

Análisis de componentes críticos de una plegadora hidráulica con elementos finitos

Analysis of critical components of a hydraulic folder with finite elements

Est. Luis Miguel Nivicela-Castro¹, Est. Carlos Gonzalo Peñarreta-Aguilar², Ing. John Ignacio Calle-Sigüencia³

¹Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador, Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8403-3237>, Email: lnivicela@est.ups.edu.ec.

²Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador, Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5788-5220>, Email: cpenarreta@est.ups.edu.ec.

³Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador, Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2148-3297>, Email: jcalle@ups.edu.ec.

Como citar: L.M. Nivicela, C.G. Peñarreta y J.I. Calle, "Análisis de componentes críticos de una plegadora hidráulica con elementos finitos", *Revista Ingenio*, vol. 19, n°1, pp. 28;37 2022 doi: <https://doi.org/10.22463/2011642X.3094>

Fecha de recibido: 27 de julio 2021
Fecha aprobación: 6 de diciembre 2021

RESUMEN

Palabras claves:

Análisis estático, compresión, elementos finitos, factor de seguridad, fuerza máxima, flexión, pandeo, plegadora hidráulica.

El presente trabajo realizado en el mes de mayo del 2021, en la Universidad Politécnica Salesiana con Sede en CUENCA-ECUADOR, se propone evaluar el diseño de partes de una plegadora hidráulica sometidas a una fuerza máxima de compresión que deben soportar los materiales a través de cálculos matemáticos y análisis estático de elementos finitos utilizando la herramienta SolidWorks en los aceros comerciales, por la norma de la Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales, ASTM A36, la norma del Instituto Americano del Hierro y el Acero AISI SAE 1020 y AISI SAE 1045. El principal objetivo de este estudio se lo realizó en los componentes que están expuestos a esta fuerza, lo que dió como resultado el mejor espesor con respecto al factor de seguridad para la construcción estructural, produciendo deformaciones menores en los parámetros de esfuerzo máximo de compresión, flexión y pandeo. Los resultados revelan que la menor deformación en base a los criterios antes mencionados se obtuvo para el acero SAE 1045, y es de 0.19 mm para el punzón y 0.04 para la matriz de plegado, por lo tanto, se debe de optar para la construcción de los diferentes elementos utilizados en esta investigación, siendo este, analizado bajo las mismas condiciones iniciales. Finalmente, con los resultados obtenidos, se ha determinado el material y espesor óptimos para la construcción de los diferentes elementos principales de la máquina.

ABSTRACT

Key words:

Static analysis, compression, finite elements, factor of safety, maximum force, bending, buckling, hydraulic folder

This project was developed in May 2021, at the Salesian Polytechnic University in CUENCA-ECUADOR, assessment of the critical components of a hydraulic folder to maximum force compression load that materials must tolerate, based on mathematical calculations and static analysis of finite elements using the SolidWorks tool in commercial steels, by the American Society for Testing and Materials Standard, ASTM A36, the American Iron and Steel Institute Standard AISI SAE 1020 and AISI SAE 1045. The analysis was conducted mainly on components that are exposed to this force, which resulted in the best thickness regarding the safety factor for the structural construction, producing minor deformations in the maximum compressive stress, bending and buckling parameters. Results reveal that the minimum deformation, according to parameters mentioned before, is 0.19 mm for the punch and 0.04 mm for the bending die, generated in SAE 1045 steel. Considering this condition, this material is chosen for the construction of the different elements used and the deformations are verified under the same initial conditions. Lastly, with the results attained, it is demonstrated that the geometry and dimensions of the components will ensure that they will operate efficiently and avoid mechanical failures during the dynamic operation of the equipment.

1. Introducción

El conformado de metales es uno de los principales procesos de la historia de la metalurgia que posibilita modificar la figura de las piezas metálicas para obtener la geometría requerida, existiendo varios procesos dentro de este, como son por fundición o moldeo, por maquinado o remoción de metal, por unión y por deformación plástica o plasticidad [1-2].

Para ello se requieren de máquinas-herramientas las cuales han evolucionado en función de las necesidades de los artesanos, alcanzando su máximo desarrollo gracias a las nuevas tecnologías en las últimas décadas [3].

La técnica de plegado es una línea principal en el proceso productivo de muchas industrias manufactureras y metal mecánica, llegando a contar con líneas automatizadas de plegadoras hidráulicas que permiten una producción en serie,

Autor para correspondencia

Correo electrónico: lnivicela@est.ups.edu.ec. (Luis Miguel Nivicela-Castro)

La revisión por pares es responsabilidad de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña
Artículo bajo la licencia CC BY-NC (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)



lo que resulta en una reducción de tiempos de fabricación e incremento de producción [4].

Industrialmente se encuentra diversidad en diseños de plegadoras para chapas de metal las cuales varían según las distintas características como el tipo de plegado por realizar, tipo de material, espesor, etc., [5]. Llegando a clasificarse en 3 grandes grupos que son las manuales, mecánicas, hidráulicas o automatizadas. Entre las máquinas de doblado podemos encontrar; las de doblez por punzón en V y las de doblez por borde.[6]

Estos equipos de plegado deben superar el límite elástico del material mediante la conformación plástica en frío, asegurando de esta manera que la deformación sea permanente. Para ello se deben utilizar herramientas y útiles apropiados que sean capaces de resistir los diferentes esfuerzos a los cuales serán sometidos de forma repetitiva [3-7-9].

Siendo este el motivo por el cual se realiza el análisis correspondiente a los equipos que más sufren estas fuerzas como son; la matriz de plegado, punzón de plegado, mordaza superior, y estructura.

En este estudio se realizará los diferentes análisis estáticos de esfuerzo versus deformación, donde es necesario entender cuál es el límite elástico de un material y a partir de donde se proyecta el límite plástico de los materiales de acero bajos en carbono, por lo que se detalla el esfuerzo σ_Y en el que comienza la fluencia se llama la resistencia o punto de fluencia o cedencia del material, el esfuerzo σ_U que corresponde a la máxima carga aplicada al material se conoce como la resistencia última y el esfuerzo σ_B correspondiente a la fractura se denomina resistencia a la fractura, donde termina la cedencia del material especificado en la figura 1, es donde empieza la zona plástica del material [10].

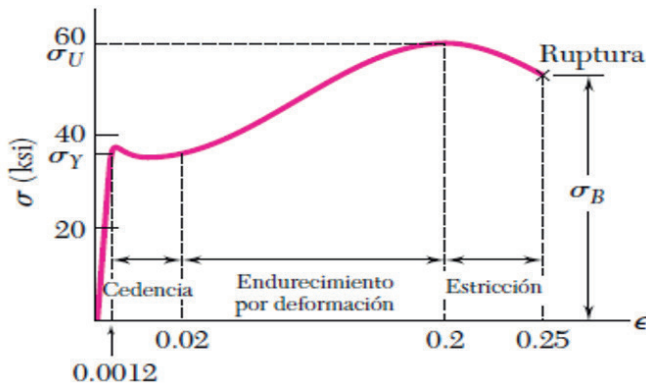


Figura 1. Diagrama esfuerzo deformación acero al carbono. Fuente. [10]

En la siguiente tabla 1, se presenta unas recomendaciones de una plegadora hidráulica, según normas y criterios de ingeniería.

Tabla 1. Recomendaciones de diseño.

| ASPECTOS/ CRITERIOS | RECOMENDACIONES DE DISEÑO | REFERENCIA |
|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| SEGURIDAD | La acción de la mordaza no debe comprometer la salud del operario. | ISO/TS 13725, 2010. |
| | Los componentes deben estar protegidos con guardas de seguridad. | UNE-EN 12622, 2011. |
| | La máquina debe contar con etiquetas de seguridad correctamente ubicadas para una adecuada visualización. | UNE-EN 693,2013. |
| GEOMETRÍA | La longitud de la cuchilla no debe ser menor que la plancha a plegar. | FLORES, Javier.1999 |
| | La altura del dado debe estar a una altura que permita una fácil alimentación de las planchas, máximo 1m de altura. | FLORIT, Antonio. 2005. |
| COMPONENTES | Los cilindros hidráulicos soportaran grandes cargas y para evitar fallas por pandeo la carrera del cilindro hidráulico no debe exceder los 250mm. | VÍLCHEZ, Ángeles; ALBERTO Ronald.200 2. |
| | En un sistema con 2 cilindros hidráulicos en paralelo se debe emplear un dispositivo de sincronización. | SALAZA, Edgar.2006 |
| | MANTENIMIENTO | Los puntos de engrase deben estar en zonas accesibles, con una |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| altura máxima de 2m. | Ronald.2012. |
| La máquina debe contar con dispositivos de bloqueo de elementos peligrosos al realizar labores de mantenimiento. | YEYES, Emilio. 2017. |
| En caso de necesitarse repuestos para la máquina, estos deben estar en lo posible accesibles dentro del mercado nacional. | QUISPE, Héctor.2008. |

Fuente: [4].

Este trabajo muestra los resultados obtenidos en análisis matemático comparado exhaustivamente mediante software de ingeniería SolidWorks, determinando que las mejores propiedades mecánicas para la construcción de una máquina plegadora hidráulica es el acero AISI SAE 1045, siendo este sometido a una fuerza máxima de 1,600 KN, se obtiene una menor deformación.

2. Metodología

Para la presente investigación se propone evaluar el diseño de partes de una plegadora hidráulica sometidas a carga máxima de compresión que deben soportar los aceros comerciales, ASTM A36, SAE 1020 y SAE 1045.

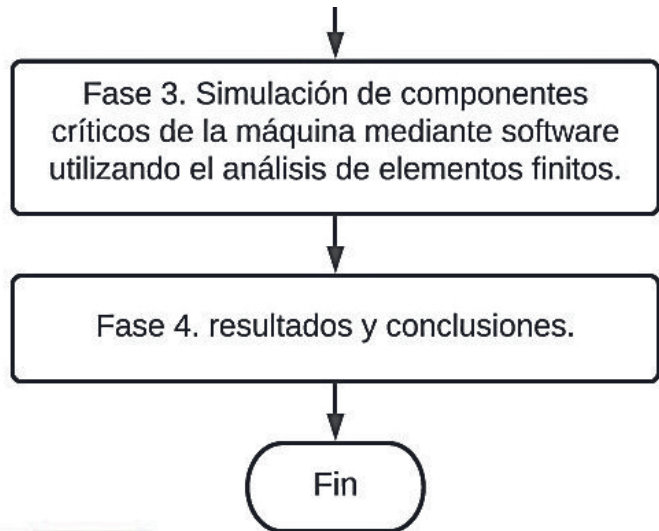
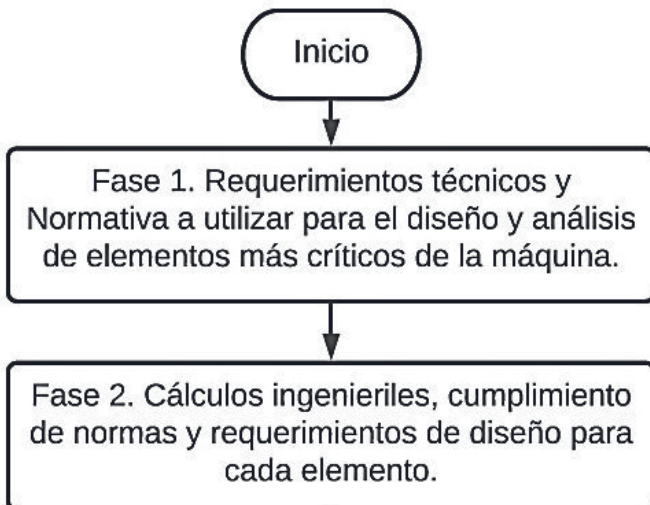


Figura 2. Diagrama de metodología utilizada.

2.1 Desarrollo

Para el diseño y la construcción de máquinas plegadoras hidráulicas se consideran las normas que especifica las medidas y requisitos técnicos de seguridad en el diseño y fabricación de máquinas plegadoras siendo la siguiente:

NORMA UNE-EN 12622 SEGURIDAD DE LAS MÁQUINAS-HERRAMIENTAS. PRENSAS PLEGADORAS HIDRÁULICAS [4].

NORMA UNE-EN 693 MÁQUINAS-HERRAMIENTAS, SEGURIDAD, PRENSAS HIDRÁULICAS. [4].

Este estudio se lo realizó en los componentes que están más expuestos a esta fuerza, como; la estructura soporte, las mordazas superior e inferior, el punzón y la matriz de plegado siendo que los espesores óptimos de los elementos críticos de la máquina se determinaron mediante el uso de software y revisiones bibliográficas.

Para la estructura soporte se utilizaron variables de diseño con espesores de materiales entre 65 a 80 mm, base de 2,240 mm y una longitud de 3,200 mm, altura de 2,700 mm, el diseño planteado para este elemento se presenta en la figura 3.

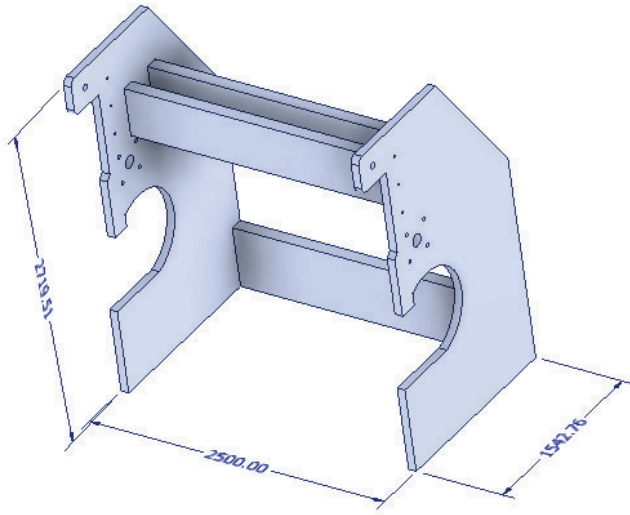
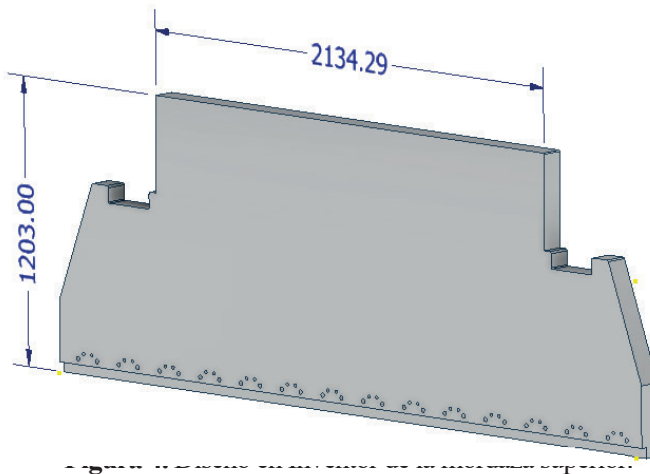


Figura 3. Diseño en Inventor de estructura soporte.

Para la mordaza superior e inferior se utilizaron variables de diseño como el espesor de 97 mm dato en el cual se obtuvo según cálculos, una longitud de 3,200 mm, una altura de 1,203 mm, aplicando la misma fuerza de empuje, el diseño planteado para este elemento se presenta en la figura 4.



Para el punzón de plegado se utilizaron variables de diseño como el espesor entre 20 y 60 mm, una altura de 262 mm, ángulo de cuña de 88°, el diseño planteado para este elemento se presenta en la figura 5.

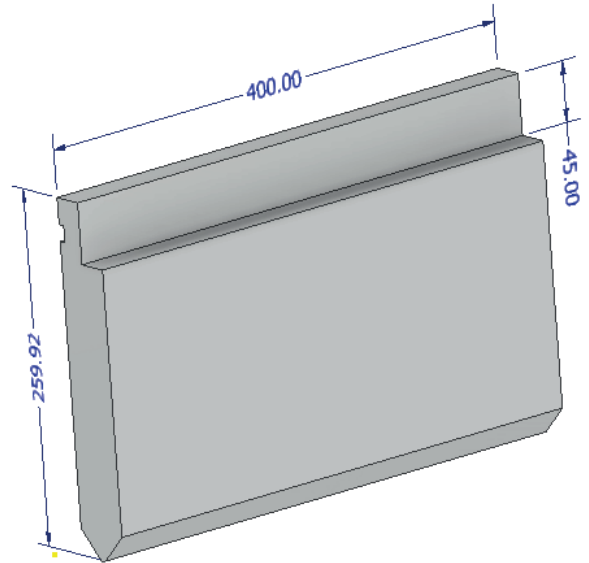


Figura 5. Diseño en Inventor del punzón de plegado.

Para la matriz de plegado se utilizaron variables de diseño de una apertura de matriz entre 24 y 64 mm, un radio interior entre 4.2 y 10 mm, una profundidad entre 15 y 32 mm y un ángulo de 88°, el diseño planteado para este elemento se presenta en la figura 6.

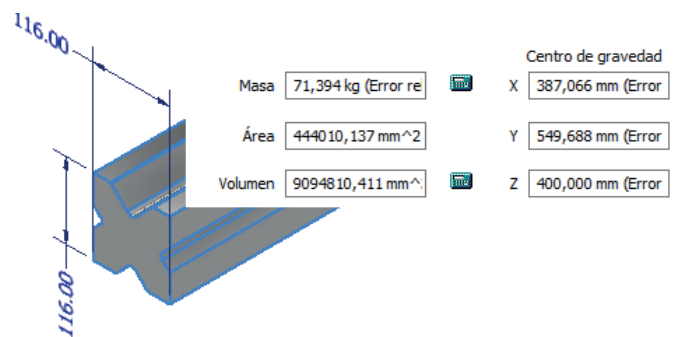


Figura 6. Diseño en Inventor de la matriz de plegado.

Para todos estos procesos se consideró una fuerza nominal de empuje del cilindro de 800 KN, un diámetro de vástago de 95 mm y utilizamos una malla basada en la curvatura, con la finalidad de obtener una mejor calidad de malla creamos una malla más fina en aquellas zonas donde la geometría de nuestro diseño de la máquina plegadora es más compleja y así garantizar una mayor resolución en los resultados, donde se buscó obtener las variables de solución de; Esfuerzo de Von Mises, deformación máxima y factor de seguridad.

En la figura 7 se muestra el diseño de la plegadora hidráulica a ser analizada bajo los criterios antes descritos.

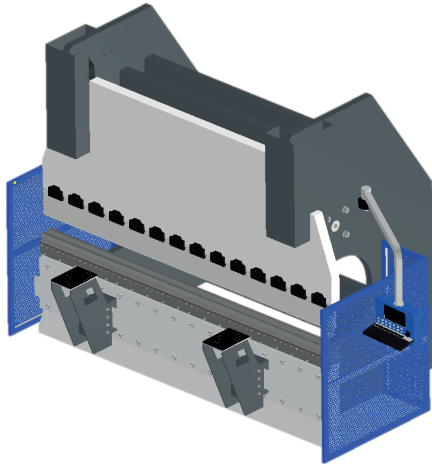


Figura 7. Diseño propuesto de plegadora hidráulica.

Para describir el proceso que se realizó en el software de elementos finitos, se debe de tener claro que cuando un material elastoplástico es deformado mecánicamente hasta superar el límite elástico, adquiere deformaciones plásticas que le confieren un cambio de forma permanente [11], para los diferentes análisis de componentes sometidos a la fuerza de compresión, primero se calculó la fuerza máxima para plegar una plancha de acero estructural naval de hasta 8 mm de espesor, considerando los parámetros iniciales como el tipo de acero y sus características mecánicas principales del material como; el código ASTM A-131, una resistencia a la tracción de 490 MPa, un esfuerzo de fluencia de 235 MPa, un coeficiente elástico de 200 GPa.[13]

La ecuación 1 es válida para el cálculo de la determinación de la fuerza máxima para plegar el material de acero antes mencionado.

Fuerza máxima.

$$F_{max} = \frac{\sigma_u L t^2}{v} \quad (1)$$

Donde t es el espesor del material, la resistencia a la tracción es σ_u , la longitud del pliegue es L y la abertura de la matriz es v .

La ecuación 2 es válida para el cálculo del esfuerzo máximo para plegar el material de acero antes mencionado.

Esfuerzo máximo.

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max} C}{I} \quad (2)$$

Donde el esfuerzo máximo es σ_{max} , el momento máximo es M_{max} , el centroide es c y la inercia es I .

La ecuación 3 es válida para el cálculo del factor de seguridad dado que el esfuerzo último es inversamente proporcional al esfuerzo máximo.

Factor de seguridad.

$$N = \frac{\sigma_y}{\sigma_{max}} \quad (3)$$

Donde el factor de seguridad es F_s o N y el esfuerzo fluencia último es σ_y .

La ecuación 4 es válida para el cálculo de la matriz de plegado, el cual nos permite determinar el espesor ideal que utilizaremos correspondiente a la fuerza máxima de compresión y a su esfuerzo ultimo.

$$\sigma_u = \pm \frac{F}{A} \pm \frac{M c}{I} \quad (4)$$

Las ecuaciones diferenciales presentadas en sus correspondientes condiciones de contorno se resuelven de forma numérica mediante el método de los elementos finitos utilizando el software comercial con licencia SolidWorks.

Para llegar al modelo propuesto en la figura 6, se han desarrollado múltiples experimentos para los diferentes aceros que bajo criterio se analizaron entre los cuales se escogieron los más aproximados a las consideraciones necesarias óptimas para el desarrollo de esta máquina como se puede observar en la tabla 2.

Tabla 2. Información general de los aceros analizados.

| ACERO | MÓDULO ELÁSTICO | LÍMITE ELÁSTICO | LÍMITE DE RUPTURA |
|----------|-----------------|-----------------|-------------------|
| ASTM A36 | 200 GPa | 250 MPa | 400 MPa |
| SAE 1020 | 205 GPa | 350 MPa | 420 MPa |
| SAE 1045 | 200 GPa | 530 MPa | 625 MPa |

3. Resultados

Se estableció que al realizar la simulación de los diferentes componentes sometidos a fuerza crítica de compresión se recogen varios datos que, posteriormente, se valoran para establecer el alcance de los cálculos realizados, teniendo en cuenta la correlación entre la fuerza máxima de plegado del material y la resistencia mecánica de estos componentes.

Para el caso de la estructura soporte y la mordaza inferior analizadas en el software, después de varias iteraciones y comparaciones se obtuvieron los resultados más cercanos a la optimización de este, presentados en la tabla 3.

Tabla 3. Resultados de los diferentes materiales a diferentes espesores, estructura soporte.

| MATERIAL | SAE 1045 | | ASTM A36 | | SAE 1020 | |
|-----------------------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|
| | 65 | 80 | 65 | 80 | 65 | 80 |
| E [mm] | 65 | 80 | 65 | 80 | 65 | 80 |
| Esfuerzo máx. [MPa] | 819.54 | 666.43 | 831.38 | 677.42 | 819.54 | 666.43 |
| Deformación máx. [mm] | 11.35 | 9.22 | 11.64 | 9.46 | 11.35 | 9.22 |
| Factor seguridad | 0.6-2 | 0.49-2 | 0.30-2 | 0.37-2 | 0.43-2 | 0.53-2 |

Por lo tanto, la mejor opción para este estudio es el acero SAE 1045, para reducir el esfuerzo y la deformación máximos en base al factor de seguridad, se le añade un refuerzo en los puntos críticos de deformación presentando los resultados en la tabla 4.

Tabla 4. Resultados óptimos del acero SAE 1045, estructura soporte.

| MATERIAL | SAE 1045 | |
|-----------------------|----------|--------|
| E [mm] | 65 | 80 |
| Esfuerzo máx. [MPa] | 819.54 | 666.43 |
| Deformación máx. [mm] | 11.35 | 9.22 |
| Factor seguridad | 0.66-2 | 0.49-2 |

En la figura 8 se visualiza la consideración en una malla basada en la curvatura, con la finalidad de obtener los resultados más precisos en función de los requerimientos planteados inicialmente.

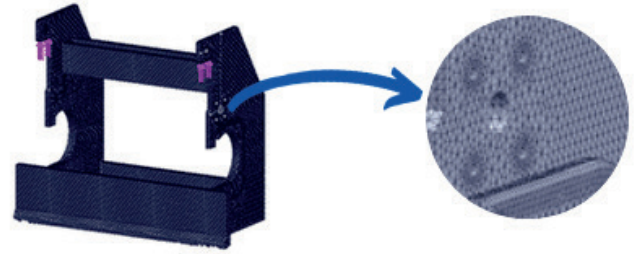


Figura 8. Malla fina estándar de estructura soporte.

En la figura 9 y figura 10 se visualiza el comportamiento de deformación en base a los resultados presentados en la tabla 4.

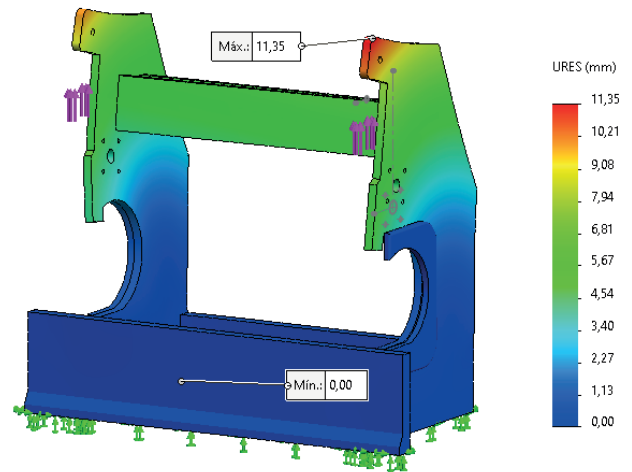


Figura 9. Deformación máxima de estructura soporte con espesor de 65 mm.

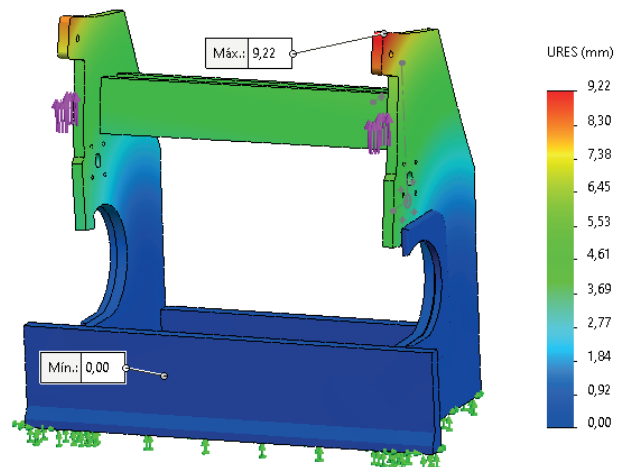


Figura 10. Deformación máxima de estructura soporte con espesor de 80 mm.

Para el caso de las mordazas superior, después de los respectivos cálculos y funcionalidad de esta en relación con el montaje del punzón, se establece un solo análisis a un espesor determinado, sin embargo, se realizaron las respectivas comparaciones y se obtuvieron los resultados más cercanos a la optimización de este, presentados en la tabla 5.

Tabla 5. Resultados óptimos de diferentes materiales, mordaza superior.

| MATERIAL | SAE 1045 | ASTM A36 | SAE 1020 |
|-----------------------|----------|----------|----------|
| E [mm] | 97 | 97 | 97 |
| Esfuerzo máx. [MPa] | 202.50 | 205.7 | 202.50 |
| Deformación máx. [mm] | 0.19 | 0.20 | 0.19 |
| Factor seguridad | 0.50-2 | 0.30-22 | 0.30-2 |

En la figura 11 se realiza el mismo análisis con la finalidad de obtener los resultados más precisos en base a los requerimientos planteados inicialmente.

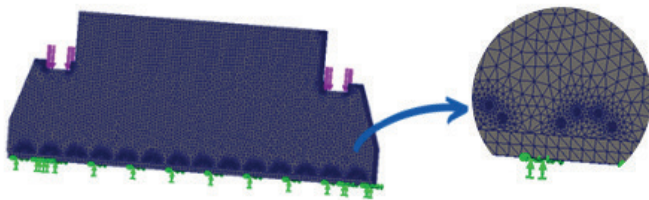


Figura 11. Malla fina estándar de mordaza superior.

Por lo tanto, la mejor opción para este estudio es el acero SAE 1045, para reducir el esfuerzo y la deformación máximos en base al factor de seguridad.

En la siguiente figura 12 se visualiza el comportamiento de deformación en base a los resultados presentados en la tabla 5.

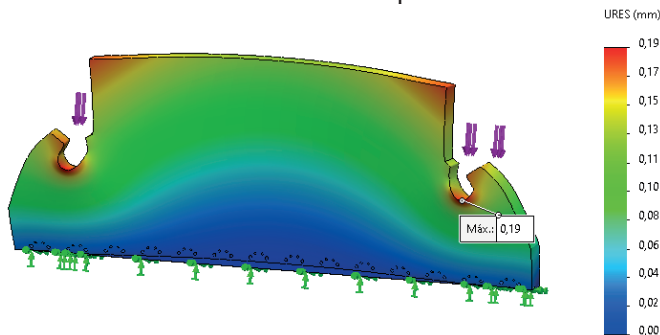


Figura 12. Deformación máxima de mordaza superior.

Para el caso del punzón, después de los respectivos cálculos y funcionalidad, se establece un solo análisis a un espesor determinado, debido a que en los cálculos se realizaron las respectivas iteraciones en base al esfuerzo máximo de compresión, entre 20 hasta 60 mm, siendo el óptimo de 44 mm, sin embargo, se realizaron las respectivas comparaciones y se obtuvieron los resultados más cercanos a la optimización de este, presentados en la tabla 6, con un volumen de $4'073,541.574 \text{ mm}^3$.

Tabla 6. Resultados óptimos de diferentes materiales, punzón.

| MATERIAL | SAE 1045 | ASTM A36 | SAE 1020 |
|-----------------------|----------|----------|----------|
| E [mm] | 44 | 44 | 44 |
| Esfuerzo máx. [MPa] | 723.47 | 723.45 | 723.47 |
| Deformación máx. [mm] | 0.19 | 0.20 | 0.19 |
| Factor seguridad | 0.73-2 | 0.35-2 | 0.48-2 |

En la figura 13 se visualiza la consideración en una malla basada en la curvatura en el software, con la finalidad de obtener los resultados más precisos en base a los requerimientos planteados inicialmente.

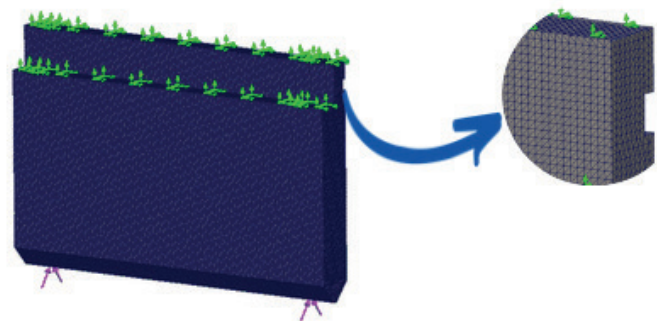


Figura 13. Malla fina estándar de punzón de plegado.

Por lo tanto, la mejor opción para este estudio es el acero SAE 1045, para reducir el esfuerzo y la deformación máximos en base al factor de seguridad, según catálogo este material se le puede aplicar los tratamientos de temple y revenido bonificado, con la finalidad de aumentar entre 50 hasta 54 su dureza Rockwell C, en este caso en la punta, evitando desgaste al momento de efectuar el trabajo de plegado.

En la figura 14 se visualiza el comportamiento de deformación en base a los resultados presentados en la tabla 6.

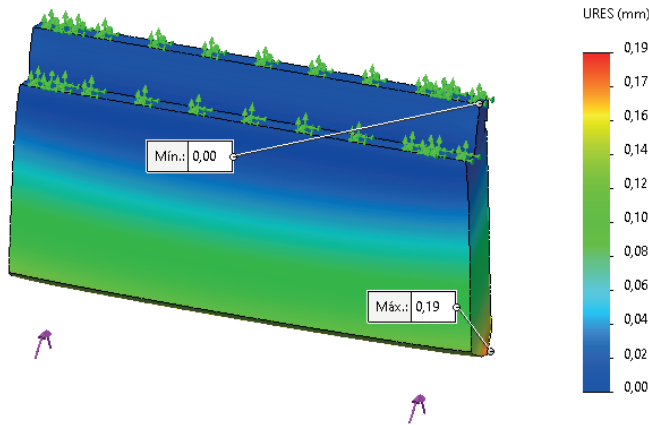


Figura 14. Deformación máxima de punzón de plegado.

Para el caso de la matriz, después de los respectivos cálculos y funcionalidad, se establece un solo análisis de volumen determinado, basado en los respectivos cálculos bajo las consideraciones de diseño, siendo el óptimo de 9'094,810.411 mm³, sin embargo, se realizaron las respectivas comparaciones y se obtuvieron los resultados más cercanos a la optimización de este, presentados en la tabla 7.

Tabla 7. resultados óptimos de diferentes materiales SAE 1045, matriz de plegado.

| MATERIAL | SAE 1045 |
|---------------------------|---------------|
| Volumen [m ³] | 9'094,810.411 |
| Esfuerzo máx. [MPa] | 352.71 |
| Deformación máx. [mm] | 0.04 |
| Factor seguridad | 1.50-2 |

En la figura 15 se visualiza la consideración en una malla basada en la curvatura en el software, con la finalidad de obtener los resultados más precisos en base a los requerimientos planteados inicialmente.

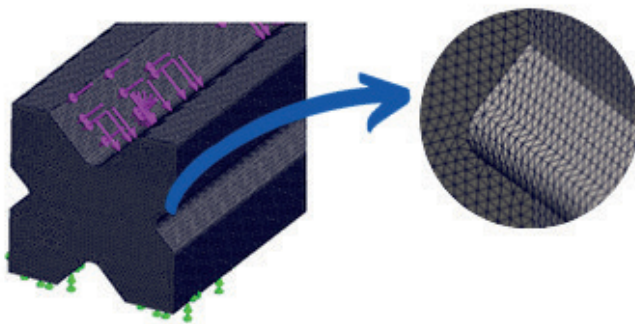


Figura 15. Malla fina estándar de la matriz de plegado.

Por lo tanto, la mejor opción para este estudio es el acero SAE 1045, para reducir el esfuerzo y la deformación máximos en base al factor de seguridad, según catálogo este material se le puede aplicar los tratamientos de temple y revenido bonificado, con la finalidad de aumentar entre 50 hasta 54 su dureza Rockwell C, evitando desgaste al momento de efectuar la fuerza de compresión máxima de plegado.

En la siguiente figura 16 se visualiza el comportamiento de deformación en base a los resultados presentados en la tabla 7.

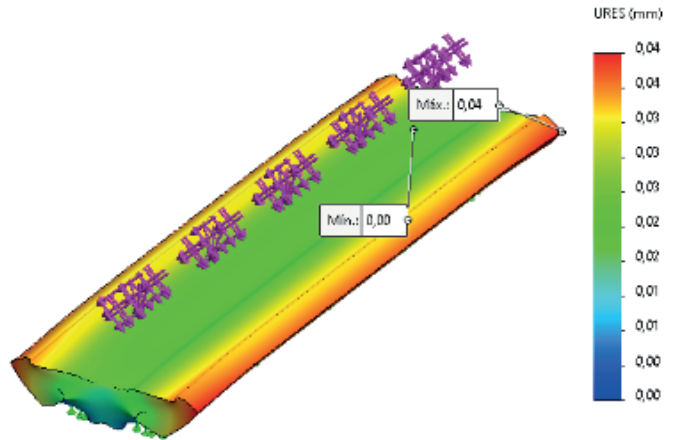


Figura 16. Deformación máxima de la matriz de plegado.

Bajo la evaluación y análisis se ha podido determinar los espesores y volúmenes correspondientes y necesarios para este objeto de estudio, para así optimizar las dimensiones correspondientes para la funcionalidad adecuada de una máquina plegadora hidráulica, sin que estén ni sobre dimensionadas, ni sobre esforzadas

Evaluando los resultados obtenidos en ciertos componentes donde se realizaron las respectivas iteraciones de análisis, la diferencia entre un resultado y otro respecto a las deformaciones máximas, respecto a la fuerza máxima de compresión, aun así, se determinó que el mejor material para la construcción de estos elementos es el acero SAE 1045, basado en su composición química y sus características mecánicas. [14-15]

En la tabla 8 se visualiza la información general respecto al acero al carbono sin alear de esmerada manufactura, con buena tenacidad. Características en su alta uniformidad y rendimiento. Puede utilizarse en condiciones de suministro o con tratamiento térmico de temple y revenido. Aplicable a partes relativamente simples de máquinas. Dureza de suministro aproximada: 200 HB.[12]

Tabla 8. Información general de acero SAE 1045.

| Análisis típico % | C | Si | Mn | P | S | Cr | Ni |
|---------------------|---------------------------------------------------------|----------------------|----------------------|----------------|----------------|----|----|
| AISI 1045 | 0.4 3 – 5 0.5 0 | 0.1 – 0.3 5 | 0.6 – 0.9 0 | 0.03 – 0 | 0.05 – 0 | | |
| Normas equivalentes | AISI (1045), SAE (C 1045) W. Nr (1.1820), DIN (CK45) | | | | | | |
| Código de color | Rojo / Plomo | | | | | | |

Fuente: [12]

Todos los resultados evaluados en este estudio se basaron en el análisis de una plegadora hidráulica con una capacidad máxima de doblado de una plancha de acero estructural naval A-131, con 8 mm de espesor.

4. Conclusiones

Mediante los cálculos realizados y verificados en software de ingeniería como Inventor y SolidWorks, se ha podido constatar que los requerimientos planteados inicialmente han demostrado factibilidad para el diseño de los componentes críticos de una plegadora hidráulica ya que al seleccionar el acero SAE 1045 que optimiza la operatividad y se obtuvo como resultado una menor deformación de 11.35 mm para la estructura en 65 mm de espesor, para la mordaza superior de 0.19 mm a 97 mm, para el punzón de 0.19 mm y para la matriz de plegado hasta 0.04 mm, relacionado con el esfuerzo y la fuerza máxima de compresión a la que trabajará este equipo.

Se ha podido comprobar que las deformaciones máximas favorables para el diseño de los elementos críticos de la máquina plegadora hidráulica, sería en el caso de la estructura de 80 mm, sin embargo, desde el punto de vista económico, se recomienda reforzar la zona donde presenta mayor deformación y así reducir esta, por lo que se recomienda elegir la estructura de espesor de 65 mm como se especifica en la tabla 8.

Se ha determinado la selección del material SAE 1045, debido a sus propiedades mecánicas y sus bajos niveles de carbono, considerando también, que el material en forma de suministro tiene una Dureza Brinell de 200 HB y un porcentaje de Carbono de entre 0.43 hasta 0.50, lo que permite una mayor receptividad para aplicar los tratamientos térmicos de temple y revenido con la finalidad de obtener una dureza Rockwell C de 50 hasta 54 HRC, para el punzón y la matriz de plegado respectivamente, reduciendo el desgaste debido a la fricción

5. Referencias

- [1] J. Á. Mercado, (2017, abr, 13) Todo lo que se debe saber sobre las prensas plegadora. [Online]. Available: <https://www.joseangelmercado.com/blog/lo-saber-las-prensas-plegadoras/>.
- [2] S. I. M. Gómez, "DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA MÁQUINA BAROLADORA HIDRÁULICA PARA TUBO RECTANGULAR DE 100X50 MILÍMETROS DE ESPESOR MÁXIMO 4 MILÍMETROS.", Trabajo de titulación, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA, Quito, 2020.
- [3] J. N. Laguna Avila, "DISEÑO DE UNA PLEGADORA HIDRAULICA PARA PLANCHAS DE ACERO DE HASTA 12,7 mm DE ESPESOR PARA LA EMPRESA METAL SUR DEL PERÚ E.I.R.L.", Tesis de grado, Universidad César Vallejo, Trujillo - Perú, 2017.
- [4] E. Yever Marco, "DISEÑO Y DESARROLLO MECÁNICO DE UNA PLEGADORA INDUSTRIAL", Tesis de grado en Ingeniería Mecánica, Universitat Jaume I, España, 2017.
- [5] J. D. M. Martínez y C. C. V. Moreno, "DISEÑO DE UNA MÁQUINA CIZALLADORA Y DOBLADORA DE LÁMINAS METÁLICAS PARA PRÁCTICAS DE LABORATORIO", Proyecto Integral de grado, FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA, Fac. Ingenierías, Bogotá D.C., 2019.
- [6] J. D. M. Martínez y C. C. V. Moreno, "DISEÑO DE UNA MÁQUINA CIZALLADORA Y DOBLADORA DE LÁMINAS METÁLICAS PARA PRÁCTICAS DE LABORATORIO", Proyecto Integral de grado, FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA, Fac. Ingenierías, Bogotá D.C., 2019.
- [7] G. Buitrón y R. Alonso, "Diseño del proceso de conformado de un piso con habitáculo de llanta de emergencia de un vehículo compacto, utilizando elementos finitos para predecir el comportamiento de la chapa metálica", Proyecto previo a la obtención del título de Magister, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2017.
- [8] A. López Martínez y J. López Martínez, (2015) "COMPLEMENTOS TEÓRICO-PRÁCTICOS", UNIVERSIDAD DE ALMERÍA, Almería, [Online]. Available: https://w3.ual.es/~alm212/documentos/MANUAL_F.BASICA.pdf
- [9] Centro de Servicios, "Instructivo Plegado". [Online]. Available: <https://www.wesco.com.co/userfiles/file/instructivo-plegado-acero-csw.pdf>
- [10] F. P. Beer, E. Russell Johnston, J. T. DeWolf, y D. F. Mazurek, Mecánica de Materiales, Sexta edición. Editorial Mc Graw Hill Education, 1982.

- [11] CAPÍTULO 4: CONFORMADO POR DEFORMACIÓN, en uc3m, Madrid: Universidad Carlos III. [Online]. Available: <http://ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/tecnologia-mecanica/material-de-clase-1/ocw-capitulo4.pdf>
- [12] C. A. Ivan Bohaman, "CATÁLOGO DE PRODUCTOS". III Edición. Accedido: jul. 15, 2021. [Online]. Available: <https://fdocuments.ec/document/catalogo-general-2016-de-ivan-bohman.html>
- [13] C. V. dos Santos-Araújo, J. P. Matos-Xavier, y R. Lopes-Pereira, "Determination of the efforts in two-way slabs of concrete through the finite difference method", *Rev. Ingenio*, vol. 18, n.º 1, pp. 25–32, ene. 2021. Doi: <https://doi.org/10.22463/2011642X.2662>
- [14] E. N. Flórez-Solano, E. E. Espinel-Blanco, y J. E. Barbosa-Jaimes, "Desarrollo de un soldador por puntos para el laboratorio de proceso de manufactura de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña", *Rev. Ingenio*, vol. 16, n.º 1, pp. 30–35, ene. 2019. Doi: <https://doi.org/10.22463/2011642X.2389>
- [15] M. Grave-Capistran, J. Maya-López, A. Ballesteros-Argüello, y R. A. García-León, "Evaluación experimental de esfuerzos usando la correlación de imagen digital", *Rev. Ingenio*, vol. 18, n.º 1, pp. 48–53, ene. 2021. Doi: <https://doi.org/10.22463/2011642X.2670>.