

## Diseño de una plegadora hidráulica para planchas de acero de hasta 12,7 mm de espesor para la empresa Metal Sur del Perú E.I.R.L.

Design of a hydraulic press brake for steel plates up to 12.7 mm thick for the company Metal Sur del Perú E.I.R.L.

Javier Nicolas Laguna Avila<sup>1</sup>

### RESUMEN:

La presente tesis comprende el diseño de una maquina plegadora hidráulica para planchas de acero de hasta 12,7 mm de espesor y así incrementar la productividad en la empresa METAL SUR DEL PERÚ E.I.R.L. de la ciudad de Trujillo. Las necesidades de la empresa se determinaron mediante entrevistas a distintos trabajadores. Luego se propusieron 6 conceptos de solución y se sometieron a una matriz de selección, para conseguir un concepto ganador. Posterior a ello se realizó el diseño de configuración donde se realizaron 4 configuraciones diferentes. La configuración ganadora fue sometida a un análisis paramétrico con la ayuda de una interfaz Gráfica de Usuario (GUI-Matlab) para los componentes principales. También se empleó el análisis paramétrico por medio del método de elementos finitos (FEM-Solidworks) para analizar el esfuerzo de Von Mises, deformación total y factor de seguridad en los mismos elementos. Finalmente se seleccionó los principales componentes estándar y la elaboración de planos. Las dimensiones generales de la maquina se determinaron en 3 m de alto, 0.2 m de desplazamiento vertical del punzón, 3.2 m de largo, 1.5 m de ancho, altura de la plancha a plegar de 1 m y la altura del panel de control a 1.4m. Quedaron ganadores el concepto basado en una plegadora con accionamiento hidráulico y la configuración con los cilindros en la parte superior, pedal de control y tablero de control articulado. La carga máxima de plegado calculada es 2 000 KN, la presión máxima del sistema de 341bar, el caudal de la bomba de 59.58 l/min y una potencia requerida de 15.6 KW. Y mediante el análisis paramétrico se obtuvo un factor de seguridad global de 2.4.

**Palabras claves:** Plegadora hidráulica de planchas, Diseño paramétrico, Metal mecánica, Conformado de chapas.

### ABSTRACT:

This thesis includes the design of a hydraulic folding machine for steel plates up to 12.7 mm thick and thus increase productivity in the company METAL SUR DEL PERU E.I.R.L. from the city of Trujillo.

The needs of the company were determined through interviews with different workers. Then 6 solution concepts were proposed and submitted to a selection matrix, to achieve a winning concept. After that, the configuration design was carried out where 4 different configurations were made. The winner configuration was subjected to a parametric analysis with the help of a Graphical User Interface (GUI-Matlab) for the main components. Parametric analysis was also used by means of the finite element method (FEM-Solidworks) to analyze the von Mises effort, total deformation and safety factor in the same elements. Finally, the main standard components and the preparation of plans were selected. The general dimensions of the machine were determined in 3 m high, 0.2 m vertical punch displacement, 3.2 m long, 1.5 m wide, the height of the iron to be folded up to 1 m and the height of the control panel to 1.4 m. The winners were the concept based on a hydraulic driven squeezer and the configuration with the cylinders on the top, control pedal and articulated control board. The maximum calculated folding load is 2 000 KN, the maximum system pressure of 341bar, the pump flow rate of 59.58 l / min and a required power of 15.6 KW. And through the parametric analysis, an overall safety factor of 2.4 was obtained.

**Key words:** Hydraulic plate folding machine, Parametric design, Mechanical metal, Sheet metal forming.

<sup>1</sup> Universidad César Vallejo - Estudiante de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
E-mail: reivaj.jlg@hotmail.com

## 1. INTRODUCCIÓN:

Las nuevas tecnologías aportan significativamente a la industria manufacturera y metalmecánica para facilitar el maquinado y/o conformado de piezas metálicas. El proceso de plegado es una línea principal en el proceso productivo de dichas industrias y las grandes marcas cuentan con líneas automatizadas de plegadoras hidráulicas que permiten una producción en serie de ciertos componentes que requieren plegados, eso resulta en una reducción de tiempos de fabricación e incremento de producción en serie.

En el Perú las líneas de producción de las principales metalmecánicas cuentan con máquinas como las plegadoras de accionamiento hidráulico que permiten una producción en serie de piezas plegadas. Esto permite agilizar la fabricación de componentes donde se requiera doblar planchas metálicas. Es importante reconocer la presencia de este tipo de máquinas dentro del proceso productivo de las empresas, permitiendo una continuidad en la fabricación .

En la región la Libertad la mayoría de empresas del sector metalmecánico subcontratan el servicio de plegado. Dicho servicio se realiza utilizando plegadoras hidráulicas, las cuales son las más recomendables para este tipo de trabajo. Es importante que esta etapa de plegado dentro del proceso productivo sea rápido y efectivo, debido a que este proceso influirá en el tiempo total de fabricación.

Metal Sur del Perú E.I.R.L. es una empresa privada trujillana que inició sus actividades el 2007 dedicada a prestar servicios en la industria metal mecánica en los rubros de diseño, fabricación y montaje de estructuras metálicas. Desde sus inicios el gusto por la mejora continua e innovación en ingeniería y construcción en metal mecánica han sido el gran motor para el cual abrieron sus puertas a nuevas

experiencias y desafíos que siempre están dispuestos a asumir. En la actualidad tiene como potenciales clientes a Cartavio S.A.A., Casa Grande S.A.A. y Agrolmos S.A., en donde ejecuta proyectos innovadores de fabricación y montaje de equipos y maquinas industriales.

En el proceso productivo, de Metal Sur de Perú, la línea principal en fabricación de equipos es conformado por rolado y plegado. Actualmente esta actividad se encuentra limitada, ya que solo cuenta con dos roladoras, por lo que la empresa recurre al servicio de plegado externo. Al hacer ello se pierde aproximadamente entre 6 a 10 horas por actividad de plegado, factores elementales en la calidad y puntualidad a la hora de entregar las estructuras y/o equipos.

En este trabajo se diseñó de una plegadora con accionamiento hidráulico para espesores de hasta 12,7mm en geometrías diversas (ductos rectangulares, chutes, perfiles angulares, perfiles Z, perfiles C, etc. ), para la empresa METAL SUR DEL PERÚ E.I.R.L..

## 2. METODOLOGÍA:

La recopilación de información se realizó mediante una entrevista, donde se identificó la necesidad del cliente por medio de una ficha de entrevista y se formuló la lista de requerimientos la cual se expresó el problema en términos ingenieriles.

Se generó 6 conceptos alternativos de diseño en los cuales se mostraron distintas configuraciones de la estructura, sistema de alimentación de la plancha y la mordaza superior. Después se seleccionó la alternativa óptima mediante una matriz de selección. Luego se realizarán los cálculos correspondientes para determinar los parámetros principales del diseño de la plegadora, para luego diseñar la configuración general de las partes de la máquina

mediante el cálculo analítico y computarizado teniendo en cuenta los códigos, normas o recomendaciones para el diseño de una plegadora con accionamiento hidráulico.

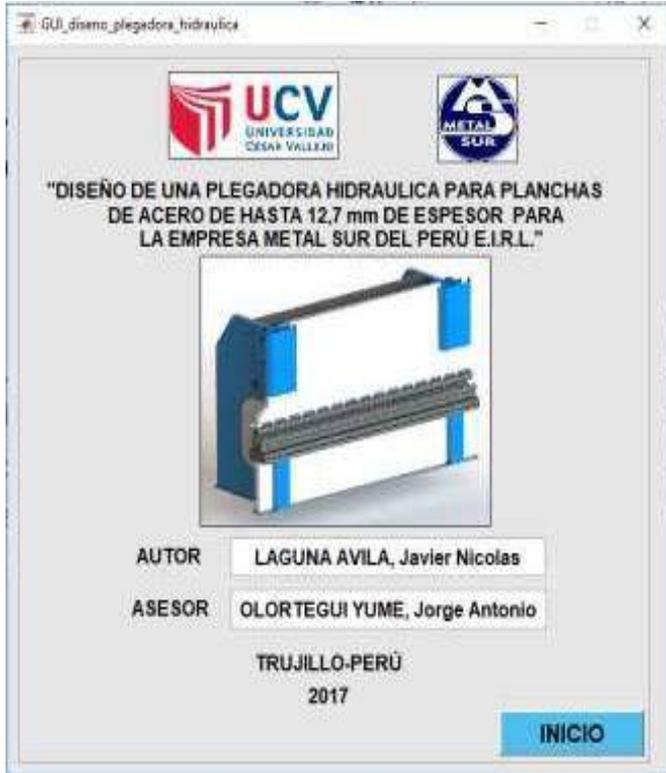


Figura 1. Interfaz gráfica de usuario – Presentación

A continuación se presenta la Interfaz gráfica de usuario – Diseño de una plegadora Hidráulica con los parámetros registrados por defecto.



Figura 2. Interfaz gráfica de usuario – Diseño Paramétrico

### 3. PROCESO DE PLEGADO

Plegado se define este término como “acción y efecto de plegar”, definiendo plegar como “hacer pliegues lineales en una cosa. Doblar, ceder”. En el plegado de láminas de acero, se obtienen deformaciones permanentes debido a que es un proceso de conformado por deformación plástica, superando de esta manera el límite elástico del material.

#### Tipos de plegado

Durnes (2010), considera que al realizar el plegado de una plancha en una plegadora, esta es sometida a una presión gradual al estar situada entre el punzón y la matriz de doblez. El plegado de la plancha estará relacionada con la fuerza que se aplicará [1]. Entendemos que la plancha en una forma totalmente plana corresponde a un ángulo de 180°. Lo primero que se observa en el siguiente gráfico es que para iniciar el proceso de plegado se necesita una cierta fuerza. Una fuerza menor a esta no produce deformación alguna en la plancha cuando la fuerza se retire. A continuación se representa en un gráfico los grados a los que se pliega la plancha y la fuerza aplicada. A continuación se presenta la figura 1 en la que a la zona 1 la llamaremos plegado parcial, a zona 2 plegado a fondo y a la zona 3 acuñado o estampado.

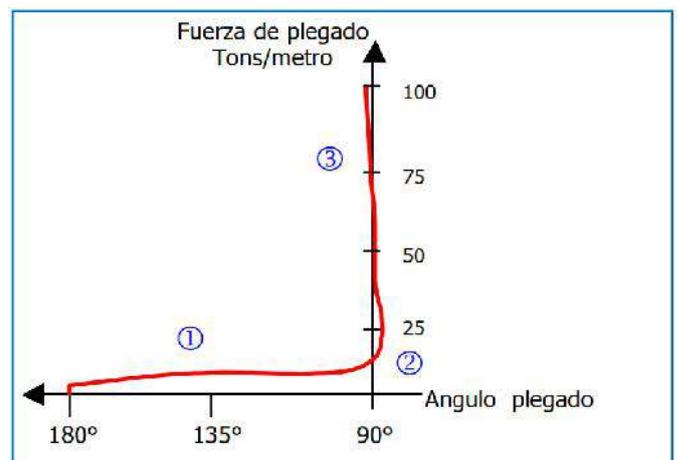


Figura 3. Relación entre la Fuerza y el ángulo de plegado

Radio mínimo de plegado: este debe ser el mayor posible con el fin de evitar fallas por concentración de esfuerzos.

$$Ri_{min} = \frac{t}{2} \left( \frac{1}{\varepsilon} - 1 \right)$$

donde:

$Ri_{min}$ : Radio interior mínimo (mm)

$t$ : Espesor de la plancha (mm)

$\varepsilon$ : Alargamiento a la rotura (en tanto por 1)

Se sabe que el radio de plegado debe ser mayor que el radio mínimo calculado para que el plegado sea posible.

### Angulo real de plegado:

Todos los materiales tienen un módulo finito de elasticidad, por lo que la deformación plástica siempre va seguida de alguna restitución elástica cuando se retira la carga. En el doblado, a esta restitución se le llama retorno elástico, que puede observarse con facilidad si se dobla una pieza de hoja metálica o de alambre y se suelta después.

El ángulo de la matriz de plegado se puede calcular en términos de los radios  $Ri$  y el ángulo requerido como:

$$\alpha' = \alpha \left( 4 \left( \frac{Ri * \sigma_y}{E * t} \right)^3 - 3 \left( \frac{Ri * \sigma_y}{E * t} \right) + 1 \right)$$

donde:

$\alpha'$ : Angulo inicial

$\alpha$ : Angulo final (Requerido)

$Ri$ : Radio interior (mm)

$t$ : Espesor de la plancha (mm)

$\sigma_y$ : Limite de fluencia (MPa)

$E$ : Modulo de elasticidad (MPa)

### Fuerza máxima de plegado

Según Kalpakjian (2002) se puede estimar la fuerza máxima de doblado para chapas (láminas) metálicas en función de la resistencia del material, el espesor de la plancha, la longitud de doblado y la abertura de la máximo de la fuerza de plegado se determina

mediante la siguiente expresión [4]:

$$F_{max} = \frac{\sigma_{ut} * L * t^2}{V}$$

donde:

$F_{max}$ : Fuerza máxima de plegado (KN)

$\sigma_{ut}$ : Resistencia a la tracción (MPa)

$L$ : Longitud de plegado (m)

$t$ : Espesor de la plancha (mm)

$V$ : Abertura de la matriz (mm)

### Diámetro mínimo del vástago

Según la Norma DIN 24334 el cilindro hidráulico realiza la mayor fuerza cuando el vástago sale, entonces los vástagos están sometidos a carga de compresión; por lo tanto, el diámetro mínimo del cilindro se calcula de la siguiente manera:

$$d_{minv} = \sqrt{\frac{4000 * F_c}{(\pi * \sigma_{adm})}}$$

donde:

$d_{myi}$ : Diámetro mínimo del vástago (mm)

$F_c$ : Fuerza de empuje del cilindro hidráulico (KN)

$\sigma_{adm}$ : Esfuerzo admisible del material del vástago (MPa)

El esfuerzo admisible se determina mediante la siguiente ecuación:

$$\sigma_{adm} = \frac{S_y}{N}$$

donde:

$\sigma_{adm}$ : Esfuerzo admisible (MPa)

$S_y$ : Limite de fluencia del material de vástago (MPa)

$N$ : Factor de seguridad por compresión

### Presión en el cilindro hidráulico

La presión en los cilindros hidráulico se mantiene constante y se calcula mediante la fórmula general depresión (Piñeiro, 2000) [5]:

$$P_c = \frac{F_c}{A_{IC}} * 10^3$$

donde:

$P_C$ : Presión del sistema o presión real de trabajo (MPa)

$F_C$ : Fuerza de empuje del cilindro hidráulico (KN)

$A_{IC}$ : Área interior del cilindro (mm<sup>2</sup>)

Para el cálculo del área interior del cilindro se recomienda expresarlo en función del diámetro interior de la siguiente manera:

$$A_{IC} = \frac{\pi * D_{ic}^2}{4} \quad (3)$$

donde:

$A_{IC}$ : Área interior del cilindro (mm<sup>2</sup>)

$D_{IC}$ : Diámetro interior del cilindro (mm)

### Caudal del sistema hidráulico

El caudal máximo del sistema depende de la geometría del cilindro hidráulico y se expresa de la siguiente manera (Quispe, 2008) [6]:

$$Q_B = 0.06 * U_v * A_{ic} * 10^{-3} \quad (4)$$

donde:

$Q_B$ : Caudal máximo de la bomba (Lt/s)

$U_v$ : Velocidad de salida del vástago (mm/s)

$A_{ic}$ : Área interior del cilindro (mm<sup>2</sup>)

### Presión de la bomba Hidráulica

De acuerdo con Vilchez (2012) la presión en la bomba será la suma de la presión en los cilindros hidráulicos más la presión de pérdida del sistema. La presión en la bomba se expresa de la siguiente manera:

$$P_B = P_C + P_P \quad (5)$$

donde:

$P_B$ : Presión en la Bomba hidráulica (MPa)

$P_C$ : Presión en el cilindro hidráulico (MPa)

$P_P$ : Presión total de pérdida (MPa)

### Potencia eléctrica

La potencia eléctrica  $P_{el}$  es la potencia absorbida de la red por el motor que acciona la bomba hidráulica,

y esta puede determinar por medio de diversos instrumentos de medida (Vilchez, 2012) [8].

$$P_{el} = P_u * \eta_{MH} * \eta_C * \eta_B * \eta_m * \eta_{ME}$$

dónde:

$P_{el}$ : Potencia eléctrica (KW)

$P_u$ : Potencia útil (KW)

$\eta_{MH}$ : Rendimiento de la maquina hidráulica

$\eta_C$ : Rendimiento del sistema hidráulico

$\eta_B$ : Rendimiento mecánico de la bomba hidráulica

$\eta_m$ : Rendimiento del acople o transmisión de potencia

$\eta_{ME}$ : Rendimiento mecánico del motor eléctrico

### Potencia útil en el cilindro hidraulico

Según Salaza (2006) la medida de la potencia útil en el cilindro hidráulico esta expresada por la ecuación.

$$Pot_{cil} = F_C * U_v$$

dónde:

$Pot_{cil}$ : Potencia en el cilindro hidráulico (W)

$F_C$ : Fuerza de empuje del cilindro hidráulico

$U_v$ : Velocidad de salida de vástago (W)

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las necesidades de la empresa establecidas fueron las siguientes: La empresa presenta dificultad al realizar sus trabajos de plegado. Este problema repercute en el tiempo de entrega del producto, costos y calidad del producto. Se requiere de una maquina plegadora con accionamiento hidráulico y con funcionamiento semiautomático, las planchas más comunes a plegar son de 3 m de largo por 12.7mm de espesor. El costo de la maquina no debe exceder los \$ 20 000, y la inversión debe recuperarse máximo en 2 año.

Se emplearon las siguientes normas: Estandar DIN 2413 - reglas de cálculo para tuberías y codos sin costura para sistemas hidráulicos de aceite y agua.

Norma ISO/TS 13725 - energía del fluido hidráulico - cilindros - método para determinar la carga de pandeo. Norma UNE-EN 12622 seguridad de las maquinasherramientas. Prensas plegadoras hidráulicas. Norma UNE-EN 693 máquinas-herramientas, seguridad, prensas hidráulicas. También se emplearon recomendaciones de diseño de diversos autores respecto a maquinas plegadoras con accionamiento hidráulico.

Se generaron seis conceptos de solución: Plegadora manual con ajuste de plancha por volante, plegadora manual con ajuste de plancha por palanca, plegadora manual con contrapesos, plegadora mecánica, plegadora hidráulica y plegadora hidráulica con ejes laterales.

Mediante la matriz de selección el concepto de solución cinco (plegadora hidráulica) obtuvo el mayor puntaje ponderado con 2.95 puntos. Se realizó el diseño de configuración del equipo y se generó cuatro configuraciones distintas de las cuales la configuración N°2 obtuvo el mayor puntaje ponderado con 3.45 puntos (Los cilindros hidráulicos se ubican dentro de la mordaza superior, tablero de control articulado, pedal móvil que controla la carrera de la mordaza superior y la matriz de plegado se ajusta por medio de sujetadores con regulación por medio de pernos laterales).

Las dimensiones generales de la máquina son las siguientes: La longitud total de la plegadora es de 3200 mm. Ancho de la estructura soporte de 1.5 m. La altura en la que la plancha será plegada es de 1 m. La plegadora hidráulica se diseñó para doblar planchas de 3m de largo con un espesor máximo de 12.7mm (1/2"). La altura máxima con la mordaza superior elevada es 3m. La carrera de la mordaza superior será de 200 mm.

Se seleccionaron los siguientes materiales para los principales componentes: La estructura soporte en

acero ASTM A36, la mordaza superior en acero ASTM A36, el punzón en acero SAE 1045, la matriz de plegado en acero SAE 1045 y la barra de torsión en acero SAE 4340.

Se necesita una fuerza máxima de 2000 KN para plegar la plancha, la presión del sistema es de 341 bar, el caudal de la bomba es de 59.58 l/min y la potencia requerida es de 15.6 KW.

Los resultados obtenidos para cada elemento se presentan en las siguientes figuras.

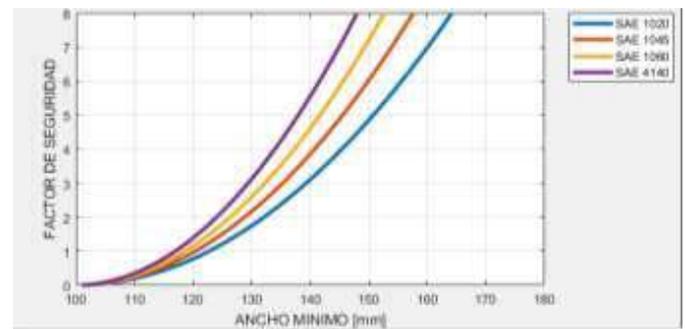


Figura 4. Ancho mínimo – Factor de seguridad de la matriz de plegado

La matriz tiene 6 aberturas plegar 6 espesores distintos, según la geometría se necesita un ancho mínimo de 150 mm. En la figura 33 se observa que para un ancho mínimo de 150 mm le corresponde un factor de seguridad de 5 para un acero SAE 1020.

En los resultados obtenidos para el punzon se plegado se presenta dos graficos:

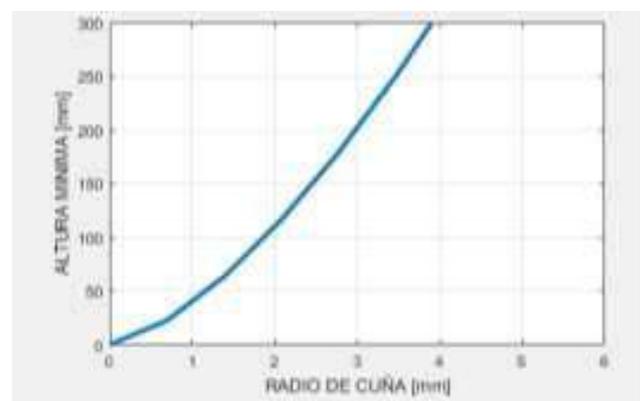


Figura 5. Radio de cuña- Ancho mínimo de punzón de plegado

Según la geometría del punzón, se requiere que tenga un radio de cuña de 3mm para poder plegar planchas desde 2mm de espesor. Según se observa en la figura 34 el punzón no debe exceder los 200 mm de altura.

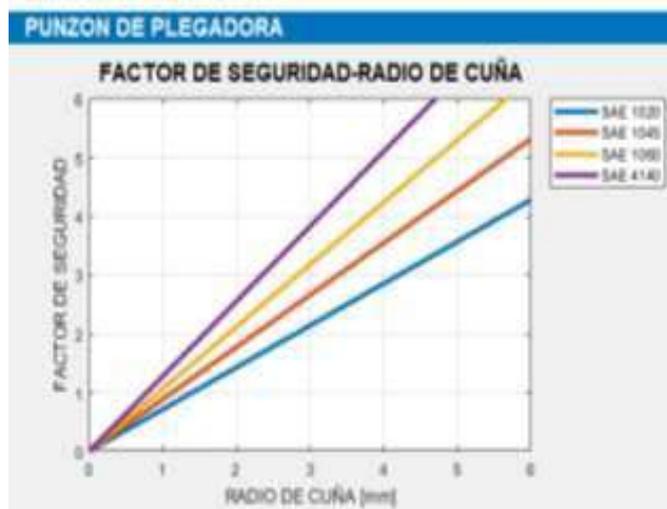


Figura 6. Radio de cuña – Factor de seguridad de punzón de plegado

Según el material del punzón para un radio de cuña de 3 mm el factor de seguridad varía desde 2.3 para SAE 1020 y 3.9 para SAE 4140.

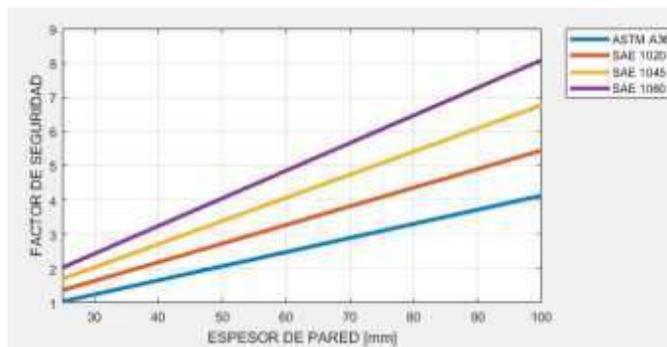


Figura 7. Espesor de pared – Factor de seguridad de mordaza superior

Según las cargas aplicadas y las variables ingresadas en la GUI, para la mordaza superior según esfuerzo de aplastamiento, se debe emplear espesores mayores a 50 mm. Los cuáles serán analizados mediante FEM Solidworks.

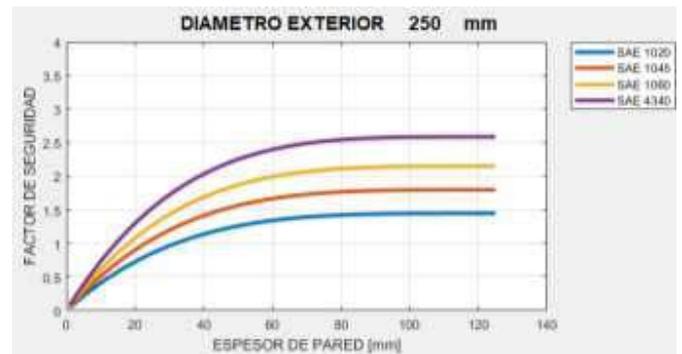


Figura 8. Espesor de pared – Factor de seguridad de barra de torsión.

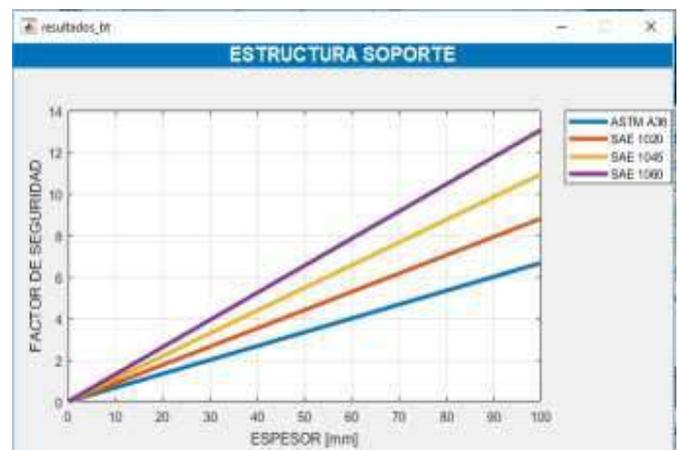


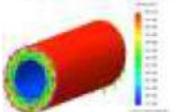
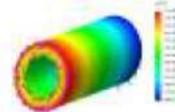
Figura 9. Espesor de pared – Factor de seguridad de estructura soporte.

Según las cargas aplicadas y las variables ingresadas en la GUI, para la estructura soporte según esfuerzo de flexión, se debe emplear espesores mayores a 30 mm.

Una vez obtenido los resultados del cálculo numérico mediante la GUI en Matlab se realizó el modelado de los principales componentes, según consideraciones geométricas ya definidas según los resultados mostrados en los gráficos de Matlab.

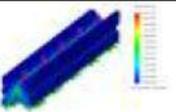
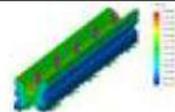
Debido a que la barra de torsión garantiza la calidad de plegado manteniendo paralelo el punzón con la matriz, se seleccionó una barra de Diámetro exterior 250 mm, Diámetro Interior 100 mm y Material SAE 4340.

Tabla 1. Variables de solución de Barra de torsión

Esfuerzo de Von Mises	Deformación Total	Factor de Seguridad
198.5 MPa	3 mm	2.97
		

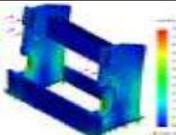
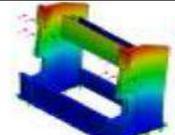
La cuña del Punzón de plegado estará en constante rozamiento con las planchas a plegar por ello se seleccionó un acero SAE 1045 por su resistencia a la fatiga y dureza. El Punzón tendrá las siguientes dimensiones: Altura 150 mm, Espesor 30 mm. La matriz de plegado está diseñada para plegar 6 espesores distintos y es por ello que se selecciona un ancho de 180 mm para garantizar estabilidad de la matriz al momento de plegar al igual que el punzón de plegado el material seleccionado es SAE 1045 y la superficie de las 6 aberturas deben ser endurecidos térmicamente para evitar desgaste.

Tabla 2. Variables de solución de la matriz

Esfuerzo de Von Mises	Deformación Total	Factor de Seguridad
43 MPa	0.008 mm	9.53
		

La estructura soporte también permite la estabilidad de la máquina a la hora de plegar y de esta manera se evita vibraciones exageradas durante el funcionamiento de la plegadora. Para un factor de seguridad mayor a 2.5 se selecciona un espesor de 75 mm y el material es el acero comercial ASTM A36.

Tabla 3. Variables de solución de estructura

Esfuerzo de Von Mises	Deformación Total	Factor de Seguridad
98.7 MPa	0.94 mm	2.53
		

Como componentes principales se seleccionaron los siguientes: El cilindro hidráulico modelo CLRG – 2506, carrera de 200 mm.

El motor eléctrico modelo W22-IE3-160L, potencia nominal de 25 HP, RPM de 1 770, peso de 148 Kg, tensión 380 V, número de Polos de 4 y corriente nominal de 36.9 A. Manómetro de pared de alta presión modelo MPG 100400 conexión de 1/2” y presión máxima de 400 bar.

Se elaboraron los planos de ingeniería principales (general, de fabricación y de montaje). Finalmente se realizó el análisis económico dando como resultados: TIR de 134%, VAN de \$107 241.6174, y ROI de 1.54 años.

Las necesidades de la empresa Metal Sur del Perú EIRL que fueron definidas por las entrevistas realizadas a seis trabajadores sirvieron como base inicial en el desarrollo de cada fase de la metodología de diseño en la que primero se determinó el tipo de material y dimensiones de las planchas a plegar. De la misma manera la normativa y recomendaciones de diseño permitieron definir los parámetros principales a ser considerados a lo largo de la investigación. En el trabajo previo de Pacheco y Sánchez (2012) se pudo observar que también realiza una lista inicial de requerimientos de diseño y también se obtuvieron resultados satisfactorios. En comparación a trabajos previos la presente investigación se diferencia en realizar diseño paramétrico por medio de cálculo numérico y el empleo de una Interfaz Gráfica de Usuario (GUI) en el software Matlab. Para el análisis paramétrico por el Método de Elementos Finitos (FEM) se encontró el trabajo de Vilchez (2012) en el que realiza un análisis similar por medio del software ANSYS Workbench para los principales componentes de una plegadora de paneles corrugados, con una fuerza máxima de plegado de 3.5 KN y se obtuvo un factor de seguridad global de 3.5 [8]. A diferencia del trabajo descrito, la

presente investigación realizó el análisis paramétrico por el Método de Elementos Finitos en el software Solidworks para una carga de 200 KN y se obtuvo un factor de seguridad global de Una diferencia con el trabajo de Torres (2008) es que el trabajo previo solo se aplica para un determinado trabajo en específico, mientras que la máquina diseñada en el presente estudio abarca diferentes espesores y tamaños de plancha.

La metodología de diseño según Eggert (2005) empleada en esta investigación partiendo desde la determinación de las necesidades del cliente (Empresa), luego la Especificación del Problema mediante características de ingeniería, Diseño Conceptual, Diseño de Configuración, Diseño Paramétrico, Diseño de Selección y Diseño de Detalle [3] a permitido una fácil interpretación de datos y por consiguiente la toma de decisiones se hizo de manera sistemática. En contraste a los trabajos que anteceden esta investigación no se encontró ninguno que siga una metodología similar como por ejemplo Durnes (2010), Espín (2013) [1][2].

En la investigación de Yeves (2017), diseñó una prensa hidráulica con una fuerza teórica de 106.18 KN y por medio de diseño de selección se eligió un motor eléctrico de 8 HP de potencia para un acero de 400MPa de resistencia mecánica [9]. Mientras que la presente investigación se seleccionó un motor de 25 HP con una fuerza teórica de plegado de 1 000 KN para un acero de 480 MPa de resistencia mecánica. Por lo consiguiente brinda validación de lo planteado en la presente tesis en donde se obtuvieron muy buenos resultados.

## 5. CONCLUSIONES

Se realizó el diseño de una maquina plegadora con accionamiento hidráulico para planchas de acero de hasta 12,7 mm de espesor para incrementar la productividad de la empresa Metal Sur E.I.R.L.

Para el comienzo del diseño de la maquina plegadora indispensablemente se determinaron las necesidades de la empresa, revisión de normativa y recomendaciones de diseño para definir el problema siguiendo una rigurosa metodología de diseño de máquinas y así desarrollar el diseño conceptual, de configuración y paramétrico. Esto permitió tener un buen punto de referencia inicial para el resto del trabajo.

Los resultados alcanzados por medio de la interfaz gráfica de usuario (GUI-Matlab) se validan con el cálculo manual realizado y las simulaciones realizadas en Solidworks dieron resultados favorables y cercanos a la realidad. Comparados con resultados teóricos existe gran relación entre dimensiones, fuerza y potencia de la maquina plegadora que es fácil de visualizar en datos parametrizados.

El diseño paramétrico fue de gran ayuda, debido a que utilizando el programa GUI Matlab se pudo obtener la fuerza máxima de plegado. Las gráficas de las variables de solución en función de las variables de diseño y parámetros de definición de problema permitió decidir de manera rápida frente a las simulaciones de los siguientes componentes: Matriz de plegado, Punzón de plegado, Mordaza superior, Barra de torsión y estructura soporte.

La presente investigación resalta una metodología formal de diseño en comparación a los trabajos que anteceden a este estudio. Siguiendo los lineamientos de diseño recomendados por especialistas del área como Eggert (2005), Dieter y Bacon (2013). Este procedimiento para resolver el problema de diseño permite que el ingeniero se desarrolle académicamente y se involucre en los diversos estadios del diseño ingenieril.

Finalmente dentro de la evaluación económica y financiera de la empresa se muestran los siguientes resultados: TIR de 134%, VAN DE \$107 241.6174 y ROI de 1.54 años. Siendo un proyecto viable y rentable en fabricación y ejecución de la misma.

## 6. REFERENCIAS:

- [1] DURNES, Ricardo. Empleo de Mallado Adaptativo en Simulaciones de Procesos de Conformado de Chapa por el Método de los Elementos Finitos. Proyecto Fin de Carrera, Universidad Carlos III, 2010, pp 85-86.
- [2] ESPIN, Claudio; OÑA, Jose. Diseño implementación de un sistema de controsemiautomático para una plegadora hidráulicvertical con panel operador e interfaz de comunicación para la empresa CarroceríCentaurus ubicada en el sector San Gerardo Parroquia 11 de Noviembre “Latacunga”2013, pp 102.
- [3] EGGERT, Rudy. Engineering design. Pearson/Prentice Hall, 2005, pp 25.
- [4] KALPAKJIAN, Serope; SCHMID, Steven R. Manufactura, ingeniería y tecnología. Pearson Educación, 2002, pp 164-172.
- [5] PIÑEIRO, María. Metrología: introducción, conceptos e instrumentos. Universidad de Oviedo, 2000, pp36.
- [6] QUISPE, Héctor. Diseño del sistema de transmisión de potencia hidráulica de un alimentador de mineral de 150 HP. 2008, pp 37, 41.
- [7] TORRES, Javier. Automatización y mejora de una planta plegadora de plancha. 2008, pp 8488.
- [8] VÍLCHEZ, Ángeles y ALBERTO, Ronald. Diseño de una máquina plegadora de paneles corrugados para intercambiadores de calor en transformadores. 2012, pp42-29.
- [9] YEVES, Emilio. Diseño y desarrollo mecánico de una plegadora industrial. 2017, pp 58-59. .