

DISEÑO DE PRENSA EXCÉNTRICA UTILIZANDO LA METODOLOGÍA DMAIC
PARA LA FABRICACIÓN DE ESQUINEROS TDC MEDIANTE TROQUELADO EN
FRÍO.

ISAAC DANIEL BUELVAS DORIA
DAVID RAFAEL CONEO CASTRO

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
MECÁNICA
INGENIERÍA MECÁNICA
MONTERÍA

2023

DISEÑO DE PRENSA EXCÉNTRICA UTILIZANDO LA METODOLOGÍA DMAIC
PARA LA FABRICACIÓN DE ESQUINEROS TDC MEDIANTE TROQUELADO EN
FRÍO.

ISAAC DANIEL BUELVAS DORIA
DAVID RAFAEL CONEO CASTRO

Trabajo de grado para optar al título de
INGENIERO MECÁNICO

Asesor

LUIS GUILLERMO RIVEROS ALMANZA
INGENIERO MECÁNICO

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
MECÁNICA
INGENIERÍA MECÁNICA
MONTERÍA

2023

CONTENIDO

1	Introducción	8
2	Justificación	10
3	Objetivos.....	11
	3.1 Objetivo general	11
	3.2 Objetivos específicos	11
4	Estado del arte	12
5	Marco teórico	22
	5.2 Troquelado.....	22
	5.1 Historia del troquelado.	24
	5.2.1 Tipos de troquelado.	25
	5.2.2 Tipos de troqueles.	26
	5.2.3 Partes de un troquel.	31
	5.2.4 Fases de operación de corte.	32
	5.3 Materiales y Tratamientos Térmicos.....	32
	5.4 Esfuerzo- deformación.	34
	5.5 Tipos de metodología para diseño basado en ingeniería concurrente.....	35
	5.5.1 Ingeniería concurrente	35
	5.5.2 Principios de DFM	35
	5.6 Factor de selección.....	36
	5.7 Tipos de máquinas empleadas para troquelado.	37
	5.7.1 Servoprensa.....	37
	5.7.2 Prensa hidráulica.....	39
	5.7.3 Prensa mecánica.....	42
	5.7.4 Prensa neumática.....	44
6	Metodología	47
	6.5 Selección de metodología y parámetros de diseño.....	48
	6.5.1 Diseño para manufactura.....	48
7	Resultados.....	49
	7.1 Parámetros de diseño.....	49
	7.1.1 Dimensiones de la pieza.....	49
	7.1.2 Propiedades de la lámina para la fabricación de la pieza.	50
	7.1.3 Secuencia de corte de la pieza.	50
	7.1.4 Fuerza de corte.....	51
	7.2 Metodología y materiales para el diseño del troquel para la fabricación de la pieza. ...	52

7.3 Diseño troquel.....	55
7.3.1 Diseño modelo de troquel en madera.	58
7.4 Cuadrado comparativo de máquinas.	60
7.5 Evaluación de máquinas según criterios de diseño.....	61
7.6 Selección de motor.	63
7.7 Estructura para la fabricación de prensas.....	69
7.8 Análisis de detalle de elementos.	71
7.8.1 Análisis eje principal.	72
7.9.2 Análisis pasador barra de unión troquel.	81
7.9.3 Análisis de biela.	82
7.9.4 Análisis pasador embrague.	85
7.9.5 Análisis de chaveta.	86
7.9.6 Análisis estructura	87
8. Conclusiones	90
9. Recomendaciones.....	91
10. Referencias	92
11. Anexos	95
10.1 Cotización.....	95
10.2 Planos prensa excéntrica troqueladora.....	99
10.3 Plano esquineros TDC.....	99

Índice de imágenes.

Imagen 1. Prensa manual. (Muryeti, Purnama Sari, Prastiwinarti, Imam, & Ningtyas, 2018)	13
Imagen 2. Cálculo de fuerza de corte. (Villa Martínez, 2019)	14
Imagen 4. Troquel simple. (Barrientos Choccata, Cuchula Diego, & Ore Jesus, 2022)	27
Imagen 5. Troquel progresivo. (Barrientos Choccata, Cuchula Diego, & Ore Jesus, 2022)	28
Imagen 6. Troquel de corte. (Abascal-Escribano, 2014)	28
Imagen 7. Troquel de embutición. (Abascal-Escribano, 2014)	29
Imagen 8. Troquel de doblado. (Ochoa Posada, 2012)	29
Imagen 9. Troquel simple. (Abascal-Escribano, 2014)	30
Imagen 10. Troquel compuesto. (Tovar, 2019)	30
Imagen 11. Troquel progresivo. (Marposs, 2018)	31
Imagen 12. Partes básicas de un troquel. (Marín Villar, 2009)	31
Imagen 13. Pasos del troquelado. (Alvarez Bermudes, 2009)	32
Imagen 14. Curva esfuerzo-deformación. (William, 1998)	34
Imagen 15. Servoprensa. (Komatsu Press, s.f.)	39
Imagen 16. Prensa hidráulica. (RHTC, s.f.)	42
Imagen 17. Prensa mecánica. (Procesos de fabricación, 2017)	44
Imagen 18. Prensa neumática. (Abratools, s.f.)	46
Imagen 19. Metodología DFM. (Sánchez & Julio Cortez, 2005)	49
Imagen 20. Secuencia de corte.	51
Imagen 21. Tipos de aceros para la fabricación de troqueles.	53
Imagen 22. Sección de corte.	56
Imagen 23. Pieza esquinera en ducto de ventilación.	56
Imagen 24. Troquel diseñado en el software SolidWorks®.	57
Imagen 25. Parte superior del troquel diseñado en SolidWorks®.	57
Imagen 26. Parte inferior del troquel diseñado en SolidWorks®.	58
Imagen 27. Guías para fabricación de modelo del troquel en madera.	58
Imagen 28. Fabricación modelo de troquel en madera.	59
Imagen 29. Modelo de troquel diseñado en madera.	59
Imagen 30. Mecanismo de prensa mecánica excéntrica.	62
Imagen 31. Diagrama de cuerpo libre mecanismo biela-manivela.	63
Imagen 32. Mecanismo biela-manivela.	64
Imagen 33. Análisis mecanismo biela-manivela.	64
Imagen 34. Esquema montaje.	67
Imagen 35. Prensa mecánica excéntrica. (SHARKSTALITHA, s.f.)	70
Imagen 36. Estructura para montaje prensa mecánica. (Apolinario Julca, 2015)	70
Imagen 37. Diseño estructura de prensa excéntrica en SolidWorks®.	71
Imagen 38. Diagrama de cuerpo libre de eje.	72
Imagen 39. Diagrama de cortante.	73
Imagen 40. Diagrama de momento.	73
Imagen 41. Análisis de tensiones.	76
Imagen 42. Análisis factor de seguridad obtenido en SolidWorks®.	76

Imagen 43. Factor de carga por fatiga	78
Imagen 44. Porcentaje de daño por fatiga	78
Imagen 45. Von mises para eje de 1 in.....	79
Imagen 46. Factor de seguridad para eje de 1 in.	79
Imagen 47. Porcentaje de daño eje de 1 in	80
Imagen 48. Factor de carga eje de 1 in	80
Imagen 49. Pasador barra de unión troquel.	81
Imagen 50. Diagrama de cuerpo libre de pasador.	81
Imagen 51. Biela y diagrama de cuerpo libre.....	82
Imagen 52. Análisis de tensiones en biela.....	83
Imagen 53. Análisis factor de seguridad de biela.....	83
Imagen 54. Nuevo análisis de tensiones en biela.	84
Imagen 55. Nuevo análisis factor de seguridad de biela.	84
Imagen 56. Análisis de tensiones del pasador del embrague.	85
Imagen 57. Análisis de factor seguridad del pasador del embrague.	85
Imagen 58. Medidas de chavetas según norma DIN 6885. (Rodavigo).....	86
Imagen 59. Tensiones máximas en la estructura	88
Imagen 60. Desplazamientos en la estructura en mm.	88
Imagen 61. Factor de seguridad estructura.....	89

Índice de Tablas

Tabla 1. Deformación de chapa. (Villa Martinez, 2019)	14
Tabla 2. Circuito de prensa hidráulica y lista de componentes. (Tony, Parameshwaran, Deepak Kumar, Mohanraja, & Harishwaran, 2014)	21
Tabla 3. Denominación, espesor y masa de chapas de acero negro y galvanizado. (REFRIGERACIÓN, 2015).....	34
Tabla 4. propiedades mecánicas del acero galvanizado. (Acesco, 2021)	50
Tabla 5. Troquel para esquinero.CITA	54
Tabla 6. Molde de esquineros. CITA.....	54
Tabla 7. Máquina perforadora de esquinas TDC.....	55
Tabla 8. Ventajas y desventajas de tipos de prensas.....	60
Tabla 9. Evaluación de tipos de prensas.....	61
Tabla 10. Especificaciones del motor.....	67
Tabla 11. Peso componentes del ensamble.	87
Tabla 12. Costo de materiales.	96
Tabla 13. Elementos comerciales.	97
Tabla 14. Costo de fabricación.	99

Gráficos

Gráfico 1. Velocidad vs tiempo en condiciones iniciales.	65
Gráfico 2. Velocidad vs tiempo con motor.....	68

Ecuaciones

Ecuación 1. Fuerza de corte.	51
Ecuación 2. Velocidad lineal.	63

Ecuación 3. Velocidad de la polea condiciones iniciales.	63
Ecuación 4. Potencia.	65
Ecuación 5. Energía.....	65
Ecuación 6. Energía necesaria para deformar el material.	66
Ecuación 7. Potencia del mecanismo condiciones iniciales.	66
Ecuación 8. Conversión de potencia de Watts a HP en condiciones iniciales.	66
Ecuación 9. Velocidad de la polea con motor.	68
Ecuación 10. Tiempo de corte con motor.....	68
Ecuación 11. Potencia del sistema con motor.....	68
Ecuación 12. Conversión de potencia de Watt a HP con motor.	69
Ecuación 13. <i>Momento flector</i>	74
Ecuación 14. <i>Esfuerzo cortante por torsión y flexión</i>	74
<i>Ecuación 15. Tensión de Von Misses.</i>	75
<i>Ecuación 16. Factor de seguridad.</i>	75
Ecuación 17. Ecuación de ángulo de deformación por torsión.	77
Ecuación 18. Momento polar de inercia de un círculo.	77
Ecuación 19. Conversión de radianes a grados.	77
Ecuación 20. Esfuerzo en chavetas.	87
Ecuación 21. Fuerza del eje.....	87

1 Introducción

Actualmente, la refrigeración es un elemento fundamental en diferentes campos de la sociedad, como se habla más adelante. En Colombia, específicamente en la zona caribe es más funcional, debido a las altas temperaturas que allí se presentan y las inconformidades que le genera a la población. Otro punto en el cual beneficia la refrigeración a los hogares es en la conservación de los alimentos para el bienestar de las personas.

La refrigeración es una rama de la ingeniería mecánica, enfocada en la disminución de la temperatura de los cuerpos por medio de la eliminación de calor, que ha venido evolucionando a lo largo de la historia, desde almacenar alimentos en cuevas frías o enterrar los alimentos envueltos en nieve hasta la creación de equipos más sofisticados que se observa en la actualidad. Desde la creación de estos equipos, su uso se ha extendido a muchos sectores (alimenticio, farmacéutico, hospitalario e incluso para confort en los hogares). Los equipos de refrigeración en Colombia han tenido un crecimiento considerable, La propia Asociación Colombiana de Aire Acondicionado y Refrigeración (Acaire) afirma que, con una tasa de crecimiento anual promedio del 5% anual, las ventas de equipos de cadena de frío y aire acondicionado rondan los 700 millones de dólares, de los cuales las importaciones rondan los 160 millones. Dólares estadounidenses; mientras que las exportaciones alcanzan los 96 millones de dólares. (Cardona, 2019)

En Colombia toda construcción debe cumplir con unos reglamentos que son establecidos por la RITE (reglamentos de instalaciones térmicas en los edificios) con tal de mantener una adecuada calidad de aire. A nivel de salud este tema cobra mucha importancia dado que pueden crearse cadenas de infección especialmente en los hospitales, un claro ejemplo de esto es lo que ocurre con el covid-19, los microbios se dispersan cuando un paciente

estornuda, caen sobre alguna superficie para luego evaporarse causando que los patógenos permanezcan suspendidos en el ambiente. Por esta razón se debe mantener una correcta renovación del aire, reduciendo los costos de operación de los hospitales y a su vez los riesgos de propagación de virus. Esto se logra con un adecuado diseño y mantenimiento preventivo. La empresa GLOBALCOLD ING SAS ubicada en la ciudad de Montería se dedica al mantenimiento de estos sistemas, pero este año empezó a tener problemas con piezas esquineras requeridas para los ductos de refrigeración hospitalaria, debido a que demandan una cantidad que su proveedor no puede suplir, causando que los clientes de esta empresa queden insatisfechos por las razones mencionadas anteriormente, dado que un hospital con sistemas de ventilación con mal funcionamiento tiene riesgos de elevar sus costos de operación. La falta de estas piezas también causa pérdidas de dinero a la empresa por lo que se ven obligados a parar las operaciones, en consecuencia, disminuye el crecimiento y la competitividad de esta. Por esta razón la empresa requiere del diseño de una máquina capaz de producir estas piezas con una eficiencia tal que pueda suplir sus necesidades, evitando pedir las piezas a otra ciudad y poder fabricar la cantidad justa en el tiempo que se requieran dejando satisfechos a los clientes e incrementando quizás la demanda de los servicios de la empresa.

En base a lo anterior se plantea la siguiente pregunta “¿Qué factores debemos tener en cuenta para la fabricación de una máquina de piezas esquineras capaz de producir 5000 ejemplares de estas piezas a la semana?”

2 Justificación

Hoy en día, debido a la contaminación ambiental, se ha disparado el calentamiento global por la pérdida de la capa de ozono a causa de gases de efecto invernadero, lo que genera un mayor requerimiento de aires acondicionados en los hogares, en los hospitales, farmacias, etc. Lo que permite a los medicamentos y alimentos una mejor conservación. Por esta razón hay una mayor demanda en las empresas que venden estos equipos refrigerantes y mantenimientos de estos.

La presente investigación tiene como propósito el diseño de una máquina productora de piezas esquineras para ductos de refrigeración hospitalaria. Debido a que la empresa GLOBALCOLD SAS ha presentado dificultades en el mantenimiento de estos, efecto directo de la carencia estas piezas, razón que ha causado una insatisfacción en los clientes.

El estudio tendrá como consecuencia, la capacidad de producir las piezas, que se necesitan para la correcta instalación de los ductos de refrigeración, optimizando el proceso, a la vez disminuyendo el tiempo de atención al cliente. Además, la empresa aumentaría su autonomía, con el fin de producir las piezas en menor tiempo, sin demoras por envíos y reduciendo los costos.

La refrigeración es una rama de la ingeniería mecánica, enfocada en la disminución de la temperatura de los cuerpos por medio de la eliminación de calor. A través de su evolución en Colombia se puede impulsar a nuevas empresas como esta (GLOBALCOLD SAS), que no cuenten con un presupuesto inicial tan alto de inversión en equipos de producción industrial que pueden llegar a ser muy costosos. Se espera obtener con este diseño, una máquina capaz de producir estas piezas con un mecanismo sencillo, de bajo costo y capaz de suplir las necesidades de una empresa en proceso de crecimiento.

Ahora bien, desde el nivel educativo se pretende, que este proyecto sirva de motivación para futuros mecanismos de producción de piezas a pequeña escala, incentivando a que más estudiantes de la universidad pontificia bolivariana se inclinen por el área de diseño. También que puedan ver el gran trabajo que se puede hacer con pequeñas empresas sin mucho presupuesto, asimismo el desarrollo que se puede presentar en la región caribe colombiana.

3 Objetivos

3.1 Objetivo general

Diseñar una prensa excéntrica que mueva un troquel para la fabricación de esquineros TDC, para la empresa GLOBALCOLD SAS ubicada en Montería.

3.2 Objetivos específicos

- Determinar los parámetros de diseño y la metodología adecuada para la generación de alternativas de diseño.
- Diseñar en detalle la matriz y punzón de corte para la pieza.
- Diseñar en detalle un mecanismo y maquina capaz de accionar una prensa mecánica, que mueva un troquel para la fabricación de la pieza.

4 Estado del arte

La necesidad de crear una herramienta de empaque efectiva que pueda usarse para ayudar a las PYME en el área de Serang a producir empaques por su cuenta surge en el año 2018 en la ciudad de Serang, Indonesia. El programa de trabajo de la empresa incluye la creación de máquinas de producción de impresión que pueden cortar herramientas de prensa manual, así como su instrucción y apoyo en su uso. Uno de los productos pesqueros procesados que no se ha empaquetado de forma atractiva, lo que tiene como consecuencia que el producto no sea muy conocido, está presente con una prensa de corte manual como máquina de producción de impresión de embalaje secundario para aumentar la calidad y el valor de venta de las albóndigas fritas.

El objetivo era crear una herramienta que fuera adecuada para cortar pegatinas con el diseño deseado; fue hecho para ser compacto y fácil de usar. La mesa de la máquina y el propio motor constituyen las dos partes principales de la herramienta. El sistema de trabajo de esta herramienta pretende ser manual y muy sencillo. Se colocan etiquetas de papel o adhesivos en la mesa de la máquina. A continuación, el papel de etiquetas se corta con precisión moviendo el balancín y aplicando presión.

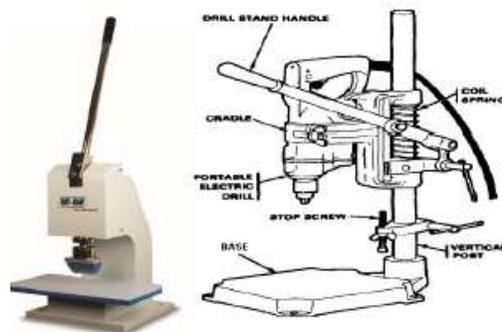


Imagen 1. Prensa manual. (Muryeti, Purnama Sari, Prastiwinarti, Imam, & Ningtyas, 2018)

Después del entrenamiento del procedimiento uso y mantenimiento de herramientas de troquelado, entonces el Programa de Estudio TICK proporciona herramientas de troquelado al gerente de la pyme. El Programa de Estudios TICK espera que con dada herramienta de troquelado aumentar la productividad en términos de tiempo y dinero costos de producción de embalaje PyMEs Laksana y, puede producir el embalaje del producto de forma independiente de forma independiente y minimizar los costes de producción. (Muryeti, Purnama Sari, Prastiwinarti, Imam, & Ningtyas, 2018)

El área de manufactura es de gran importancia en la ingeniería, encargada de eliminar los problemas más complejos, siendo de gran utilidad para guiar la aplicación de propuestas de mejora en mecanismos. En el año 2019, es llevado a cabo un proyecto de diseño de un troquel mecánico fine blanking bajo la metodología de ciclo de vida PLM (Product Lifecycle Management) para la formación de chapas metálicas con placas de acero por el ING Fernando Alejandro Villa Martínez en la universidad tecnológica de aguas calientes.

El concepto de troqueles de corte de precisión se basa en la capacidad actual (como el uso de prensas mecánicas) para dar una idea del mejor rendimiento del producto.

Este estudio surge por la importancia de desarrollar troqueles de corte fino, condiciones de aplicación de la prensa mecánica, proceso y categoría, nivel de valor y antecedentes para lograr un corte fino. El análisis determina las condiciones de contorno para cortar el material, y el patrón de perforación vence la resistencia del material y continúa el proceso de descenso hasta que lo supera y corta por completo. El esfuerzo cortante se define como:

Fuerza de corte

$$F_s = p \cdot s \cdot R_m \cdot f_1$$

F_s Fuerza de corte

p Perímetro de pieza

s Espesor del material

R_m Resistencia de tracción

f_1 0.6 a 0.85

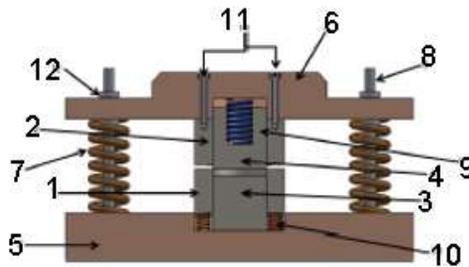
Imagen 2. Cálculo de fuerza de corte. (Villa Martinez, 2019)

La siguiente tabla representa el modelo matemático, analizando el esfuerzo máximo de corte y el espesor del material a deformar, se considera un decremento en el esfuerzo a razón de la reducción del espesor del material.

Chapa 1.5 mm	
Espesor de material (mm)	Fuerza de corte (N)
1,5	92.245,23
1,4	86.095,55
1,2	79.945,87
1,1	73.796,18
1	67.646,50
0,9	61.496,82
0,8	55.347,14
0,7	49.197,46
0,6	43.047,77
0,5	36.898,09
0,4	30.748,41
0,3	24.598,73
0,2	18.449,05
0,1	12.299,36
0	6.149,68
	0

Tabla 1. Deformación de chapa. (Villa Martinez, 2019)

Finalmente se muestra el modelo virtual obtenido para este diseño, considerando principalmente materiales como el acero al carbón que son típicamente utilizados en la fabricación de troqueles.



- | | |
|----------------------------|-------------------------------|
| 1 Plato de corte | 7 Resorte de soporte primario |
| 2 Plato guía | 8 Pernos Guías |
| 3 Ejector | 9 Resorte de contrapresión |
| 4 Punzón sujeción superior | 10 Resortes de corte |
| 5 Base inferior troquel | 11 Tornillos de sujeción |
| 6 Base superior troquel | 12 Ball bushing |

Imagen 3. Modelo del troquel de corte fino. (Villa Martinez, 2019)

Cala, Breffe y Fernández publicaron un estudio en el que investigaron el uso de técnicas de conformado de piezas metálicas, teniendo en cuenta la fórmula descrita por Goover (1997) para determinar la tolerancia a la flexión, la longitud de la placa diseñada, la resistencia a la flexión. y posición de la línea neutral. En este estudio se utilizó una herramienta computacional denominada DIPRONEST y se comparó con el método Very Fast Simulation Algorithm (VFSRA) propuesto por Yuping y Shouwei (2005), el cual se considera irregularmente distribuido. Una de las mejores formas es en trozos en un plato. Para la comparación de métodos, se prepararon 5 lotes de 140 piezas y se colocaron en una placa de 2000 mm de largo x 1000 mm de ancho. Se comparó la distribución de cada lote generado por cada método según el material utilizado y el tiempo de generación de la solución. En

todos los casos, DIPRONEST logró resultados que fueron un 5,43 % superiores al valor de utilización del material del método VFSRA. DIPRONEST logró reducir el tiempo de entrega de soluciones relacionadas con el programa VFSRA en aproximadamente 20 minutos en promedio. De esto se concluye que, en el proceso de obtención de piezas por conformado, un gran desafío es aumentar la producción y así ahorrar material, en este sentido se combinan los procesos de plegado y estampación. En el proceso de doblado, se determina la longitud exacta del material de salida, teniendo en cuenta la longitud del ángulo de doblado y la posición de la línea neutra. Para el punzonado, es más eficiente establecer la estación 1. La estación 1 tiene la mayor cantidad de material utilizado, la mayor cantidad de material utilizado, el menor consumo de material y el menor costo de producción por pieza. (Cala, Breffe, & Fernando , 2019)

Para su maestría, Juan Alfredo Escobar Ante, estudiante de la Universidad Autónoma de Baja California, presentó su tesis sobre optimización de procesos de punzonado mediante el método DMAIC-DoE. El objetivo es investigar cómo los factores que influyen en el proceso, como la velocidad de corte, la geometría de la herramienta, el rectificado, los materiales utilizados para elementos clave como los punzones y otras opciones, pueden contribuir a la calidad del proceso utilizando el método propuesto. Algo salió mal, lo que resultó en cambios dimensionales y daños. Como parte de los aportes de este artículo, se desarrolló un método para optimizar los procesos de punzonado en la industria electrónica, basado en el método 6 Sigma DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar), pero incluyendo nuevas fases estrechamente relacionadas. proyectos de mejora y se tienen en cuenta en esta metodología, como la planificación, los estudios de viabilidad y las fases piloto. A través de este método se busca una correcta y adecuada implementación para mejorar el proceso, el

cual está enfocado principalmente al proceso de estampación de componentes electrónicos, pero no se limita a ser replicado en otro tipo de procesos de fabricación. (Escobar Ante, 2018)

El Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Panderbourne ha publicado un artículo de investigación en Science Direct basado en la producción automatizada a gran escala de estructuras de automóviles de pasajeros con una alta relación de rigidez-peso, una combinación de la fuerza y la resistencia de aleaciones de acero de alta resistencia utilizando materiales preformados de laminados metálicos híbridos/fibrosos (FML) CFRP especiales que pueden ser procesados además por técnicas de conformado como el estirado profundo. En procesos de fabricación como el estirado profundo, la brida es la zona de conformado más importante, que produce tensiones de compresión y tracción, así como una combinación de tensiones de tracción y compresión. Durante el proceso de conformado, la presión del arco puede hacer que la brida se arrugue. Para suprimirlos, el soporte debe aplicar una tensión normal a la cara de la brida. Cuando la fuerza de la pieza de trabajo de soporte FBH supera cierto valor, la tensión radial hace que la pieza de trabajo se adelgace, lo que lleva a la fractura. Para lograr esto, LUF desarrolló y llevó a cabo pruebas adecuadas para desarrollar herramientas avanzadas y un diseño de proceso para controlar el comportamiento de conformado de láminas de laminados de fibra metálica durante el proceso de conformado y la precisión de la forma final y dimensional de las piezas de laminados de fibra metálica. Se investigó el efecto de las tensiones de tracción y flexión en productos semiacabados que consisten en láminas metálicas y CFRP utilizando muestras de laminados de fibra metálica con un diseño especial en forma de copa. El objetivo principal del estudio es reducir los tipos de daño, como el pandeo y arrugamiento de la fibra, cuando se aplican una combinación de tensiones de tracción y compresión a la lámina CFRP durante el proceso de conformado

(zona de la brida y de alimentación). La altura del pliegue de las copas híbridas de profundidad se ha reducido casi un 65%, de 1,59 mm a 0,68 mm. LUF ha desarrollado un modelo de simulación de conformado basado en marcos que puede identificar las áreas críticas de CFRP donde las fibras y las deformaciones son propensas a la flexión y la fractura. La alineación de parches de CFRP segmentados tiene un potencial muy alto para piezas estiradas profundas hechas de laminados de fibra metálica. (Heggmann & Homberg, 2019)

En 2018, la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías de la Universidad Internacional del Ecuador publicó un artículo sobre el diseño y fabricación de la prensa hidráulica automática PROMEIN de 10 toneladas. La empresa actualmente no cuenta con máquinas para este trabajo por lo que es necesario buscar servicios y subcontratistas en el exterior, teniendo en cuenta esta necesidad se propone desarrollar una máquina hidráulica que será capaz de brindar servicios dentro de las diversas operaciones que pueden realizarse fuera de la prensa. Con el fin de acortar el tiempo de producción, ya que la máquina no necesita ser cerrada en otro taller, logra una mayor precisión en el proceso y evita el montaje y desmontaje manual, por lo que la máquina cuenta con dos modos de automático y semiautomático. Reduzca el coste de fabricación de piezas y mejore la reputación de su empresa. La prensa tiene un sistema de movimiento mecánico para la mesa, que se puede mover a diferentes posiciones para procesar piezas de diferentes formas. La máquina se ensambla y desarma bajo presión controlada por el operador que no excede los 700 PSI: bujes, ejes y cojinetes con accesorios (ejes, acoplamientos), de lo contrario, el sobreajuste puede dañar las piezas de trabajo. (Castillo reyes, 2018)

En 2017, la Facultad de Tecnología de la Ingeniería Mecánica de la Universidad Regional Francisco José de Caldas publicó un trabajo con el objetivo de desarrollar un alimentador de

chapa como una oportunidad para optimizar el tiempo de producción de rieles Chanel para la empresa PH&ES para gabinetes y estanterías. Al reducir el tiempo de producción de los rieles Chanel y centrarse en el proceso de troquelado, se mantienen los estándares de calidad de los productos de la empresa y se reduce el riesgo de accidentes. Se generará un diseño de mecanismo que inicialmente permita una reducción del 40% en el tiempo de punzonado para guías de canal, es decir Se pueden lograr tres minutos del tiempo del proceso de punzonado independientemente de si la operación la realiza una persona inexperta o no. Esto permitirá que operadores calificados procesen ocho unidades adicionales por hora como referencia. Para una persona sin experiencia, esto ayudará a su trabajo y aumentará la producción de trece unidades. Dada esta reducción de tiempo, se pueden cubrir las necesidades no cubiertas de los clientes de la compañía para los rieles Chanel, se puede evitar la manipulación directa de los operarios en el molde, independientemente de su experiencia en el proceso, y también se reduce el tiempo. (Pérez Alzate & Romero Barreto, 2017)

En 2011, Jorge Arturo Morales Ortiz, Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional de Ingeniería, publicó un trabajo para diseñar y evaluar un sistema de volante directo para una prensa mecánica excéntrica de 9 TN de potencia, considerando un análisis de caracterización que describe su curva de comportamiento. El sistema consta de una cabeza de biela, una rueda excéntrica, un eje principal, un soporte, un sistema de poleas, un volante y un motor eléctrico. Para reducir significativamente la inversión inicial, ya que se puede crear un marco menos duradero y flexible. En el aspecto técnico, determinar el punto máximo de fuerza operativa segura (PFM) de la máquina, antes del punto muerto inferior (PMI), y cómo esa fuerza no debe afectar los componentes internos de la máquina. El accionamiento de la máquina está diseñado para perforar láminas laminadas, pero la

máquina también puede perforar otros materiales, como láminas de acero de hasta 114 pulgadas de espesor. (Morales Ortiz, 2011)

El instituto tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, el departamento de metalmecánica, en el año 2018, publicó un proyecto con el fin de resolver problemas con las herramientas de troqueles que constantemente presentan deficiencias. Determinar cuáles son los principales defectos, por qué son constantes y resolverlos. Al mismo tiempo generar una base de datos para compartirla con el equipo natural de trabajo para que todos estén actualizados de los problemas encontrados y las acciones tomadas para atacar los problemas. Además de tener un control para su mantenimiento preventivo semanal o mensual dependiendo de los criterios que se generen en el transcurso del proyecto. Al controlar el mantenimiento preventivo de las 31 herramientas críticas en el proceso de manufactura, los indicadores de las máquinas van a mejorar y en consecuencia le traerá ahorros a la empresa, Por ejemplo: cuando se rompe un punzón de la herramienta, se la cambian para que pueda seguir produciendo, pero al poco tiempo de trabajo se vuelve a romper, entonces no hay un control de estos. Lo que se necesita es un mantenimiento preventivo para controlar la vida útil de la herramienta. (Ramírez Corzo, 2018)

En 2014, el Departamento de Ingeniería Mecatrónica publicó un artículo con el objetivo de asegurar la flexibilidad del sistema. Además, se llevó a cabo un estudio comparativo con otros reguladores convencionales para determinar el regulador más adecuado para el sistema. Este documento examina las operaciones de modelado de una prensa hidráulica en MATLAB utilizando técnicas de identificación de sistemas. Usando este modelo, se diseñaron tres reguladores: un regulador PID, un regulador de modelo interno y un regulador de orden parcial, y se compararon sus respuestas. Los resultados muestran que el regulador fraccional

da una mejor respuesta que los otros dos reguladores. Tiene un tiempo de configuración más rápido y menos sobreimpulso máximo, lo que ayuda a crear un controlador más adecuado para controlar la fuerza de tensión del cilindro. (Tony, Parameshwaran, Deepak Kumar, Mohanraja, & Harishwaran, 2014)

S. No	Descripción
1	Tanque 50 litros
2	Respiradero de llenado FSB-25
3	Filtro de succión 3/4"
4	Bomba de paletas PVRIT-8-FRA-2080
5	Motor eléctrico 3 hp x 1440rpm; 50 Hz Montaje de pie
6	Válvula de retención en línea CIT-03-5-2080
7	Filtro de línea de presión
8	Válvula de alivio de presión
9	Válvula de control direccional
10	Cilindro hidráulico

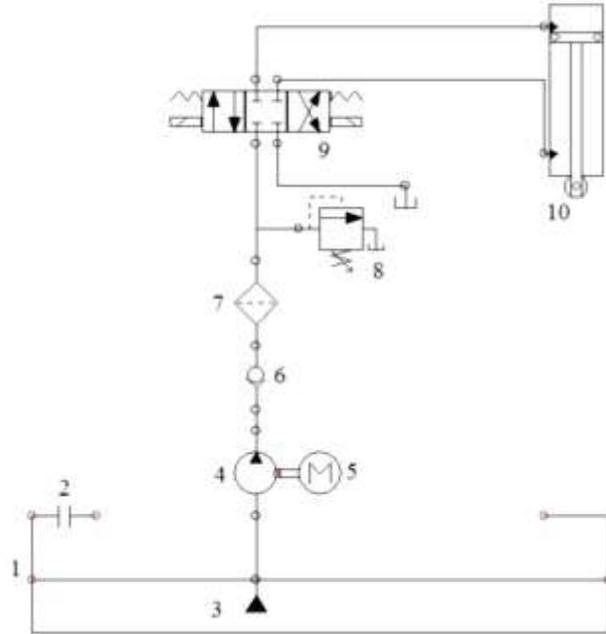


Tabla 2. Circuito de prensa hidráulica y lista de componentes. (Tony, Parameshwaran, Deepak Kumar, Mohanraja, & Harishwaran, 2014)

5 Marco teórico

Debemos empezar este proyecto definiendo y resaltando la importancia de este tipo de manufactura que se realiza para la producción de este tipo de piezas, que se puede llevar a la materialización gracias al troquelado.

5.2 Troquelado

El troquelado es una técnica metalmeccánica muy importante para la industria, preocupada principalmente por la productividad, ya que siempre busca producir más que mediante cualquier otro proceso productivo (como la fundición, la forja o la mecanización). Se utiliza en diversos campos: electrodomésticos (línea blanca), automoción, aviación, naval, electrónica e informática, con el objetivo de sacar el máximo partido a los materiales para producir el máximo de piezas y costes en el menor tiempo posible. Por definición, la estampación es un proceso mecánico producido industrialmente para el procesamiento de chapas en frío y la producción de piezas en su totalidad o en parte utilizando una herramienta (matriz) que consiste en un punzón y una base, también llamados "macho" y "hembra" respectivamente. Con una prensa, el troquel aplica presión al material más allá de su límite elástico y actúa como una fuerza para cambiar, cortar, doblar o crear una forma predeterminada. En casos raros cuando el grosor de la placa es grande, p. dos pulgadas, y la pieza no puede obtenerse por fundición u otros procesos, es necesario precalentar el material. El espesor prensado es de 0,025 mm a 9 mm. Los troqueles varían en tamaño desde el tamaño más pequeño que se usa en un reloj hasta el tablero grande que se usa en un camión o avión. (Marín Villar, 2009)

En el proceso del troquelado, se necesita un troquel que hará la transformación y producirá la pieza que se necesita, esta máquina con bordes cortantes para recortar o estampar, usa presión para realizar el proceso, el troquel consiste en una base de una matriz con alta resistencia o dureza. (Olvera Mateos, Rosales Flores, Rosas Carrasco, & Soto Romero, 2007)

Estos troqueles se dividen en:

- Troquel plano. Su superficie es plana y la base contra la que actúa es metálica. Su movimiento es perpendicular a la plancha consiguiendo así una gran precisión en el corte. (Olvera Mateos, Rosales Flores, Rosas Carrasco, & Soto Romero, 2007)
- Troquel rotativo. La forma es cilíndrica y la base opuesta está hecha de material flexible. A diferencia de los troqueles planos, el movimiento es continuo y el registro de corte no es tan preciso. Esto se debe a que la cuchilla golpea la placa en ángulo. Por lo tanto, los envases fabricados en modo rotativo son menos exigentes desde el punto de vista estructural. Debido al movimiento continuo, el punzonado rotativo proporciona una mayor productividad de producción que el corte plano. (Olvera Mateos, Rosales Flores, Rosas Carrasco, & Soto Romero, 2007)

Una troqueladora es un dispositivo que puede proporcionar alta presión en un área específica, un momento determinado, a través de la energía previamente acumulada, mecánica (volante) o líquida. (Durand Lagarda, 2019)

Las troqueladoras se dividen en dos grandes grupos que son:

- Troqueladoras mecánicas. (Durand Lagarda, 2019)
- Troqueladoras accionadas por fluido (hidráulicas y neumáticas). (Durand Lagarda,

2019)

Es un dispositivo capaz de proporcionar alta presión utilizando energía prealmacenada, ya sea mecánica o de fluidos. Suelen operar en impacto seco (en la fabricación de herramientas) Aunque algunos trabajan bajo presión constante (forja). Éste Los principales tipos de punzonadoras se pueden dividir en dos categorías. Agrupados por sistema de accionamiento: Máquinas de corte mecánico y sistemas hidráulicos. (Barrientos Choccata, Cuchula Diego, & Ore Jesus, 2022)

5.1 Historia del troquelado.

Troquelado con mazo:

El proceso de estampación es resultado de la revolución industrial. A mediados del siglo XIX, comenzó a influir en la forma en que se fabricaban los productos. El troquelado introdujo productos de tamaño estándar a las masas. Por ejemplo, una de las primeras aplicaciones del prensado fue en el mercado del calzado. En el pasado, los zapateros tenían que cortar a mano todas las partes de los zapatos. Es un proceso lento y costoso. Con la invención de la tecnología de estampado, se produjeron en masa piezas de calzado como plantillas y plantillas. Los zapateros pueden usar un molde de mango de martillo hecho con la forma de una suela de zapato. La matriz de patrón único se coloca directamente sobre el cuero y luego se martilla para cortar el cuero de manera uniforme. (Vargas Alvarez, 2015)

Máquinas troqueladoras 1900:

Las primeras máquinas funcionaban con un sistema de correa, pero pronto se agregaron máquinas de moldeo por clic. Estas máquinas pueden usar troqueles de clic simple y doble tratados térmicamente de 9/16 pulgadas (1,42 cm) a 1,9 cm. Para la industria del calzado, esto significa que ahora se pueden cortar otras partes del zapato, lo que reduce aún más el

precio de un par de zapatos. Pronto se inventaron los cortadores para producir en masa otros productos como tuberías, plásticos, metales e incluso alimentos. Hoy en día, también existen máquinas de corte por computadora que tienen un nivel de detalle muy alto para hacer varias piezas, reducir costos y mejorar la calidad. (Vargas Alvarez, 2015)

5.2.1 Tipos de troquelado.

Troquel de Corte: Sirve para remover parte del material de la placa girando con un “tap” y troquel; por otro lado, el troquel abre agujeros en la lámina por impacto durante el punzonado, mientras que, durante el doblado, la herramienta o junta simplemente pliega el material, aplicando fuerza a la pieza para doblarla. (Marín Villar, 2009)

Embutición profunda: Se utiliza para formar formas cóncavas, cuyo propósito es deformar plásticamente la lámina o placa a la forma de la base (molde) aplicada por la presión de la prensa. El proceso de embutición es ampliamente utilizado en la industria metalúrgica para producir cierres como botellas de cerveza y refrescos o latas de pintura, así como lavavajillas, sartenes y otros productos en forma de recipiente. (Marín Villar, 2009)

Punzonado de forma: que combina un grupo de procesos en los que se forman punzones y troqueles de una forma especial en una lámina, entre ellos se destacan: surcos, curvados para formar un borde anular en la boca del envase, prellenado; enrollar, doblar un extremo de la hoja en un corrugado o bucle, para bisagras o elementos giratorios; extruir, deformar el material haciéndolo pasar bajo presión a través del espacio entre el punzón y la matriz; por estampación, imprimiendo cualquier forma en una hoja con impresión en prensa para que resalten en su superficie; Para fabricar monedas se utilizan monedas prensadas sobre una pieza de metal con forma de relieve. (Marín Villar, 2009)

5.2.2 Tipos de troqueles.

- Simple (una estación o paso): Estas matrices permiten una sola operación por paso. punzones, tienen baja productividad y muchas veces requieren el uso de otros troqueles para completar una pieza y considerarla terminada. De ellos se fabrican piezas simples como juntas, accesorios y piezas de pequeños electrodomésticos. (Marín Villar, 2009)
- Mezcla (con dos o tres estaciones o etapas): estas herramientas aprovechan la fuerza efectiva de la prensa, realizando dos o más operaciones en cada golpe y acelerando el proceso. Conducen a una mayor productividad y se utilizan en la producción de lavavajillas, vajillas, platos, piezas de estufas y otros productos. (Marín Villar, 2009)
- Progresivo (multi-estación o multi-etapa): Son troqueles complejos y muy avanzados, también conocido como operador que guía manualmente la prensa y corta la pieza de trabajo utilizando un troquel o estación simple. La matriz progresiva. Incluso consisten en decenas de pasos o pasos donde los paneles se transforman en el orden especificado por el diseñador (orden de corte), dando como resultado uno o más productos terminados. En un troquel progresivo, el punzón se aplica continuamente al punto de desgaste a medida que pasa por el troquel. Son altamente productivos, aunque su mantenimiento y operación son más complejos que otros y requieren mayor capacitación del personal involucrado. Por supuesto, todo esto vale la pena debido a su alta eficiencia y precisión. (Marín Villar, 2009)
- Troqueles simples: Estos troqueles permiten solo una operación por pasada o ciclo, tienen baja productividad y muchas veces requieren el uso de otros troqueles para completar la pieza y considerarla terminada. (Barrientos Choccata, Cuchula Diego, & Ore Jesus, 2022)

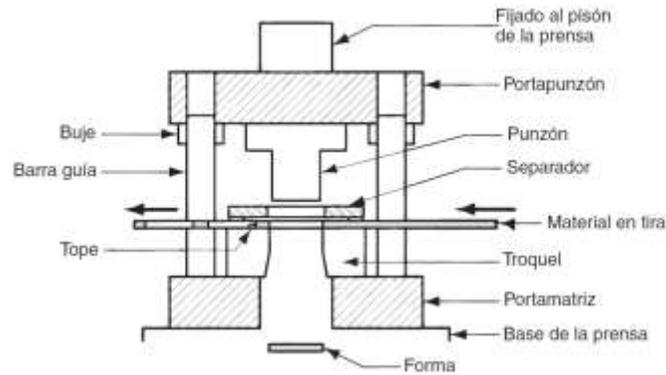


Imagen 4. Troquel simple. (Barrientos Choccata, Cuchula Diego, & Ore Jesus, 2022)

- Troqueles compuestos: Estas herramientas pueden usar la fuerza aplicada por un actuador para realizar dos o más operaciones por carrera o ciclo, lo que acelera enormemente el proceso de adquisición de piezas. (Barrientos Choccata, Cuchula Diego, & Ore Jesus, 2022)
- Troqueles progresivos: Estas unidades mecánicas constan de varias etapas, o pasos, cada uno de los cuales modifica el material en un orden específico en un proyecto específico, de modo que al final del recorrido por las estaciones de formación es posible obtener uno o más productos terminados. (Barrientos Choccata, Cuchula Diego, & Ore Jesus, 2022)

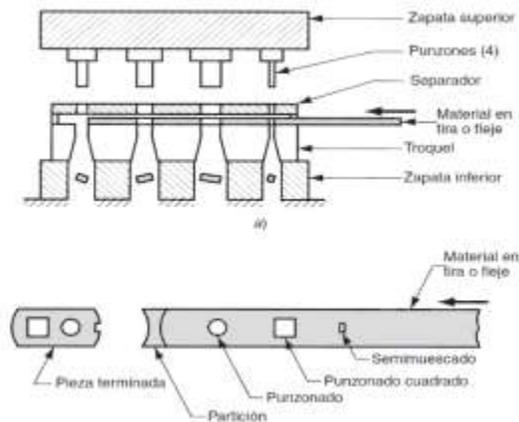


Imagen 5. Troquel progresivo. (Barrientos Choccata, Cuchula Diego, & Ore Jesus, 2022)

Existen varios tipos de troqueles según la matriz o el tipo de corte, a continuación, podemos ver en detalle la definición de cada uno.

Troqueles de corte: Estas herramientas realizan operaciones mediante la acción de corte o cizalla. (Aprendí hoy, 2021)

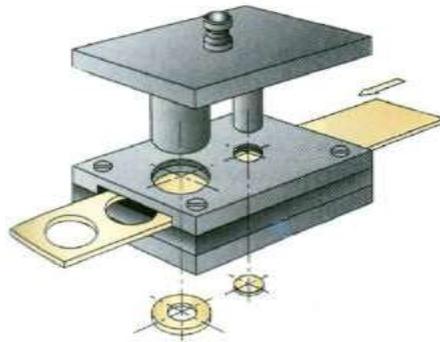


Imagen 6. Troquel de corte. (Abascal-Escribano, 2014)

Troqueles de embutición: Estas herramientas modifican la figura del material por embutido de la pieza plana en un molde. (Aprendí hoy, 2021)

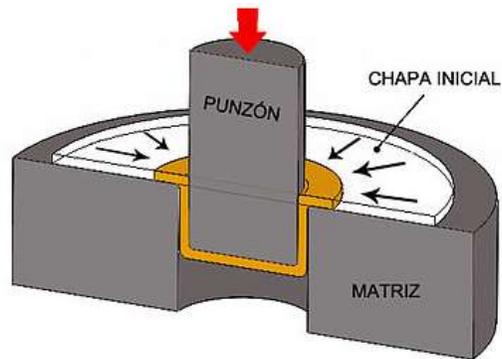


Imagen 7. Troquel de embutición. (Abascal-Escribano, 2014)

Troqueles de doblado: Estos instrumentos modifican la forma de un área o de la pieza completa sin modificar el grosor del material. Las operaciones son mediante el curvado o plegado del material. (Aprendí hoy, 2021)

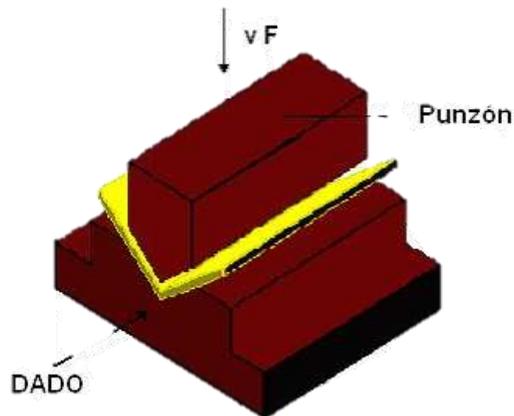


Imagen 8. Troquel de doblado. (Ochoa Posada, 2012)

Troqueles Simples: Los troqueles simples son herramientas que realizan una sola operación en la pieza de cada troquel. Un golpe. Como su nombre indica, se utilizan para crear composiciones sencillas. Se producen a bajo nivel, ya que puede ser necesario utilizar un molde diferente para completar la pieza. (Aprendí hoy, 2021)

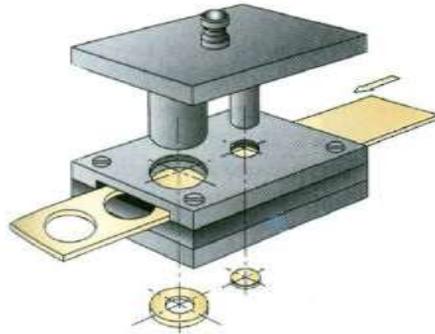


Imagen 9. Troquel simple. (Abascal-Escribano, 2014)

Troqueles compuestos: Los troqueles compuestos son instrumentos que realizan dos o más operaciones sobre la pieza en cada golpe de la prensa. Aprovechan la fuerza ejercida sobre la prensa y agilizan el proceso de producción. (Aprendí hoy, 2021)



Imagen 10. Troquel compuesto. (Tovar, 2019)

Troqueles progresivos: La matriz progresiva es una herramienta que realiza decenas de acciones secuenciales en cada turno. Tienen una estructura compleja, un alto nivel de producción y requieren personal capacitado para operar. Muestran un gran desarrollo que culmina en un producto o piezas terminadas. (Aprendí hoy, 2021)



Imagen 11. Troquel progresivo. (Marposs, 2018)

5.2.3 Partes de un troquel.

En la siguiente imagen se puede observar los componentes de un troquel simple de corte de formas, que cuenta con una base superior o parte móvil que tiene la misión de contener en su superficie todas las placas y elementos que sostienen los punzones del troquel, una parte fija; es el elemento sobre el cual van montados todos los componentes que hacen parte de la matriz, sufrideras; cuya función es absorber los golpes sucesivos de los elementos en el troquel. Reglas guías; se disponen con el fin de guiar longitudinal y transversalmente las tiras de lámina en su desplazamiento. Placa pisadora; la cual se encarga de presionar e inmovilizar la lámina antes de que los punzones lleguen a tocarla Y la parte que realiza el corte que lleva por nombre Punzón, que tiene por objeto realizar las máximas deformaciones en la lámina. (Marín Villar, 2009)

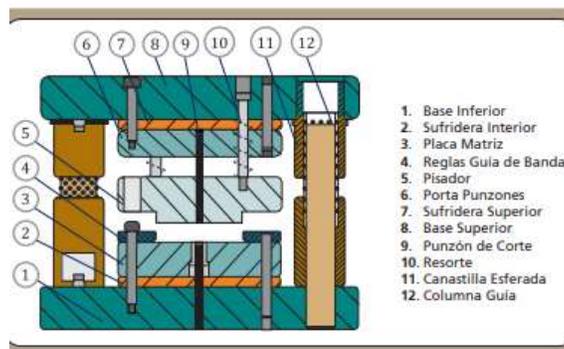


Imagen 12. Partes básicas de un troquel. (Marín Villar, 2009)

5.2.4 Fases de operación de corte.

En la primera etapa de corte, el punzón aplica presión sobre la placa, comprimiendo el material y provocando su deformación plástica, luego el punzón continúa y provoca la expansión lateral; el esfuerzo de compresión se vuelve igual al esfuerzo cortante y el metal perforado muestra una ruptura de los segmentos del tablero. Finalmente, la pieza de trabajo se libera y el punzón vuelve a su posición inicial. (Alvarez Bermudes, 2009)

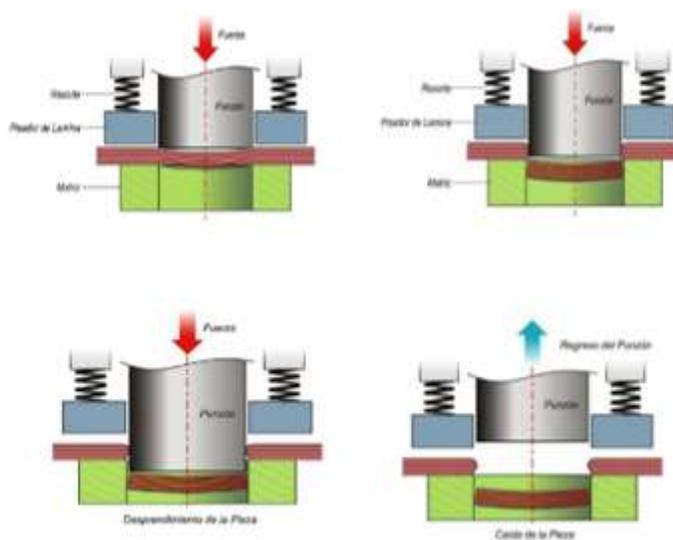


Imagen 13. Pasos del troquelado. (Alvarez Bermudes, 2009)

5.3 Materiales y Tratamientos Térmicos.

Básicamente, se utilizan dos grupos de acero para la producción de troqueles de corte: acero para herramientas de trabajo en frío y acero de grado mecánico. La empresa que diseña y fabrica la herramienta determina la equivalencia de cada acero en base a la conveniencia del fabricante y/o distribuidor. Inorca Ltda. utiliza acero para herramientas y acero grado mecánico ASSAB® distribuido por Compañía General de Aceros CGA. Los siguientes aceros son los más utilizados en la producción de moldes de Inorca Ltda. (Alvarez Bermudes,

2009)

- ASTM A-36 se utiliza para fabricar bases, soportes, soportes para agujeros, plantillas, líneas paralelas, etc. Este es un material utilizado en la construcción. estructura. Es básicamente una aleación de hierro, al menos en un 98%, con el contenido de carbono es inferior al 1%, otras pequeñas cantidades minerales como el manganeso, que puede mejorar la resistencia, así como el fósforo, el azufre y el dióxido de silicio. y el vanadio mejora la soldabilidad y la resistencia a la corrosión cuando expuesto a la intemperie. Este material se utiliza para esta aplicación. principalmente porque es un acero suave maleable que es fácil de mecanizar, económico y sin tratamiento térmico para estas aplicaciones. (Alvarez Bermudes, 2009)
- Acero DF2 - ARNE. Según la norma O1 AISI, es de acero aleación media (Cr-W) y endurecimiento al aceite, con dureza segura y uniforme. Mínima variación de medida, excelente resistencia al corte, alta resistencia al desgaste y rigidez. Está bien acabado y hecho de acero. La herramienta más versátil para hacer manualidades. Esta usado en utillajes de baja producción para troqueles, topes o guías. Deben endurecerse a una dureza de 52 a 54 HRC. (Alvarez Bermudes, 2009)
- Acero XW5. Según la norma D2 AISI, es un acero de alta aleación (Cr-W) y enfriamiento con aire o aceite para una dureza segura y uniforme. Segunda mano para troqueles de corte de chapa con espesor superior a **3 mm**. (Alvarez Bermudes, 2009)

5.4 Esfuerzo- deformación.

Al estar trabajando en frío, se debe tener en consideración la curva de esfuerzo-deformación del material con el que estamos trabajando. Cuando queremos hacer troquelado, la prensa que ejerce la fuerza en conjunto con el troquel, debe ser capaz de superar el límite elástico del material causando una deformación permanente el material, obteniendo a su vez la pieza deseada. En la siguiente imagen se puede observar esta curva, en donde se muestran los puntos específicos de esfuerzo a los que se debe someter un material para obtener deformaciones elásticas o plásticas. (William, 1998)

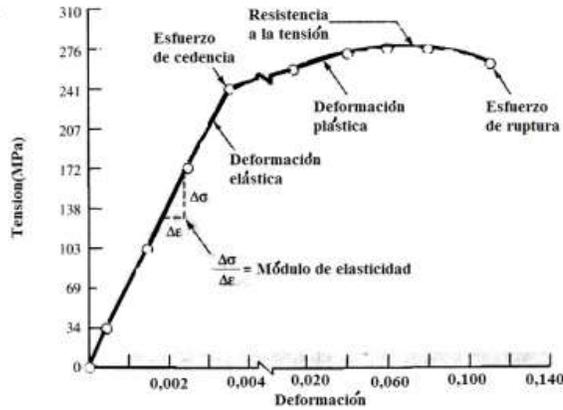


Imagen 14. Curva esfuerzo-deformación. (William, 1998)

Tabla 3. Denominación, espesor y masa de chapas de acero negro y galvanizado.

(REFRIGERACIÓN, 2015)

Denominación (espesor nominal 1/10 de mm)	Sin recubrimiento		Galvanizada		Calibre ASTM *
	Espesor mm	Masa kg/m ²	Espesor mm	Masa kg/m ²	No.
4	0,38	3,05	0,4	3,2	30
5	0,46	3,66	0,48	3,81	28
6	0,61	4,88	0,55	4,42	26
7	0,76	6,1	0,7	5,64	24
8	0,91	7,32	0,85	6,86	22
10	1,21	9,76	1	8,08	20
12	1,52	12,21	1,31	12,52	18
15	1,9	15,26	1,61	12,96	16
20			1,99	16,01	14

*Norma ASTM A924/924M-94 US Standard Equivalencia con kg/m² nominales

5.5 Tipos de metodología para diseño basado en ingeniería concurrente

5.5.1 Ingeniería concurrente

Sin duda alguna, con la creciente demanda y la cantidad de productos en oferta que vemos hoy día en el mercado han tenido como consecuencia la búsqueda continua de la mejora en la calidad de sus y productos para ofrecer un servicio de calidad, dada la exigencia de los consumidores. Es aquí donde se introduce el concepto de ingeniería concurrente, que se enfoca en la implementación de métodos y tecnologías para el fácil, coherente y planificado desarrollo de los productos de una empresa, logrando obtener un mejor posicionamiento, convirtiéndose esta metodología en la filosofía de una empresa hoy día. Se espera para una empresa con la implementación de esta metodología se logre relacionar íntimamente el diseño y la manufactura, con el fin de cambiar de manera flexible las tecnologías de desarrollo de productos para lograr competir a nivel nacional e internacional, reduciendo el costo y tiempo de desarrollo, no sin tener en menor importancia la calidad del producto. Todo esto es de gran relevancia en el desarrollo de este proyecto, dado que se debe llevar a cabo el diseño de una máquina capaz de fabricar una pieza de primera necesidad en la empresa GlobalCold SAS, con el menor costo posible sin sacrificar la vida útil, resistencia mecánica y especificaciones de esta.

5.5.2 Principios de DFM

Los principios del diseño para manufactura (DFM), es desarrollar un diseño modular, con una fácil fabricación, con el fin de reducir el número total de piezas que estén estandarizados, minimizando las operaciones de manipulación y a su vez operaciones secundarias que no tienen valor añadido. Antes de proceder con la selección del proceso, se deben considerar algunos factores que surgen del proceso de selección, tales como: a. Factores materiales,

especialmente propiedades mecánicas y físicas, b. Factores geométricos, que incluyen la forma, el tamaño y el peso de la pieza de trabajo, así como sus tolerancias y acabado superficial, c) Factores de producción, incluidos el tiempo de comercialización y el volumen y la velocidad de producción. (Sánchez & Julio Cortez, 2005)

5.6 Factor de selección.

Al elegir un tipo de prensa, se deben considerar las ventajas de un tipo sobre el otro. A nivel industrial, creemos que las prensas mecánicas son versátiles y rápidas. Las prensas hidráulicas, por otro lado, son más versátiles en operaciones de estirado y conformado de piezas más complejas, pero son más lentas. En el caso de las prensas mecánicas, la energía se almacena en forma de energía cinética, mientras que, en los sistemas hidráulicos, la energía se acumula en la presión del fluido hidráulico en el sistema. Esto evita que las prensas mecánicas mantengan una carga de material constante durante largos períodos de tiempo, lo que se puede lograr con las prensas hidráulicas. Por lo tanto, al producir piezas que requieren alta precisión, las prensas mecánicas están en desventaja frente a las hidráulicas, destacando que las prensas hidráulicas son ideales para producir piezas más complejas con mayor límite elástico de los materiales. (Apolinario Julca, 2015).

Para realizar un diseño, se deben tener en cuenta diferentes factores como son la velocidad de corte para la producción de estas piezas esquineras de tuberías de refrigeración, puesto que, con un objetivo de piezas a la semana, se busca la que más rápido las troquele, esto va ligado a la productividad de la empresa, considerando que busca mejorar y así ser más competentes en el mercado. Para medir su productividad, claramente se debe tener un control del proceso, lo cual se busca una máquina que nos ayude a controlar la producción. Varios parámetros se piensas, por ejemplo, la eficiencia, la precisión y la fuerzas que cada una puede

generar según los mecanismos ya diseñados, buscando un menor costo en producción y mantenimiento de esta.

5.7 Tipos de máquinas empleadas para troquelado.

5.7.1 Servoprensa

Las servoprensas incluyen sistemas de unión electromecánicos para realizar diversas conexiones como prensado, remachado, remachado, troquelado, etc. Se encuentran tanto en instalaciones de producción automatizadas como en lugares de trabajo operados manualmente. Dichos sistemas se utilizan comúnmente en vehículos de nueva energía (NEV), conjuntos de motor y transmisión, dirección, chasis, frenos, bombas de inyección, bolsas de aire y varios motores eléctricos, como limpiaparabrisas en el sector automotriz. Las industrias de dispositivos médicos, electrónica y electrodomésticos y herramientas eléctricas son otras áreas de aplicación importantes. Además del control de procesos, también existe la posibilidad de control de procesos en tiempo real. Las características como el cierre forzado, el control de fuerza, la detección de gradiente y punto de ruptura, y el ajuste de señal o posición se incluyen como estándar. Servoprensa o sistema de acoplamiento electromecánico:

- Contribuye a la protección del medio ambiente proporcionando un mejor balance energético y hasta un 90 % menos de emisiones de CO₂ en comparación con otras tecnologías. (KISTLER, 2012)
- Mejorar y asegurar la calidad del producto a través del control de procesos durante la producción
- Mejorar la productividad de la planta al reducir los desechos y los costos operativos. (KISTLER, 2012).

Estas prensas pueden ser costosas en comparación con las prensas de manivela. También son más difíciles de mantener y solucionar problemas eléctricos y mecánicos. Una longitud de carrera

variable permite la producción de una gran cantidad de piezas con una sola prensa. El movimiento y la velocidad del ariete se pueden variar para ayudar en las operaciones de conformado de metales, como la embutición profunda. El dibujo profundo suele ser mejor a velocidades de RAM más bajas. La reducción de la velocidad de formación ayuda a reducir la fricción y, por lo tanto, la generación de calor, lo cual es importante cuando se forman materiales de alta resistencia, como el acero dúplex de baja aleación (HSLA) de alta resistencia. Además, se puede reducir la velocidad a la que el punzón entra en contacto con el metal, lo que permite que el metal fluya hacia la cavidad de extracción. (Industria, 2019)

En las prensas eléctricas o servo, se elimina el embrague y se sustituye el volante por una conexión directa entre el motor que acciona la prensa y la transmisión del carro. En comparación con las prensas mecánicas, este nuevo sistema aumenta la productividad y la flexibilidad y permite controlar el tiempo y la velocidad de transporte a diferencia de las prensas mecánicas. Las servoprensas son más versátiles y pueden inspeccionar moldes, estampación en caliente, inyección de plástico, aluminio... En muchos casos, pueden sustituir a las prensas de gofrado, prensas hidráulicas, prensas de barra curva, bielas, etc. (Arisa, 2015)

Partes que componen una servoprensa

Como mencionamos, hay varios componentes involucrados, que se pueden resumir de la siguiente manera, no de manera exhaustiva:

Mecánica: Cubo con amarre de herramienta de guía de cubo, soporte de cable de cubo para cubierta de celda de carga. Electrónica: Transductor del sensor de carga del servomotor Conector de retroalimentación de fuerza/posición de bus de campo para cable de conexión del servocontrolador del variador de retorno. Software: control de movimiento, control de fuerza, automatización del ciclo de trabajo, manejo de errores HMI, protocolos de comunicación,

mantenimiento predictivo. Si nos centramos en el concepto de una servoprensa como componente de una máquina, las cosas se simplifican mucho, pasamos de una lista de decenas de elementos, dibujos y diagramas a 3 simples elementos conectados sin complicaciones adicionales: actuadores lineales, controladores y cables de conexión. (Larraioz, 2022)



Imagen 15. Servoprensa. (Komatsu Press, s.f.)

5.7.2 Prensa hidráulica

Las prensas hidráulicas por lo general no pueden alcanzar las altas velocidades de ciclo de las prensas mecánicas de capacidad similar, pero ofrecen una mayor versatilidad debido a su longitud de carrera variable, la holgura del troquel y la presión que se puede generar. Las prensas hidráulicas suelen ser la mejor opción cuando se producen piezas con formas muy complejas que requieren un flujo de material significativo y no dependen de la velocidad de producción. Las piezas como tanques, cilindros y tazones, así como aquellas (incluidos los

plásticos) que requieren una cierta cantidad de tiempo para presurizar en la parte inferior de la carrera, generalmente se producen en prensas hidráulicas. (STAMTEC, s.f.)

Las principales ventajas de la prensa hidráulica son:

Más potencia a menor costo: Se sabe que cierto nivel de potencia de prensa hidráulica es más fácil y económico de comprar. Esta medida también es fácil de aumentar. También es posible aumentar el espacio libre máximo a bajo costo. A continuación, es muy posible instalar la mesa (placa) más grande o agrandar cualquier placa en una prensa pequeña.

Menores costos de mantenimiento: Las prensas hidráulicas tienen un diseño muy simple con pocas partes móviles y siempre están lubricadas con aceite a presión. **Seguridad de sobrecarga incluida:** con una prensa de 100 ton, si calibras a 100 ton de fuerza, no dañarás el molde ni la propia prensa por exceso de fuerza; porque con la fuerza máxima admisible se abre la válvula de seguridad.

Mayor flexibilidad y versatilidad de control: Como siempre, el control se puede mantener con una prensa hidráulica como fuerza, carrera, tiempo de trabajo, movimiento secuencial y más. Al aprovechar las herramientas de productividad y mantenimiento, puede hacer que un método rápido funcione y otro.

Durabilidad: Las prensas hidráulicas pueden manejar una amplia gama de trabajos dependiendo de su fuerza. Estos incluyen: embutición profunda, reducción, moldeado de polímeros, conformado, punzonado, ajuste de ajuste, enderezado.

- **Tamaño:** Mientras que una prensa de 20 toneladas muy común mide 1,7 m x 0,7 m x 1,5 m, una prensa de 200 t mide solo 2,1 m x 1,2 m x 2 m, efectivamente 10 veces la capacidad, pero solo un poco más grande; la prensa más grande mide solo 2,1 mx 1,2 mx 2 m, un 50 % más grande. (Maquituls, s.f.)
- **Nivel de ruido:** Con pocas piezas móviles y sin volante, el nivel de ruido de las prensas hidráulicas es mucho más bajo que el ruido mecánico. Como estándar, las bombas simulan un bajo nivel de ruido incluso a plena presión. Los niveles de ruido también se pueden mantener al mínimo controlando la velocidad de desplazamiento del mango para lograr el funcionamiento más lento y silencioso posible. (Maquituls, s.f.)
- **Seguridad:** Los productos son seguros cuando se usan correctamente, pero con controles de dos manos y protectores vinculados, es más fácil hacerlos más seguros ya que están controlados completamente hidráulicamente. (Maquituls, s.f.)

Dentro de las prensas hidráulicas podemos encontrar en el mercado, manual de 12 toneladas sobre el millón de pesos colombianos y de 30 toneladas sobre los 3 millones de pesos colombianos, en cuanto a prensas de mayor capacidad y automáticas pueden rondar los 5 o 6 millones de pesos colombianos.



Imagen 16. Prensa hidráulica. (RHTC, s.f.)

5.7.3 Prensa mecánica

Es una máquina que funciona mediante un mecanismo inercial que almacena energía y la envía a la prensa para modificar el material que se está procesando.

Ventajas

- Control de presión: Como suele utilizarse para trabajos más ligeros, permite controlar el nivel de presión sobre el material. (Jotabl, 2018)
- Funcionamiento sencillo: Porque no implica mayor complejidad, sino el giro del rotor, lo que facilita su uso y comprensión. (Jotabl, 2018)
- Precisión: Porque el trabajo que realices con ella tendrá una precisión única gracias a la guía de la prensa. (Jotabl, 2018)
- Sistema de indicadores: Con cuya ayuda podrá seguir en todo momento el estado de funcionamiento de la máquina. (Jotabl, 2018)

- Fácil de mantener: Lo que significa que no tiene que invertir mucho tiempo y dinero en reparaciones porque es fácil de entender y usar. (Jotabl, 2018)
- Fácil de instalar: Lo que significa que no tiene que preocuparse por la instalación complicada con mangueras, cables, etc., sino que está diseñado para que pueda instalarlo fácilmente. (Jotabl, 2018)

Desventajas

- Dependencia eléctrica, que te obliga a estar enchufado todo el tiempo, lo que se traduce en un mayor consumo de energía y en facturas más altas. (Jotabl, 2018)
- Restricciones de uso, ya que solo se usan para algunas tareas específicas, lo que significa que no puede usarlos para nada más que ellos, su uso está limitado si necesita realizar cambios importantes. (Jotabl, 2018)
- El tamaño grande significa que no puede moverlo fácilmente a ningún lado, lo que lo limita a un área de trabajo específica. (Jotabl, 2018)
- Dependencia de las herramientas para el trabajo de punzonado o conformado La fuerte dependencia de las herramientas de punzonado significa que incluso puede ser una restricción financiera. (Jotabl, 2018)



Imagen 17. Prensa mecánica. (Procesos de fabricación, 2017)

La prensa mecánica está equipada con un motor, volante, Los embragues y los frenos están estrechamente relacionados. estas partes Transmiten el movimiento al eje principal, a la excéntrica y luego al carro, En efecto, el motor transmite movimiento enciende el volante a medida que pasa La activación del embrague hace que el varillaje se mueva, lo que permite que el carro se deslice adelante o atrás. Para cada bucle, es decir, cada vez que el coche Al final de la cuesta arriba, el embrague se desacopla y los frenos están activados, A medida que el volante sigue girando. (Durand Lagarda, 2019)

5.7.4 Prensa neumática

Las prensas neumáticas utilizan aire comprimido para proporcionar presión y realizar procesos de prensado, conformado y unión. Cuando se completa la carrera, el aire comprimido se libera a través de la válvula y la prensa vuelve al reposo. Las prensas

neumáticas son mucho más rápidas que las hidráulicas e incluso pueden detenerse cuando el operador abre una válvula para liberar aire. Son versátiles, fáciles de usar y no requieren líquidos para funcionar.

Ventajas de utilizar una prensa neumática.

- Precisión. Esta máquina proporciona la precisión que necesita y desea para que pueda hacer mejor el trabajo. (JOTABL, 2018)
- Ahorra tiempo, te ahorrará mucho tiempo e incluso dinero gracias a su rapidez y frecuencia. (JOTABL, 2018)
- Versatilidad, porque con ella por supuesto puedes hacer lo que necesites y toleres.
- Rapidez, porque no hay que pasar por procesos manuales, aporta rapidez al trabajo y al hacerlo. (JOTABL, 2018)
- Mejor agarre, lo que significa que puede manejar mejor lo que tiene que empujar.
- Control de presión, ya que podrá ajustar la entrada y salida de aire, lo que significa que puede ajustar la presión que produce. (JOTABL, 2018)
- Supervise todos los procesos ya que muchas cuentas tienen indicadores de comportamiento para mantenerlo informado de lo que sucede. (JOTABL, 2018)

Desventajas de usar una prensa neumática.

- Una conexión eléctrica que debe estar encendida en todo momento para funcionar, es decir, no se puede usar sin energía o en un lugar sin energía. (JOTABL, 2018)
- Dimensiones, suelen ser grandes, lo que complica su montaje y posible reubicación.

- Mantenimiento, el mantenimiento puede ser más difícil o por lo menos más complicado que otras prensas que conocemos. (JOTABL, 2018)
- No puede realizar otras tareas, lo que significa que cuando se está ejecutando, su uso debe limitarse a una opción. (JOTABL, 2018)
- Un sistema de mangueras que puede complicar la instalación y el mantenimiento. (JOTABL, 2018)



Imagen 18. Prensa neumática. (Abratools, s.f.)

6 Metodología

La metodología propuesta en el presente proyecto basada en la metodología DMAIC desarrollada por motorola a principios de los años 90, que es una estrategia formada por 5 pasos, que son en inglés (define, measurement, analyze, improvement and control). Mediante la cual se pretende Definir, ¿Qué es lo importante? Es decir, los objetivos del proyecto, los requerimientos del cliente o empresa en este caso. Medir ¿Qué es lo importante? Mirar cómo se ha hecho a través de la historia la fabricación de piezas similares y desempeño actual del proceso. Analizar ¿Qué está mal? Investigando sobre los distintos mecanismos desarrollados a lo largo de la historia en informes, revistas, trabajos de grado, etc. Tratando de identificar las oportunidades de mejora en el proceso de manufactura de esta pieza comparando los distintos mecanismos ya elaborados. Mejorar teniendo en cuenta lo investigado ¿Qué necesito hacer? A partir del desarrollo de un prototipo ya sea virtual o a pequeña escala, evaluando el comportamiento para seleccionar una solución final. Para finalmente Controlar, de lo cual se plantea la siguiente pregunta ¿Cómo garantizo el desempeño? Implementando la solución y garantizando que la mejora no tiene ninguna falla, lo cual será posible gracias a la implementación del análisis de elementos finitos en el software SolidWorks®, evaluando el comportamiento del diseño y los posibles materiales a usar para la construcción de la máquina. Además, se pretende apoyar esta metodología en el modelo de ingeniería concurrente del cuál se hablará más adelante. (Escobar Ante, 2018)

6.5 Selección de metodología y parámetros de diseño

6.5.1 Diseño para manufactura

Con la información anterior, el enfoque de este proyecto es similar al Desarrollo de Diseño (DFM). Puede definirse como un conjunto de procedimientos, técnicas, métricas, herramientas y técnicas para mejorar la fabricación de piezas o simplificar el ensamblaje de productos mediante el análisis de valores, tolerancias, movimiento, complejidad e idoneidad para el ensamblaje manual, automatizado o flexible (robótica) en el mejor de los casos forma posible Adaptarse a sistemas de producción específicos para reducir costes y mejorar la calidad. Con este enfoque, no solo los diseñadores están involucrados en el proceso de diseño, sino también las personas del equipo de producción e incluso los proveedores para garantizar la capacidad de fabricación. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, no solo se utiliza como una herramienta de evaluación comparativa para estudiar productos de la competencia e identificar dificultades de fabricación y ensamblaje. Desde el diseño hasta la producción, utilizando más información como: planos, especificaciones del producto y alternativas de diseño, conocimiento detallado del proceso de fabricación y montaje, y cálculos de costo-beneficio para lograr el objetivo final de obtener el producto de mejor calidad hace un uso eficiente de los recursos. Esto requiere la colaboración entre los miembros del equipo de desarrollo y expertos externos.

Para aplicaciones generales de DFM, es decir, los siguientes elementos pueden ser considerados sin una especificación de proceso: 1. Estimar los costos de fabricación, 2. Reducir los costos de los componentes, 3. Reducir los costos de empaque. cuatro Reducir los costos de producción. 5. Considerar el impacto de las decisiones de DFM en otros factores. La siguiente figura muestra el enfoque general sugerido desde el diseño hasta la producción.

(Sánchez & Julio Cortez, 2005)

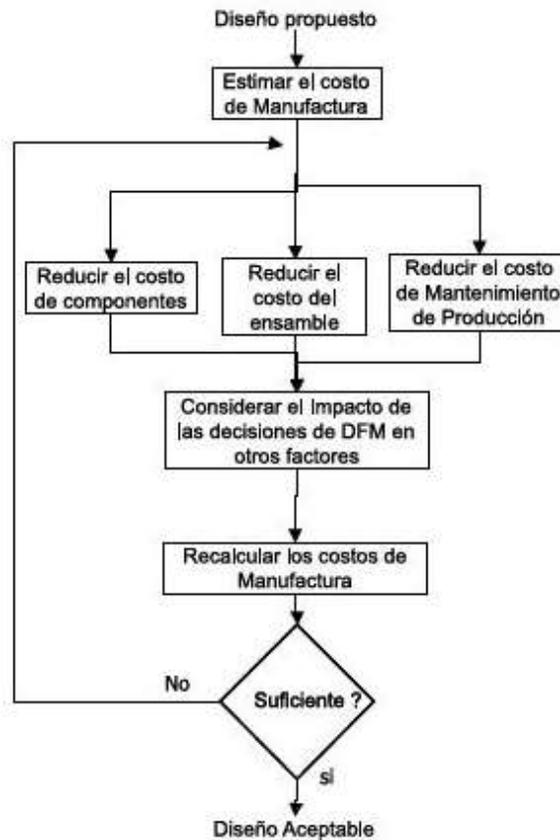


Imagen 19. Metodología DFM. (Sánchez & Julio Cortez, 2005)

7 Resultados

7.1 Parámetros de diseño.

7.1.1 Dimensiones de la pieza

Para la fabricación el troquel debemos tener en cuenta las medidas de la pieza a fabricar, a continuación, se muestran las dimensiones de la pieza. Ver anexo 10.3

7.1.2 Propiedades de la lámina para la fabricación de la pieza.

Calidad comercial CS*		Fluencia YP mínima	Resistencia máxima-mínima	Elongación mínima
		MPa	MPa	%
		205/380	---	≥ 20
Calidad estructural SS	Grado	Fluencia YP mínima MPa	Resistencia máxima-mínima MPa	Elongación mínima
	33	230	310	20
	37	255	360	18
	40	275	380	16
	50	340	450	12

Tabla 4. propiedades mecánicas del acero galvanizado. (Acesco, 2021)

7.1.3 Secuencia de corte de la pieza.

Como podemos ver en la secuencia de corte, la pieza inicialmente requiere de un corte para el desarrollo de la pieza, y una segunda etapa para embutir las partes que se pueden resaltar en la secuencia de corte con líneas punteadas, por lo cual la fabricación de la pieza se llevará a cabo en una matriz de troquel progresivo con 2 etapas, una etapa de punzonado y otra etapa de embutición. Se tiene pensado realizar una sola pieza por movimiento, dadas las dimensiones y el costo que esto implicaría. Además de que se quiere obtener el diseño más económico posible y que cumpla con la demanda de piezas de la empresa con la calidad que se desea. Basados en el diseño para Manufactura.

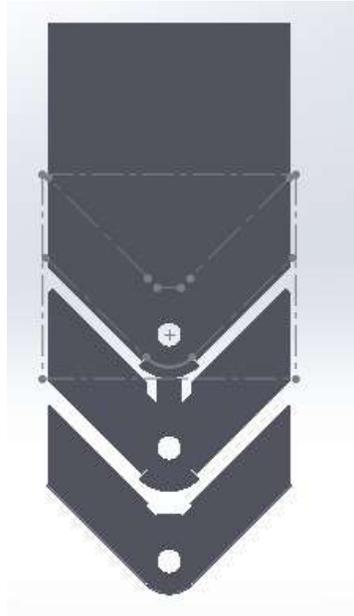


Imagen 20. Secuencia de corte.

7.1.4 Fuerza de corte.

Como se piensa trabajar en frío mediante la técnica del troquelado, inicialmente debemos tener en cuenta la fuerza necesaria para superar el límite elástico del material con que se fabrica la pieza, el cual es acero galvanizado, específicamente chapa metálica de acero galvanizado. A continuación, se presentan las propiedades de este según norma NTC 4011 – ASTM A653. Para calcular la fuerza se debe tener en cuenta que el esfuerzo de cizallamiento del material es el 80% del esfuerzo último en tensión. (García, 2018)

Esfuerzo ultimo de resistencia.

$$357 \text{ MPa}$$

$$F = 357 \text{ Mpa} * 0.8 * 0,527 \text{ m} * 0,00091 \text{ m}$$

$$F = 136965.19 \text{ N} - 14 \text{ Tn.}$$

Ecuación 1. Fuerza de corte.

7.2 Metodología y materiales para el diseño del troquel para la fabricación de la pieza.

Ahora bien, la técnica que se usará para fabricar la pieza es el troquelado dadas las ventajas que nos ofrece con respecto a otras técnicas de manufactura que ya se expuso anteriormente. Para llevar a cabo el troquelado se necesita que una prensa mueva un troquel, el cuál es el molde que tiene la forma de la pieza e indiscutiblemente hay que tener en consideración el material con que se llevará a cabo la fabricación de este. A continuación, se muestra una referencia bibliográfica donde se exponen varios materiales que se usan.

Hay algunos criterios a tener en cuenta al crear un molde para seleccionar estos materiales. Una tarea particularmente importante es seleccionar un acero particular en relación con la función que debe realizar durante el estampado. La elección de los materiales debe basarse en los siguientes factores:

- Según el tamaño de impresión
- Depende del tipo de sello, es decir, si se utiliza para cortar, doblar, rellenar, etc.
- Según la temperatura a la que deba trabajar el pistón, ya sea en frío o en caliente.
- Según el tipo de material a procesar en el sello.

La elección es un problema, especialmente en el punzón y el cuerpo base, ya que son los elementos de presión que entran en contacto con la pieza de trabajo. Otro aspecto muy importante a tener en cuenta a la hora de fabricar moldes es que el acero del que están hechos los moldes debe ser tratado térmicamente. La Tabla 21 muestra los grados de acero más utilizados para fabricar troqueles y sus propiedades químicas. Tenga en cuenta que el acero M2 se usa más comúnmente para punzones de alambre debido a su composición química de molibdeno, tungsteno y vanadio. Debido a que la composición química del acero D2 no es la misma que la del M2, no es atractivo para los fabricantes de punzones. (Eugene A, 1995)

PRESENTACIÓN DE PROYECTOS DE GRADO

Acero	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	W	V	BHN	RC	Templado	Enfriamiento	Revenido	Equiv Jis	Esf Ten Lbs/Pulg
1018	0.18	0.2	0.75						200	14	845	Cementar 925	500-600	S20C	11900
1045	0.45	0.25	0.75						206	15	820-860	Aceite/Agua	300-650	S45C	17000
4140R	0.4	0.25	0.9	0.95		0.2			230	20	830-850	Aceite	500-650	SCM440	29000
4140T	0.4	0.25	0.9	0.95		0.2			330	36				-	-
8620	0.2	0.25	0.8	0.5	0.55	0.2			200	14	Na	Cementar 870-925	200	SNM220	24800
9840R	0.4	0.25	0.7	0.8	1	0.25			230	20	820-860	Aceite	200-500	-	29000
9840T	0.4	0.25	0.7	0.8	1	0.25			330	36				-	-
D2	1.5	0.4	0.4	12		0.9		0.8	262	26	980-1025	Aire	100-400	SKD 11	-
A2	1	0.5	1	5.1		1.15		0.3	230	20	950-980	Aire	100-400	SKD 12	-
O1	0.9	0.3	1.15	0.5			0.5	0.2	228	19	790-815	Aceite	100-400	SKS 3	-
S7	0.5	0.6	0.5	3.25	1.55			0.35	245	23	930-960	Aceite/Aire	100-400	-	-
M2	0.8	0.3	0.3	4		5	6	1.9	269	28	1190-1230	Salas/Aire	100-700	SKH 51	-

Imagen 21. Tipos de aceros para la fabricación de troqueles.

A continuación, se presenta unas referencias de los troqueles para la fabricación de las piezas esquineras para ductos TDC, los cuales se encuentran en el mercado con las especificaciones dadas, también se observa una prensa mecánica con el troquel, con la capacidad de perforar y fabricar las piezas, con estas referencias se puede analizar y comparar entre lo que se encuentra comercialmente y el diseño a realizar, tener en cuenta los precios, la capacidad que tiene cada uno de ellos, tratando de diseñar una prensa mecánica excéntrica que cumpla con los requisitos y pueda tener un menor precio que las del mercado, con el fin de suplir las necesidades de la empresa.

Troquel de esquina TDF	Especificaciones
Peso	60 kg
Aplicación	Conducto TDF esquina moldes
Poder	7.5 kw
Marca	Prima
Costo: 5.939.489 COP	

Tabla 5. Troquel para esquinero. (Alibaba, s.f.)

Molde de esquina de Hvac ductwork TDF/TDC	Especificaciones
Peso	80 kg
Marca	BLKMA
Tamaño	118x110x31,5 mm
Costo: 5.432.460 COP	

Tabla 6. Molde de esquineros. (Made in China, s.f.)

Máquina perforadora de esquinas	Especificaciones
Modelo	J23-40T
Dimensiones	1320x970x2380 mm
Potencia	3 kw
Fuerza	400 KN
Costo: 36.216.400 COP	

Tabla 7. Máquina perforadora de esquinas TDC. (BLKMA, s.f.)

7.3 Diseño troquel.

A continuación, se muestra el diseño que se realizó del troquel a partir de la secuencia de corte a seguir. A partir de la secuencia de corte se fue realizando cada uno de los punzones necesario para cortar la sección deseada, esto se llevó a cabo en el software SolidWorks®, fijando la placa y diseñando encima de esta. El troquel consta de 3 punzones, uno circular que cortará el diámetro donde pasa el tornillo que ajusta a este con la unión de estos con los ductos (Ver imagen 15). Luego sigue el punzón que cortará la sección necesaria para darle forma a la pieza (ver imagen 14), finalmente un diseño basado en troquel de embutición para dar forma a las pestañas.

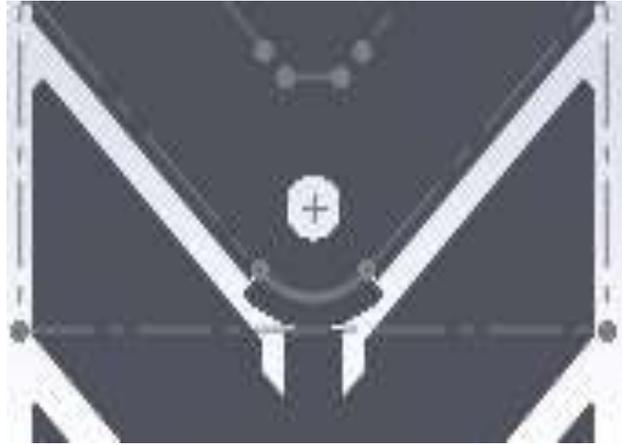


Imagen 22. Sección de corte.



Imagen 23. Pieza esquinera en ducto de ventilación.

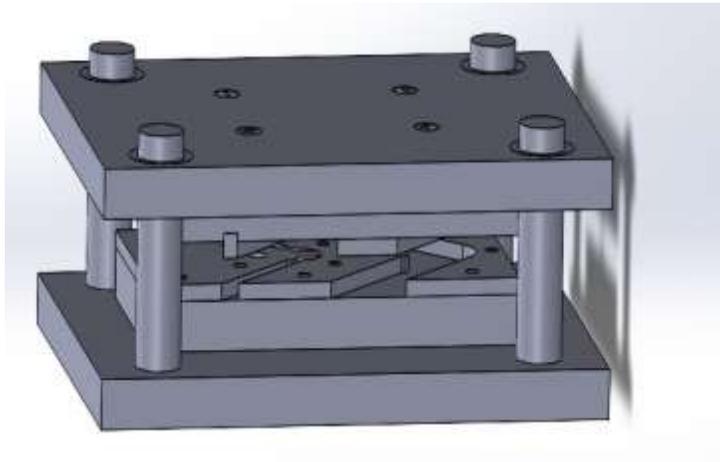


Imagen 24. Troquel diseñado en el software SolidWorks®.

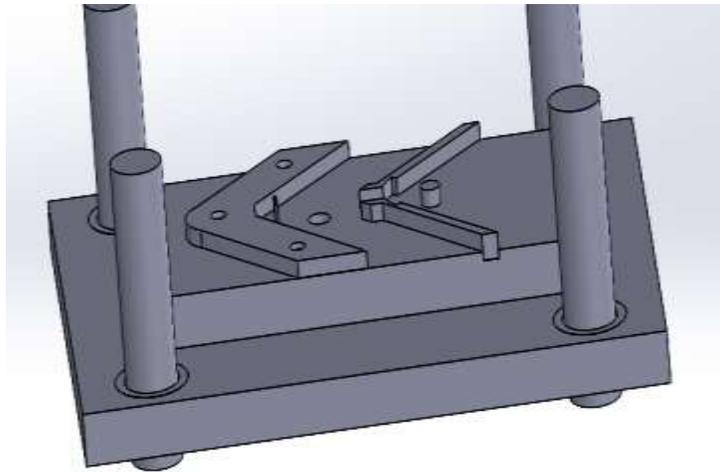


Imagen 25. Parte superior del troquel diseñado en SolidWorks®.

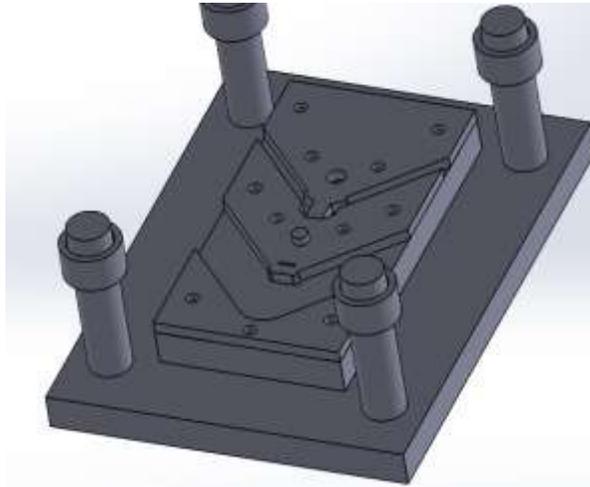


Imagen 26. Parte inferior del troquel diseñado en SolidWorks®.

7.3.1 Diseño modelo de troquel en madera.

Con el diseño del troquel en el software SolidWorks® como base, fabricamos un modelo en madera de este, manteniendo la secuencia de corte. Con el fin de observar el resultado del troquelado, hasta llegar a la pieza deseada.

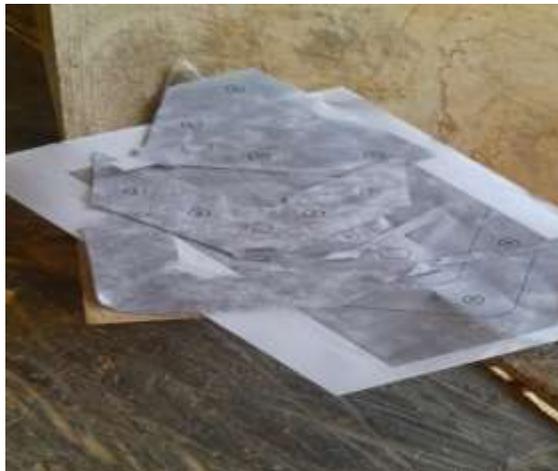


Imagen 27. Guías para fabricación de modelo del troquel en madera.

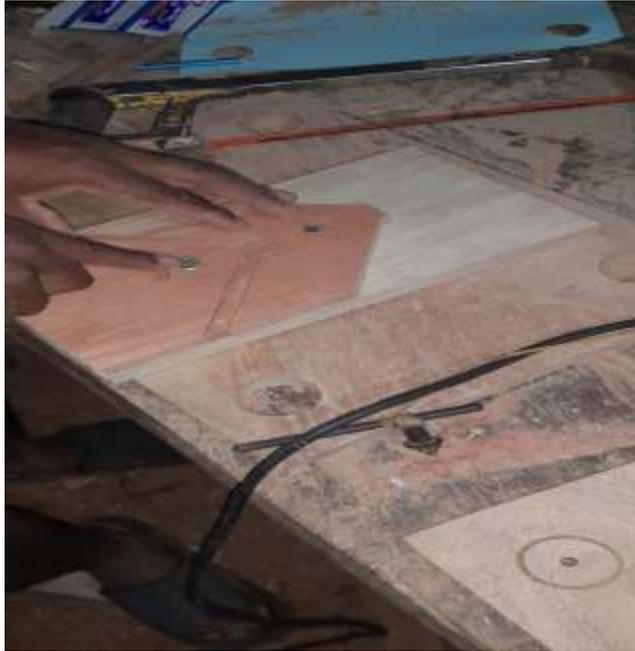


Imagen 28. Fabricación modelo de troquel en madera.



Imagen 29. Modelo de troquel diseñado en madera

7.4 Cuadrado comparativo de máquinas.

Tipo de prensa	Ventajas	Desventajas
Mecánica	<ul style="list-style-type: none"> • Fácil mantenimiento • Alta precisión en el proceso • Mayor velocidad de proceso • Mejor control sobre la presión ejercida 	<ul style="list-style-type: none"> • Dependencia eléctrica • Ocupa una mayor área de trabajo • Dependencia de los moldes de troquelado
Neumática	<ul style="list-style-type: none"> • Precisión necesaria para los procesos • Alta rapidez y frecuencia para los procesos • Mejor control de presión • Fácil monitoreo del proceso, inspeccionando que la maquina trabaje a las condiciones requeridas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ocupan una mayor área de trabajo • El mantenimiento puede ser más complicado • Dependencia eléctrica
Hidráulica	<ul style="list-style-type: none"> • Pueden realizar mayores fuerzas de prensado a menos costo • Menos costos de mantenimiento • Mejor control de presión • Ocupa una menor área de trabajo • Menor nivel de ruidos y vibraciones 	<ul style="list-style-type: none"> • Menor rapidez del proceso
Servoprensas	<ul style="list-style-type: none"> • Contribuyen a la protección del medio ambiente consiguiendo un mejor balance energético y reduciendo las emisiones de CO2 hasta en un 90% respecto a otras tecnologías. • Aumentan la calidad del producto y la garantizan gracias al control de procesos durante el proceso de fabricación. • Aumente la productividad de la fábrica al reducir los desechos y los costos operativos 	<ul style="list-style-type: none"> • Son complicadas de mantener, solucionar problemas electrónicos y mecánicos.

Tabla 8. Ventajas y desventajas de tipos de prensas.

7.5 Evaluación de máquinas según criterios de diseño.

	Mecánica	Hidráulica	Neumática	Servoprensa
Velocidad de corte	4	2	4	4
Productividad	5	2	4	4
Control de proceso	4	5	5	5
Medio ambiente	4	4	4	4
Eficiencia	4	3	5	5
Ruido	3	5	4	5
Tamaño	3	4	4	3
Mantenimiento	4	3	2	2
Precisión	4	4	4	5
Costo	4	5	3	1
Fuerza	4	5	5	5
Componentes	3	4	3	1
Total	46	46	47	44

Tabla 9. Evaluación de tipos de prensas.

Nota: la puntuación es de 1 a 5, siendo 1 la más baja y 5 la más alta.

Observando los parámetros, la prensa neumática obtiene la mejor calificación en el momento de realizar el proceso de troquelado, pero debemos tener en cuenta el mantenimiento, el costo y la velocidad de corte para la fabricación de esta pieza, por tal razón optamos por una prensa mecánica. Esta prensa tiene una buena velocidad de corte, el mantenimiento es sencillo y sus componentes no son costosos, así como los de una neumática, que deben tener componentes más especializados.

Mecanismo de accionamiento de prensa

Se debe seleccionar adecuadamente el tipo de mecanismo que se usará para el accionamiento de la prensa basado en los mecanismos actuales, luego de la comparación de los tipos encontrados, teniendo en cuenta que se debe obtener un diseño basado en la metodología escogida, donde se evidencie la reducción de costos para la fabricación de la pieza, en función de las máquinas actuales. Se apostará por un mecanismo biela manivela en la parte que moverá el troquel, mientras que este mecanismo estará unido a un eje que a su vez estará conectado al motor mediante un sistema de poleas. El mecanismo será controlado a gusto mediante un embrague.

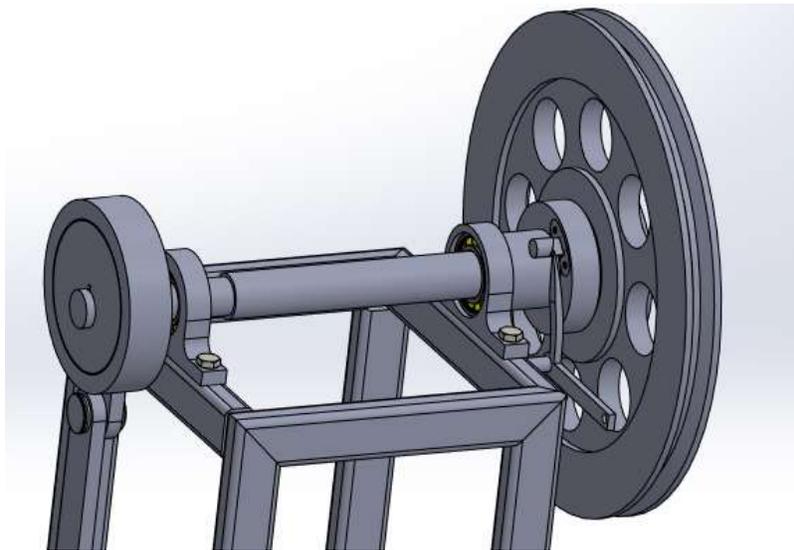


Imagen 30. Mecanismo de prensa mecánica excéntrica.

7.6 Selección de motor.

Teniendo la fuerza de corte, ahora mediante la relación de transmisión, para la cual se planea usar poleas, se calculará el torque necesario para generar la fuerza suficiente para llevar el material a su esfuerzo último.

Sabiendo que $F=136965.19 \text{ N}$

Conocemos que el recorrido del troquel es de 0.03 m de bajada, y eso mismo de subida. Si queremos que el tiempo de corte sea de 0.1 s. Esta velocidad entonces debe ser.

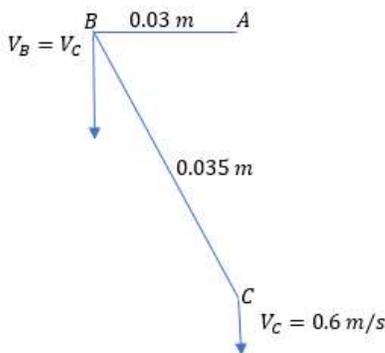
$$V_L = \frac{0.03 \text{ m} * 2}{0.1 \text{ s}} = 0.6 \text{ m/s}$$

Ecuación 2. Velocidad lineal.

Ahora calculamos la velocidad requerida en la polea para obtener esa velocidad.

Teniendo el radio para el mecanismo biela manivela, se calcula la velocidad requerida en la polea para obtener esa velocidad lineal, sabiendo que la velocidad máxima del troquel es 0,57 m/s y que esta se obtiene cuando el ángulo formado entre la vertical y el brazo es de 90°.

Sabemos que $V_L = R * W_B$



$$W_B = \frac{V_L}{R} = \frac{0.6 \text{ m/s}}{0.03 \text{ m}} = 20 \text{ rad/s}$$

$$W_B = 20 \frac{\text{rad}}{\text{s}} * \frac{9.5492 \text{ RPM}}{1 \frac{\text{rad}}{\text{s}}} = 190.9 \text{ RPM}$$

Ecuación 3. Velocidad de la polea condiciones iniciales.

Imagen 31. Diagrama de cuerpo libre mecanismo biela-manivela.

Para verificar esto se hizo una simulación en SolidWorks®

con los mismos parámetros del mecanismo que se realizará para la fabricación de esta prensa. A continuación, observaremos los resultados obtenidos.

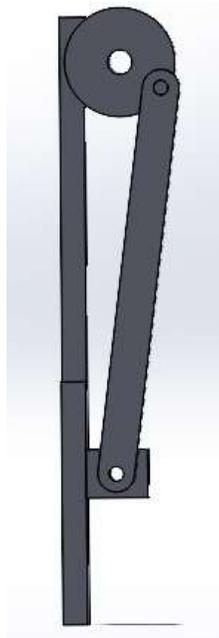


Imagen 32. Mecanismo biela-manivela.

Mecanismo realizado para la simulación.

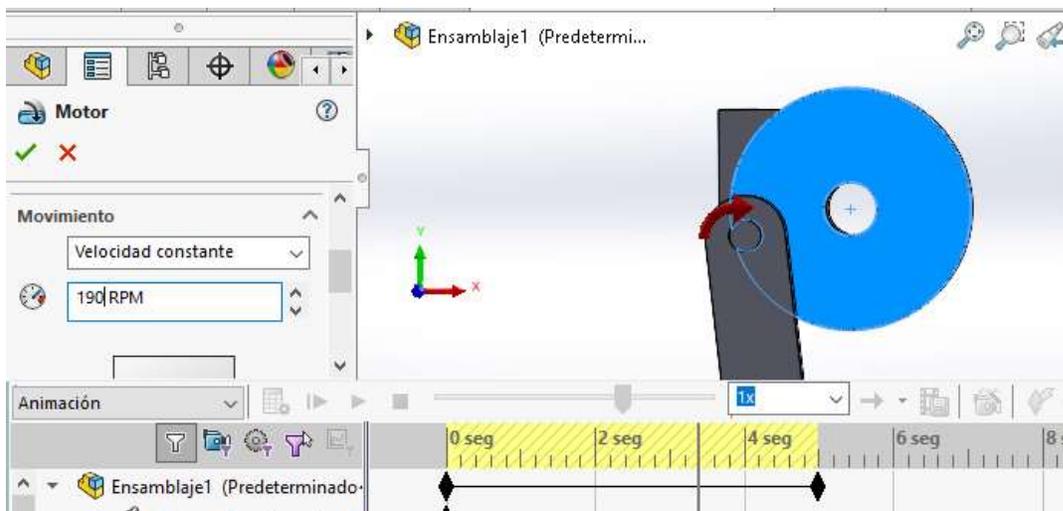


Imagen 33. Análisis mecanismo biela-manivela.

Operación motor usada con velocidad constante de 190 rpm.

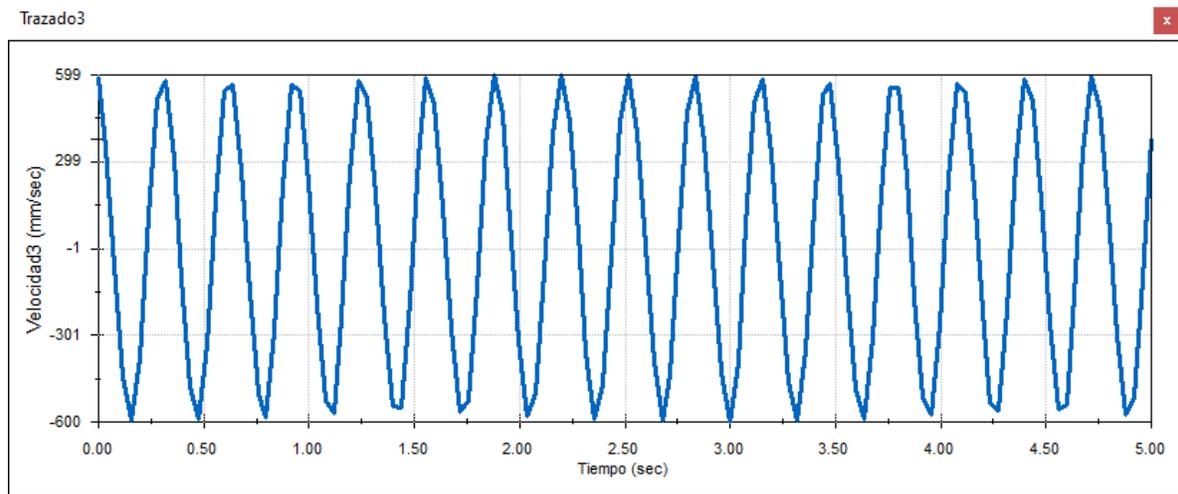


Gráfico 1. Velocidad vs tiempo en condiciones iniciales.

Trazado de gráfico de velocidad en un tiempo de 5 segundos.

En el gráfico se puede evidenciar que la velocidad máxima y mínima que alcanzará el troquel con estos parámetros es de 600 mm/s, que es lo mismo que 0.6 m/s. Demostrando que efectivamente esa es la velocidad requerida del brazo para obtener la velocidad deseada en el troquel.

A continuación, se llevará a cabo el cálculo para seleccionar el motor necesario para aplicar la fuerza de corte suficiente para superar el límite elástico del material y llevarlo a la rotura y poder fabricar la pieza.

Sabemos que

$$P = \frac{W}{t}$$

Ecuación 4. Potencia.

Pero $W = F * d$

Ecuación 5. Energía.

Siendo d la distancia en la que se va a aplicar la fuerza, es decir a lo largo del espesor de la lámina, siendo $d = 0.00091 \text{ m}$.

$$W = 136965.19 \text{ N} * (0.00091 \text{ m}) = 124.64 \text{ J}$$

Ecuación 6. Energía necesaria para deformar el material.

Calculamos la potencia necesaria del mecanismo para realizar el troquelado, en un tiempo inicial de 0,1s.

$$P = \frac{124.64 \text{ J}}{0.1 \text{ s}} = 1246.4 \text{ Watts}$$

Ecuación 7. Potencia del mecanismo condiciones iniciales.

Esta potencia en HP será de

$$P = 1246.4 \text{ W} * \left(\frac{1 \text{ HP}}{745.7 \text{ Watts}} \right) = 1.67 \text{ HP}$$

Ecuación 8. Conversión de potencia de Watts a HP en condiciones iniciales.

Teniendo esto podemos buscar un motor comercial para nuestro mecanismo, debemos tomar un motor de 2 HP dado que no existen motores comerciales de 1.67 HP.

Marca	Power
Modelo	2HP-1700 rpm
Características	Motor de inducción eléctrico Monofásico 110 y 220 voltios Marca Power Uso intensivo y continuo trabajo industrial Garantía de un año 2 hp a 1700 rpm 60htz Grado de protección IP54 Peso 28kg Eje 28mm Eficiencia energética 73% Factor de potencia 0.91 cos Precio: \$620.000



Tabla 10. Especificaciones del motor.

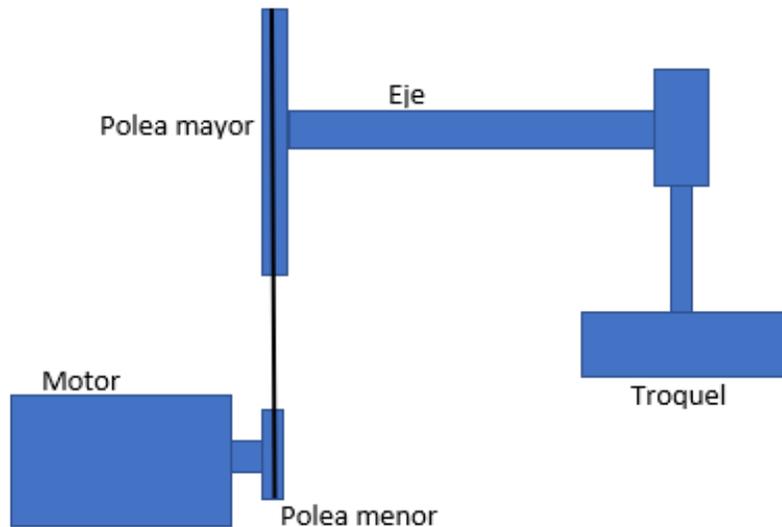


Imagen 34. Esquema montaje.

En base a los cálculos realizados anteriormente, se buscó un motor que cumpla los requisitos. En la imagen anterior podemos ver un motor que cumple con las especificaciones, este motor tiene una velocidad nominal de 1700 rpm. Como se quiere una velocidad de salida de 190 rpm, podemos usar una relación de 1:9 para reducirlo a 190 rpm, pero esto haría que la polea

conectada al eje sea muy grande, por lo cual usaremos una relación de 1:8. Entonces la nueva velocidad de la polea mayor será de.

$$Velocidad\ polea\ mayor = \frac{1700\ rpm}{8} = 212.5\ rpm$$

Ecuación 9. Velocidad de la polea con motor.

Realizamos nuevamente el análisis de la velocidad lineal.

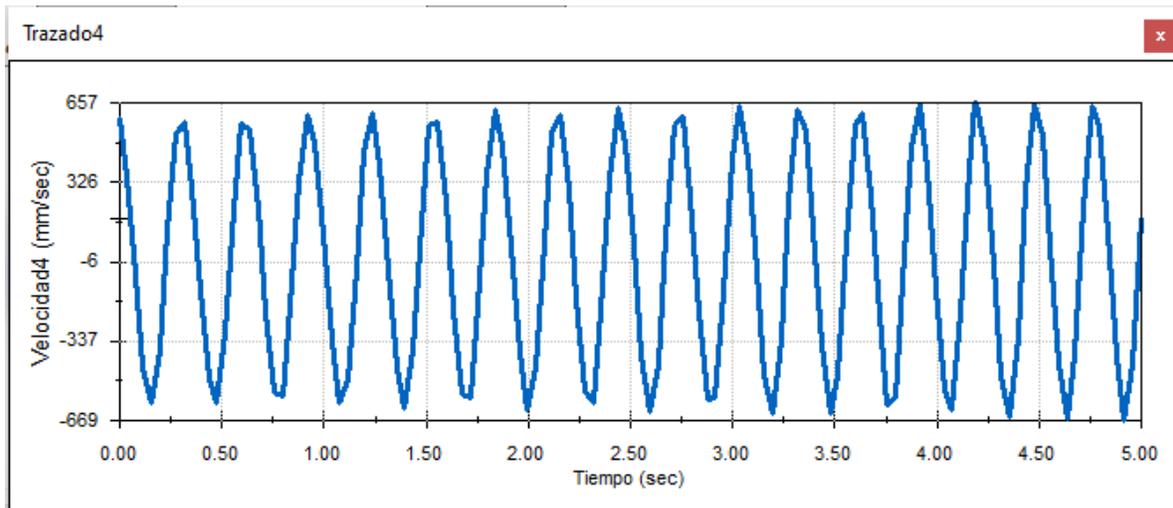


Gráfico 2. Velocidad vs tiempo con motor.

Teniendo la nueva velocidad lineal, se recalculará la potencia.

Nuevo tiempo de corte.

$$t = \frac{0.03\ m * 2}{0.657\ \frac{m}{s}} = 0.091\ s$$

Ecuación 10. Tiempo de corte con motor.

La potencia entonces estará dada por:

$$P = \frac{124.64\ J}{0.091\ s} = 1369.67\ Watts$$

Ecuación 11. Potencia del sistema con motor.

Esta potencia en HP será de:

$$P = 1369.67 W * \left(\frac{1 HP}{745.7 Watts} \right) = 1.83 HP$$

Ecuación 12. Conversión de potencia de Watt a HP con motor.

Podemos concluir que el motor elegido cumplirá con la potencia requerida para ejercer la fuerza que necesitamos.

7.7 Estructura para la fabricación de prensas.

Se debe tener en consideración los materiales más comúnmente usados en la fabricación de prensas actualmente, comparando la relación resistencia-costo para poder así identificar el material más económico y eficaz a la hora de la fabricación. Siguiendo la metodología de diseño DFM. Como también debemos mirar las estructuras ya implementadas en prensas, para poder así seleccionar un tipo de estructura que permita el ahorro de la mayor cantidad de material, logrando un diseño que permita facilidad de mantenimiento y cumpla con el factor de seguridad requerido. A continuación, veremos varias opciones de estructuras que podrían servir para nuestro diseño.



Imagen 35. Prensa mecánica excéntrica. (SHARKSTALITHA, s.f.)

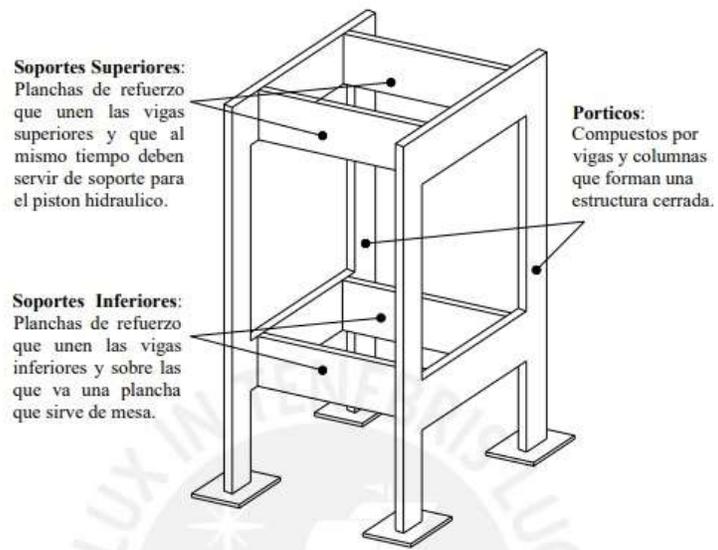


Imagen 36. Estructura para montaje prensa mecánica. (Apolinario Julca, 2015)

Se optará por un diseño que se pueda fabricar con perfiles cuadrados, debido a la diferencia de costos, dado que un diseño con perfil resulta menos costoso. Un perfil de 60x60x3 mm tiene un costo de 18.51 Euro por metro (84.577 pesos), de acero laminado en caliente. Por otro lado, el desperdicio de material sería muy grande dado que hay que hacer muchos cortes, quedaría muy pesada la máquina, haciendo que esta sea difícil de mover.

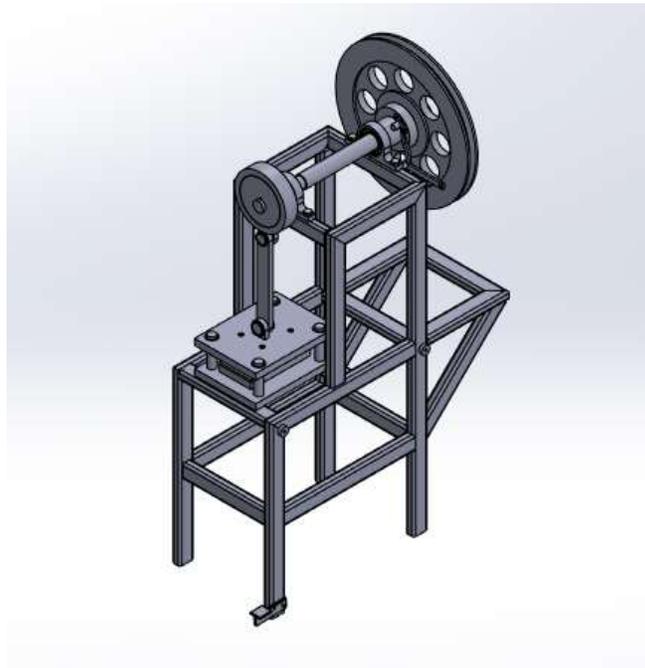


Imagen 37. Diseño estructura de prensa excéntrica en SolidWorks®.

7.8 Análisis de detalle de elementos.

En esta sección se hará el análisis estático correspondiente a todos los elementos mecánicos críticos del ensamble, como los son ejes, chavetas y pasadores. El análisis será llevado a cabo manual y con ayuda de software de análisis de elementos finitos (SolidWorks®).

7.8.1 Análisis eje principal.

Para este análisis inicialmente se dibujará el diagrama de cuerpo libre. El análisis será realizado para un eje de $\frac{3}{4}$ in. Este diámetro fue asumido ya que para otros ejes la longitud de las chavetas sería muy larga y modificaría completamente el diseño.

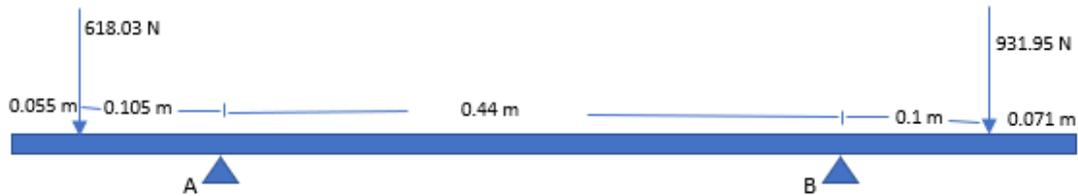


Imagen 38. Diagrama de cuerpo libre de eje.

$$\sum M_A = -0.54 \text{ m} * 931.95 \text{ N} + 0.44 R_B + 0.105 \text{ m} * 618.03 \text{ N} = 0$$

$$R_B = \frac{0.54 \text{ m} * 931.95 \text{ N} - 0.105 \text{ m} * 618.03 \text{ N}}{0.44 \text{ m}} = 996.27 \text{ N}$$

$$\sum F_y = -618.03 \text{ N} + R_A + 996.27 - 931.95 \text{ N} = 0$$

$$R_A = 553.71 \text{ N}$$

Teniendo esto hacemos los diagramas de momento y cortante para identificar los valores máximos y así poder calcular el esfuerzo máximo por flexión y cortante.

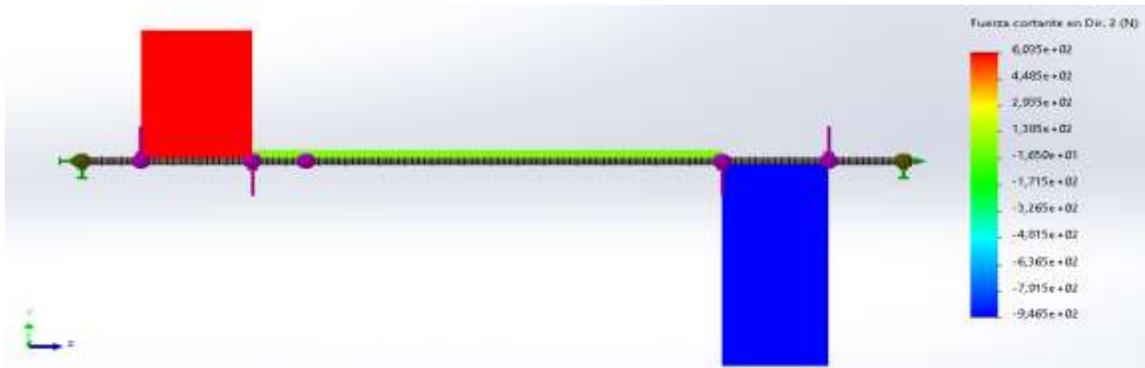


Imagen 39. Diagrama de cortante.

$$V_{max} = 946.5 \text{ N} * \frac{0.225 \text{ lbf}}{1 \text{ N}} = 212.78 \text{ lbf}$$

Diagrama de momento

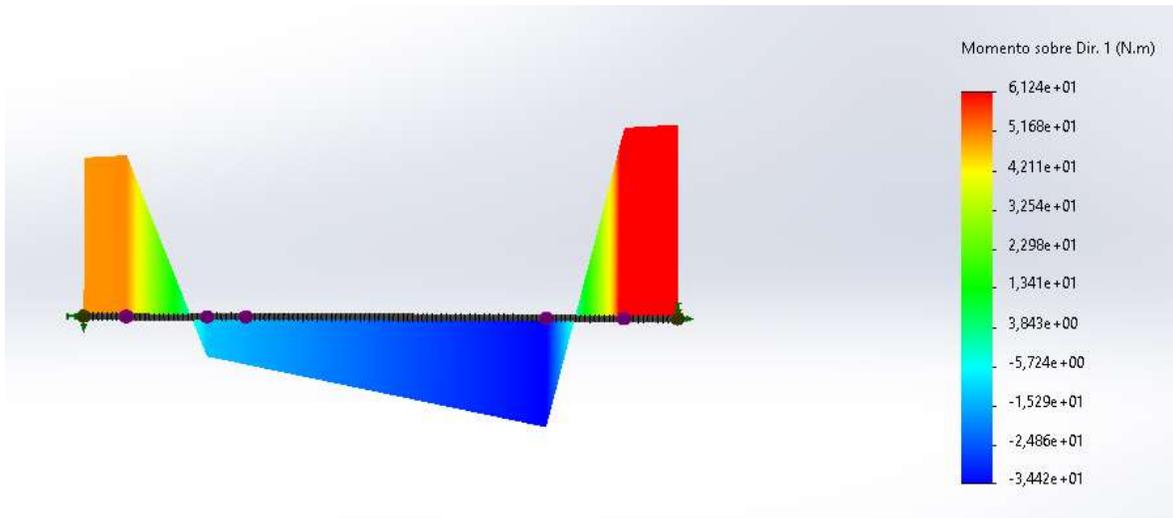


Imagen 40. Diagrama de momento.

$$M_{max} = 61.24 \text{ Nm} \frac{8.8507 \text{ lbf in}}{1 \text{ Nm}} = 542.016 \text{ lbf in}$$

Teniendo los valores máximos procedemos a calcular los esfuerzos máximos a los que será sometido el eje.

Esfuerzo a flexión

$$\sigma = \frac{Mc}{I}$$

Ecuación 13. *Momento flector*

$$\sigma_{max} = \frac{542.016 \text{ lbf in} * (\frac{3}{4} \text{ in})/2}{\frac{\pi (\frac{3}{8} \text{ in})^4}{4}} = 13086.65 \text{ psi}$$

Esfuerzo a cortante

$$\tau = \frac{Tc}{J} + \frac{VQ}{Ib}$$

Ecuación 14. *Esfuerzo cortante por torsión y flexión.*

$$\tau_{max} = \frac{593 \text{ lbf in} * (\frac{3}{8} \text{ in})}{\pi * \frac{(\frac{3}{8} \text{ in})^4}{2}} + \frac{212.78 \text{ lbf} * \left(2 * \frac{(\frac{3}{8} \text{ in})^3}{3}\right)}{(\frac{3}{4} \text{ in}) \left(\frac{\pi (\frac{3}{8} \text{ in})^4}{4}\right)} \cong 7801 \text{ psi}$$

Tensión de Von Misses.

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$$

Ecuación 15. Tensión de Von Misses.

$$\sigma_{VM} = \sqrt{(13086.65 \text{ psi})^2 + 3(7081 \text{ psi})^2} = 18810.3 \text{ psi}$$

$$\sigma_{VM} = 18810.3 \text{ psi} * \frac{1 \text{ MPa}}{145.038 \text{ psi}} = 129.7 \text{ MPa}$$

Factor de seguridad.

Teniendo en cuenta que el material para el eje será acero AISI 1020, se tendrá en cuenta sus propiedades. El límite elástico de este material es de 351 MPa.

$$F_s = \frac{\text{Esfuerzo máximo}}{\text{Esfuerzo de trabajo}}$$

Ecuación 16. Factor de seguridad.

$$F_s = \frac{351 \text{ MPa}}{129.7 \text{ MPa}} = 2.7$$

El factor de seguridad que se obtiene con este diámetro de eje es más de lo recomendado, si se quisiera ahorrar material, se podría disminuir esta dimensión. Pero hay que tener en cuenta que a la hora de realizar los chaveteros se generan concentradores de esfuerzo, lo que modificaría este factor de seguridad. Además, si se reduce el diámetro, aumentaría la longitud de las chavetas y en consecuencia la dimensión de otros elementos del ensamble, elevando el costo total de la máquina.

Análisis computacional.

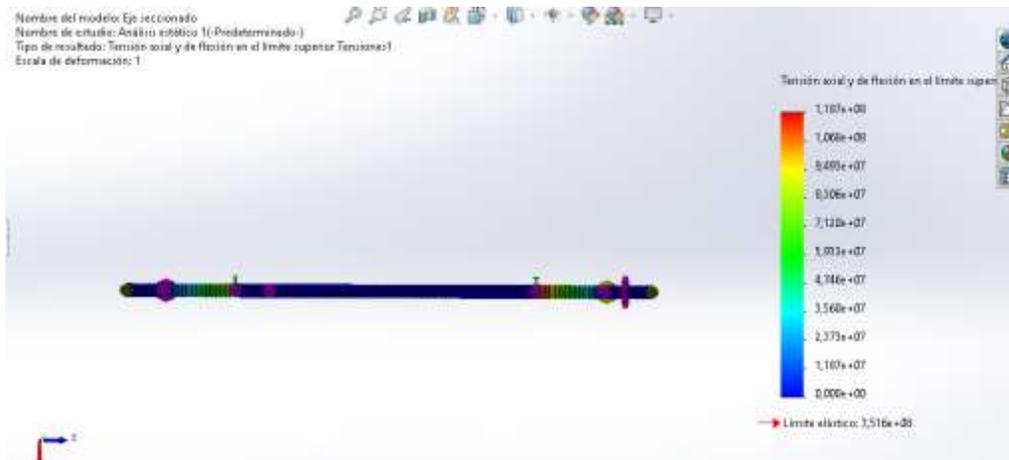


Imagen 41. Analisis de tensiones.

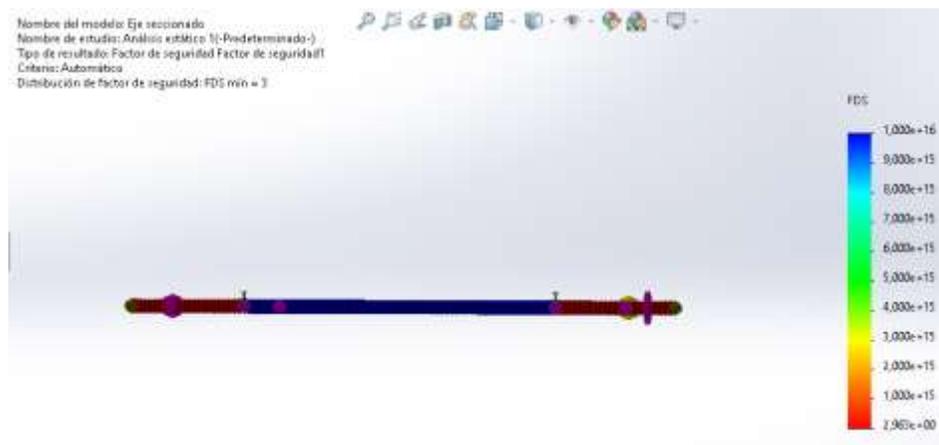


Imagen 42. Analisis factor de seguridad obtenido en SolidWorks®.

Podemos observar que el factor de seguridad obtenido con el software computacional es muy similar al realizado manualmente con un margen de error del 11.11 %. Lo cual se puede atribuir a aproximaciones o alguna falla en la programación de los valores asignados en el software.

Ángulo de deformación por torsión.

Se realiza los cálculos para el ángulo de deformación por torsión del eje, teniendo en cuenta el diámetro escogido para este.

$$\Phi = \frac{TL}{GI_P}$$

Ecuación 17. Ecuación de ángulo de deformación por torsión.

El módulo de elasticidad transversal (G) del acero 1020 es de 77.000 **GPa** y calculamos el momento polar de inercia (I_P).

$$I_P = \frac{\pi d^4}{32}$$

Ecuación 18. Momento polar de inercia de un círculo.

$$I_P = \frac{\pi (0,01905m)^4}{32} = 0,00000001292 m^4$$

$$\Phi = \frac{(67,03 Nm)(0,77 m)}{(77000 MPa)(0,00000001292 m^4)} = 0,0519 rad$$

$$0,0519 rad * \frac{180^\circ}{\pi} = 3,317^\circ$$

Ecuación 19. Conversión de radianes a grados.

Análisis por fatiga

Factor de carga

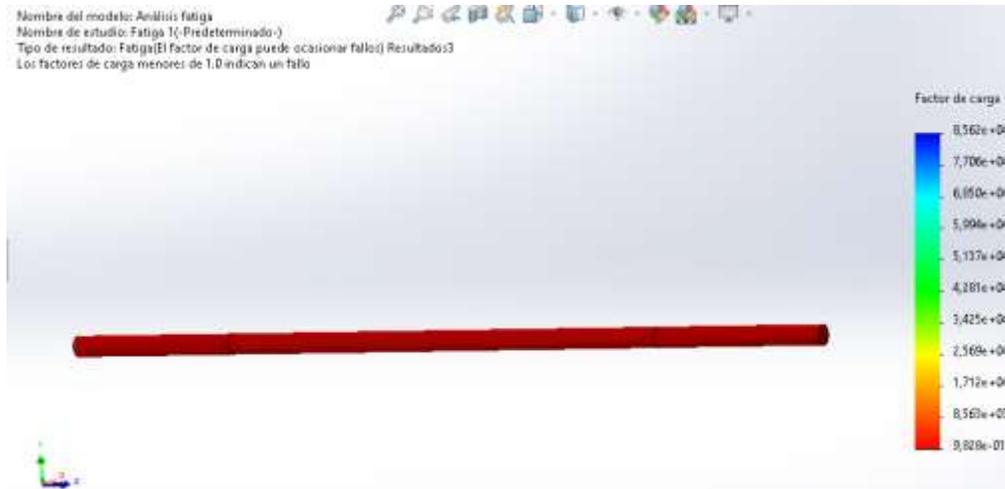


Imagen 43. Factor de carga por fatiga

El factor de carga que se obtiene es menor a uno, por lo cual se debe rediseñar el eje.

Ahora el análisis se realizará para un diámetro de 1 in y con material AISI SAE 1045.

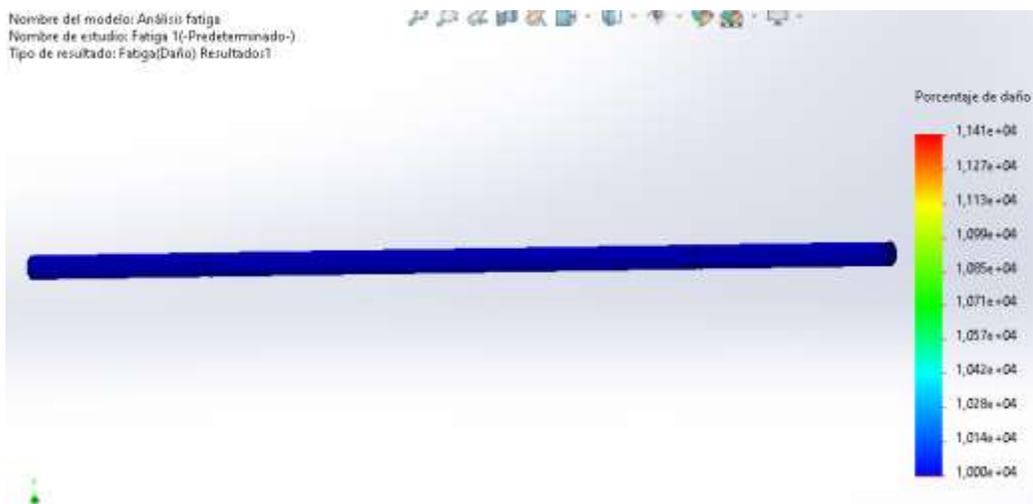


Imagen 44. Porcentaje de daño por fatiga

Análisis fatiga con cambio de eje y material

Análisis estático

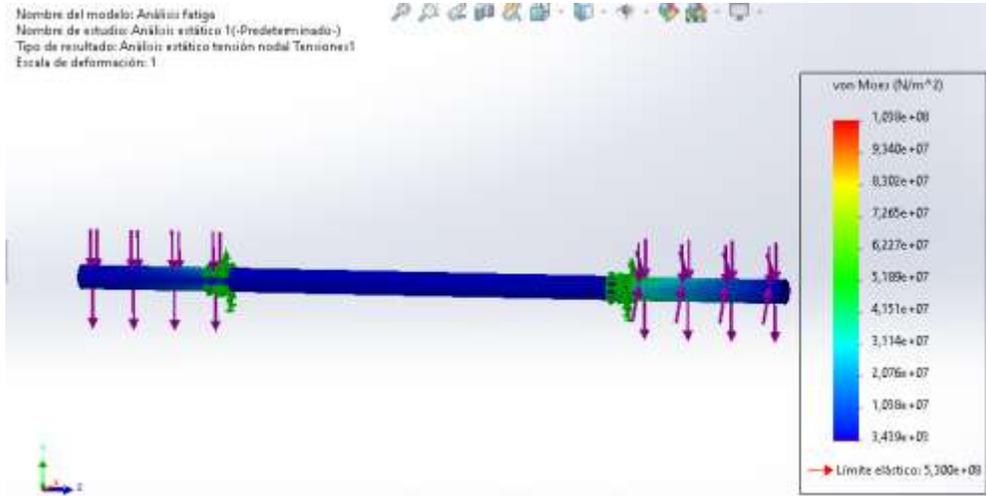


Imagen 45. Von mises para eje de 1 in

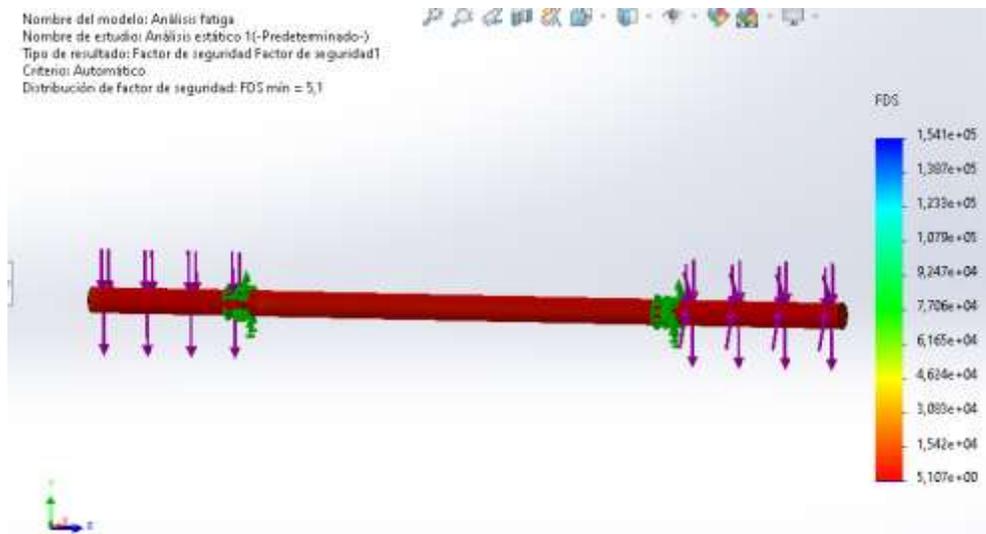


Imagen 46. Factor de seguridad para eje de 1 in.

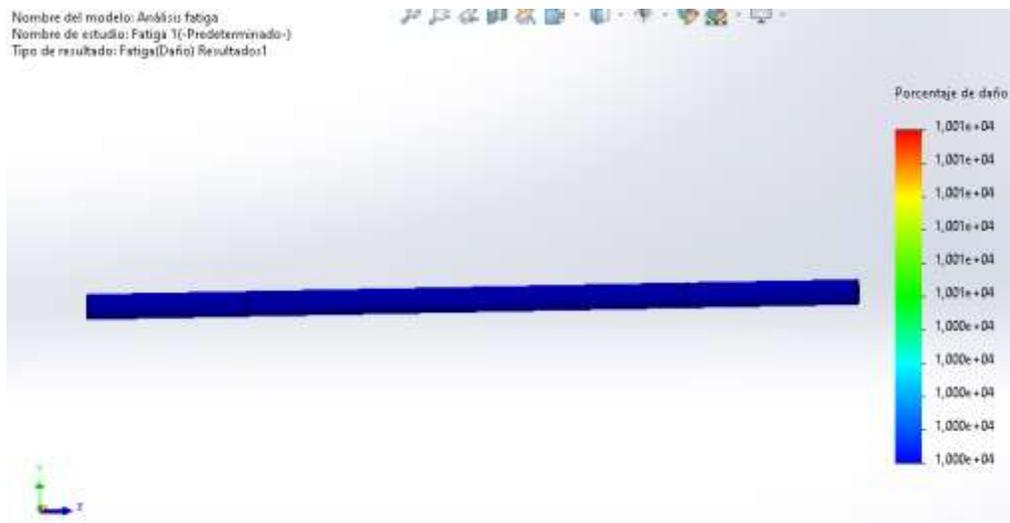


Imagen 47. Porcentaje de daño eje de 1 in

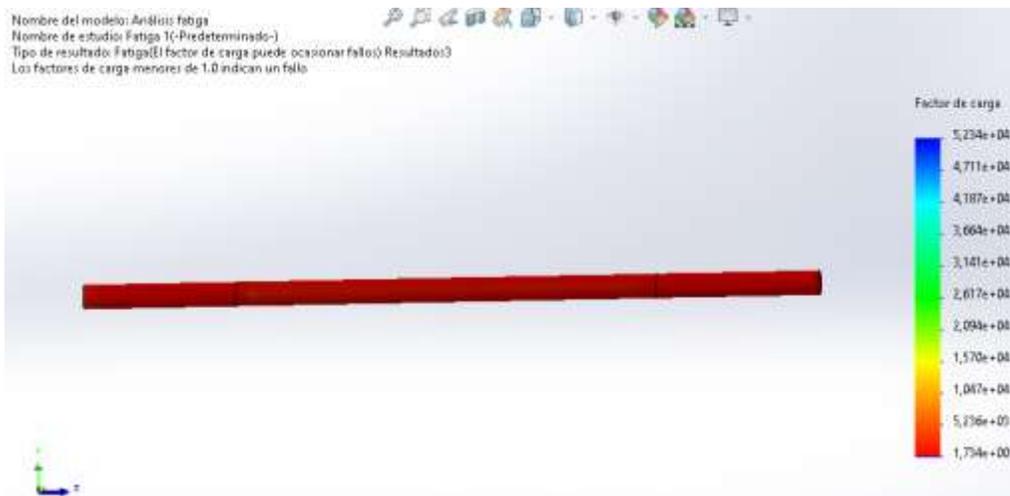


Imagen 48. Factor de carga eje de 1 in

7.9.2 Análisis pasador barra de unión troquel.

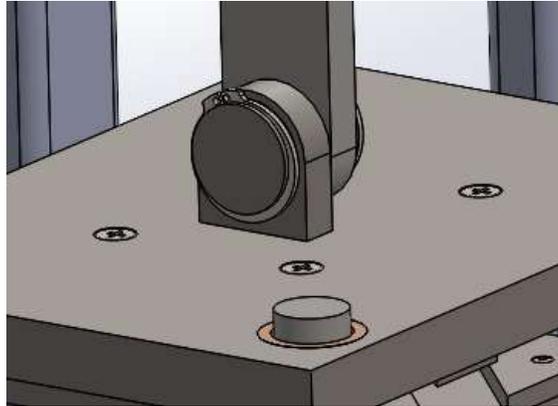


Imagen 49. Pasador barra de unión troquel.

Para estos pasadores se usará el mismo material y diámetro que para el eje principal.

El largo de los pasadores es de 60 cm y el diámetro es de $\frac{3}{4}$ in.

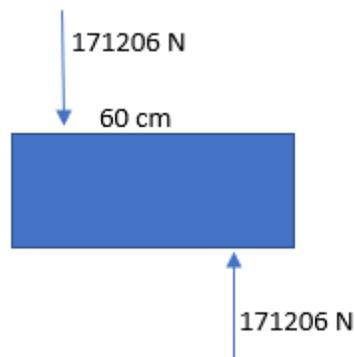


Imagen 50. Diagrama de cuerpo libre de pasador.

$$\tau = \frac{171206 \text{ N}}{0.06 \text{ m} * 0.01905 \text{ m}} = 149.78 \text{ MPa}$$

Ahora calculamos el factor de seguridad, teniendo en cuenta que el límite elástico a cortante es el 80 % del límite elástico a tracción.

$$F_s = \frac{351 \text{ MPa} * 0.8}{149.78 \text{ MPa}} = 1.87$$

7.9.3 Análisis de biela.

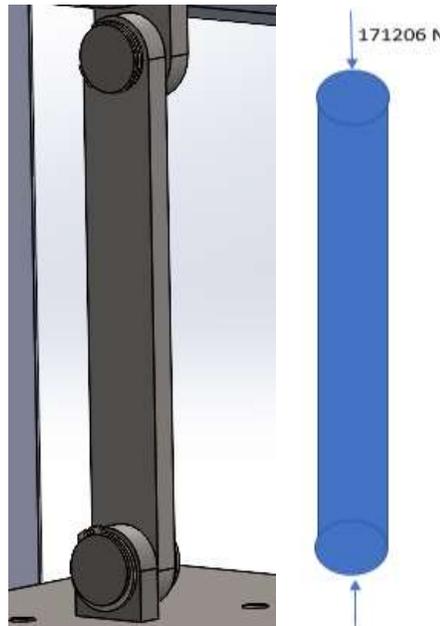


Imagen 51. Biela y diagrama de cuerpo libre.

Inicialmente se realizó el análisis para un espesor de placa de 20 mm y teniendo en cuenta que la fuerza a la que es sometida es la misma que la placa de elaboración de la pieza. Para lo cual se obtuvo los siguientes resultados.

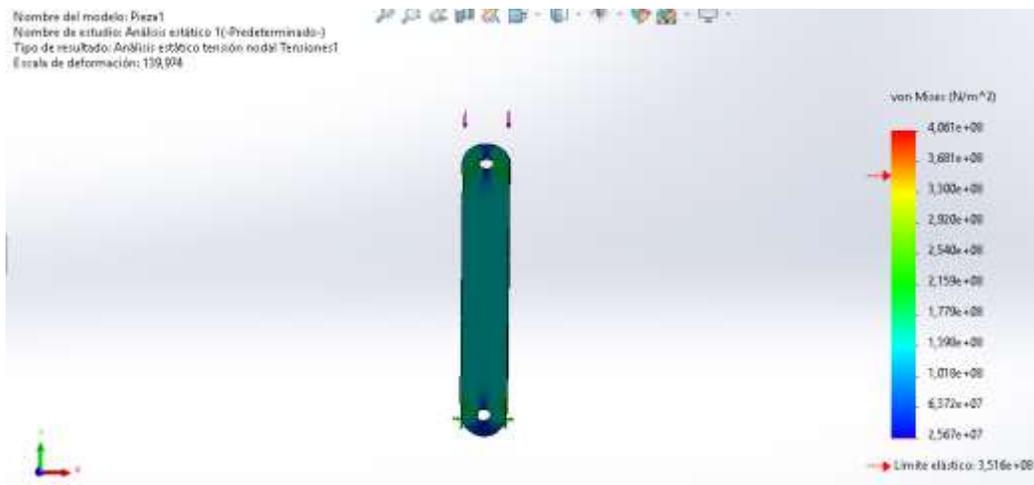


Imagen 52. Análisis de tensiones en biela.

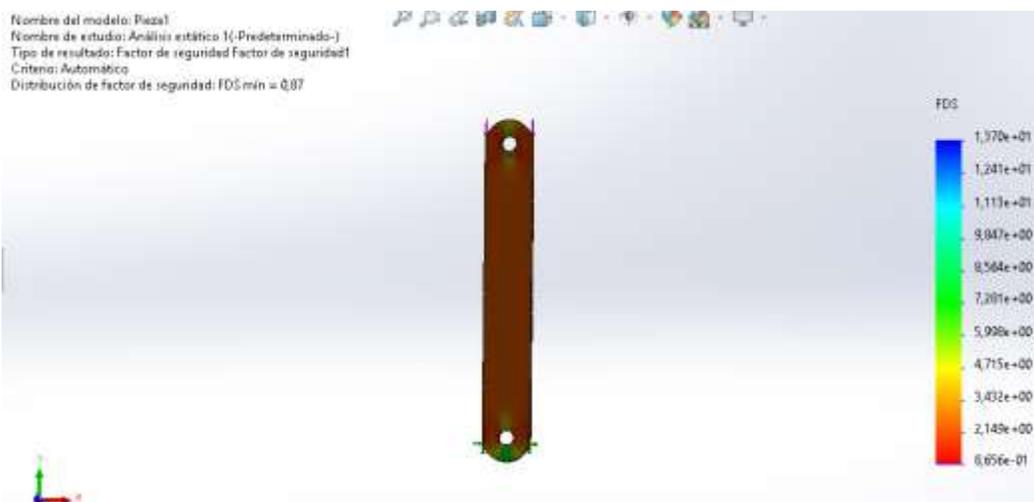


Imagen 53. Análisis factor de seguridad de biela.

Se puede evidenciar que la tensión máxima es mayor al límite elástico del material, por lo que el factor de seguridad es tan bajo (0.87). Es decir, se debe optimizar el espesor de la placa.

Ahora se realizaron los cálculos nuevamente para un espesor de placa de 30 *mm*. Para lo cuál se obtuvo los siguientes resultados.

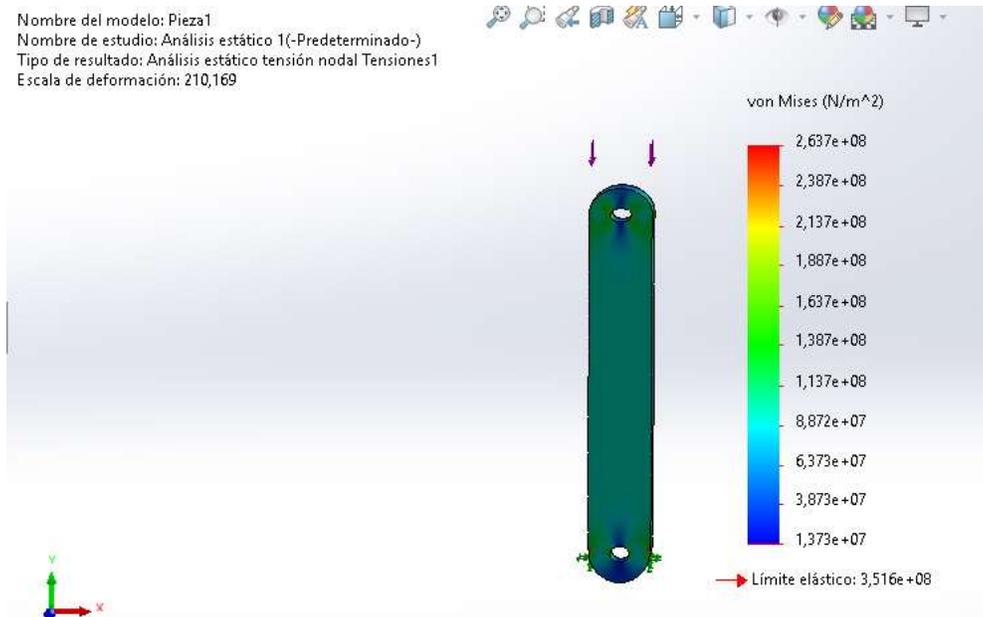


Imagen 54. Nuevo análisis de tensiones en biela.

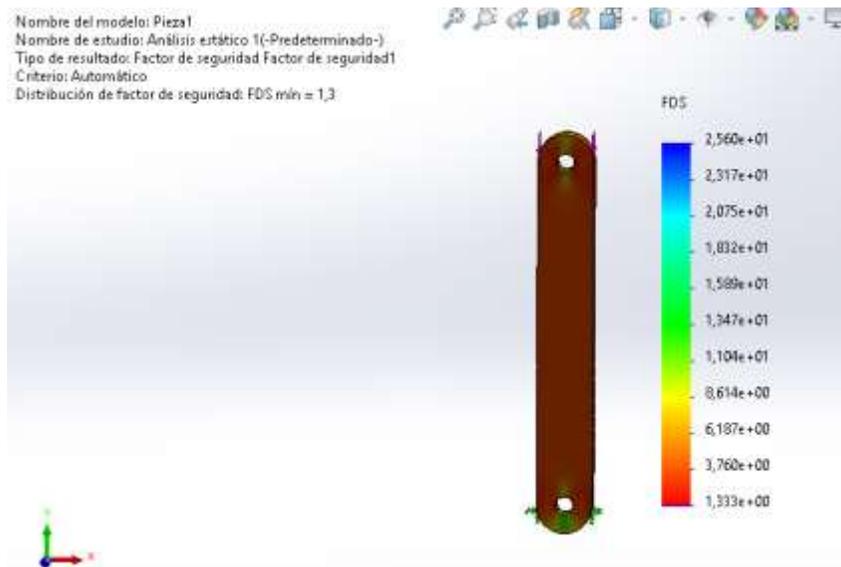


Imagen 55. Nuevo análisis factor de seguridad de biela.

El nuevo factor de seguridad obtenido es de 1.3, el aumento del espesor mejoró considerablemente este factor y la máquina puede trabajar bajo esta condición.

7.9.4 Análisis pasador embrague.

Para este análisis tenemos en cuenta la fuerza máxima a la que es sometida el pasador, que es cuando se está troquelando la lámina. Este valor es de 291 N.

Este análisis fue realizado en software, indicando las condiciones adecuadas y el material (AISI 1020).

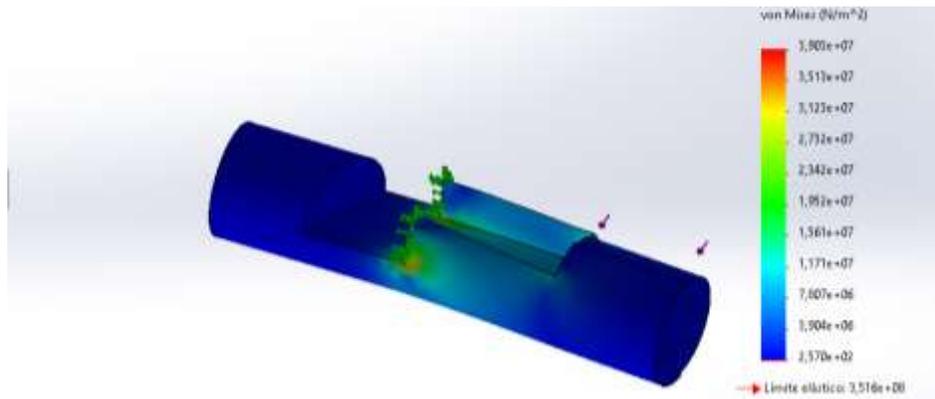


Imagen 56. Análisis de tensiones del pasador del embrague.

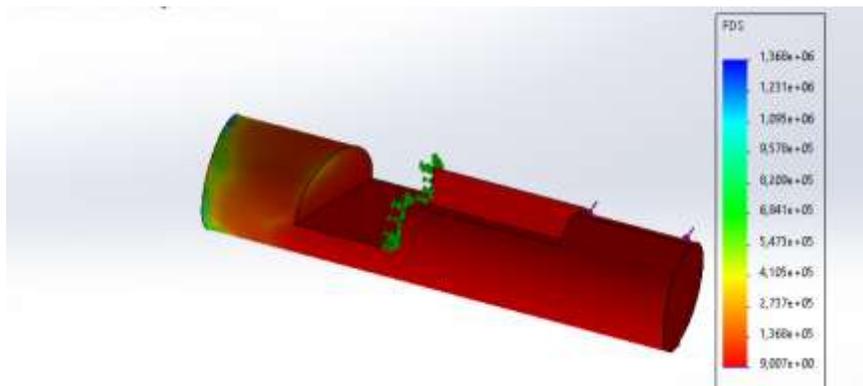


Imagen 57. Análisis de factor seguridad del pasador del embrague.

En las imágenes se puede observar las tensiones máximas y el factor de seguridad que se obtiene bajo las condiciones a las que se está sometiendo el pasador. Este factor es muy alto para los requerimientos de la prensa, pero la modificación de este pasador está impedida debido a la necesidad de acoplar un mecanismo a este pasador para liberar la volante de inercia.

7.9.5 Análisis de chaveta.

Para el análisis de la chaveta, se considera la norma DIN 6885, que muestra las dimensiones de las chavetas según el diámetro de eje y también las dimensiones del chavetero, considerando chavetas comerciales.

Tabla de tolerancia de chavetas y chaveteros de alojamiento (mm)

Campo de aplicación		Chaveta			Chavetero										
		Sección		Dim. nom. b	Largo						Profundidad				
		Dimen normal b x h	Toleran sobre		Tolerancia sobre b						Eje		Cubo		
			b ^{h9}		h*	Por eje			Por cubo			t1	t2		
Diámetro eje d					H9	N9	P9	D10	J _s 9	P9	Nom	Tol.	Nom	Tol.	
De	6	2x2	0	0	2	+0,025	-0,004	-0,006	+0,060	±0,012	-0,006	1,2		1	
Hasta	8														
Más de	8	3x3	-0,025	-0,025	3	0	0	-0,031	+0,020	±0,012	-0,031	1,8		1,4	
hasta	10														
Más de	10	4x4	0	0	4	+0,030	0	-0,012	+0,078	±0,015	-0,012	2,5	+0,1	1,8	+0,1
Hasta	12														
Más de	12	5x5	-0,030	-0,030	5	0	-0,030	-0,042	+0,030	±0,015	-0,042	3	0	2,3	
Hasta	17														
Más de	17	6x6			6							3,5		3,5	
Hasta	22														
Más de	22	8x7	0		8	+0,036	0	-0,015	+0,098	±0,018	-0,015	5		3,3	
Hasta	30														
Más de	30	10x8	-0,036		10	0	-0,036	-0,051	+0,040	±0,018	-0,051	5		3,3	
Hasta	38														

Imagen 58. Medidas de chavetas según norma DIN 6885. (Rodavigo)

Observamos en la tabla, que la medida de la chaveta debe ser 6x6. Calculamos los esfuerzos en la chaveta para verificar el factor de seguridad.

$$\sigma = \frac{F_{eje}}{\frac{h}{2} \cdot L}$$

Ecuación 20. Esfuerzo en chavetas.

$$F_{eje} = \frac{T}{d}$$

Ecuación 21. Fuerza del eje.

Teniendo en cuenta la fuerza que se ejerce en el eje, según el torque que este tendrá y el diámetro, calculamos el esfuerzo con las medidas de la chaveta según la normal DIN 6885.

$$F_{eje} = \frac{67,03 Nm}{0,01905 m} = 3518,63 N$$

$$\sigma = \frac{3518,63 N}{\frac{0,006 m}{2} \cdot 0,006 m} = 195,48 MPa$$

Con un esfuerzo admisible de 351 MPa, calculamos el factor de seguridad.

$$\eta = \frac{351 MPa}{195,48 MPa} = 1,79$$

7.9.6 Análisis estructura

Para el análisis de la estructura se tuvo en cuenta las cargas que está soportando, el peso de todos los componentes, que se muestran en la siguiente tabla.

Troquel	58 kg
Conjunto superior (excéntrica, biela, eje, embrague, volante de inercia)	112 kg
Motor y polea	15 kg

Tabla 11. Peso componentes del ensamble.

El análisis se llevó a cabo en Solidworks® asignando las cargas necesarias, donde se obtuvieron los siguientes resultados.

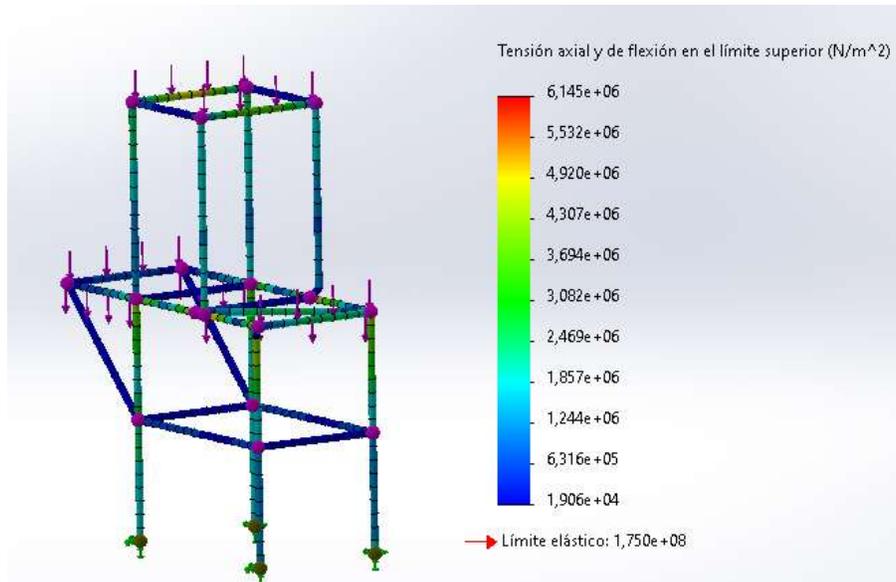


Imagen 59. Tensiones máximas en la estructura

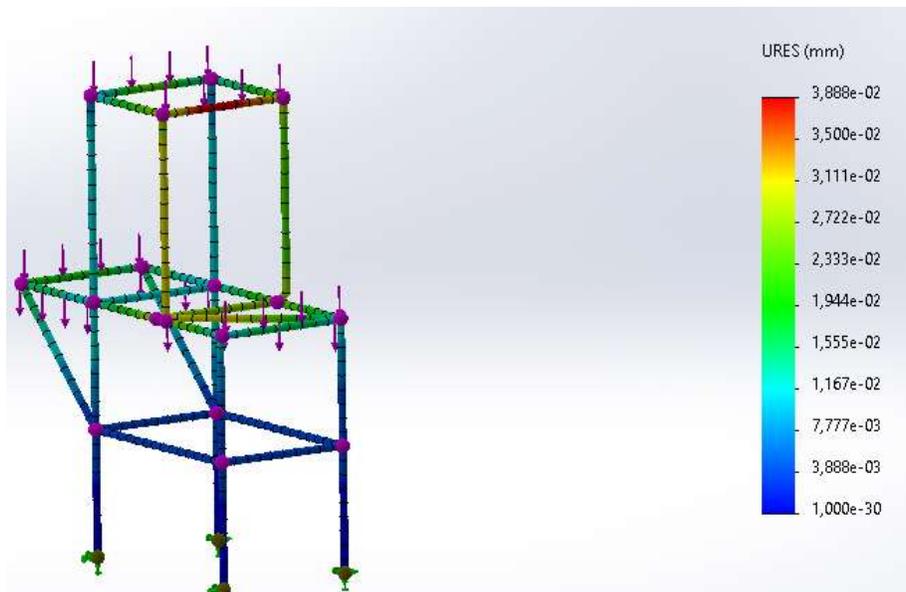


Imagen 60. Desplazamientos en la estructura en mm.

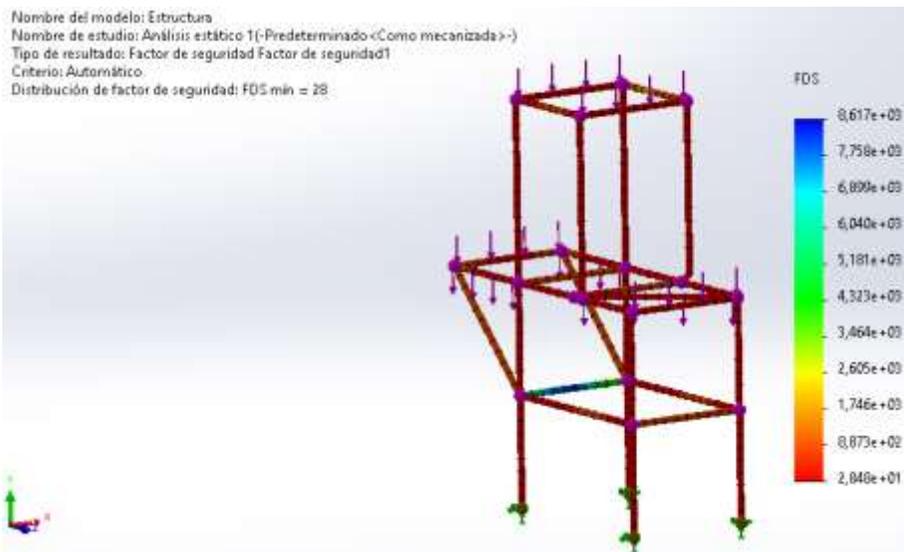


Imagen 61. Factor de seguridad estructura.

8. Conclusiones

Tras el análisis realizado, se puede concluir que el diseño de una prensa mecánica para la fabricación de piezas esquineras TDC, se deben tener en cuenta varios parámetros, los cuales se han recopilado y estudiado en el desarrollo del proyecto.

De acuerdo con la forma y dimensiones de la pieza, se realizó una secuencia de corte de varias etapas que da como resultado la fabricación de estas, considerando que esta pieza se fabricara en acero galvanizado de calibre 20, se necesita que el troquel genere una fuerza de corte de 136965.19 N, para generar esta fuerza fue seleccionado un motor de 2 HP, con una relación de transmisión de 1:8, el cual generará una producción en serie con un velocidad relativamente alta, que cumplirá con todos los parámetros estudiados anteriormente.

Para el diseño de la prensa mecánica, se seleccionaron elementos críticos del mecanismo, por ejemplo, el eje que accionará el mecanismo, con ayuda del software SolidWorks® y los cálculos de cargas estáticas y torsión, fue seleccionado un eje comercial de $\frac{3}{4}$ in, el cual transmitirá la potencia al troquel.

En el mercado encontramos troqueles para fabricación de esquineros TDC y máquinas troqueladoras prefabricadas para este mismo objetivo. Dentro de las cuales encontramos modelos para la venta a nivel internacional, con precios desde los \$ 5.900.000 solamente el troquel, la máquina completa con un costo por encima de los \$ 36.000.000. En el presupuesto que se realizó para este proyecto, sin incluir los costos de diseño y alquiler de equipos para diseño, se obtuvo un costo de fabricación para la máquina de 5.189.000 incluyendo materiales y fabricación de troquel. Además, si a este presupuesto de sumamos los costos de diseño, es muy inferior a la cifra de los 36.000.000, por lo cual podemos concluir que se pudo cumplir con el objetivo inicial que era diseñar una máquina funcional y un troquel capaz de

fabricar esquineros TDC, con un presupuesto mucho menor al que encontramos en el mercado.

9. Recomendaciones

Teniendo en cuenta que este proyecto fue realizado con fines de fortalecer la alianza Universidad – empresa, en caso de que se llegue a fabricar la máquina, se sugiere que la fabricación de la máquina se articule con el curso de ingeniería aplicada 2, con el fin de que los estudiantes afiancen sus conocimientos en lectura de planos, métodos de fabricación, ingeniería de proyectos y logren adquirir experiencia en liderazgo de operaciones de manufactura.

Por otra parte, se recomienda una revisión detallada de un experto en diseño de troqueles, debido a la poca experiencia de nosotros como estudiantes en el diseño de este tipo de elementos. Con la finalidad de evitar un aumento del presupuesto por fallas a la hora de fabricar.

10. Referencias

- Abascal-Escribano. (15 de Agosto de 2014). *OPERACIONES BÁSICAS SIN ARRANQUE DE VIRUTA*. Obtenido de <http://de-duce-tu.blogspot.com/p/4corte-y-punzonado.html>
- Abratools. (s.f.). *FTX20021 PRENSA NEUMÁTICA 50 TONELADAS*. Recuperado el 9 de Abril de 2023
- Acesco. (9 de Noviembre de 2021). Obtenido de Acesco: www.acesco.com.co
- Alibaba. (s.f.). *Alibaba*. Recuperado el 15 de Mayo de 2023, de <https://spanish.alibaba.com/product-detail/Hvac-ductwork-TDF-TDC-corner-mould-60694488916.html>
- Alvarez Bermudes, L. (2009). *Metodología para diseño de troqueles de corte de chapa metálica*. Santiago de Cali.
- Apolinario Julca, J. A. (2015). Diseño de una prensa hidráulica de 100 toneladas para el conformado de calaminas de fibrocemento de 1,2 x 0,5 m. Lima, Perú.
- Aprendí hoy*. (19 de Diciembre de 2021). Obtenido de <https://aprendihoy.com/troquel/>
- Arisa. (4 de Junio de 2015). Obtenido de <https://www.arisa.com/prensa-mecanica-y-servo-prensa-automatizacion-de-procesos/>
- Barrientos Chocata, S., Cuchula Diego, R. E., & Ore Jesus, J. L. (2022). *Diseño de la máquina troqueladora JKV para fabricar componentes de los soportes de muelles de semirremolques en la empresa Factoría Baltazar FBK E. I. R. L.* Huancayo.
- BLKMA. (s.f.). *Máquina perforadora de esquinas*. Obtenido de <https://es.blkma.com/products/duct-corner-punching-machine.html>
- Cala, Breffe, & Fernando . (2019). *METODOLOGÍA DE CONFORMACIÓN DE PIEZAS POR DOBLADO Y TROQUELADO EN CHAPAS METÁLICAS*. Moa.
- Cardona, M. (11 de Abril de 2019). *La república*. Obtenido de <https://www.larepublica.co/responsabilidad-social/ser-responsables-en-un-mercado-que-crece-2850349>
- Castillo reyes, J. E. (2018). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PRENSA HIDRÁULICA*. Quito.
- Castro Ospina , D. F., & Ruiz Casanova, B. E. (17 de Diciembre de 1999). *INGENIERIA CONCURRENTES, UNA ESTRATEGIA DE OPERACIONES. INGENIERIA CONCURRENTES, UNA ESTRATEGIA DE OPERACIONES*. Santiago de Cali, Santiago de Cali, Colombia: Universidad Autonoma de Occidente.
- Durand Lagarda, J. A. (2019). *Automatización del Proceso de Aplicación de PA-5 en Troquelado de Terminales Críticas*. Sonora.
- Escobar Ante, J. A. (2018). *OPTIMIZACIÓN DE UN PROCESO DE CORTE POR TROQUELADO MEDIANTE LA METODOLOGÍA DMAIC-DoE*. Baja California.
- Eugene A, A. (1995). *Manual del ingeniero mecánico Marks*. Mc. Graw Hill 9ª edición .
- García, D. S. (2018). *Diseño y cálculo de una cizalla mecánica para cortar ferralla hasta diámetro 12 mm*. Zaragoza: Escuela de ingeniería y arquitectura universidad de Zaragoza.
- Hegmann, T., & Homberg, W. (2019). Deep drawing of fiber metal laminates for automotive lightweight structures. *ScienceDirect*, 5.
- industrial, C. (18 de Septiembre de 2019). *Censa industrial*. Obtenido de Censa industrial: <https://censaindustrial.com/lo-basico-de-las-servo-prensas/>
- Jotabl*. (15 de Diciembre de 2018). Obtenido de <https://jotabl.com/prensas-mecanicas/>
- JOTABL*. (15 de Diciembre de 2018). Obtenido de <https://jotabl.com/prensas-neumaticas/>

- KISTLER. (2012). Obtenido de KISTLER:
<https://www.kistler.com/es/glosario/termino/servoprensa/#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%20una%20servoprensa%3F,puestos%20de%20trabajo%20controlados%20manualmente.>
- Komatsu Press. (s.f.). *Servoprensa*. Recuperado el 9 de Abril de 2023, de <https://www.komatsupress.com/es/productos/servo-prensa/>
- Larraioz. (21 de Febrero de 2022).
- lean, P. (28 de Enero de 2016). *Progressa lean*. Obtenido de <https://www.progressalean.com/despliegue-de-la-funcion-de-calidad-qfd-para-disenar-o-mejorar-productos/>
- Made in China. (s.f.). *Metal HVAC FDT estampado en la esquina del molde para máquina de perforación tornillos Oval Blkma Factory*. Obtenido de https://es.made-in-china.com/co_cnblkma/product_HVAC-Metal-Tdf-Corner-Stamping-Mould-for-Oval-Bolts-Punching-Machine-From-Blkma-Factory_osyiugiug.html
- Maquituls. (s.f.). Obtenido de <https://www.maquituls.es/noticias/prensas-hidraulicas-historia-usos-ventajas-y-desventajas/>
- Marín Villar, C. (2009). Troqueles y troquelado. *METALACTUAL*, 9.
- Marposs. (24 de Agosto de 2018). *SOLUCIONES DE MONITORIZACIÓN PARA MÁQUINAS DE ESTAMPADO*. Obtenido de <https://www.marposs.com/spa/application/monitoring-solutions-for-stamping-machines>
- Marquez Ochoa, S. E., & Lloveras M., J. (2003). *Aportación del diseño para el medio ambiente (DFE) como herramienta tecnológica apropiada en los procesos de diseño e innovación en las PYME'S*. Cataluña.
- Morales Ortiz, J. A. (2011). *Diseño y Evaluación del Sistema de Transmisión de una Prensa Excéntrica de 9 Toneladas de Capacidad*. Lima.
- Muryeti, Purnama Sari, N., Prastiwinarti, W., Imam, S., & Ningtyas, R. (2018). *PEMBUATAN ALAT CUTTING HAND PRESS PADA KEMASAN*. Ciudad de serang.
- Ochoa Posada, A. M. (2012). *DESARROLLO DE UN SISTEMA DE COTIZACIÓN PARA LA EMPRESA DOBLAMOS S.A*. Antioquia.
- Olvera Mateos, K. G., Rosales Flores, H., Rosas Carrasco, J. E., & Soto Romero, C. A. (2007). *Control moderno aplicado a máquinas eléctricas rotatorias y a sistemas automatizados*. Culhuacan.
- Pérez Alzate, E. F., & Romero Barreto, Á. F. (2017). *DISEÑO DE UN ALIMENTADOR DE CHAPA METÁLICA QUE SE ADAPTE A LA PRENSA DE TROQUELADO EXISTENTE EN LA EMPRESA GABINETES YRACKS PH&ES, CON EL FIN DE REDUCIR LOS TIEMPOS DE TROQUELADO DE RIEL CHANEL EN UN 40%*. Bogotá.
- Procesos de fabricación. (17 de Junio de 2017). *Tipos de prensas*. Obtenido de <http://procesosmodernosdemanufactura.blogspot.com/2017/06/prensas-tipos-y-caracteristicas.html>
- PROTO-ELECTRONICS. (4 de Enero de 2022). *PROTO-ELECTRONICS*. Obtenido de <https://www.proto-electronics.com/es/blog/dfa-dfm-cu%C3%A1l-es-la-diferencia-en-el-dise%C3%B1o-de-un-pcb>
- Ramírez Corzo, L. F. (2018). *Liberación de última pieza para 31 herramientas de troqueles en el proceso de manufactura*. Ciudad de Tuxtla Gutiérrez.
- REFRIGERACIÓN, A. G. (2015). *NORMATIVA DE DUCTOS EN PLANCHA METALICA PARA TRANSPORTE DE AIRE*. Santiago de Chile.

- RHTC. (s.f.). *Prensa hidráulica manual (50 toneladas HF-2)*. Recuperado el 9 de Abril de 2023
- Riba, C. (1006). *INGENIERÍA CONCURRENTE. UNA METODOLOGÍA INTEGRADORA*. Catalunya: Universitat Politecnica de Catalunya.
- Rodavigo. (s.f.). Chavetas. España.
- Sánchez, C. M., & Julio Cortez, C. (3 de 12 de 2005). Conceptos de diseño para manufactura (DFM) de Conceptos de diseño para manufactura (DFM) de. *Conceptos de diseño para manufactura (DFM) de Conceptos de diseño para manufactura (DFM) de*. Bogotá, Bogotá, Colombia: REVISTA INGENIERIA E INVESTIGACIÓN.
- SHARKSTALITHA. (s.f.). *Mercadolivre*. Obtenido de https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1352698386-prensa-excncrica-12t-_JM
- STAMTEC. (s.f.). Obtenido de <https://www.stamtec.com/es/comparaci%C3%B3n-entre-prensas-mec%C3%A1nicas,-servo-prensas-y-prensas-hidr%C3%A1ulicas#:~:text=En%20resumen%2C%20las%20prensas%20mec%C3%A1nicas,de%20piezas%20complejas%2C%20son%20lentas>.
- T. T., Parameshwaran, R., Deepak Kumar, R., Mohanraja, S., & Harishwaran, M. (2014). *An Investigation on Modelling and Controller design of a Hydraulic press*. Kanpur.
- Tovar, E. (3 de Junio de 2019). *Industria IMAQ: refacción de troqueles para las industrias automotriz y de línea blanca*. Obtenido de <https://www.mms-mexico.com/articulos/refaccion-de-troqueles-para-las-industrias-automotriz-y-de-linea-blanca->
- Vargas Alvarez, L. M. (Febrero de 2015). *Library*. Obtenido de Plan de lubricación a un troquel: <https://1library.co/document/zk6kx4y-la-historia-del-troquelado.html>
- Villa Martinez, F. A. (2019). *METODOLOGÍA PLM FINE BLANKING BAJO LA DISEÑO DEL TROQUEL MECÁNICO*. Aguascalientes.
- William, S. (1998). *Fundamentos de ciencia y la ingeniería de los materiales*. Madrid: MacGraw-Hill.

11. Anexos

10.1 Cotización.

N°	Descripción	Material	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Total
1	Punzón de corte 2	AISI 1045	kg	0.17	\$ 22,675.15	\$ 3.854,78
2	Hembra de punzón de corte 1 y 2	ASTM A36	kg	1.2	\$ 6,056	\$ 7.267,20
3	Componente 2 zona embutido	ASTM A36	kg	0.6	\$ 6,056	\$ 3.633,60
4	Placa base punzones	ASTM A36	kg	7	\$ 6,056	\$ 42.392,00
5	Soporte superior	ASTM A36	kg	18.1	\$ 6,056	\$ 109.613,60
6	Soporte inferior	ASTM A36	kg	18.2	\$ 6,056	\$ 110.219,20
7	Componente 1 zona embutido	ASTM A36	kg	0.88	\$ 6,056	\$ 5.329,28
8	Barras guía ϕ 35 mm	AISI 1020	m	0.56	\$ 284,801.63	\$ 159.488,91
9	Bujes	Bronce comercial	kg	0.58	\$ 20,000	\$ 11.600
10	Punzón de corte 3	AISI 1045	kg	0.004	\$ 22,675.15	\$ 90,70
11	Punzón de embutido	AISI 1045	kg	0.572	\$ 22,675.15	\$ 12.970,19
12	Placa base inferior	ASTM A36	kg	7.08	\$ 6,056	\$ 42.876,48
13	Punzón de corte 1	AISI 1045	kg	0.016	\$ 22,675.15	\$ 362,80
14	Pasador excéntrica-biela	AISI 1020	m	0.14	\$ 27,029.62	\$ 3.784,15
15	Biela	AISI 1020	kg	6.16	\$ 12,127.72	\$ 74.706,76
16	Excéntrica	AISI 1020	kg	4.77	\$ 12,127.72	\$ 57.849,22
17	Buje Excéntrica	Bronce comercial	kg	0.315	\$ 20,000	\$ 6.300

PRESENTACIÓN DE PROYECTOS DE GRADO

18	Carcaza excéntrica	ASTM A36	kg	1.4	\$ 6,056	\$ 8.478,40
19	Eje principal	AISI 1020	m	0.77	89,000	\$ 68.530
20	Carcaza embrague	Fundición de hierro modular	kg	7.06	\$ 10,000	\$ 70.600
21	Tapa soporte resorte	ASTM A36	kg	0.025	\$ 6,056	\$ 151,40
22	Accionador embrague	AISI 1045	kg	0.28	\$ 22,675.15	\$ 6.349,04
23	Volante de inercia	Fundición de hierro nodular	kg	87.7	\$ 10,000	\$ 877.000
24	Perfil 76x38x2	Acero HR50	m	13.4	198.300/6m	\$ 594.900,00
25	Pedal de embrague	ASTM A36	kg	0.57	\$ 6,056	\$ 3.451,92
26	Guía guaya embrague	ASTM A36	kg	0.556	\$ 6,056	\$ 3.367,14
27	Brazo accionamiento embrague	ASTM A36	kg	0.45	\$ 6,056	\$ 2.725,20
28	Lámina base motor	ASTM A36	kg	6.09	\$ 6,056	\$ 36.881,04
	Soporte estructura piso	ASTM A36	kg	1.948	\$ 6,056	\$ 11.797,09
Total						\$ 2.336.570,10

Tabla 12. Costo de materiales.

PRESENTACIÓN DE PROYECTOS DE GRADO

N°	Descripción	Característica	Cantidad	Precio unitario	Total
1	Chumacera	SKF_P2B_012_RM	2	\$ 32.000	\$ 64.000
2	Tornillo	M10x1.5x90	4	\$ 15.000	\$ 60.000
3	Tuerca	M10x1.5	4	\$ 2.000	\$ 8.000
4	Anillo de retención	Para eje ¾ in	4	\$ 500	\$ 2.000
5	Chaveta	6x6x40 (mm)	2	\$ 5.000	\$ 10.000
6	Correa	16.3x13 L 2360 mm	1	\$ 184.094	\$ 184.094
7	Motor	2 HP – 1700 rpm	1	\$ 620.000	\$ 620.000
8	Polea motor	Diámetro interno de 73 mm	1	\$ 81.000	\$ 81.000
9	Resorte embrague	V10-038	1	\$ 8.000	\$ 8.000
10	Tornillo avellanado	M10 x 1.5 x 40	8	\$ 13.000	\$ 104.000
11	Tornillo avellanado	M5 x 0.8 x 20	14	\$ 9.000	\$ 126.000
Total					\$ 1.267.094

Tabla 13. Elementos comerciales.

PRESENTACIÓN DE PROYECTOS DE GRADO

N°	Descripción	Material	Unidad	Cantidad	Costo de fabricación x kg	Total
1	Punzón de corte 2	AISI 1045	kg	0.17	\$ 8.500	\$ 1.445
2	Hembra de punzón de corte 1 y 2	ASTM A36	kg	1.2	\$ 8.500	\$ 10.200
3	Componente 2 zona embutido	ASTM A36	kg	0.6	\$ 8.500	\$ 5.100
4	Placa base punzones	ASTM A36	kg	7	\$ 8.500	\$ 59.500
5	Soporte superior	ASTM A36	kg	18.1	\$ 8.500	\$ 153.850
6	Soporte inferior	ASTM A36	kg	18.2	\$ 8.500	\$ 154.700
7	Componente 1 zona embutido	ASTM A36	kg	0.88	\$ 8.500	\$ 7.480
8	Barras guía $\phi 35$ mm	AISI 1020	m	0.56	\$ 8.500	\$ 4.760
9	Bujes	Bronce comercial	kg	0.58	\$ 8.500	\$ 4.930
10	Punzón de corte 3	AISI 1045	kg	0.004	\$ 8.500	\$ 34
11	Punzón de embutido	AISI 1045	kg	0.572	\$ 8.500	\$ 4.862
12	Placa base inferior	ASTM A36	kg	7.08	\$ 8.500	\$ 60.180
13	Punzón de corte 1	AISI 1045	kg	0.016	\$ 8.500	\$ 136
14	Pasador excéntrica-biela	AISI 1020	m	0.14	\$ 8.500	\$ 1.190
15	Biela	AISI 1020	kg	6.16	\$ 8.500	\$ 52.360
16	Excéntrica	AISI 1020	kg	4.77	\$ 8.500	\$ 40.545
17	Buje Excéntrica	Bronce comercial	kg	0.315	\$ 8.500	\$ 2.678
18	Carcaza	ASTM	kg	1.4	\$ 8.500	\$ 11.900

PRESENTACIÓN DE PROYECTOS DE GRADO

	excéntrica	A36				
19	Eje principal	AISI 1020	m	0.77	\$ 8.500	\$ 6.545
20	Carcaza embrague	Fundición de hierro modular	kg	7.06	\$ 8.500	\$ 60.010
21	Tapa soporte resorte	ASTM A36	kg	0.025	\$ 8.500	\$ 213
22	Accionador embrague	AISI 1045	kg	0.28	\$ 8.500	\$ 2.380
23	Volante de inercia	Fundición de hierro nodular	kg	87.7	\$ 8.500	\$ 745.450
24	Perfil 76x38x2	Acero HR50	m	13.4	\$ 8.500	\$ 113.900
25	Pedal de embrague	ASTM A36	kg	0.57	\$ 8.500	\$ 4.845
26	Guía guaya embrague	ASTM A36	kg	0.556	\$ 8.500	\$ 4.726
27	Brazo accionamiento embrague	ASTM A36	kg	0.45	\$ 8.500	\$ 3.825
28	Lámina base motor	ASTM A36	kg	6.09	\$ 8.500	\$ 51.765
	Soporte estructura piso	ASTM A36	kg	1.948	\$ 8.500	\$ 16.558
Total						\$ 1.586.066

Tabla 14. Costo de fabricación.

10.2 Planos prensa excéntrica troqueladora.

10.3 Plano esquineros TDC.