ COP	0.11 \$ COP
Otros	0.20 \$COP	0.20 \$COP
Total	4.04 \$COP	4.04 \$COP

- b) **Litografía:** en este proceso se aplica el barnizado a la lámina y conlleva los siguientes costos por unidad mostrados en la Tabla 4.

Tabla 4. *Costo de litografía.*

Complemento	Anillo Barnizado	Anillo Brillante
Energía	0.1 \$COP	N/A
Materia prima	15.10 \$COP	N/A
Reparación y MTTO	0.94 \$COP	N/A
Mano de obra directa	4.69 \$COP	N/A
Mano de obra indirecta	1.36 \$COP	N/A
GAS	1.43\$COP	N/A
Depreciación de la maquina	0.65 \$COP	N/A
Suministros	1.80 \$COP	N/A
Otros	0.51 \$COP	N/A
Total	26.58 \$CO	

- c) **Proceso de Corte Rescroll:** En este corte se saca la tira, la cual será con la que se alimentará el troquel de anillo 1 GL, este proceso es conocido como scroll secundario o Rescroll y conlleva los siguientes costos por unidad producida y son mostrados en la Tabla 5.

Tabla 5. *Costo de corte Rescroll.*

Complemento	Anillo Barnizado	Anillo Brillante
Energía	0.58 \$COP	0.58 \$COP
Materia prima	N/A	N/A
Reparación y MTTO	0.62 \$COP	0.62 \$COP
Mano de obra directa	2.36 \$COP	2.36 \$COP
Mano de obra indirecta	1.36 \$COP	1.36 \$COP
GAS	N/A	N/A
Depreciación de la maquina	0.86 \$COP	0.86 \$COP
Suministros	0.10 \$COP	0.10 \$COP
Otros	0.26 \$COP	0.26 \$COP
Total	6.14 \$COP	6.14 \$COP

- d) **Proceso de troquelado:** En esta etapa se genera el Anillo de primera operación, el costo de los complementos de esta operación para cada unidad producida se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6. *Costo del proceso de troquelado para Anillo 1GL.*

Complemento	Anillo Barnizado	Anillo Brillante
Energía	5.19 \$COP	5.19 \$COP
Materia prima	N/A	N/A
Reparación y MTTO	5.54 \$COP	5.54 \$COP
Mano de obra directa	21.06 \$COP	21.06 \$COP
Mano de obra indirecta	12.15 \$COP	12.15 \$COP
GAS	N/A	N/A
Depreciación de la maquina	7.67 \$COP	7.67 \$COP
Suministros	0.86 \$COP	0.86 \$COP
Otros	2.27 \$COP	2.27 \$COP
Total	54.74 \$COP	54.74 \$COP

- e) **Aplicación de Compuesto:** En este proceso se aplica una capa de compuesto o goma para garantizar hermeticidad en procesos posteriores de ensamble del producto final envase 1 GL, el costo de sus complementos para cada unidad se detalla en la Tabla 7.

Tabla 7. Costo de aplicación de compuesto.

Complemento	Anillo Barnizado	Anillo Brillante
Energía	N/A	N/A
Materia prima	4.76 \$COP	4.76 \$COP
Reparación y MTTO	N/A	N/A
Mano de obra directa	N/A	N/A
Mano de obra indirecta	N/A	N/A
GAS	N/A	N/A
Depreciación de la maquina	N/A	N/A
Suministros	N/A	N/A
Otros	N/A	N/A

De acuerdo a los valores mostrados anteriormente, se obtiene el costo total del Anillo Brillante (262.81 \$COP) y el Anillo Barnizado (289.40 \$COP). Valores que fueron empleados para determinar el dinero que dejó de recibir la empresa debido la falta de disponibilidad de la línea Anillo 1 GL (\$COP)

Siguiendo con el desarrollo del segundo objetivo y para determinar las causas de la no disponibilidad de la Línea Anillo 1 GL, se investigó en la planta de producción las fallas que se presentaron en el año 2019 y además se soportó en los registros históricos de fallas de la línea. Las causas principales de no disponibilidad se detallan en la Tabla 8.

Tabla 8. Causas principales de la No Disponibilidad y el Tiempo invertido en solución de falla.

Causas principales de la No Disponibilidad	Tiempo invertido en solución de falla [min]
Ajustes por falla en aplicador de compuesto	2725
Ajustes por falla en prensa	16520
Ajuste falla en Rebordeadora	310
Ajuste por Falla eléctrica	35
Ajuste por Falla mecánica	3146.4

Clasificando las problemáticas puntalmente a los fallos en los que se involucra directamente la prensa y el troquel, se encontraron las siguientes causas de no disponibilidad, mostradas en la Tabla 9.

Tabla 9. *Causas de no disponibilidad para la prensa Anillo 1 GL*

Causa de no disponibilidad	Tiempo invertido en solución de falla [min]
Ajuste de prensa por atranque de lámina	695
Ajuste de troquel por rebaba	1070
Ajuste de troquel por afilado de herramientas	530
Ajustes de troquel por atranques de retal	1080

Finalmente, se hace un filtro a las causas de no disponibilidad debido a problemas relacionados directamente con los atranques de Retal en el troquel. Estas causas se muestran en la Tabla 10.

Tabla 10. *Causas de no disponibilidad relacionadas con el atranque del retal.*

Causa de no disponibilidad	Tiempo invertido en solución de falla [min]
Ajuste de troquel por rebaba	1070
Ajuste de troquel por afilado de herramientas	530
Ajustes de troquel por atranques de retal	1080

Esta información se puede visualizar mejor en la Tabla 11, esto ayudará a dar claridad de lo que representan los fallos y como se justifica la implementación de la prensa chapa.

Tabla 11. *Tiempos de no disponibilidad debido a cada causa.*

Motivo de No Disponibilidad	Minutos	Total, Horas	Total, turnos
Tiempo total de no disponibilidad de la línea Anillo 1 GL Para el año 2019	22426,467	373,77	46,72
Tiempo total de no disponibilidad debido a problemas relacionados con fallas en el troquel Anillo 1 GL Para el año 2019	3.375,00	56,25	7,03
Tiempo total de no disponibilidad debido a problemas relacionados con atraques de Retal en el troquel Anillo 1 GL Para el año 2019	2.680,00	44,667	5,58

De acuerdo con el tiempo de producción de cada Anillo de galón, el cual está determinado como 76 Anillos por minuto se puede determinar cuántos anillos se dejaron de producir por la no

disponibilidad de la línea y debido a cada caso específico. Esta información se puede ver en la Tabla 12.

Tabla 12. *Unidades no producidas a causa de la no disponibilidad de la línea Anillo 1 GL.*

Unidades no producidas		
Total, anillos no producidos por no disponibilidad de la línea Anillo 1 GL	Total, anillos no producidos por problemas relacionados con fallas en el troquel de la línea Anillo 1 GL	Total, anillos no producidos por problemas relacionados con atranques de Retal en el troquel de la línea Anillo 1 GL
1.704.411,49	256.500,00	203.680,00

Estos valores indican que el problema relacionado por la falta de un sistema prensa chapa, representa el **79.41%** de los problemas que se presentan en el troquel y que además los paros en el troquel son los causantes del **15.05%** de la no disponibilidad total de la línea.

Así mismo, con esos tiempos de no disponibilidad se determina el dinero que dejó de ingresar a la compañía de acuerdo con el tipo de Anillo, estos valores se muestran en la Tabla 13 para Anillo brillante y en la Tabla 14 para Anillo Barnizado. Además, en la Tabla 15 se puede visualizar el dinero total que dejó de ingresar a la compañía de acuerdo con los porcentajes de producción de cada tipo de anillo.

Tabla 13. *Dinero no ingresado a la compañía por No disponibilidad de línea Anillo 1 GL Brillante.*

Costo de No Disponibilidad para Anillo 1GL Brillante		
Dinero que se dejó de producir por no disponibilidad de línea Anillo 1 GL Brillante	Total, anillos no producidos por problemas relacionados con fallas en el troquel de la línea Anillo 1 GL	Dinero que se dejó de producir por problemas relacionados con atranques de Retal en el troquel de Anillo 1 GL
\$COP 322.514.196,63	\$COP 48.535.750,80	\$COP 38.540.981,38

Tabla 14. *Dinero no ingresado a la compañía por No disponibilidad de línea Anillo 1 GL Barnizado.*

Costo de No Disponibilidad para Anillo 1GL Barnizado		
Dinero que se dejó de producir por no disponibilidad de línea Anillo 1 GL Barnizado	Dinero que se dejó de producir por problemas relacionados con fallas en el troquel de línea Anillo 1 GL	Dinero que se dejó de producir por problemas relacionados con atranques de Retal en el troquel de Anillo 1 GL
\$COP 138.111.872,02	\$COP 20.784.708,00	\$COP 16.504.597,76

Tabla 15. Dinero no ingresado a la compañía por No disponibilidad de línea Anillo 1 GL.

Costo de No Disponibilidad para Anillo 1GL		
Dinero que se dejó de producir por no disponibilidad de línea Anillo 1 GL	Dinero que se dejó de producir por problemas relacionados con fallas en el troquel de línea Anillo 1 GL	Dinero que se dejó de producir por problemas relacionados con atranques de Retal en el troquel de Anillo 1 GL
\$COP 460.626.068,65	\$COP 69.320.458,80	\$COP 55.045.579,14

## 6. Metodología de diseño

Con el fin de evitar las causas de no disponibilidad de la Línea Anillo 1 GL mencionadas en la Tabla 9 Se plantean tres modelos de prensa chapa que aplican para el sistema de acuerdo con la bibliografía:

1. Prensa chapa fijo sujeto a reglas guías.
2. Prensa chapa flotante con accionamiento por resorte.
3. Prensa chapa flotante con accionamiento neumático.

Con el fin de seleccionar la mejor opción, teniendo en cuenta una máxima eficiencia de la función de la prensa chapa y cumpliendo con la mínima intervención geométrica al diseño actual del troquel se procede a detallar cada una de las opciones.

**Prensa chapa fija sujeta a regla guía:** Este sistema usa principalmente la regla guía de desplazamiento de la tira a troquelar, actualmente este sistema es usado en la prensa de Anillo 1 Gl como se muestra en **Ilustración 5**. El modo de funcionamiento se basa en que la chapa pasa por la regla guía generando el trayecto de desplazamiento, luego cuando el macho efectúa el corte y comienza a ascender, la regleta evita que el retal quede adherido al macho de corte.

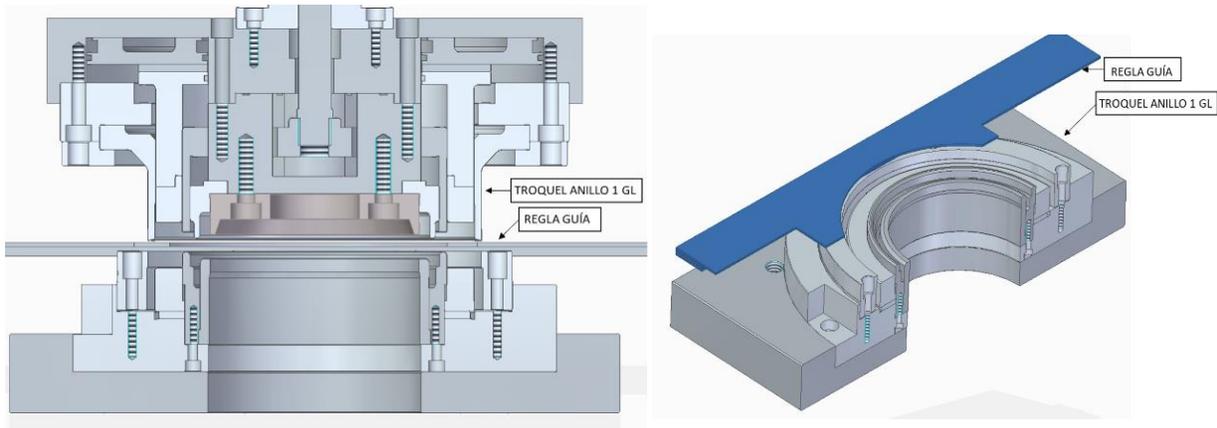


Ilustración 5. Regla guía como prensa chapa (Prodenvases, 2020).

Este sistema, aunque no representa interferencia con el diseño geométrico del troquel, es uno de los principales causantes de la no disponibilidad de la línea Anillo 1 GL, debido al atranque constante del retal en los bordes de la regleta a causa de la poca rigidez en el esqueleto del retal.

**Prensa chapa flotante con accionamiento por resorte:** Este sistema se ubica en la sección móvil del troquel, suspendido por medio de guías y accionado por resortes. El principio de funcionamiento de basa en sobresalir del macho de corte, con el fin de presionar la chapa antes que este descienda y efectúe el corte, sosteniendo la chapa durante el corte en el troquelado. Este sistema se aprecia en la Ilustración 6.

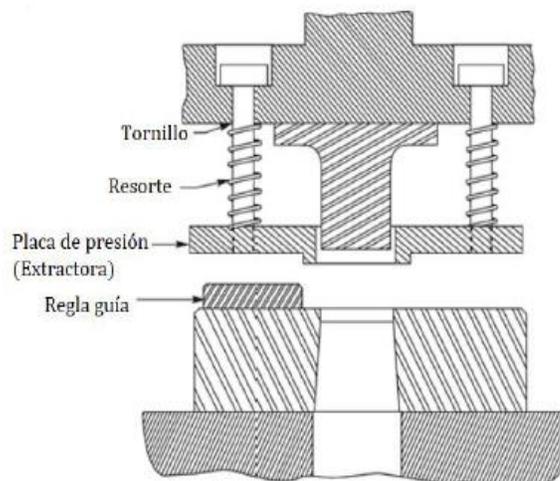


Ilustración 6. Prensa chapa flotante. (Montes, 2019).

Este sistema presenta una desventaja importante debido al movimiento repetitivo del troquel, se genera desajustes en los sistemas de sujeción del sistema y finalmente esto causa que la prensa

chapa se atraviese al momento de cerrar el troquel y producir estrellones en los cortantes del troquel.

**Prensa chapa flotante con accionamiento neumático:** El funcionamiento de este sistema es similar a la prensa chapa accionada por resorte, la diferencia principal está en el modo de sujeción con respecto al troquel. Este sistema usa el principio de funcionamiento de un pistón neumático, siendo la prensa chapa el accionador, el macho de corte la camisa interna y se anexa un cilindro que hace las veces de cámara exterior como se muestra en la Ilustración 7.

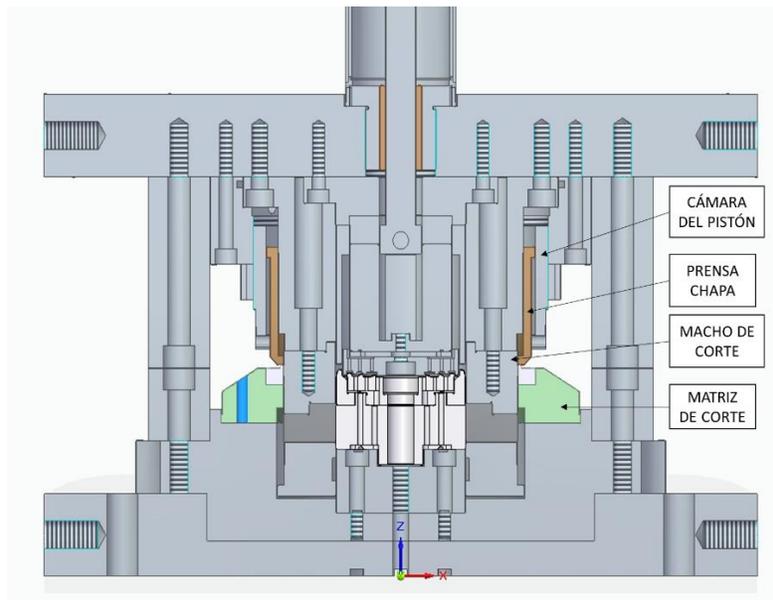


Ilustración 7. Prensa chapa con accionamiento neumático (Prodenvases, 2020).

### 7. Criterios de evaluación.

A través de la historia en PRODENVAS S.A.S se han implementado estas diferentes opciones de prensa chapa, encontrado diferentes comportamientos y ventajas al usar una de las opciones mencionadas. Así se plantea los criterios de evaluación y selección usando un modelo de diseño conceptual.

Para hacer el diseño conceptual, se planteó la propuesta de las diferentes alternativas como se muestra en la Tabla 16. Además, se definen los criterios de evaluación para la selección de cada uno de los sistemas planteados, ver Tabla17.

Tabla 16. Propuesta de las alternativas para prensa chapa.

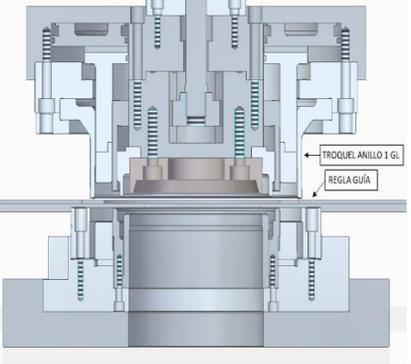
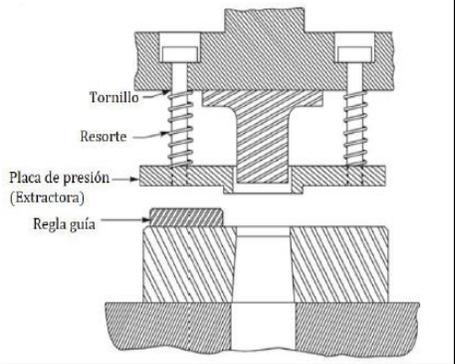
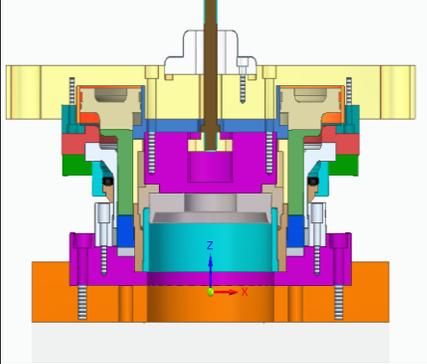
PROPUESTA:	SISTEMA PRENSA CHAPA TROQUEL ANILLO 1 GL		
ESQUEMAS			
ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3	
			
<p>Regla guía como prensa chapa (Prodevases, 2020).</p>	<p>Prensa chapa flotante. (Montes, 2019).</p>	<p>Prensa chapa con accionamiento neumático (Prodevases, 2020).</p>	
<p>Descripción: El modo de funcionamiento se basa en que la chapa pasa por la regla guía generando el trayecto de desplazamiento, luego cuando el macho efectúa el corte y comienza a ascender, la regleta evita que el retal quede adherido al macho de corte.</p>	<p>Descripción: Este sistema se ubica en la sección móvil del troquel, suspendido por medio de guías y accionado por resortes. El principio de funcionamiento se basa en sobresalir del macho de corte, con el fin de presionar la chapa antes que este descienda y efectúe el corte, sosteniendo la chapa durante el troquelado.</p>	<p>Descripción: Este sistema se ubica en la sección móvil del troquel y usa el principio de funcionamiento de un pistón neumático, que al sobresalir del macho de corte presiona la chapa antes que este descienda y efectúe el corte, sosteniendo la chapa durante el troquelado.</p>	

Tabla 17. Criterios de evaluación.

CRITERIOS DE EVALUACIÓN	DEFINICIÓN	EVALUACIÓN X		
		1	3	5
Geometría dimensional.	Complejidad en fabricación y montaje del sistema en troquel Anillo 1 GL.	Desmonte completo del troquel.	Desmonte parcial del troque.	Fácil montaje.
Intervención en diseño actual del troquel.	Modificación en el diseño actual del troquel y la prensa.	Modificación completa del diseño del troquel.	Modificación parcial del diseño del troquel.	Sin modificación del diseño del troquel.

Seguridad en implementación.	Confiabilidad en el ajuste de sujetadores del sistema durante el funcionamiento evitando causas de no disponibilidad de la línea.	Ajuste cada día de trabajo (0 a 3 turnos).	Ajuste cada 6 días de trabajo (3 a 18 turnos).	Ajuste cada 30 días de trabajo (18 a 90 turnos).
Efectividad en el funcionamiento.	Cumplimiento de la función.	No presiona la chapa (0 KN).	Presiona parcialmente la chapa (1000 KN -2500 KN).	Presiona la chapa (2500 KN -3300 KN).

Con el objetivo de tomar la mejor decisión, se planteó un criterio de selección asignando un peso a cada criterio de evaluación para finalmente seleccionar una alternativa que mejor se ajuste al proceso. Este criterio de selección se plantea de la siguiente manera como se indicas en la tabla 18.

Tabla 18. *Criterio de selección.*

<b>EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS</b>							
Criterios de Selección	PESO	Evaluación De Alternativa 1		Evaluación De Alternativa 2		Evaluación De Alternativa 3	
		X	X*PESO	X	X*PESO	X	X*PESO
Geometría dimensional	15%	5	0,75	3	0,45	3	0,45
Intervención en diseño actual del troquel	30%	5	1,5	3	0,9	3	0,9
Seguridad en funcionamiento	25%	1	0,25	3	0,75	5	1,25
Efectividad en el funcionamiento	30	1	0,3	5	1,5	5	1,5
<b>TOTAL</b>	100%		<b>2,8</b>		<b>3,6</b>		<b>4,1</b>

Después de analizar los criterios de selección, se determinó que la opción más viable es la alternativa 3, siendo esta, el sistema prensa chapa con accionamiento neumático, porque la intervención en el diseño del troquel actual es mínima, es decir, los accesorios para dicho sistema se acoplan de acuerdo a las dimensiones actuales del troquel sin necesidad de hacer alguna modificación importante y no afectan en el funcionamiento actual del troquel, también los costos de fabricación son bajos comparados con el dinero que representa las fallas causadas por la no

implementación del sistema. Finalmente, la configuración de este sistema prensa chapa garantiza un excelente funcionamiento y no representa problemas de seguridad en el caso que se presente un estrellón del troquel.

En este sentido, buscando la mínima intervención en el diseño actual del troquel, restringido por las alturas entre el Die set inferior y el Die set superior cuando el troquel está embutiendo (Ver Ilustración 9), se determina un diseño que cumpla con las restricciones geométricas.

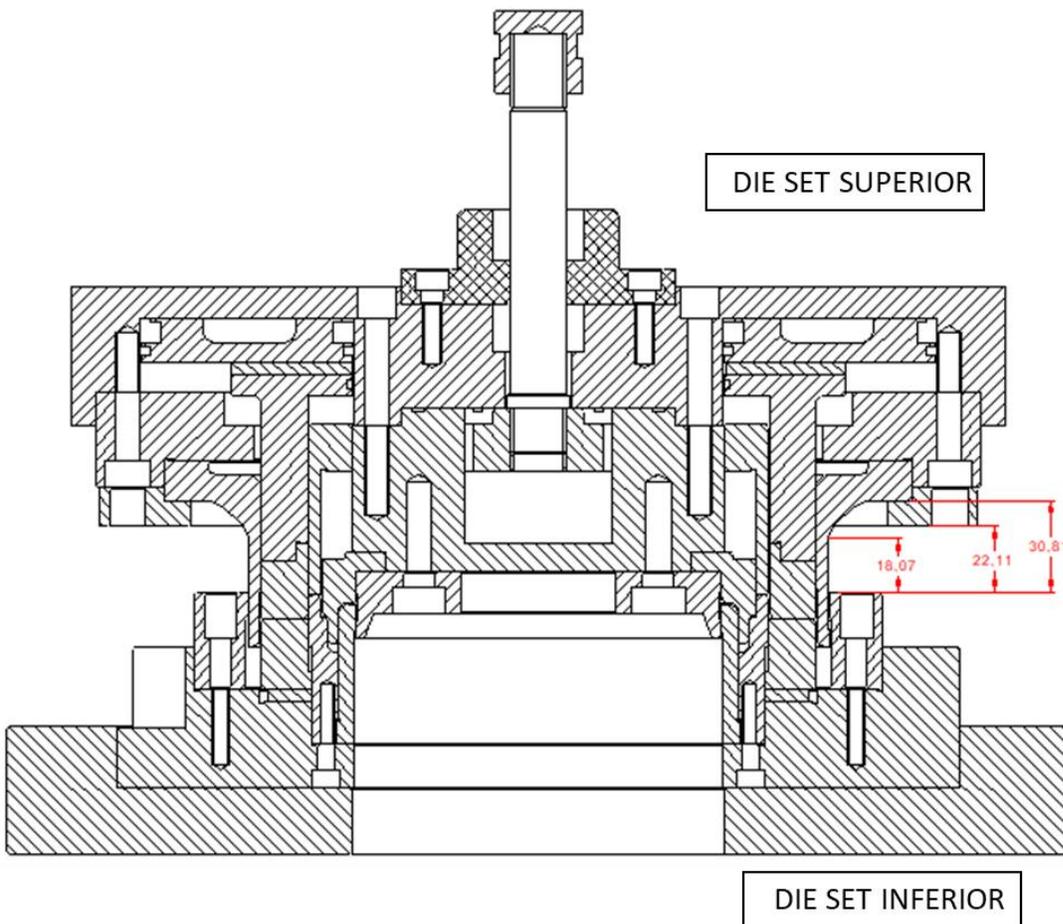


Ilustración 8. Alturas troquel Anillo 1 GL embutiendo (Prodenvas, 2020).

Teniendo en cuenta esas dimensiones, se determina el diseño de la prensa chapa y los accesorios necesarios para el correcto funcionamiento del sistema, siendo en total 3 diseños, ver ilustración 9.

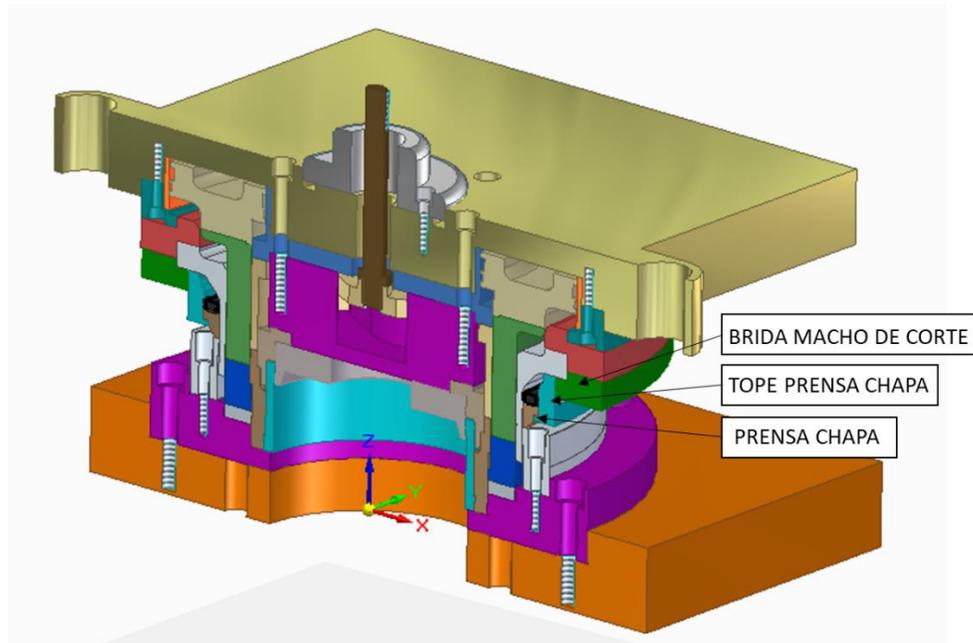


Ilustración 9. Componentes troquel Anillo 1 GL (Elaboración propia).

Como se mencionó anteriormente, el modo de funcionamiento de este sistema de prensa chapa se basa en el principio de un pistón, es así como el sistema completo queda determinado por la siguiente configuración. Para detallar el dimensionamiento de las piezas ver los Planos anexos a este documento (Prensa Chapa, Tope prensa chapa y Brida macho de corte).

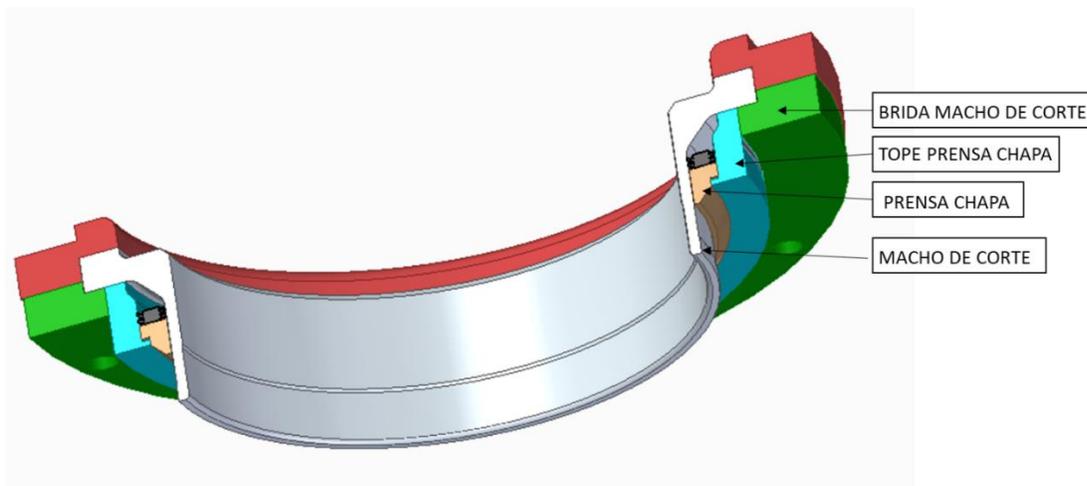


Ilustración 10. Configuración del sistema prensa chapa (Elaboración propia).

## 8. Optimización del diseño

Con el fin de determinar la viabilidad del diseño y los materiales a usar en la prensa chapa se hizo el cálculo de la presión neumática capaz de accionar la prensa chapa. Además, se realizó una validación de la geometría de acuerdo con el material con el fin de determinar las deformaciones que se podrían presentar en el funcionamiento de la prensa chapa.

Montes (2019), especifica que para determinar la presión que debe generar la prensa chapa está determinada por la fuerza de extracción (ecuación 1).

$$F_e = 2.5 \times p \times t$$

Donde:

$F_e$ = Fuerza de extracción [Kg.f].

$p$ = Perímetro de corte [mm].

$t$ = Espesor de lámina [mm].

$P$ = Presión neumática.

El perímetro está determinado por el diámetro de corte del anillo 1 GL el cual es  $\emptyset 194.29$  mm y un espesor de chapa de 0.21 mm. Entonces con estos datos se procede a calcular la fuerza de extracción.

$$p = \pi d = \pi * 194.29 \text{ mm} = 610.38 \text{ mm}$$

$$F_e = 2.5 \frac{\text{Kg.f}}{\text{mm}^2} \times 610.38 \text{ mm} \times 0.21 \text{ mm} = 320.45 \text{ Kg.f}$$

$$F_e = 3143.61 \text{ N}$$

Debido a que el accionamiento es neumático, se calcula la presión necesaria para la operación de la prensa chapa. De acuerdo con la Ilustración 11, el área en contacto con la presión neumática es:

$$A_{\text{contacto neumático}} = \frac{\pi}{4} (208.28^2 - 194.28^2) = 4426.38 \text{ mm}^2 = 0.004426 \text{ m}^2$$

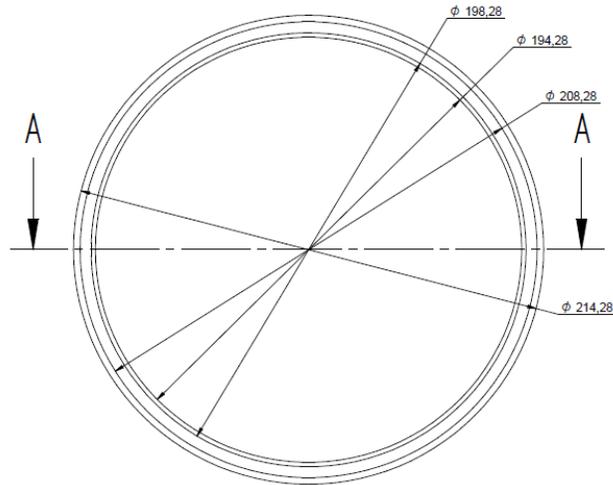


Ilustración 11. Dimensiones de prensa chapa (Elaboración propia).

De acuerdo con esos valores de área y fuerza de extracción la presión neumática a usar en la prensa chapa es:

$$P = \frac{Fe}{A_{\text{contacto neumático}}} = \frac{3143.61 \text{ N}}{0.004264 \text{ m}^2} = 710.19 \text{ Kpa} = 103 \text{ Psi}$$

Montes (2019), sugiere como material de fabricación para prensa chapa cobres con aleaciones como bronce al Aluminio o bronce con alto grado de estaño para soportar debido a las bajas cargas aplicadas por la prensa chapa. Uno de los materiales más usado para este tipo de componentes es el Bronce SAE 64 por su buen desempeño en funciones de troquelado, es así como se determina usar este material para la fabricación de la prensa chapa. También determina aceros para la fabricación de las demás piezas de troquel, siendo aceros comerciales para herramientas con durezas en estado de suministro. Así se sugiere usar acero AISI 4140 y AISI 4340 para las demás piezas del troquel, debido a que son materiales que se han usado en otros troqueles de la empresa y han tenido un buen comportamiento en el trabajo.

Con el fin de conocer el comportamiento del material cuando es sometido a la fuerza de extracción y determinar los esfuerzos y las deformaciones presentados en la pieza, se hizo una simulación por el método de Elementos Finitos usando la herramienta static Estructural del software ANSYS.

Entonces, para el material a usar en la simulación se cargan los valores establecidos para aleaciones de Cobre de la biblioteca de materiales propia de ANSYS, además se verifica similitud con los

valores reportados en ASM Specialty Handbook - Copper and Copper Alloys. En la Ilustración 12 se visualizan dichos parámetros.

Outline of Schematic A2: Engineering Data					
	A	B	C	D	E
1	Contents of Engineering Data			Source	Description
2	Material				
3	Copper Alloy				
4	Structural Steel				Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5 -110.1
*	Click here to add a new material				

Properties of Outline Row 3: Copper Alloy					
	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Material Field Variables	Table			
3	Density	8300	kg m <sup>-3</sup>		
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion				
6	Isotropic Elasticity				
7	Derive from	Young's Modulu...			
8	Young's Modulus	1,1E+11	Pa		
9	Poisson's Ratio	0,34			
10	Bulk Modulus	1,1458E+11	Pa		
11	Shear Modulus	4,1045E+10	Pa		
12	Tensile Yield Strength	2,8E+08	Pa		
13	Compressive Yield Strength	2,8E+08	Pa		
14	Tensile Ultimate Strength	4,3E+08	Pa		
15	Compressive Ultimate Strength	0	Pa		

Ilustración 12. Propiedades de aleaciones de cobre (Elaboración propia).

Además, se toman criterios para lograr una malla estructurada y lograr que los resultados por el método de Elementos finitos sean muy aproximados al comportamiento real de la pieza, es así que se discretiza la pieza en un numero finito de 70.212 elementos y una calidad ortogonal en promedio de 0.94, siendo este valor un indicador de malla estructurada, ver Ilustración 13.

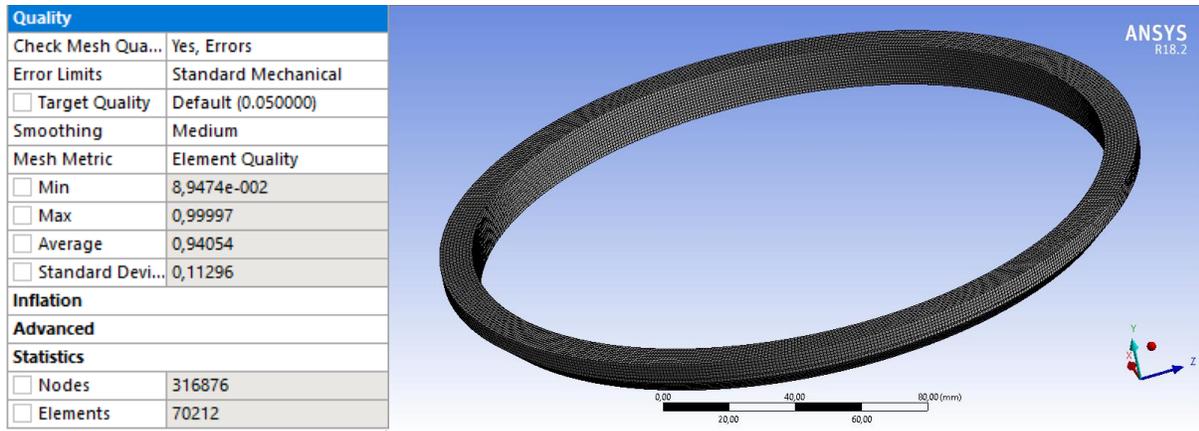


Ilustración 13. Calidad de Malla (Elaboración propia).

Las condiciones de carga están determinadas por la fuerza extractora definida anteriormente (Ver Ilustración 14), y un soporte de desplazamiento en la superficie de contacto entre la prensa chapa y la chapa metálica como se muestra en la Ilustración 15.

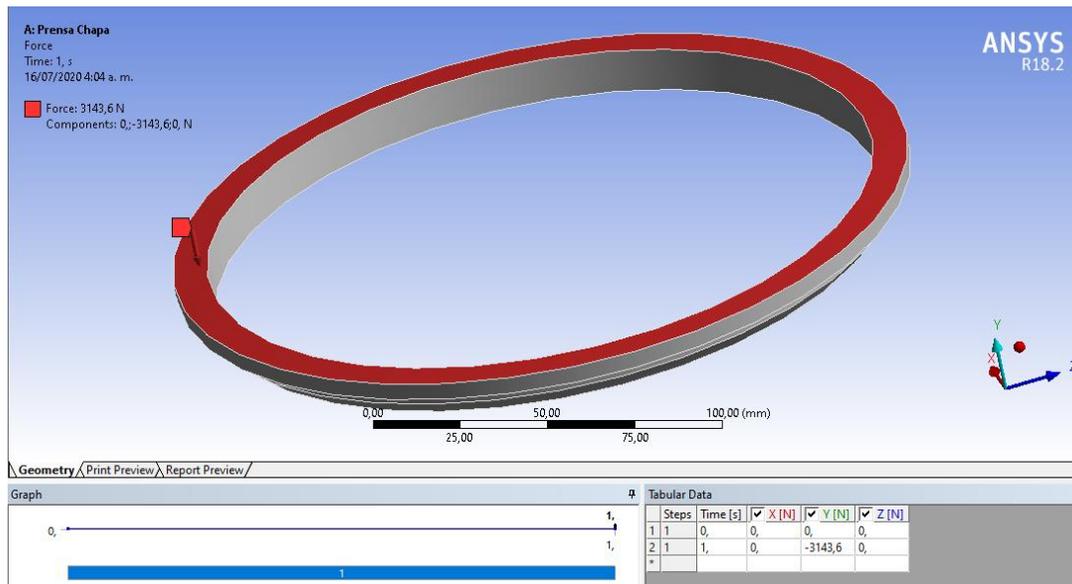


Ilustración 14. Condiciones de carga (Elaboración propia).

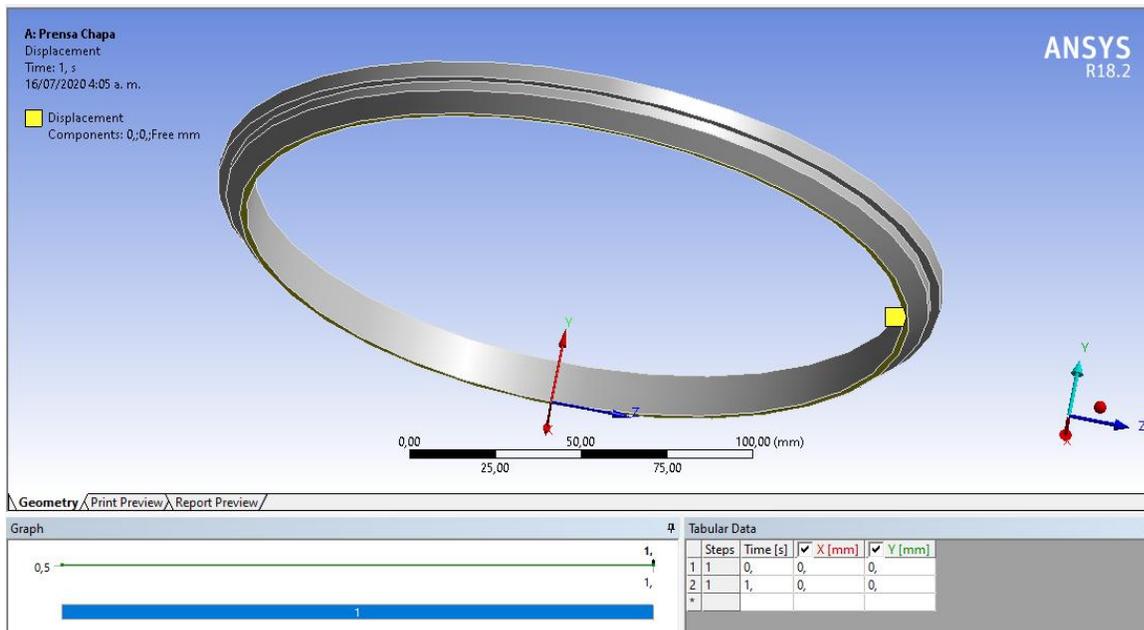


Ilustración 15. Condiciones de soporte (Elaboración propia).

Una vez se determinó las condiciones de frontera, los resultados obtenidos para la deformación máxima de la pieza fueron de 0.017 mm en la superficie de contacto, ver ilustración 15.

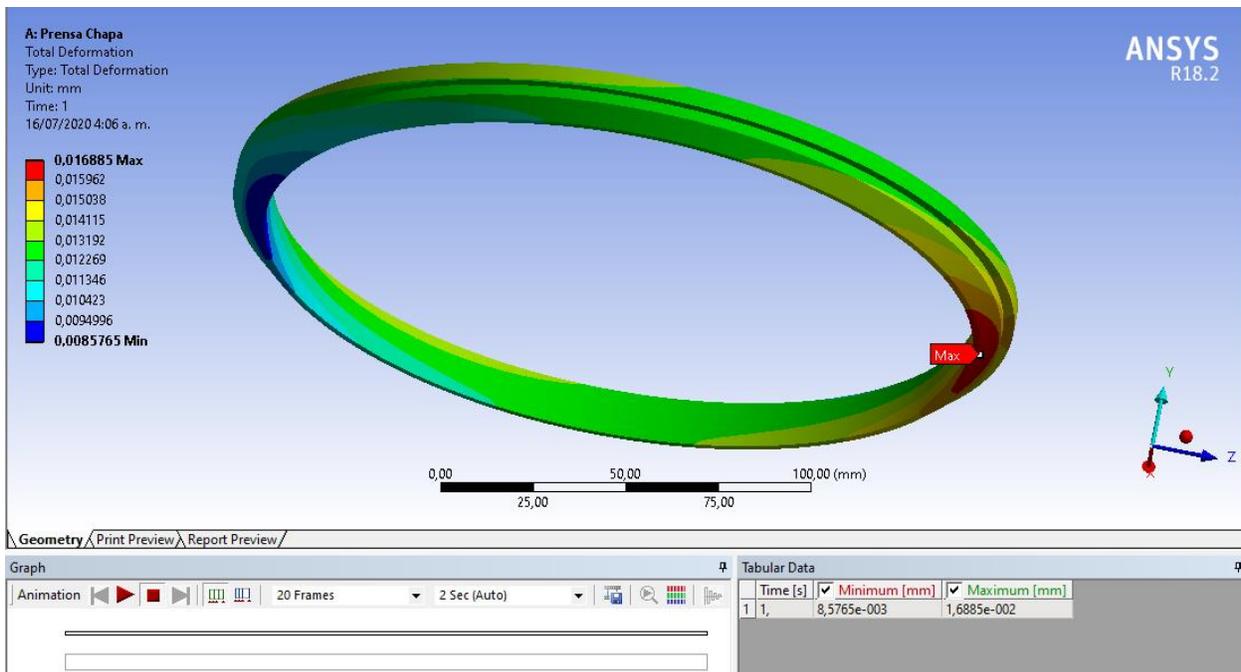


Ilustración 16. Deformación máxima en prensa chapa (Elaboración propia).

Así mismo, el esfuerzo máximo presentado en la pieza fue 17.991 Mpa, el cual no representa un problema debido a que el esfuerzo máximo permisible para el Bronce SAE 64 con un factor de seguridad de 2 es de 120 Mpa (Ver ilustración 17, 18). El Cálculo del esfuerzo permisible es determinado usando la siguiente ecuación:

$$\sigma_{admissible} = \frac{\sigma_{Ultimo}}{F_S}$$

Siendo

$\sigma_{admissible}$ : Esfuerzo admisible

$\sigma_{Ultimo}$ : Esfuerzo Ultimo

$F_S$ : Factor de seguridad

Entonces el esfuerzo permisible para un material Bronce SAE 64 es:

$$\sigma_{admissible} = \frac{240 \text{ Mpa}}{2} = 120 \text{ Mpa}$$

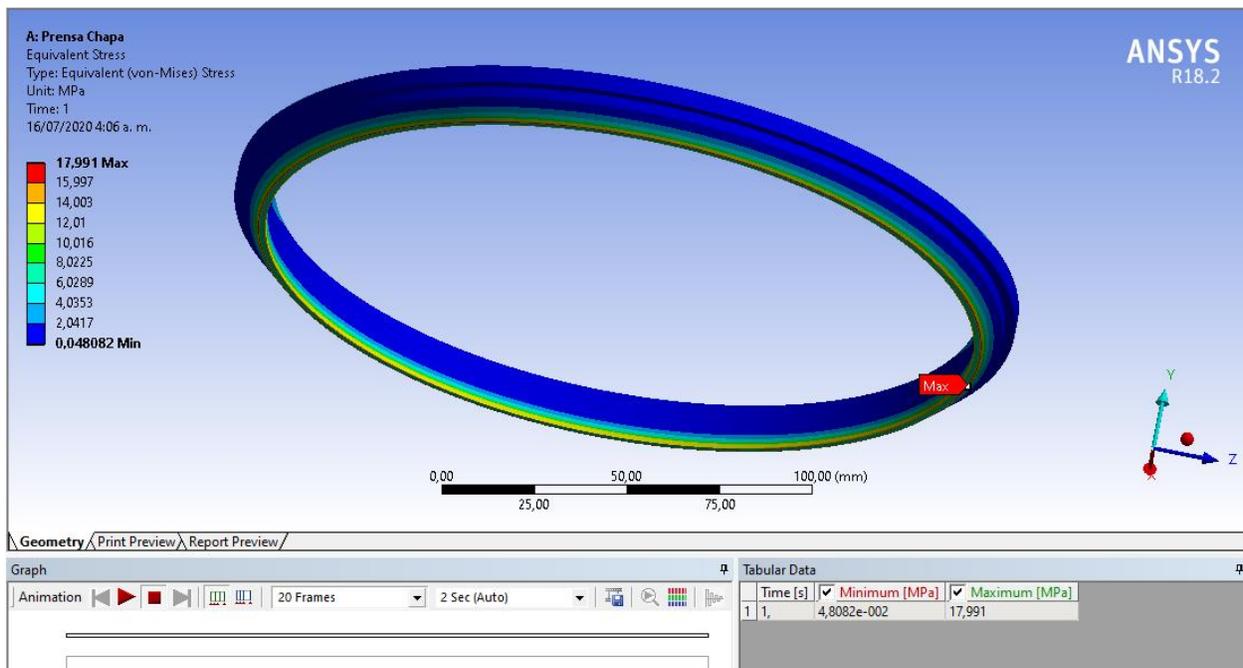


Ilustración 17. Esfuerzos máximos en prensa chapa (Elaboración propia).

### Bronze SAE 64

Categories: [Metal](#); [Nonferrous Metal](#); [Copper Alloy](#); [Bronze](#)

Key Words: Bronze 64; CDA 93700

Vendors: No vendors are listed for this material. Please [click here](#) if you are a supplier and would like information on how to add your listing to this material.

Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	8.88 g/cc	0.321 lb/in <sup>3</sup>	at 20 °C (68 °F)
Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Hardness, Brinell	60.0	60.0	
Hardness, Knoop	80.0	80.0	Estimated from Brinell
Hardness, Vickers	69.0	69.0	Estimated from Brinell
Tensile Strength, Ultimate	240 MPa	34800 psi	
Tensile Strength, Yield	125 MPa	18100 psi	0.2% Offset
Elongation at Break	29.0 %	29.0 %	in 5 cm
Modulus of Elasticity	76.0 GPa	11000 ksi	
Electrical Properties	Metric	English	Comments
Electrical Resistivity	0.0000170 ohm-cm	0.0000170 ohm-cm	
Thermal Properties	Metric	English	Comments
Thermal Conductivity	46.9 W/m-K	325 BTU-in/hr-R <sup>2</sup> -°F	
Melting Point	762 - 929 °C	1400 - 1700 °F	
Solidus	762 °C	1400 °F	
Liquidus	929 °C	1700 °F	
Material Components Properties	Metric	English	Comments
Copper, Cu	80.0 %	80.0 %	
Lead, Pb	10.0 %	10.0 %	
Tin, Sn	10.0 %	10.0 %	

Ilustración 18. Propiedades Bronce SAE 64. (ASM Specialty Handbook - Copper and Copper Alloys).

En la búsqueda de optimizar la fabricación de la pieza, se calcula el factor de seguridad respecto a las cargas y la configuración dimensional se encuentra un factor de seguridad de 15 para dichas propiedades de material, y debido a la restricción geométrica en el diseño del troquel se decidió usar el Bronce SAE 64 como material de fabricación de la prensa chapa. Ver ilustración 19.

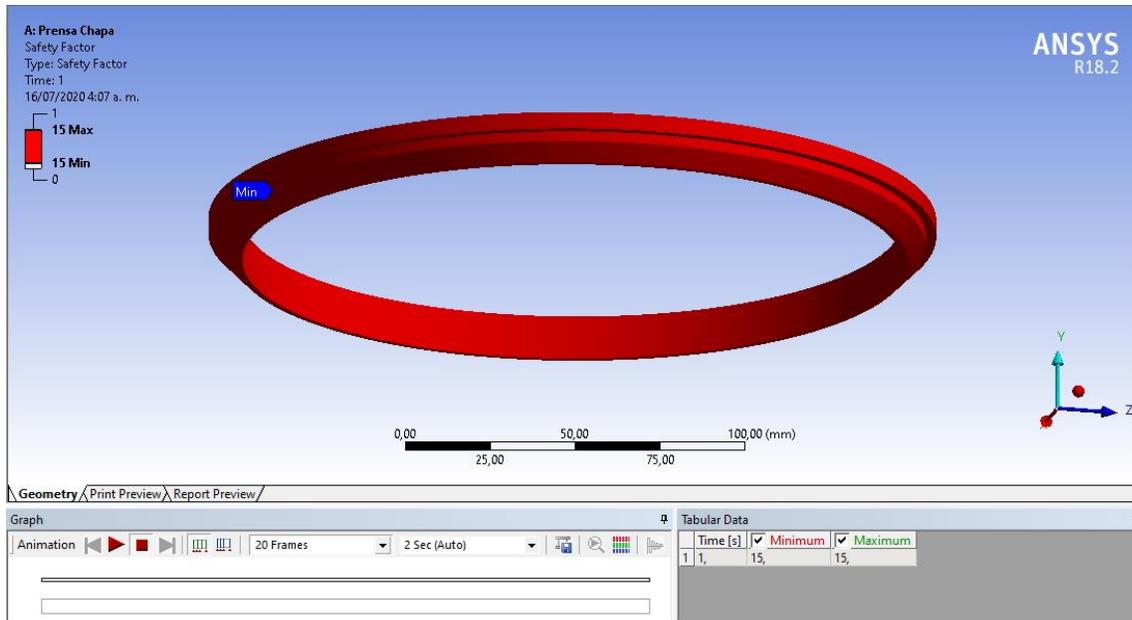


Ilustración 19. Factor de seguridad (Elaboración propia).

## 9. Resultados

Con el fin de definir las acciones para que se logre aumentar en un 7 % la disponibilidad de la línea Troquel anillo 1 GL, se hizo un estudio de costos para determinar el dinero que dejó de ingresar a la empresa PRODENVASES por la no disponibilidad de la Línea Anillo 1 GL, este valor fue de 460.626.068,65 \$COP, de los cuales 55.045.579,14 \$COP fueron por problemas relacionados con atranques de Retal en el troquel de Anillo 1 GL.

Se definió un diseño para la implementación de un sistema prensa chapa para el troquel Anillo 1 GL, con el fin de disminuir las causas de no disponibilidad en la línea de producción. El diseño seleccionado fue una prensa chapa con accionamiento neumático, garantizando la mínima intervención en el diseño actual del troquel. Para la implementación de este sistema es necesario la fabricación de 4 piezas, las cuales son: Prensa chapa, tope prensa chapa, brida macho de corte y un anillo retenedor de neopreno de doble labio para la cámara neumática.

La fabricación de estas piezas, sin el anillo retenedor, tiene un costo 2.867.900 \$COP.

Teniendo en cuenta estos costos de fabricación, y sumando costos de otros elementos necesarios para el montaje del sistema como accesorios neumáticos y el anillo de retención de doble labio, la implementación del sistema podría costar un aproximado de 3.500.000 \$COP.

## 10. Conclusiones

El 78.2% de las causas de falla en el troquel de Anillo 1 GL es debido al atranque del retal en el troquel, lo cual causa que a la empresa PRODENVASES le deje de ingresar 55.045.579,14 \$COP por la no fabricación de anillos 1 GL en el año 2019 a causa de no tener implementado un sistema prensa chapa.

Las fallas en el troquel de Anillo 1 Gl representa el 15.05% de las causas de no disponibilidad de la Línea Anillo 1 Gl, lo cual indica que hay factores importantes que están afectando la disponibilidad y que deben ser intervenidos en próximas ocasiones. Además, la no disponibilidad de la línea Anillo 1 GL para el año 2019 representó que a la empresa le dejara de ingresar 460.626.068,65 \$COP.

La inversión para la implementación del sistema prensa chapa por accionamiento neumático representa un aproximado del 6.36% del dinero que le dejo de ingresar a la empresa por causas de atranque de retal en el troquel.

La implementación del sistema prensa chapa seleccionado no interfiere con el diseño geométrico actual del troquel, ni modifica la forma de funcionamiento en operación.

## 11. Referencias

- Castillo, J. (2001). Desarrollo de una técnica de diseño de troqueles de alta velocidad para producir laminación rotor – estator grapado. (Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Nuevo León). Recuperado de: <http://eprints.uanl.mx/5316/1/1020148999.PDF>
- Montaño, J. (2004). Formado de Metales y Trabajo con Lamina Metálica. Introducción a los procesos de manufactura. (pp. 137-267). Cochabamba: Universidad Mayor de San Simón. Tomado de: <http://materias.fcyt.umss.edu.bo/tecno-II/>
- Montes, H. (2019). Diseño de un troquel. Medellín: Institución Universitaria Pascual Bravo.
- Ocampo, D. (2018). Diseño de un troquel progresivo como material didáctico para un curso de procesos de manufactura. (Tesis de grado, Universidad de Costa Rica). Recuperado de: <http://www.kerwa.ucr.ac.cr/handle/10669/78377>

## 12. Bibliografía

ASM Specialty Handbook - Copper and Copper Alloys, edited by Joseph R. Davis, Davis & Associates, ASM International, Metals Park, OH, (2001). Recuperado de: <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=374764f6b3604247b29eb837ca23945b&ckck=1>

Hibbeler. R. (2006). Mecánica de materiales. [Traducido al español de Mechanics of Materials]. México: Pearson.

Rodríguez, A. (2010). Simulación mediante el método de los elementos finitos de una estructura metálica. (Tesis de grado, Universidad Carlo III de Madrid). Recuperado de: [https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/11571/PFC\\_Adrian\\_Martin\\_Rodriguez.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/11571/PFC_Adrian_Martin_Rodriguez.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

## 13. Anexos

1. Plano Prensa Chapa
2. Plano Tope Prensa Chapa
3. Plano Brida Macho de Corte
4. Cotización de fabricación de piezas- Taller JIOTO