



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA
MECÁNICA ELÉCTRICA**

**"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 PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

AUTOR:

LAGUNA AVILA, Javier Nicolas

ASESOR:

OLORTEGUI YUME, Jorge Antonio

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

MODELAMIENTO Y SIMULACIÓN DE SISTEMAS ELECTROMECAÑICOS

TRUJILLO – PERÚ

2017

“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.”

AUTOR: Laguna Avila, Javier Nicolas

PAGINA DE JURADO



Dr. Jorge Antonio Inciso Vásquez
Presidente



Dr. Felipe de la Rosa Bocanegra
Secretario



Dr. Jorge Antonio Olortegui Yume
Vocal

DEDICATORIA

Esta investigación se la dedico a mis padres SANTOS LAGUNA SALVADOR y GRACIELA AVILA MONZÓN, como demostración del amor, respeto y consideración que siento por ellos.

LAGUNA AVILA J. N.

AGRADECIMIENTO

A Dios Todopoderoso por su compañía incondicional, brindándome la sabiduría e inteligencia necesarias para enfrentar la vida como universitario y como ser humano; y por darme la oportunidad de hacer cosas grandes.

A mis padres y hermanos, por su amor y apoyo desmedido, por sus consejos que me ayudaron a llegar hasta este grato momento de mi vida con éxito.

A mis docentes que compartieron conmigo sus conocimientos durante mi vida universitaria ayudándome a la culminación de la presente investigación.

A todos aquellos que de una u otra forma contribuyeron con la realización de la presente investigación.

LAGUNA AVILA J. N.


DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo Javier Nicolas Laguna Avila con DNI N° 71217223, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, declaro bajo juramento que toda la documentación que acompaño es veraz y auténtica.

Así mismo, declaro también bajo juramento que todos los datos e información que se presenta en la presente tesis son auténticos y veraces.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad César Vallejo.

Trujillo, de 15 Diciembre del 2017



Javier Nicolas Laguna Avila
DNI 71217223

PRESENTACIÓN

Señores miembros del jurado, presento ante ustedes la Tesis titulada “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.” con la finalidad de Diseñar una maquina plegadora con accionamiento hidráulico para planchas de acero de hasta 12,7 mm de espesor para la empresa Metal Sur E.I.R.L., en cumplimiento del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo para obtener el Título Profesional de Ingeniero Mecánico Electricista. Esperando cumplir con los requisitos de aprobación.

El Autor

ÍNDICE

PAGINA DE JURADO	2
DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTO	4
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD	5
PRESENTACIÓN.....	6
ÍNDICE.....	7
RESUMEN	9
ABSTRACT.....	10
I.INTRODUCCIÓN	12
1.1.Realidad problemática	12
1.2.Trabajos Previos	13
1.3.Teorías relacionadas al tema	17
1.3.1.Conformado de metales.....	17
1.3.2.Materiales utilizados en el conformado de planchas	18
1.3.3.Principales operaciones de conformado de planchas	19
1.3.4.Proceso de plegado.....	22
1.3.5.Características geométricas del plegado a Fondo	28
1.3.6.Componentes de una plegadora hidráulica.....	29
1.3.7.Diseño de una plegadora hidráulica.....	31
1.4.Formulación del problema.....	37
1.5.Justificación del estudio	37
1.6.Objetivos.....	38
1.6.1.Objetivo general.....	38
1.6.2.Objetivos específicos	38
II. MÉTODO.....	40
2.1.Diseño de investigación	40
2.2.Variables y operacionalización de variables.....	41
2.2.1.Variables:.....	41
2.2.2. Operacionalización de variables	50
2.3.Población y muestra	55
2.4.Técnicas e instrumentos de recolección de datos	55

2.5.Métodos de análisis de datos	55
III. RESULTADOS.....	57
IV. DISCUSIÓN.....	112
V. CONCLUSIONES	115
VII.REFERENCIAS	120
ANEXOS.....	122

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.

El diseño paramétrico fue de gran ayuda, debido a que utilizando el programa GUI Matlab se pudo obtener la fuerza máxima de plegado y por medio del software Solidworks se logró determinar las variables de solución. La máquina plegadora hidráulica al ser evaluada económica y financieramente muestra resultados muy rentables para su fabricación y ejecución de la misma.

Palabras clave: *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 gamer 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.

The parametric design was of great help, because using the GUI Matlab program it was possible to obtain the maximum folding force and through the Solidworks software it was possible to determine the solution variables. The hydraulic folding machine to be economically and financially evaluated shows very profitable results for its manufacture and execution.

Key words: *Hydraulic plate folding machine, parametric design, mechanical metal, sheet metal forming.*

CAPITULO I

INTRODUCCION

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

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 (Metalforming, 2017).

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 (AMP, 2017).

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..

1.2. Trabajos Previos

A continuación se describen los trabajos que anteceden al presente proyecto:

Pacheco y Sánchez (2012), diseñaron y fabricaron una máquina dobladora de láminas de acero de calibre veinte de espesor, para el sector Herrero la Sabanita de ciudad Bolívar. Primero se describieron los elementos de entrada para la fabricación de la máquina de la siguiente manera: El modelo de máquina a fabricar debe tener en cuenta la seguridad y la ergonomía del operador; el modelo a fabricar se operará manualmente con la finalidad que se pueda usar en cualquier lugar y en cualquier momento; la máquina fue diseñada para doblar láminas de acero de calibre veinte de espesor. Los componentes de la máquina se describieron de la siguiente manera: Las patas, el soporte principal y el mecanismo de presión para realizar el doblado fueron constituidas por una viga doble T de 120mm. Concluyeron que se logró desarrollar un modelo propio cumpliendo con todos los elementos de entrada establecidos; basados en la seguridad y ergonomía del operario, que permitieron establecer los componentes adecuados de la máquina.

Yeves (2017), diseñó y desarrolló mecánicamente una plegadora industrial tomando como datos iniciales una plancha de 2000mm de ancho, 1.5mm de

espesor y 200 MPa como límite de fluencia. Se analizaron primero los valores del estudio estático de la base guiada, patas, subensamblaje y punta endurecida. También se analizaron el cilindro guía y su apoyo. Finalmente se analizó la mordaza superior. Del análisis que se hizo a la base guiada en material EN-JS105 se obtuvo un factor de seguridad de 35.49, las patas en material S235JR con un factor de 24.12, el subensamblaje en material F1110 con un factor de 68.46 y la punta endurecida en material F1260 con un factor de 289. Del análisis hecho al cilindro guía y su soporte en material F1110 se obtuvo factores de 55.02, 11.02 y 12.07 respectivamente. Del análisis a la mordaza superior en material F-1110 se obtuvo un factor de seguridad de 13.32. Se concluyó que cumplieron con los requisitos de diseño en su totalidad. La máquina dispone de mordazas independientes para el plegado bidireccional, ambas con accionamiento manual. También, dispone de cilindros neumáticos, los cuales generan el movimiento de ascenso y descenso de las mordazas. En definitiva, el resultado final de esta máquina se puede decir que ha sido satisfactorio en todos los aspectos.

Ángeles (2010), diseñó una máquina plegadora de paneles corrugados para intercambiadores de calor en transformadores. Primero se calculó las fuerzas transversales requeridas para iniciar el proceso de plegado. También se calculó las fuerzas horizontales de compresión requeridas y finalmente se simuló las piezas en ANSYS Workbench. Las fuerzas transversales requeridas para iniciar el proceso de plegado que se calcularon fueron de 3 500 N para espesor de 1.15mm, 3 200 N para espesor de 1.58mm y 4 000 N para espesor de 1.9mm. Las fuerzas horizontales de compresión requeridas que se calcularon fueron de 49 000 N para espesor de 1.15mm, 18 000 N para espesor de 1.58mm, 20 000N para espesor de 1.9mm. La matriz inferior derecha obtuvo un FS de 11.4. La matriz superior izquierda y la plataforma deslizante inferior obtuvieron un FS de 4.1. La plataforma deslizante superior obtuvo un FS de 3.5. Se concluyó que la Máquina Plegadora de Paneles Corrugados cumplió satisfactoriamente la lista de exigencias planteadas, empleando el Método Generalizado de Procedimiento durante todo el proceso de diseño con la optimización de cada etapa con el fin de obtener la mejor solución.

Castro (2014), diseñó una prensa hidráulica de 10 toneladas para doblado de placas de acero A36 para postes de barandas de puentes en la empresa SIMA S. A. Primero se determinó la fuerza necesaria para doblar una placa de acero A36, luego se determinaron las características técnicas del cilindro hidráulico. Finalmente se determinó las características del motor eléctrico. Se obtuvo una fuerza teórica de 106 18 KN para doblar una placa de acero A36 de 12.5mm. Se determinó que el cilindro adecuado tuvo las siguientes características: 100mm de diámetro de émbolo, 50mm de diámetro del vástago y 400mm de carrera. Al final el motor que se determinó tuvo las siguientes características: 8HP de potencia, 1800 rpm en alimentación de 220 V. Se llegó a la conclusión que el diseño de la dobladora cumplió con los objetivos y doblará una placa de acero A36 que conforman postes de barandas para puentes. La máquina fue hecha en acero ASTM A36 con placa base de 800mmX2175mmX25mm y la presión hidráulica del sistema fue de 190 bar.

Sawinski (2013), implementó plegadoras modernas a través de prácticas Magra. Se estableció una línea de fabricación, implementando cuatro plegadoras modernas, e implementando el trabajo estándar de operador de la plegadora y de conducción de fluido durante la fase de producción completa. La instalación de 4 plegadoras modernas se realizó con éxito, con una mejora del 36% en la eficiencia de formación promedio, una reducción del 75% en la chatarra, una reducción única en el inventario y una consolidación y reducción de los costos de mantenimiento en un 15%. Se concluyó que se logró aumentar la eficiencia de formación promedio de 64% a 100%. El proyecto de fabricación se consideró exitoso al implementar cuatro plegadoras de 150 toneladas y una solución de soporte de instalación.

Khairul (2012), desarrolló una matriz redonda para una máquina plegadora. Primero se realizó el diseño del dado usando el software Solidworks; luego se seleccionó el material y se definieron los procesos de fabricación. La dimensión de esta pieza de trabajo es de 120 mm x 30 mm y espesor de 50 mm. Se fabricó el dado con un radio de 10mm, muchos procesos se usarán en este proceso de fabricación, como cortar, refrentar, pulir y otros. Se concluyó que la matriz

de plegado se puede combinar perfectamente con la mayoría de máquinas plegadoras.

Gwangwava, Mugwagwa & Ngoma (2013), diseñó una plegadora de hoja con modo de funcionamiento dual. Se definió como tipos de accionamiento el sistema hidráulico y manualmente. Determinando las siguientes características: que los dos cilindros hidráulicos puedan desacoplarse de la viga plegable de la máquina para que la operación manual se pueda realizar a través de sistema de palanca de sujeción. La fuerza de plegado a plena capacidad es 294.6 KN (29.46 Tonelada), longitud de curvatura total de 1,8 m y altura de trabajo de 1 m. La fuerza de plegado disminuye significativamente en el modo de operación manual a 500 N. El sistema hidráulico tendrá una presión de funcionamiento constante de 150 bar. Se Concluyo que la plegadora máquina puede ser fabricada para beneficiar a las pequeñas y medianas empresas donde la máquina puede ser programada para ser operada manualmente o a través de la actuación hidráulica.

Durnes (2010), realizo una investigación sobre el empleo de mallado adaptativo en simulaciones de procesos de conformado de chapa por el método de los elementos finitos. El punzón, la matriz y la chapa se simularon en el software ANSYS siguiendo los siguientes pasos: generación de la geometría, selección de los tipos de elementos, introducción de las constantes reales, selección de las propiedades del material, modelado, mallado, contacto entre superficies, imposición de coacciones, imposición de cargas, control de tiempo y de la salida de datos. La primera parte de resultados es la de los gráficos que crea LS-DYNA con la deformada y con el criterio de Von Misses. La segunda parte es donde se pueden analizar los resultados de una forma más numérica y más exacta aunque esto nos sirve para comprobar que los resultados son factibles ya que la intención de este proyecto es explicar la funcionalidad del mallado adaptativo. Se concluyó que hacer las simulaciones con este método, reduce el tiempo de diseño y de cálculo.

Espín (2013), diseñó e implementó un sistema de control semiautomático para una plegadora hidráulica vertical con panel operador e interfaz de comunicación para la empresa Carrocería Centauro, ubicada en el sector San Gerardo Parroquia 11 de Noviembre “Latacunga”. Primero se diseñó un tablero de control, incorporando equipos de mando para la máquina. Se seleccionó los materiales y equipos adecuados que cubran con las necesidades de la plegadora hidráulica. Por medio de sensores de posicionamiento se controló automáticamente la plegadora para proporcionar precisión a la máquina. Se obtuvo el rendimiento adecuado mediante pruebas en los distintos elementos del sistema hidráulico y eléctrico por ende se obtuvo la presión adecuada para realizar los dobleces requeridos. Se consiguió controlar los parámetros de funcionamiento de los sistemas mediante la creación del HMI para cada proceso. Se dimensionó el cilindro hidráulico de 200mm de diámetro interior con una carrera de 170 mm y un vástago de 58 mm. Se seleccionó la bomba hidráulica de 12.5 HP. El sistema hidráulico realizó una presión de trabajo de 130 bar y fuerza de plegado de 41.62 toneladas. Después de realizar las pruebas de funcionamiento se llegó a la conclusión que el desplazamiento del punzón se realiza con precisión y de la evaluación económica el retorno de inversión sería en un periodo de 2 años.

1.3. Teorías relacionadas al tema

1.3.1. Conformado de metales

Según Cuesta (2000) La conformación por deformación y corte se constituye por un conjunto de procesos que aprovechan las características de muchos materiales de soportar un flujo plástico de deformación. Consiste en la obtención de piezas mediante la aplicación fuerzas de todo tipo, que deforman o fracturan el material. Estos procesos se pueden realizar en frío o en caliente. Se clasifican en dos grandes grupos:

Procesos de deformación volumétrica o masiva, aplica a dos piezas con una relación área superficial-volumen relativamente pequeña, entre ellos tenemos los diversos perfiles estructurales, barras redondas y cuadradas.

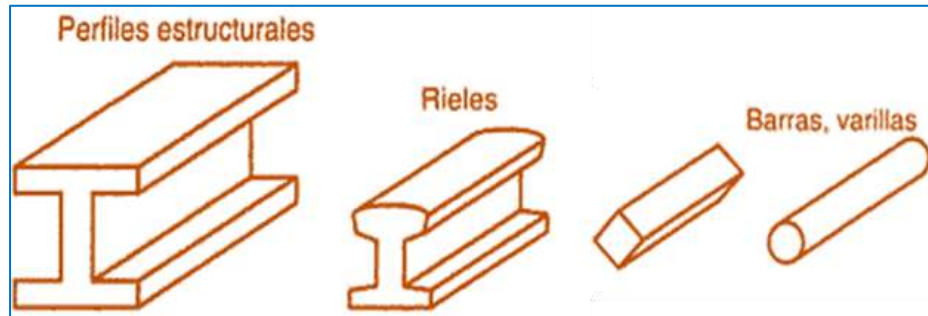


Figura 1. Perfiles de acero

Fuente: Cuesta (2000)

Procesos de conformación de plancha o lámina, aplicados a piezas con una relación área superficial-volumen relativamente grande, por ejemplo tenemos las planchas de acero y platinas.

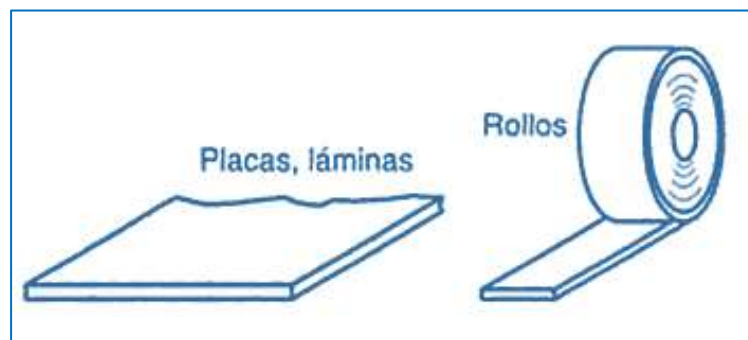


Figura 2. Planchas de acero.

Fuente: Cuesta (2000)

1.3.2. Materiales utilizados en el conformado de planchas

Según Groover (1997) los metales y aleaciones de uso industrial más empleados para su conformación por estampación en frío son: aceros, aluminio y sus aleaciones, y latón.

Acero. De los metales fabricados a nivel mundial el 90% son de hierro y acero. Y en el proceso de producción de hierro y acero se necesita cuatro

elementos principales: mineral de hierro, coque, piedra caliza y aire necesario para la combustión.

La plancha de acero más adecuada para la estampación es la extradulce, de composición aproximada: 0,15 % de C, 0,40 % de Mn, 0,20 de Si y porcentajes inferiores al 0,04 % de P y S. También son muy utilizados algunos aceros inoxidable, y otros aceros específicos. Por ejemplo, para la fabricación de piezas muy profundas por embutición, se utilizan planchas de acero de composición especial, con un porcentaje de silicio inferior al 0,15 %, pues el silicio reduce la deformabilidad en frío del acero.

Aluminio y sus aleaciones. Las planchas de aluminio y sus aleaciones son un material excelente para la estampación en frío.

Las aleaciones más empleadas son las de magnesio como la L-331 de 3'5 % de Mg; L-332, de 5 % de Mg, y la L-333, de 7% de Mg.

Latón. La plancha de latón más adecuada para el embutido es la Cuzin 67 con un porcentaje de cobre entre 65-68 % y el resto de zinc.

Como la plancha de latón adquiere acritud con la deformación, se debe recocer y decapar cuando la estampación se realiza en varias fases.

1.3.3. Principales operaciones de conformado de planchas

Rowe (1972), considera las siguientes operaciones en el proceso de conformado de planchas.

Corte y punzonado: Operaciones generadas por la acción de presionar el metal entre los filos de la herramienta, formada por un punzón y una matriz, hasta el punto de fractura. Esta es producida por los grandes esfuerzos localizados en la zona entre dichos filos. El corte de la plancha se realiza mediante el empleo de útiles especiales denominados estampas, troqueles o matrices de corte.

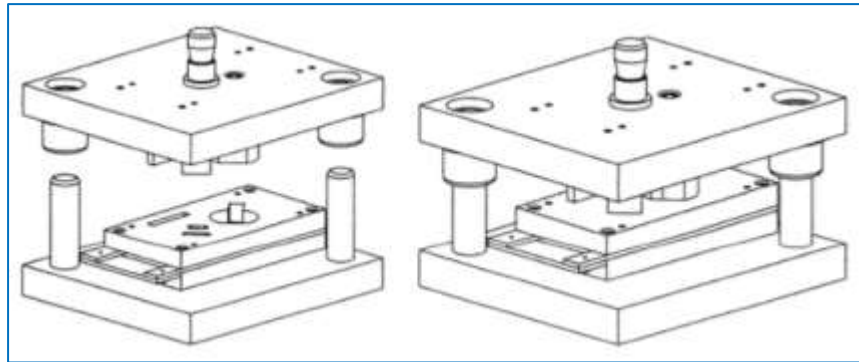


Figura 3. Matriz abierta con sus partes fija y móvil

Fuente: Rowe (1972)

Como en estas operaciones se busca la fractura del material, las herramientas tienen aristas vivas para conseguir una concentración de tensiones. Se denomina cizallado a la operación de corte en línea recta. Mientras que troquelado es una operación de corte, en que los filos tienen la forma de líneas o curvas, abiertas o cerradas, generadas por los bordes de un punzón y de una matriz.

En el corte, el trozo de material que se extrae de la banda o plancha, es la pieza a producir con la forma externa de la pieza terminada, como materia prima para otro proceso.

En el punzonado, el trozo que se recorta viene a ser el desperdicio, mientras que el resto de la plancha o lámina constituye la pieza a producir. El propósito es abrir huecos o agujeros de forma determinada.

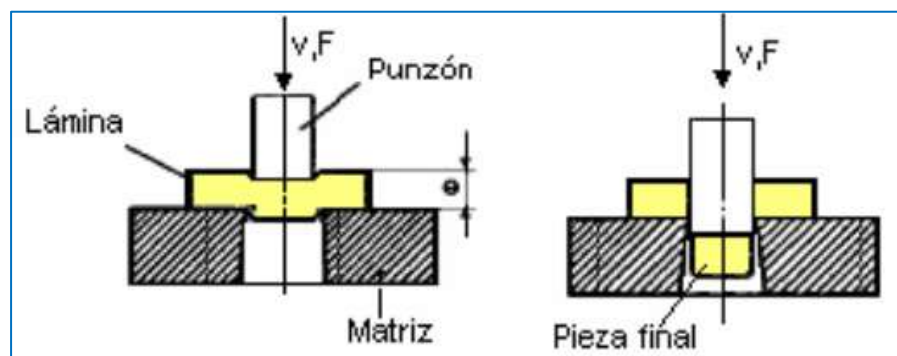


Figura 4. Proceso de punzonado.

Fuente: Molera (1991)

Embutido y estirado: Operaciones que tienen como finalidad convertir una plancha plana en un cuerpo hueco, con variaciones en el espesor original. Se produce únicamente una deformación intensa del material sin provocar fracturas en el mismo.

Se denomina embutido o embutición, a la operación que transforma una plancha plana en un cuerpo hueco. Para una sencilla pieza con geometría de revolución, el diámetro "D" de la plancha o disco primitivo se convierte en el diámetro "d" de la pieza hueca.

El proceso de embutido es el más difícil de realizar entre los procesos que se realizan con una prensa.

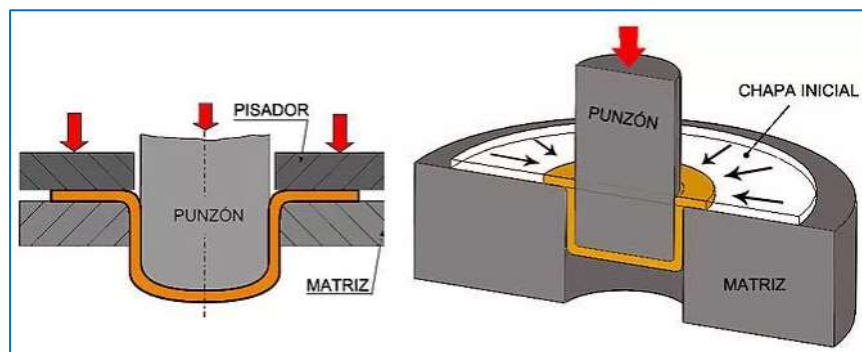


Figura 5. Proceso de embutido.

Fuente: Rowe (1972)

Doblado y curvado: Operaciones que consisten en transformar una plancha plana en otra curva o quebrada, con deformación pura sin fractura o corte y sin variación de espesor. Por este motivo las herramientas no deben tener aristas vivas, sino un radio de redondeo adecuado al material a conformar.

Las líneas de pliegue deben ser rectas y pueden ser múltiples con la condición de que no se crucen. Se realiza aplicando a un material una carga de flexión, que genera en él unas tensiones que superan su límite de fluencia, y le causan unas deformaciones permanentes. Sólo es posible realizar el doblado en materiales con suficiente ductilidad, siendo mayor la capacidad de doblado admisible, cuanto mayor sea esta propiedad, que se evalúa por medio de ensayos normalizados de tracción o flexión.

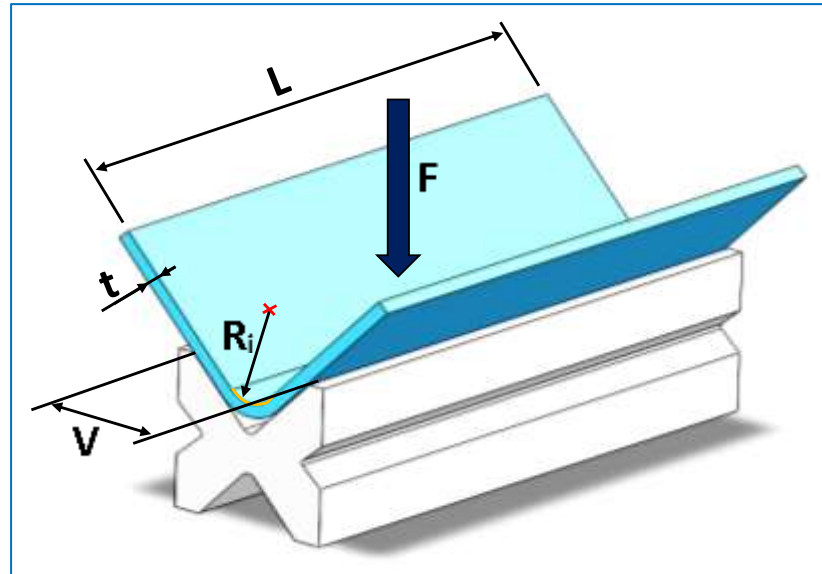


Figura 6. Plegado de lámina de acero.

Fuente: Adaptación de Lemaco (2017)

Otras operaciones de doblado son: curvado, arrollado, bordoneado, cercado, perfilado y engrapado.

1.3.4. 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” (RAE, 2013).

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.

Una plegadora pertenece a la familia de prensas, diseñada para la realización de operaciones de doblado de planchas de acero. Se caracteriza por estar constituida por una larga matriz rectilínea. Esto implica que la configuración de la prensa tenga una mesa estrecha y larga (Rowe, 1972).

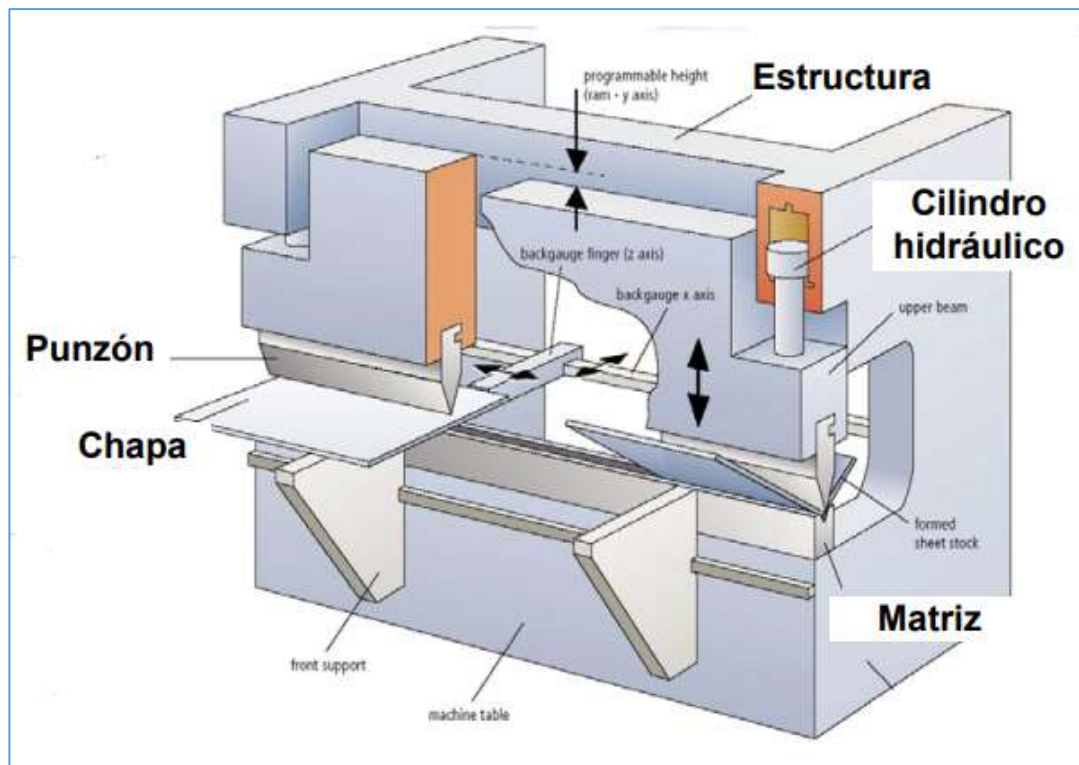


Figura 7. Plegadora Hidráulica.

Fuente: Rowe (1972)

La utilería consiste en una matriz en forma de “V” y un punzón con arista redondeada con un determinado radio.

Retorno elástico

A continuación se presenta una figura en la que podemos observar el efecto del retorno elástico de una pieza plegada. Las líneas discontinuas representan el ángulo α' del elemento después de ser doblado, cuando la plancha no está sometida a presión. Las líneas continuas representan el ángulo α de la plancha cuando está siendo doblada; es decir, mientras la plancha está siendo presionada entre el punzón y la matriz de doblado.

Cuando se realiza un plegado, la elasticidad de la plancha no se elimina, aunque se haya excedido el límite elástico por el esfuerzo producido en la plancha. Podemos considerar al límite elástico como el punto en el que la plancha cede al esfuerzo. El motivo del retorno elástico es que la plasticidad está más allá de ese punto (Cuesta, 2000).

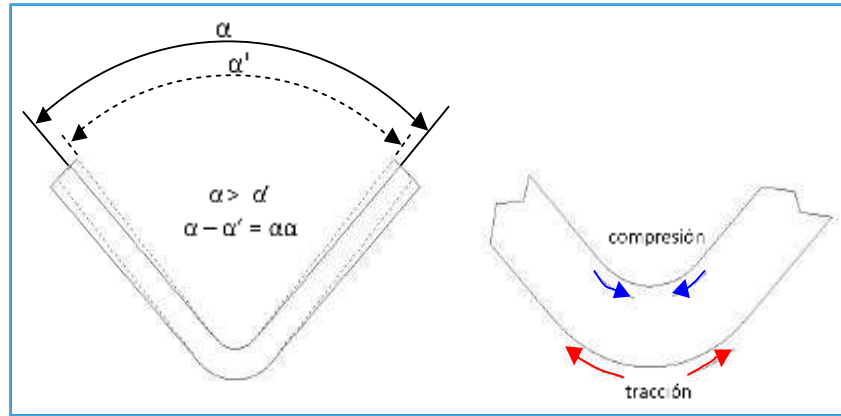


Figura 8. Ángulo de deformación de la pieza bajo presión

Fuente: Cuesta (2000)

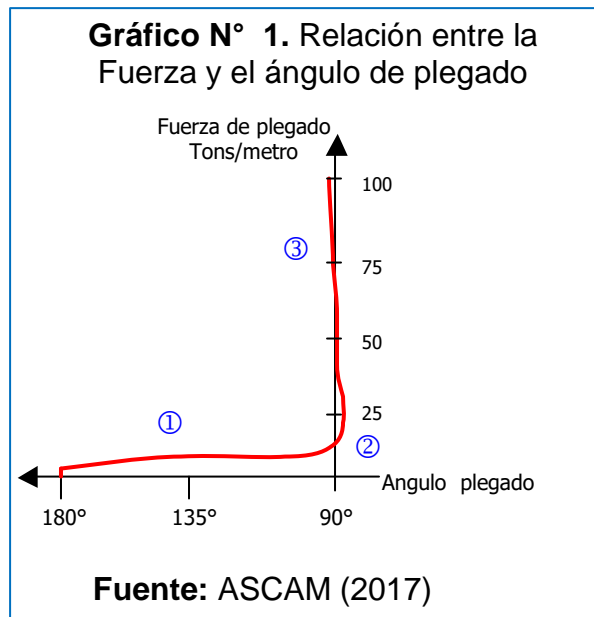
En la figura superior podemos observar que al realizar un doblado la parte interior de la plancha es comprimida y la parte superior es expandida o alargada. Entre estas dos caras existe un plano medio, conocido como eje neutro, en el cual no se produce ningún efecto de compresión ni expansión.

Tipos de plegado

ASCAM (2017), 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 doblado. El plegado de la plancha estará relacionada con la fuerza que se aplicará.

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 medida que continúa el proceso de plegado la fuerza aplicada debe aumentar hasta los 135° aproximadamente. A partir de este punto la fuerza necesaria desciende ligeramente hasta los 100°. A esta zona le llamaremos zona 1. Desde este punto a medida que el ángulo de plegado desciende la fuerza necesaria aumenta. Para lograr plegar los 90° se necesita una fuerza mayor a la necesaria para conseguir 130°. La fuerza requerida para doblar 90° se denomina “fuerza necesaria”. Si continuamos presionando la plancha, esta llegará a unos pocos grados por debajo de los 90°. A esta zona le llamaremos zona 2.

Si se sigue aplicando más fuerza a la chapa entonces el ángulo de plegado volverá a ser 90°. La fuerza que se necesitara ahora será unas 6 veces mayor que la “fuerza necesaria”. En esta zona para lograr una pequeña variación en el ángulo de doblado se necesita variaciones muy grandes de fuerza. A esta zona le llamaremos zona 3.

A la zonas 1 la llamaremos plegado parcial, a zonas 2 plegado a fondo y a la zona 3 acuñado o estampado.

Plegado parcial

El nombre de este tipo de plegado se debe al hecho de que la plancha durante el plegado se encuentra en contacto con 3 puntos (A, B y C del dibujo inferior) de la matriz.

Con este método de plegado es posible doblar planchas con una gran variedad de ángulos. Por ejemplo, con un punzón y una matriz de 30° podemos realizar cualquier plegado desde 180° hasta 30° .

Esto se consigue manipulando la penetración del punzón en la matriz de plegado. Por otro lado, este tipo de plegado permite compensar el retorno elástico de la plancha ya que solo se debe corregir la profundidad de plegado.

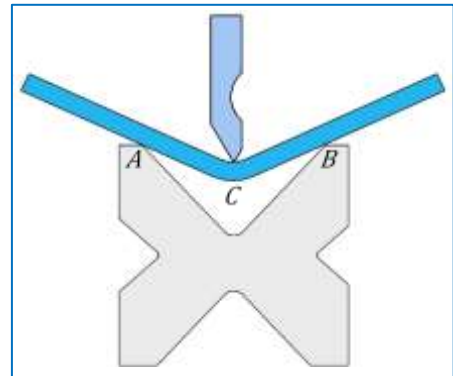


Figura 9. Plegado Parcial

Fuente: Adaptado de ASCAM (2017)

Plegado a fondo

El plegado a fondo es un tipo de plegado muy común porque se puede doblar chapas con gran precisión y un tonelaje relativamente bajo.

En la figura que a continuación se presenta, se puede observar las variables de plegado, la "t" representa el espesor de la plancha, la "V" la anchura de la matriz de doblado y R_i es el radio interior de plegado de la plancha. La anchura adecuada de la matriz "V" varía con el espesor de la plancha.

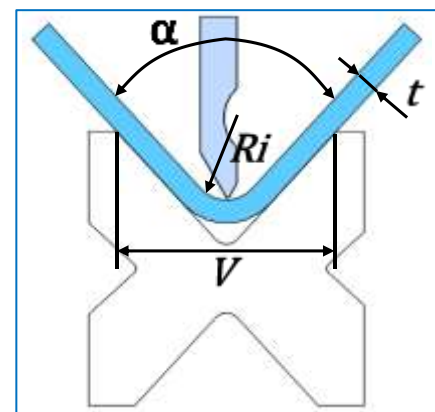


Figura 10. Plegado a fondo

Fuente: Adaptado de ASCAM (2017)

En la siguiente tabla se observa la relación entre la anchura de la V y el espesor de la plancha.

Tabla 1. Relación anchura V – espesor T

Espesor (T) [mm]	0,5-2,5	3,0-8,0	9 – 10	> 12
V	6 x T	8 x T	10 x T	12 x T

Fuente: ASCAM (2017)

Acuñado / Estampado

En este método de acuñado se consiguen 2 ventajas; un radio de plegado muy pequeño y una precisión muy alta. En el dibujo se observa el momento en que la plancha se está acuñando y que el radio pequeño del punzón penetra en la plancha. Además, si se aplica un gran tonelaje se eliminan los posibles efectos del retorno elástico de la plancha. Este es el motivo por el cual en este tipo de plegado se necesita un tonelaje de 5 a 8 veces superior al del plegado a fondo.

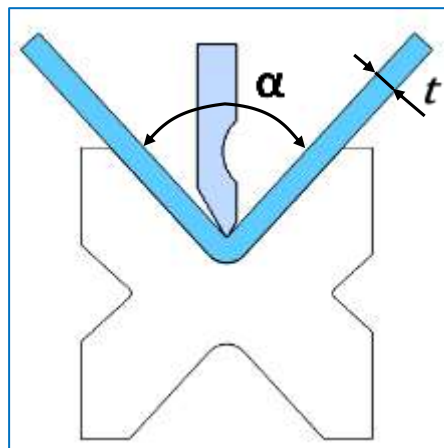


Figura 11. Plegado por estampado

Fuente: Adaptado de ASCAM (2017)

Para este tipo de plegado la anchura de la matriz “V” por lo general es 5 veces el espesor de la plancha, con el fin de reducir la penetración de la punta del punzón en la pieza, reduciendo el radio interno de la plancha plegada.

1.3.5. Características geométricas del plegado a Fondo

Kalpakjian (2002) considera que en el plegado a fondo las características geométricas son las siguientes:

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

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

donde:

Ri_{min} : Radio interior mínimo (mm)

t : Espesor de la plancha (mm)

ε : 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.

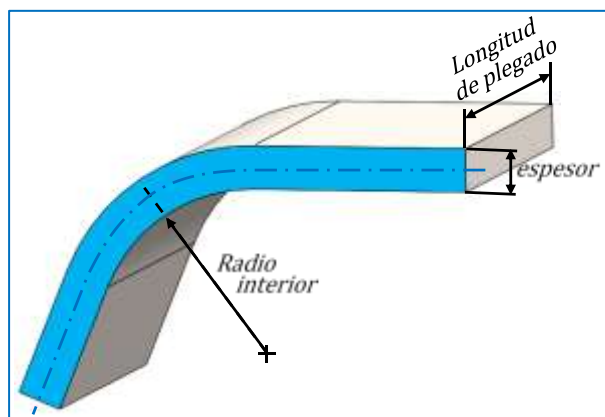


Figura 12. Terminología de doblado

Fuente: Adaptado de Kalpakjian (2002)

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.

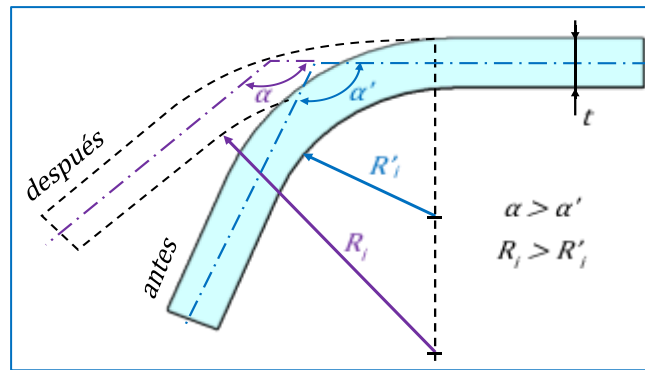


Figura 13. Recuperación elástica en el doblado

Fuente: adaptado de Kalpakjian (2002)

Como se puede notar en la figura 13, el ángulo final es mayor que el ángulo al cual se dobló la chapa, y el radio interior final es mayor que radio interior antes de que ocurriera el retorno elástico.

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

$$\alpha' = \alpha \left(4 \left(\frac{R_i * \sigma_y}{E * t} \right)^3 - 3 \left(\frac{R_i * \sigma_y}{E * t} \right) + 1 \right) \quad (2)$$

donde:

α' : Angulo inicial

α : Angulo final (Requerido)

R_i : Radio interior (mm)

t : Espesor de la plancha (mm)

σ_y : Limite de fluencia (MPa)

E : Modulo de elasticidad (MPa)

1.3.6. Componentes de una plegadora hidráulica

Logan (2008) describe los componentes de una plegadora hidráulica, siendo los más importantes los siguientes elementos:

- Mordaza superior
- Punzón o cuchilla
- Dado o matriz de plegado
- Estructura soporte
- Barra de torsión
- Sistema hidráulico
- Sistema eléctrico
- Pedal de control

En las siguientes figuras se observa los principales componentes de una maquina plegadora con accionamiento hidráulico:

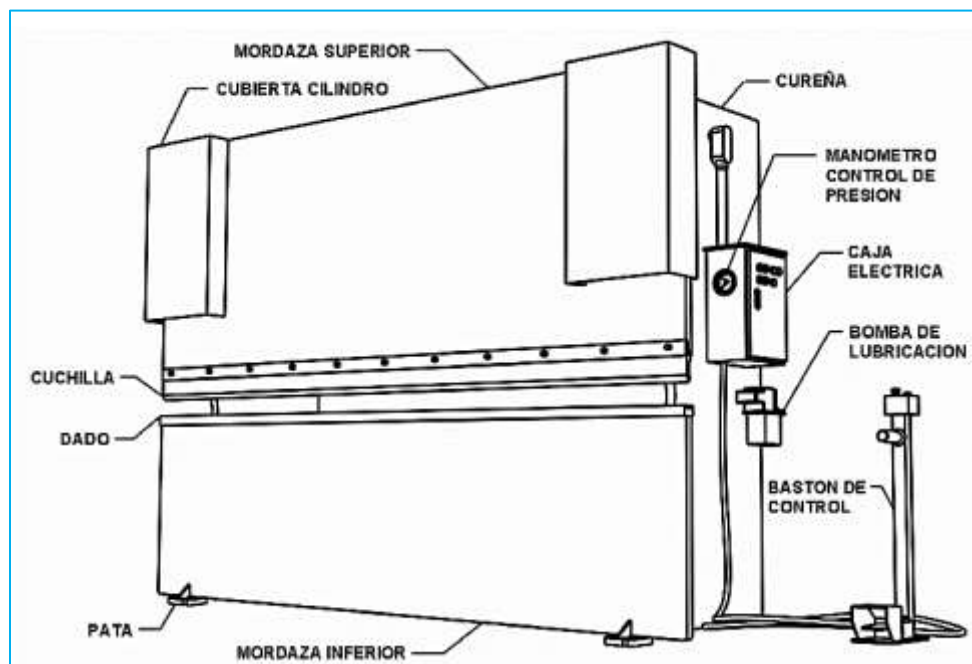


Figura 14. Vista frontal de una plegadora hidráulica

Fuente: Logan (2008).

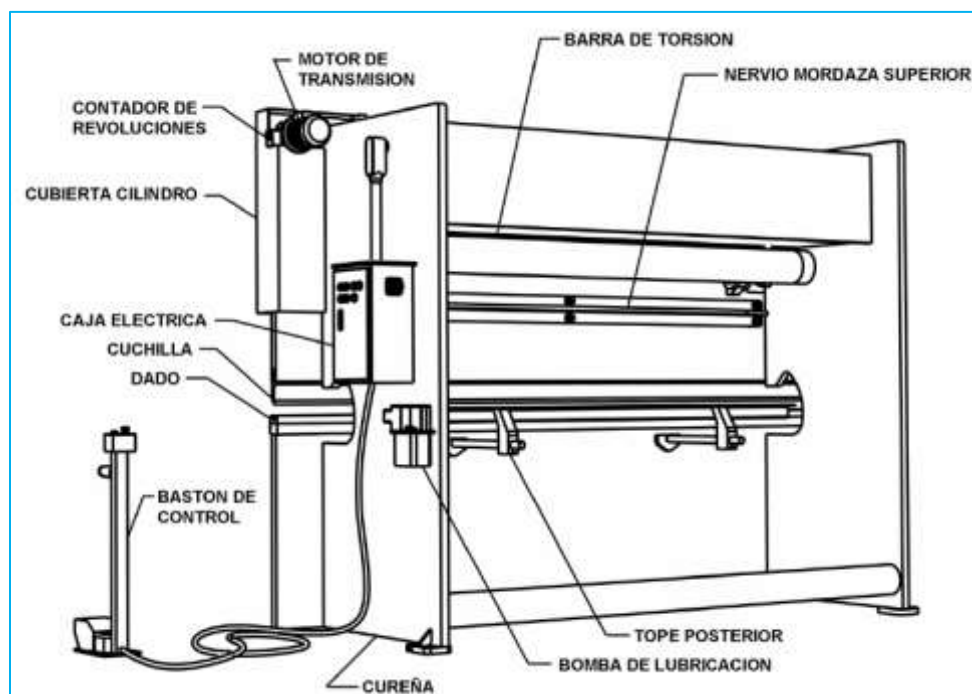


Figura 15. Vista posterior de una plegadora hidráulica

Fuente: Logan (2008).

1.3.7. Diseño de una plegadora hidráulica

A continuación se presenta los principales criterios a considerar para el diseño de una maquina plegadora hidráulica.

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 matriz de plegado. Excluyendo la fricción el valor máximo de la fuerza de plegado se determina mediante la siguiente expresión:

$$F_{max} = \frac{\sigma_{ut} * L * t^2}{V} \quad (3)$$

donde:

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

σ_{ut} : Resistencia a la tracción (MPa)

L : Longitud de plegado (m)

t : Espesor de la plancha (mm)

V : Abertura de la matriz (mm)

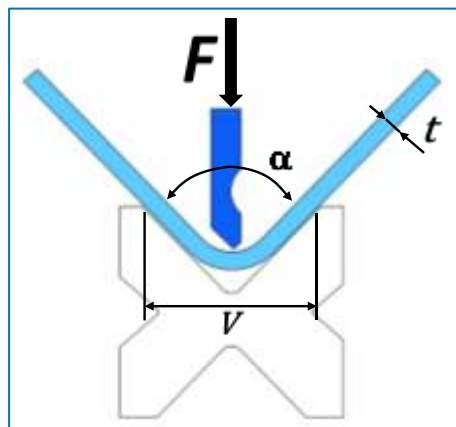


Figura 16.Fuerza de plegado

Fuente: Adaptado de Groover (1997)

Fuerza de empuje del cilindro hidráulico

De acuerdo con Salaza (2006) la fuerza de empuje requerida de un cilindro hidráulico depende de la configuración de la máquina, la cual se determina según el número de cilindros y se expresa de la siguiente manera:

$$F_c = \frac{F_p}{n} \quad (4)$$

donde:

F_c : Fuerza de empuje del cilindro hidráulico (KN)

F_p : Fuerza necesaria para el plegado de la chapa (KN)

n : Número de cilindros hidráulicos

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:

$$d_{min_v} = \sqrt{\frac{4000 * F_c}{(\pi * \sigma_{adm})}} \quad (5)$$

donde:

d_{min_v} : Diámetro mínimo del vástago (mm)

F_c : Fuerza de empuje del cilindro hidráulico (KN)

σ_{adm} : Esfuerzo admisible del material del vástago (MPa)

El esfuerzo admisible se determina mediante la siguiente ecuación:

$$\sigma_{adm} = \frac{S_y}{N} \quad (6)$$

donde:

σ_{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 de presión (Piñeiro, 2000):

$$P_c = \frac{F_c}{A_{IC}} * 10^3 \quad (7)$$

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 (mm²)

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

$$A_{IC} = \frac{\pi * D_{ic}^2}{4} \quad (8)$$

donde:

A_{IC} : Área interior del cilindro (mm²)

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):

$$Q_B = 0.06 * U_v * A_{ic} * 10^{-3} \quad (9)$$

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 (mm²)

Pérdidas de Presión en un sistema hidráulico

Las pérdidas de Presión en un sistemas hidráulico se debe a distintos motivos ya sea en la línea de succión o descarga. Vilchez (2012) establece la siguiente secuencia de cálculo para determinar las pérdidas de Presión en un sistema con cilindros hidráulicos:

Primero se calcula el número de Reynolds:

$$NR = \frac{Vm * D}{\nu} \quad (10)$$

donde:

NR : Número de Reynolds

Vm : Velocidad media del fluido en la tubería (mm/s)

D : Diámetro de la tubería (mm)

ν : Viscosidad cinemática (mm²/s)

Luego utilizando la ecuación de Darcy se calcula la pérdida de presión debido a la fricción:

$$P_f = f \frac{L Vm^2}{D 2g} * 10^{-4} \quad (11)$$

donde:

P_f : Pérdida de Presión debido a la fricción (MPa)

f : Factor de fricción

L : Longitud total de la tubería (m)

D : Diámetro de la tubería (mm)

Vm : Velocidad media del fluido en la tubería (mm/s)

g : Gravedad (m/s²)

El factor de fricción f para el flujo laminar es:

$$f = \frac{64}{NR} \quad (12)$$

En el cálculo de pérdidas de presión en accesorios como codos y juntas se aplica la siguiente ecuación:

$$P_{ac} = K \frac{Vm^2}{2g} * 10^{-7} \quad (13)$$

donde:

P_{ac} : Pérdida de presión en accesorios (MPa)

K : Factor de perdidas

Vm : Velocidad media del fluido en la tubería (mm/s)

g : Gravedad (m/s²)

Debido a la altura de elevación desde la bomba hasta el cilindro hidráulico existe una pérdida por altura y se determina de la siguiente manera:

$$P_H = H * 10^{-4} \quad (14)$$

donde:

P_H : Pérdida de presión por altura (MPa)

H : Altura desde la base de la bomba hasta el cilindro hidráulico (mm)

Finalmente las pérdidas totales en el sistema son:

$$P_P = P_H + P_f + \Sigma P_{ac} \quad (15)$$

donde:

P_P : Presión total de pérdida (MPa)

P_H : Pérdida de presión por altura (MPa)

P_f : Pérdida de presión debido a la fricción (MPa)

P_{ac} : Pérdida de presión en accesorios (MPa)

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 mas la presión de pérdida del sistema. La presión en la bomba se expresa de la siguiente manera:

$$P_B = P_C + P_P \quad (16)$$

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_{ej} es la potencia absorbida de la red por el motor que acciona la bomba hidráulica, y esta puede determinarse por medio de diversos instrumentos de medida (Vilchez, 2012).

A continuación se presenta el flujo de energía en una maquina hidráulica, dicho flujo inicia en un motor eléctrico acoplado mecánicamente a una bomba hidráulica.

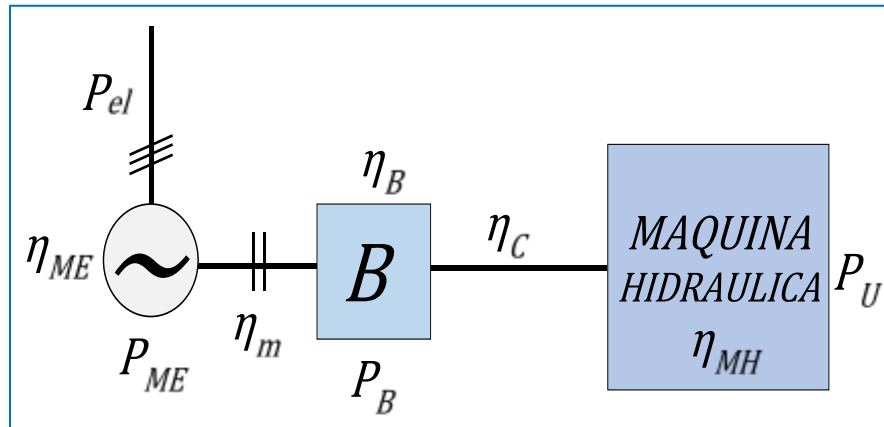


Figura 17. Flujo de energía de una máquina hidráulica

Fuente: Adaptado de Vilchez (2012).

Según la imagen mostrada se puede notar que la Potencia eléctrica que absorbe una maquina eléctrica expresa de la siguiente manera:

$$P_{el} = P_u * \eta_{MH} * \eta_C * \eta_B * \eta_m * \eta_{ME} \quad (17)$$

dónde:

P_{el} : Potencia eléctrica (KW)

P_u : Potencia útil (KW)

η_{MH} : Rendimiento de la maquina hidráulica

η_C : Rendimiento del sistema hidráulico

η_B : Rendimiento mecánico de la bomba hidráulica

η_m : Rendimiento del acople o transmisión de potencia

η_{ME} : Rendimiento mecánico del motor eléctrico

Potencia útil en el cilindro hidráulico

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

$$Pot_{cil} = F_C * U_v \quad (18)$$

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)

1.4. Formulación del problema

¿Cuál es la configuración y detalles técnicos de una plegadora con accionamiento hidráulico para planchas de acero de hasta 12,7 mm de espesor?

1.5. Justificación del estudio

El presente estudio cuenta con las siguientes justificaciones: tecnológica, económica y ambiental.

Justificación Tecnológica

El estudio de la configuración y detalles técnicos de una plegadora hidráulica es de gran aporte metodológico; debido que sirve de referencia para futuras máquinas similares, sujetas a dimensiones apropiadas y características de operación necesarias para alcanzar altos estándares de calidad.

Justificación Económica

Con este estudio de investigación se aportará a la mejora en calidad y disminución de costos de manufactura, entre otros, los tiempos de reparación y mantenimiento, se mejorarán ciertos procedimientos técnicos y mecánicos que ayuden a minimizar costos en cuanto a tiempos de funcionamiento y operación de la máquina.

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo general

Diseñar 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.

1.6.2. Objetivos específicos

- Establecer las necesidades de la empresa mediante una entrevista.
- Obtener los códigos, normas o recomendaciones para el diseño de una plegadora con accionamiento hidráulico.
- Expresar las necesidades en términos de ingeniería.
- Generar 6 conceptos alternativos de diseño aptos para solucionar el problema.
- Elegir la alternativa óptima mediante una matriz de selección.
- Realizar diseño de configuración del equipo y filtrar la opción final mediante una matriz de criterios ponderados.
- Dimensionamiento general usando normativa y resultados de las entrevistas.
- Seleccionar los materiales para las partes más importantes del equipo.
- Calcular las cargas de diseño utilizando la normativa y/o recomendaciones de diseño halladas.
- Realizar el diseño paramétrico mediante software de ingeniería (Excel, Matlab, Ansys, Solidworks, etc.)
- Realizar el diseño de selección de los componentes estándar del equipo.
- Elaborar planos de ingeniería principales: General, de Fabricación y de Montaje.
- Realizar análisis económico: Presupuesto, TIR, VAN, ROI.

CAPITULO II

METODO

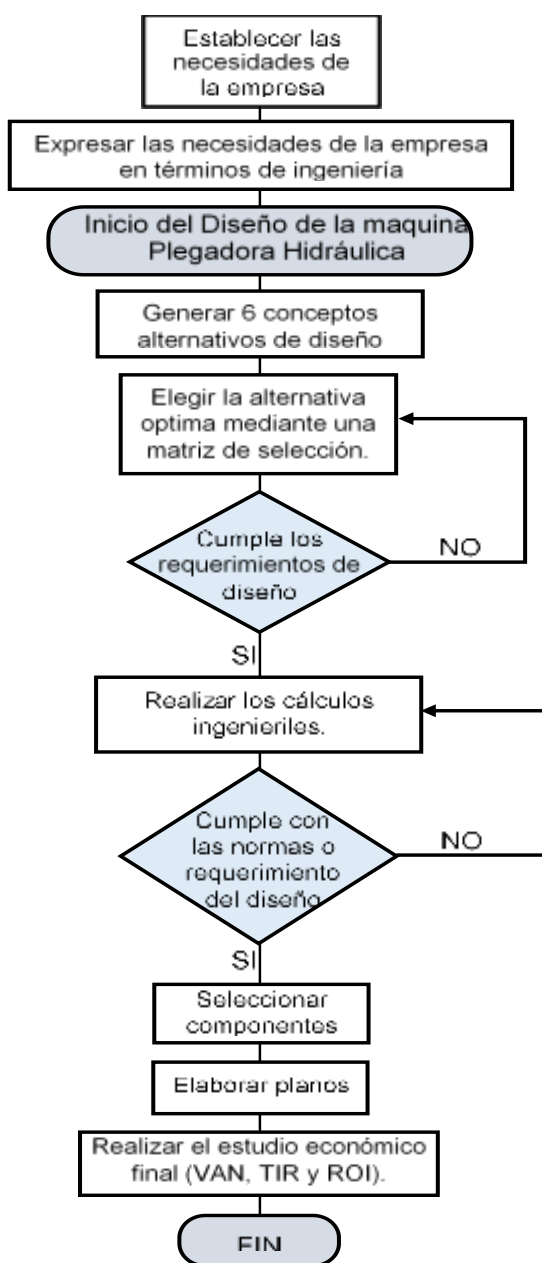
II. MÉTODO

En este capítulo se describe el tipo de diseño de investigación, los diferentes tipos de variables de diseño, diagrama de caja negra y operacionalización de variables

2.1. Diseño de investigación

El presente proyecto empleará un diseño de investigación Pre experimental.

El siguiente diagrama de flujo muestra el proceso de la investigación desde que se establece las necesidades de la empresa hasta el análisis económico.



2.2. Variables y operacionalización de variables

El presente proyecto considera un diseño formal, este debe ser evaluado a una metodología de diseño conforme. Por lo cual se dispondrá de un esquema de variables puntual de la literatura de diseño aprobada mundialmente (Eggert, 2010; Dieter, y otros, 2000). En esta literatura, se propone 4 tipos de variables: Variables de Diseño, Variables de Solución, Parámetros de Definición de Problema y Variables Intervinientes.

Como se mencionó en la sección “1.3.6. Componentes de una plegadora hidráulica”, los principales elementos de este son: matriz de plegado, punzón, mordaza superior, estructura soporte, barra de torsión, sistema eléctrico y sistema hidráulico; de los cuales la matriz de plegado, punzón, mordaza superior, estructura soporte y barra de torsión se someterá al diseño paramétrico debido a su impacto en el rendimiento de la plegadora hidráulica.

2.2.1. Variables:

A. Variables de Matriz de plegado

Parámetros de definición del problema:

Material de la matriz de plegado

Espesor de la plancha a plegar

Longitud de plegado

Variables de diseño:

Abertura de matriz

Radio interior

Profundidad

Ángulo

Variables intervinientes

Temperatura ambiente

Variables de solución

Esfuerzo de Von Mises

Deformación total
Factor de seguridad

B. Variables de punzón

Parámetros de definición del problema:

Material del punzón
Espesor de plancha a plegar
Longitud de punzón

Variables de diseño:

Espesor del punzón
Altura del punzón
Ángulo de cuña
Radio de contacto

Variables intervinientes

Temperatura ambiente

Variables de solución

Esfuerzo de Von Mises
Deformación total
Factor de seguridad

C. Variables de mordaza superior

Parámetros de definición del problema:

Material de la mordaza superior
Fuerza de empuje del cilindro hidráulico
Diámetro del vástago

Variables de diseño:

Espesor
Altura

Variables intervinientes

Temperatura ambiente

Variables de solución

Esfuerzo de Von Mises

Deformación total

Factor de seguridad

D. Variables de estructura soporte**Parámetros de definición del problema:**

Material de la estructura soporte

Fuerza de empuje de cilindro hidráulico

Variables de diseño:

Espesor

Ancho

Abertura

Variables intervinientes

Temperatura ambiente

Variables de solución

Esfuerzo de Von Mises

Deformación total

Factor de seguridad

E. Variables de barra de torsión**Parámetros de definición del problema:**

Material de la barra

Fuerza de empuje de cilindro hidráulico

Variables de diseño:

Diámetro exterior

Diámetro interior

Brazo de palanca

Variables intervinientes

Temperatura ambiente

Variables de solución

Esfuerzo de Von Mises

Deformación total

Factor de seguridad

A continuación se presenta los diagramas de caja negra de los 5 elementos a realizar el diseño paramétrico.

DIAGRAMA DE CAJA NEGRA – MATRIZ DE PLEGADO

PARAMETROS DE DEFINICION DEL PROBLEMA



DIAGRAMA DE CAJA NEGRA – PUNZÓN

PARAMETROS DE DEFINICION DEL PROBLEMA

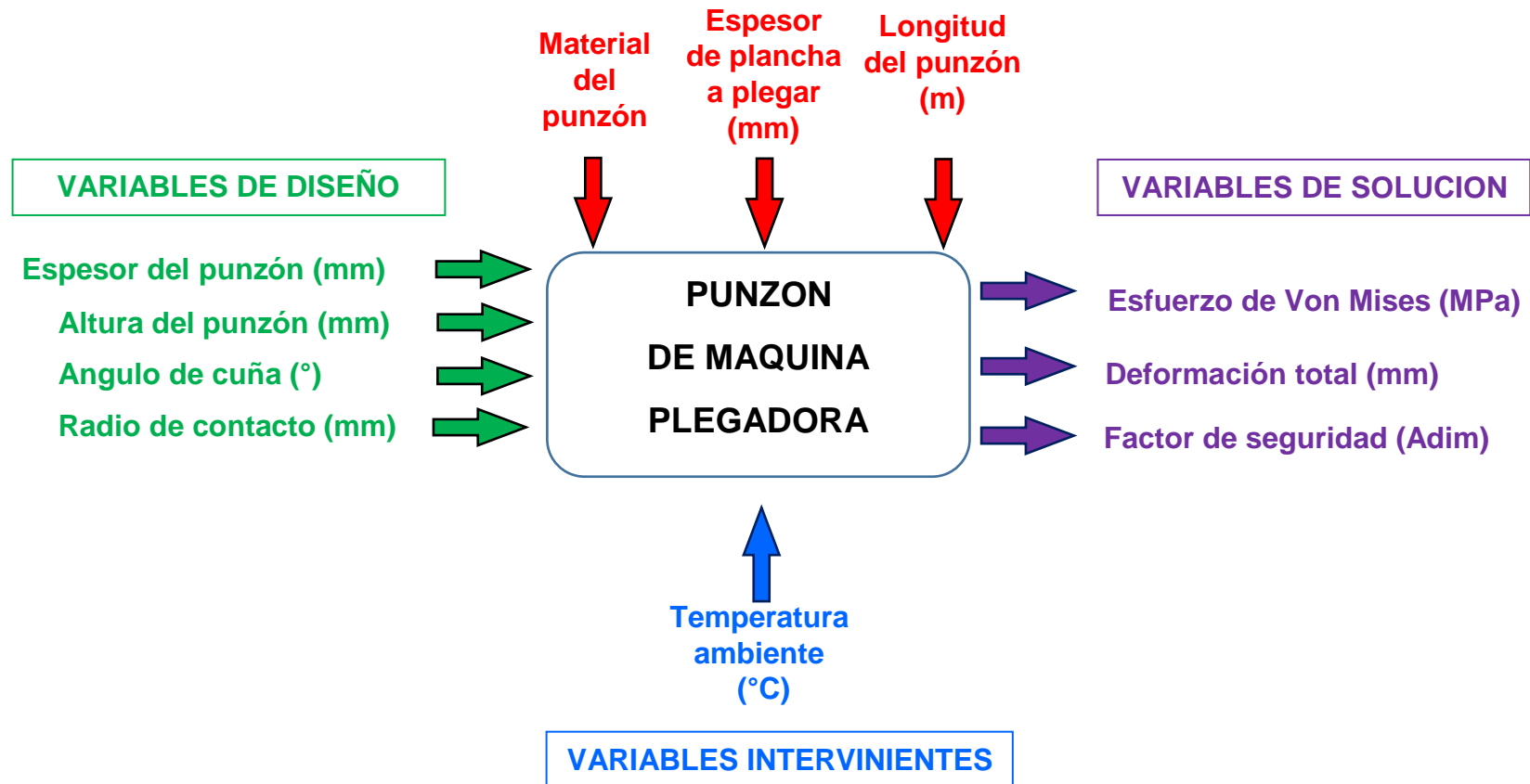


DIAGRAMA DE CAJA NEGRA – MORDAZA SUPERIOR

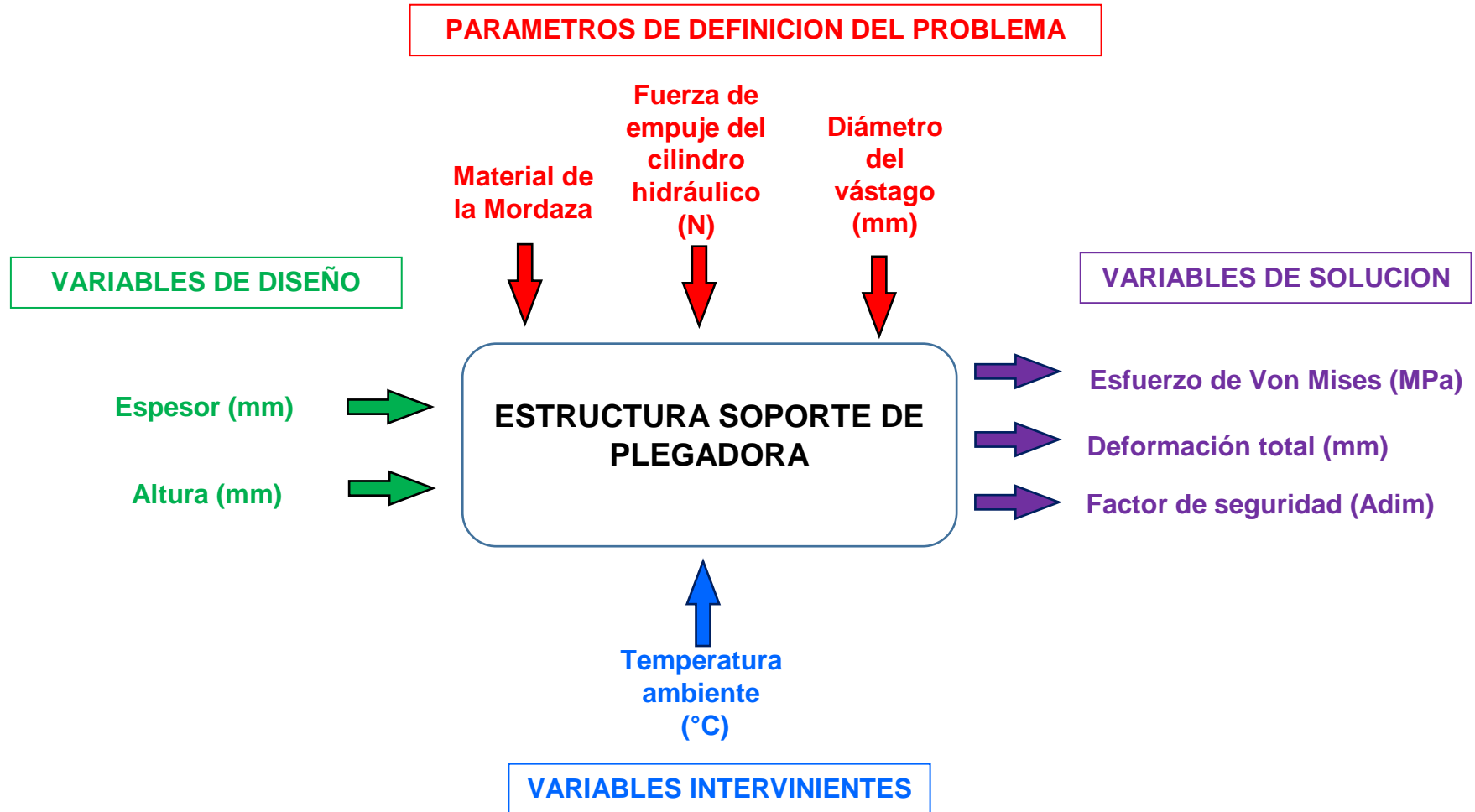


DIAGRAMA DE CAJA NEGRA – ESTRUCTURA SOPORTE DE PLEGADORA

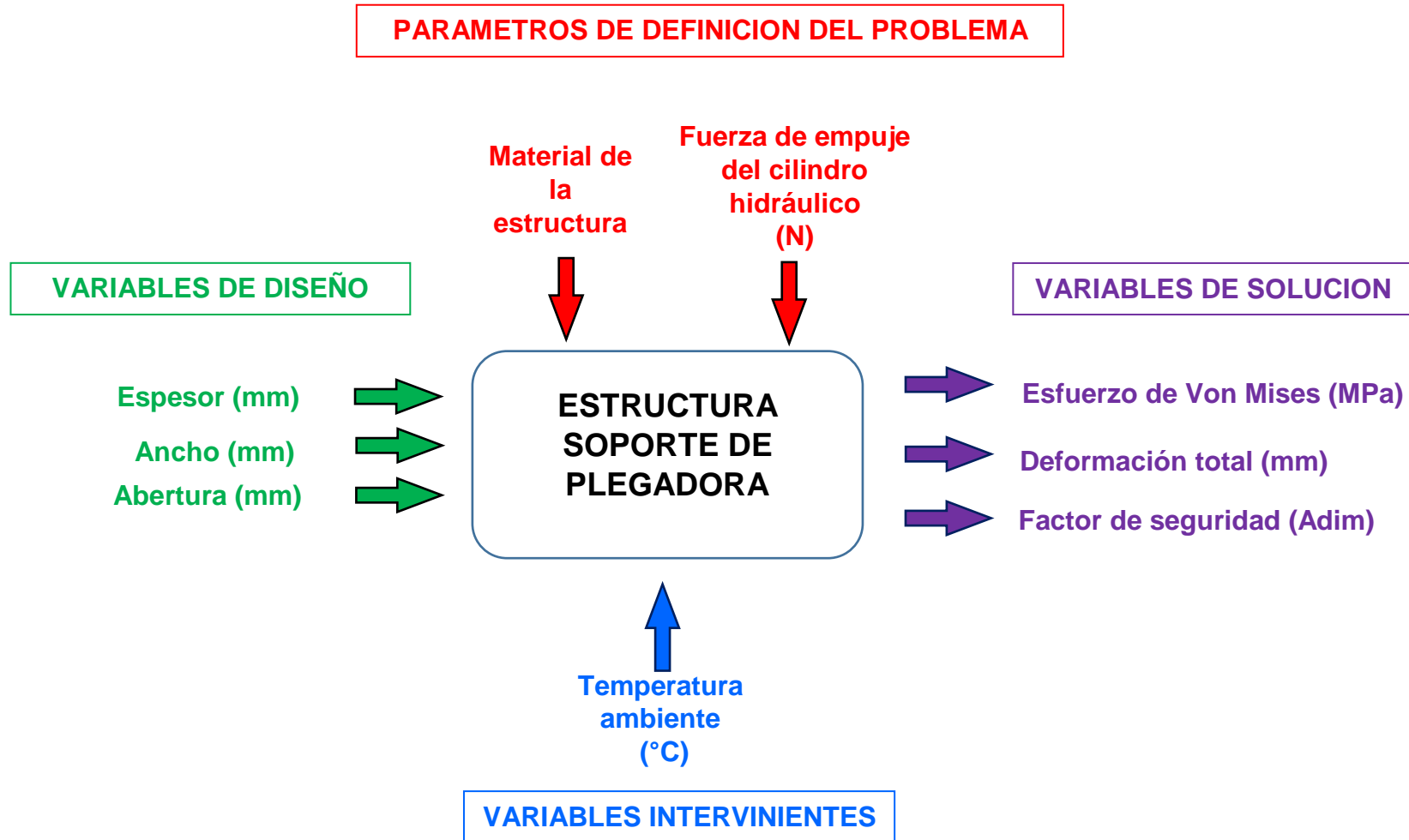
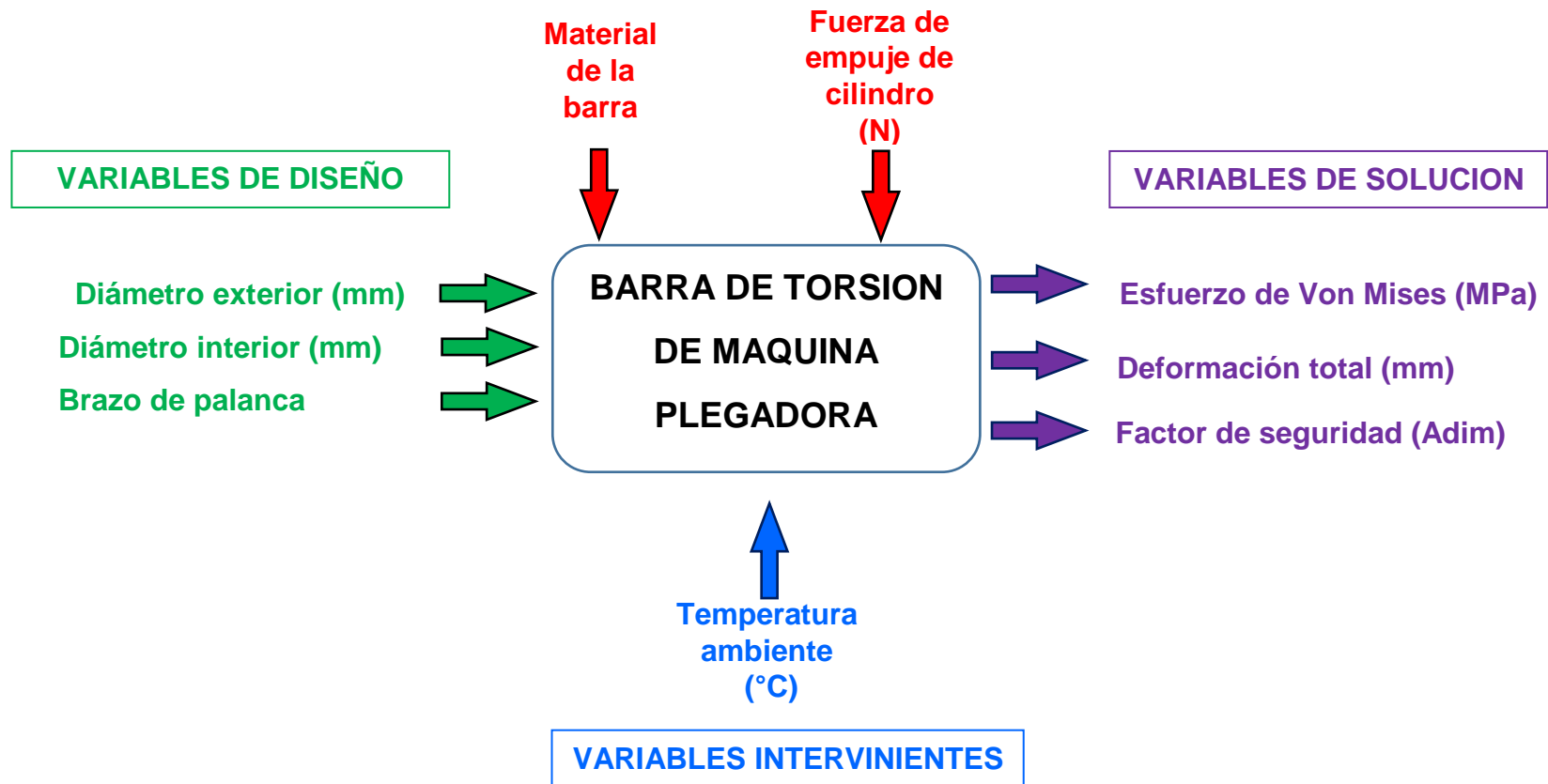


DIAGRAMA DE CAJA NEGRA – BARRA DE TORSION

PARAMETROS DE DEFINICION DEL PROBLEMA



2.2.2. Operacionalización de variables

En los siguientes cuadros se realiza la operacionalización de las variables de diseño y de solución.

Tabla 2. Operacionalización de Variables de Diseño de matriz de plegado

VARIABLES DE DISEÑO	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	INDICADORES	ESCALA DE MEDICION
Abertura de matriz	Medida de la abertura de la matriz	El instrumento para medidas lineales es la guincha, regla, etc	Dimensión	mm
Radio interior	Magnitud que mide la curvatura del filo de la cuña	El instrumento para medidas lineales es la guincha, regla, etc	Dimensión	mm
Profundidad	Medida desde la superficie exterior de la matriz hasta el punto inferior de la abertura	El instrumento para medidas lineales es la guincha, regla, etc	Dimensión	mm
Ángulo	Medida del ángulo agudo de la abertura	El instrumento para medidas angulares es el transportador, compas, etc	Dimensión	Grados sexagesimales (°)

Tabla 3. Operacionalización de Variables de Solución de matriz de plegado

VARIABLES DE SOLUCIÓN	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	INDICADORES	ESCALA DE MEDICION
Esfuerzo de Von Mises	Magnitud física proporcional a la energía de distorsión	Valor de esfuerzo máximo	Dimensión	MPa
Deformación total	Cambio de forma que experimenta un sólido cuando es sometido a una fuerza	Valor de deformación	Dimensión	mm
Factor de seguridad	Valor calculado del requerimiento real y la capacidad máxima de un sistema	Cociente entre el esfuerzo admisible y el esfuerzo máximo en la matriz	Adimensional	Razón

Tabla 4. Operacionalización de Variables de Diseño del punzón

VARIABLES DE DISEÑO	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	INDICADORES	ESCALA DE MEDICION
Espesor del punzón	Medida del espesor general del punzón	El instrumento para medidas lineales es la guincha, regla, etc	Dimensión	mm
Altura del punzón	Magnitud que mide la altura total del punzón	El instrumento para medidas lineales es la guincha, regla, etc	Dimensión	mm
Angulo de cuña	Medida del ángulo agudo del punzón	El instrumento para medidas angulares es el transportador, compas, etc	Dimensión	Grados sexagesimales (°)
Radio de contacto	Magnitud que mide la curvatura del filo de la cuña	El instrumento para medidas lineales es la guincha, regla, etc	Dimensión	mm

Tabla 5. Operacionalización de Variables de Solución del punzón

VARIABLES DE SOLUCIÓN	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	INDICADORES	ESCALA DE MEDICION
Esfuerzo de Von Mises	Magnitud física proporcional a la energía de distorsión	Valor de esfuerzo máximo	Dimensión	MPa
Deformación total	Cambio de forma que experimenta un sólido cuando es sometido a una fuerza	Valor de deformación	Dimensión	mm
Factor de seguridad	Valor calculado del requerimiento real y la capacidad máxima de un sistema	Cociente entre el esfuerzo admisible y el esfuerzo máximo en el punzón	Adimensional	Razón

Tabla 6. Operacionalización de Variables de Diseño de la mordaza superior

VARIABLES DE DISEÑO	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	INDICADORES	ESCALA DE MEDICION
Espesor	Medida del espesor general de la mordaza	El instrumento para medidas lineales es la guincha, regla, etc	Dimensión	mm
Altura	Magnitud desde el punto inferior de la mordaza hasta el punto de contacto con el vástago	El instrumento para medidas lineales es la guincha, regla, etc	Dimensión	mm

Tabla 7. Operacionalización de Variables de Solución de la mordaza superior

VARIABLES DE SOLUCIÓN	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	INDICADORES	ESCALA DE MEDICION
Esfuerzo de Von Mises	Magnitud física proporcional a la energía de distorsión	Valor de esfuerzo máximo	Dimensión	MPa
Deformación total	Cambio de forma que experimenta un sólido cuando es sometido a una fuerza	Valor de deformación	Dimensión	mm
Factor de seguridad	Valor calculado del requerimiento real y la capacidad máxima de un sistema	Cociente entre el esfuerzo admisible y el esfuerzo máximo en la mordaza	Adimensional	Razón

Tabla 8. Operacionalización de Variables de Diseño de la estructura soporte

VARIABLES DE DISEÑO	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	INDICADORES	ESCALA DE MEDICION
Espesor	Medida del espesor general de la estructura	El instrumento para medidas lineales es la guincha, regla, etc	Dimensión	mm
Ancho	Magnitud que mide la anchura de la estructura	El instrumento para medidas lineales es la guincha, regla, etc	Dimensión	mm
Abertura	Medida entre la cara frontal y la cara interior de la abertura	El instrumento para medidas lineales es la guincha, regla, etc	Dimensión	mm

Tabla 9. Operacionalización de Variables de Solución de la estructura soporte

VARIABLES DE SOLUCIÓN	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	INDICADORES	ESCALA DE MEDICION
Esfuerzo de Von Mises	Magnitud física proporcional a la energía de distorsión	Valor de esfuerzo máximo	Dimensión	MPa
Deformación total	Cambio de forma que experimenta un sólido cuando es sometido a una fuerza	Valor de deformación	Dimensión	mm
Factor de seguridad	Valor calculado del requerimiento real y la capacidad máxima de un sistema	Cociente entre el esfuerzo admisible y el esfuerzo máximo en la estructura	Adimensional	Razón

Tabla 10. Operacionalización de Variables de Diseño de la barra de torsión

VARIABLES DE DISEÑO	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	INDICADORES	ESCALA DE MEDICION
Diámetro exterior	Medida del diámetro exterior de la barra	El instrumento para medidas lineales es la guincha, regla, etc	Dimensión	mm
Diámetro interior	Medida del diámetro interior de la barra	El instrumento para medidas lineales es la guincha, regla, etc	Dimensión	mm
Brazo de palanca	Magnitud que mide la distancia entre la línea de acción de una carga respecto a un determinado punto	El instrumento para medidas lineales es la guincha, regla, etc	Dimensión	mm

Tabla 11. Operacionalización de Variables de Solución de la barra de torsión

VARIABLES DE SOLUCIÓN	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	INDICADORES	ESCALA DE MEDICION
Esfuerzo de Von Mises	Magnitud física proporcional a la energía de distorsión	Valor de esfuerzo máximo	Dimensión	MPa
Deformación total	Cambio de forma que experimenta un sólido cuando es sometido a una fuerza	Valor de deformación	Dimensión	mm
Factor de seguridad	Valor calculado del requerimiento real y la capacidad máxima de un sistema	Cociente entre el esfuerzo admisible y el esfuerzo máximo en la barra de torsión	Adimensional	Razón

2.3. Población y muestra

Población:

Máquinas plegadoras de planchas de acero.

Muestra:

Máquinas plegadoras con accionamiento hidráulico.

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnica de recolección de datos:

Entrevista

Instrumentos de Recolección de datos:

Ficha de entrevista

2.5. Métodos de análisis de datos

La recopilación de información se realizará mediante una entrevista, donde identificaremos la necesidad del cliente por medio de una ficha de entrevista y se formulará la lista de requerimientos la cual expresará el problema en términos ingenieriles.

Se generarán 6 conceptos alternativos de diseño en los cuales se mostrarán distintas configuraciones de la estructura, sistema de alimentación de la plancha y la mordaza superior. Después se seleccionará 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.

Finalmente se realizará el estudio económico de la maquina plegadora, determinando el VAN, TIR y ROI.

CAPITULO III

RESULTADOS

III.RESULTADOS

3.1. NECESIDADES DE LA EMPRESA

Para determinar las necesidades de la empresa Metal Sur del Perú EIRL se realizó 6 entrevistas a los siguientes trabajadores: Gerente General, Gerente de Operaciones, Jefe del departamento de Ingeniería, Ingeniero de obra, Maestro Calderero y Encargado del área de Electricidad (Ver anexo N°3).

En las entrevistas realizadas se recolecto información sobre la frecuencia que se requiere plegar planchas, dificultades que se presenta al no contar con una maquina plegadora, características principales sobre el material a plegar, conocimiento sobre el proceso de plegado y maquinas plegadoras.

A continuación se presenta las conclusiones de las entrevistas realizadas.

COLUMNA 3: SITUACIÓN ACTUAL

La Empresa Metal Sur del Perú presenta dificultad al realizar sus trabajos en las que se tenga que realizar el proceso de plegado tanto como planchas delgadas y gruesas. Este problema repercute en el tiempo de entrega del producto, costos y calidad del producto.

COLUMNA 4: CARACTERISTICAS PRINCIPALES

Se requiere de una maquina plegadora con accionamiento hidráulico y con funcionamiento semiautomático.

COLUMNA 5: MEDIDAS DE PLANCHA A PLEGADAR

Las planchas más comunes a plegar son de 3 m de largo por 12.7mm de Espesor.

COLUMNA 6: NORMAS SOBRE EL PROCESO Y MAQUINA

Los entrevistados desconocen sobre las normas existentes del proceso de plegado y normas de máquinas plegadoras.

COLUMNA 7: ASPECTO ECONOMICO

En promedio el costo de la maquina no debe exceder los \$ 20 000, y la inversión debe recuperarse máximo en 2 año.

Tabla 12. Resumen de Entrevista de necesidades de una maquina Plegadora Hidráulica

N°	ENTREVISTADO	SITUACIÓN ACTUAL	CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES	MEDIDAS DE PLANCHA A PLEGAR	NORMAS SOBRE EL PROCESO Y MAQUINA	ASPECTO ECONOMICO
1	Rodolfo Morocco Huayta	Problemas en el tiempo de entrega del producto por no contar con una plegadora propia	Hidráulica , Semiautomática	12.7mm x 2 m	Desconoce	C = \$ 20 000 ROI = 1 año
2	Jair Cruz Martínez	Tercerizar los trabajos de plegado afecta los costos y calidad del producto	Hidráulica Automática	25.4 m x 3m	Desconoce	C = \$ 18 000 ROI = 18 meses
3	Alfredo Sánchez Ipanaque	No se puede competir en proyectos grandes donde se requiere plegado	Manual	9.5 mm x 1.5m	Desconoce	C = \$ 20 000 ROI = 2 años
4	Hanns Chavez Campos	El proceso de plegado aumentaría la producción reemplazando juntas de soldadura	Hidráulica Semiautomática	6 mm x 3 m	Desconoce	C = \$ 15 000
5	Miguel Angel Rubio Vargas	Plegar manualmente planchas gruesas demanda de mayor esfuerzo físico.	Manual	9.5 mm x 2.4m	Desconoce	C = S/. 25 000
6	Yofre Cipiran Pinillo	Una plegadora es una de las principales máquinas que debería tener una empresa de fabricación de estructuras metálicas	Manual	6 mm x 1.5m	Desconoce	C = S/. 30 000

3.2. NORMAS DE DISEÑO

En la presente investigación se emplearon las siguientes normas para el diseño de una maquina plegadora.

ESTANDAR DIN 2413 - REGLAS DE CÁLCULO PARA TUBERÍAS Y CODOS SIN COSTURA PARA SISTEMAS HIDRÁULICOS DE ACEITE Y AGUA

A nivel internacional se emplea en el diseño de tubos y codos de sistemas hidráulicos el estándar establecido por el Instituto Alemán de Normalización (Deutsches Institut für Normung-DIN), esto es el estándar de reglas de cálculo para tuberías y codos sin costura para sistemas hidráulicos de aceite y agua (Seamless steel tubes for oil - and water - hydraulic systems - Calculation rules for pipes and elbows for dynamic loads).

En este estándar se establece los criterios de diseño para una temperatura de funcionamiento máxima admisible de hasta 120 °C.

NORMA ISO/TS 13725 - ENERGÍA DEL FLUIDO HIDRÁULICO - CILINDROS - MÉTODO PARA DETERMINAR LA CARGA DE PANDEO

Como base de diseño de cilindros hidráulicos se usa la norma establecida por la Organización Internacional de Normalización (International Organization for Standardization-ISO), esto es la Norma ISO/TS 13725 Energía del fluido hidráulico - Cilindros - Método para determinar la carga de pandeo (Hydraulic fluid power - Cylinders - Method for determining the buckling load).

En esta norma se determinan los criterios generales para el dimensionamiento del cilindro y el vástago.

NORMA UNE-EN 12622 SEGURIDAD DE LAS MAQUINAS-HERRAMIENTAS. PRENSAS PLEGADORAS HIDRÁULICAS

A nivel Internacional se usa como referente en el diseño de una maquina plegadora la norma establecida por la Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR), esto es la Norma UNE-EN 12622 Seguridad de las maquinas-herramientas. Prensas plegadoras hidráulicas.

En esta norma se especifica las medidas y requisitos técnicos de seguridad en el diseño y fabricación de máquinas plegadoras.

NORMA UNE-EN 693 MAQUINAS-HERRAMIENTAS, SEGURIDAD, PRENSAS HIDRÁULICAS

A nivel mundial en el diseño de una maquina plegadora se usa la norma establecida por la Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR), esto es la Norma UNE-EN 693 Maquinas-Herramientas, Seguridad, Prensas hidráulicas.

En esta norma se determinan los principales peligros, zonas de peligro y medidas preventivas a considerar en el diseño y fabricación de una máquina plegadora.

A continuación se presenta una tabla con las recomendaciones de diseño de una plegadora hidráulica, según normas y criterios ingenieriles.

Tabla 13. Recomendaciones de diseño

ASPECTOS/ CRITERIOS	RECOMENDACIÓN 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.
GEOMETRIA	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.2002.
	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.	VÍLCHEZ, Ángeles; ALBERTO, Ronald.2012.
	La máquina debe contar con dispositivos de bloqueo de elementos peligrosos al realizar labores de mantenimiento.	YEVES, Emilio. 2017.
	En caso de necesitarse repuestos para la máquina, estos deben estar en lo posible accesibles dentro del mercado nacional.	QUISPE, Héctor.2008.

3.3. CARACTERÍSTICAS DE INGENIERÍA, UNIDADES, Y LÍMITES

Aplicando las bases de diseño, partiendo de las necesidades de la empresa determinadas mediante las entrevistas. A continuación, se presenta la tabla de características de ingeniería, unidades, y límites. A partir de esta tabla se definirá las soluciones de diseño y dentro de las cuales se elegirá aquella que represente la mejor opción.

Tabla 14. CARACTERÍSTICAS DE INGENIERÍA, UNIDADES, Y LÍMITES

SUB – FUNCIÓN	CARACTERISTICA INGENIERIL	UNIDADES	LIMITES
Frecuencia de trabajo diario	Tiempo de operatividad	Horas	≤ 8 horas
Sistema de funcionamiento manual	Sistema de control y de mando manuales	Unidad	1
Sistema anti derrames de aceite	Conservación del medio ambiente	Unidad	1
Dispositivo de seguridad del personal	Sistemas de seguridad y protección del operario	unidad	1
Tensión de trabajo del equipo	Conexión Trifásica	voltios	380 voltios
Dispositivo contra paradas de emergencia e inoperatividad	Sistemas de seguridad y protección del equipo	unidad	1
Longitud máxima de plegado	Calculo de la longitud máximo a plegar	m	3
Espesor máximo de plegado	Calculo del espesor máximo a plegar	mm	12.7

3.4. CONCEPTOS DE SOLUCION

Según las necesidades de la empresa; a continuación, se presentan 6 conceptos de solución, los cuales pueden resolver el problema.

CONCEPTO DE SOLICION 1: PLEGADORA MANUAL CON AJUSTE DE PLANCHA POR VOLANTE

Este concepto se basó en una plegadora manual (ROVER, 1997). Como primer concepto de solución se plantea una plegadora de tipo manual que es accionado por medio de una plancha giratoria, la cual dobla la plancha empujándola en la matriz superior. El sistema de sujeción de la plancha es por medio de un tornillo sin fin que es accionado por una volante manual.

Las principales ventajas de esta máquina plegadora son las siguientes: el bajo número de piezas o elementos que la conforman facilita su fabricación, ensamblaje y mantenimiento. Por su geométrica esta máquina es fácil de transportar y almacenar. No necesita energía eléctrica ya que es accionado manualmente. Su costo de fabricación es relativamente bajo en comparación a las plegadoras mecánicas o hidráulicas.

Las desventajas de este tipo de plegadora son: solo se puede plegar planchas delgadas, menores a 3 mm de espesor, y 1.5m de longitud como máximo. Si las planchas son largas, se necesita 3 personas como mínimo para operar la máquina.

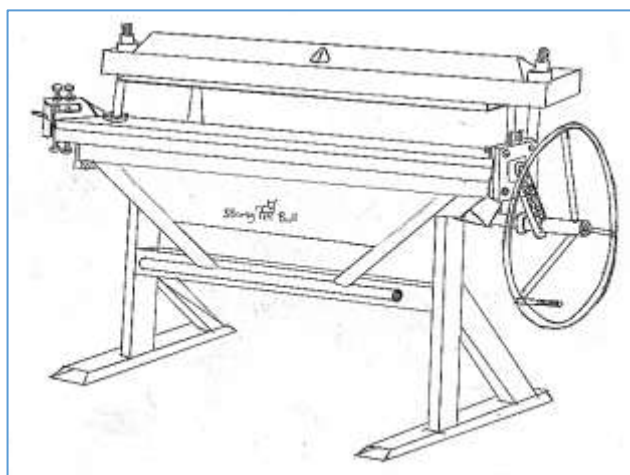


Figura 18. Plegadora Manual con ajuste por medio de volante

CONCEPTO DE SOLUCION 2: PLEGADORA MANUAL CON AJUSTE DE PLANCHA POR PALANCA

Este concepto se basó en una plegadora manual (ROWE, 1972). Es accionado por medio de una barra, la cual dobla la plancha empujándola en la matriz superior. El sistema de sujeción de la plancha es por medio de una palanca, la cual se ajusta una vez presionada la plancha a plegar.

Las principales ventajas de esta máquina plegadora son las siguientes: el bajo número de piezas o elementos que la conforman facilita su fabricación, ensamblaje y mantenimiento. Por su geométrica esta máquina es fácil de transportar y almacenar. No necesita energía eléctrica ya que es accionado manualmente. Su costo de fabricación es relativamente bajo en comparación a las plegadoras mecánicas o hidráulicas. Se necesita 2 personas como máximo para operar la máquina.

Las desventajas de este tipo de plegadora son: solo se puede plegar planchas delgadas, menores a 3mm de espesor, y 1 m de longitud como máximo. Por ser liviana la maquina se debe anclar al piso y eso dificulta su traslado dentro de la misma planta de producción.

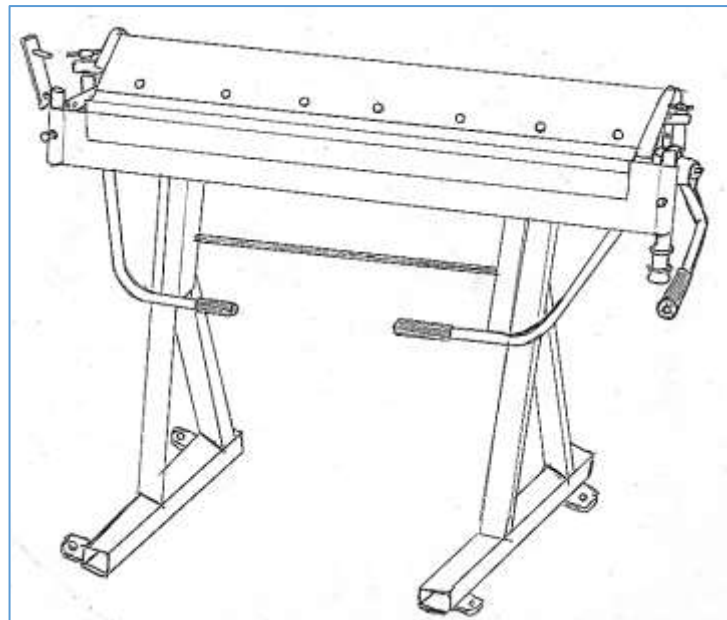


Figura 19. Plegadora manual con ajuste de plancha por palanca

CONCEPTO DE SOLICION 3: PLEGADORA MANUAL CON CONTRAPESOS

Este concepto se basó en una plegadora manual (KALPAKJIAN, 2004). Es accionado por medio de una barra la cual transmite la fuerza de los contrapesos hacia la plancha a plegar, la cual dobla la plancha empujándola en la matriz superior. El sistema de sujeción de la plancha es por medio de dos palancas, la cuales se fijan una vez presionada la plancha a plegar.

Las principales ventajas de esta máquina plegadora son las siguientes: el bajo número de piezas o elementos que la conforman facilita su fabricación, ensamblaje y mantenimiento. Por su geométrica esta máquina es fácil de transportar y almacenar. No necesita energía eléctrica ya que es accionado manualmente. Su costo de fabricación es relativamente bajo en comparación a las plegadoras mecánicas o hidráulicas. Se necesita 1 personas como mínimo para operar la máquina.

Las desventajas de este tipo de plegadora son: solo se puede plegar planchas delgadas, menores a 3mm de espesor, y 2 m de longitud como máximo. Por no ser tan liviana la máquina, esto dificulta su trasladado dentro de la misma planta de producción.

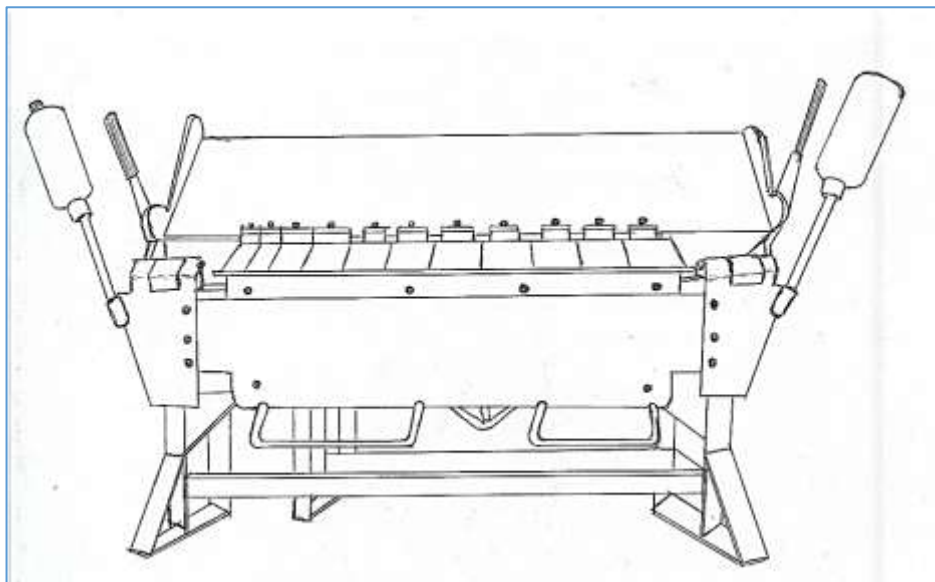


Figura 20. Plegadora manual con contrapesos

CONCEPTO DE SOLUCION 4: PLEGADORA MECANICA

Este concepto se basó en una prensa plegadora mecánica (LOBJOIS, 2004). Es accionada por medio de un motor eléctrico, el cual transmite la potencia a 2 ejes laterales y posteriormente permite el desplazamiento de la mordaza superior. Al descender la mordaza superior dobla la plancha presionándola sobre la matriz inferior.

Las principales ventajas de esta máquina plegadora son las siguientes: se puede plegar planchas gruesas hasta 30 mm de espesor y 3 m de longitud. Por su geométrica esta máquina es fácil de transportar y almacenar. Por su peso no necesitan estar ancladas al piso. Las planchas no necesitan ser fijadas antes de plegar.

Las desventajas de este tipo de plegadora son: debido al gran número de piezas o elementos que la conforman dificultan su fabricación, ensamblaje y mantenimiento. Por no ser tan liviana la máquina, esto dificulta su traslado dentro de la misma planta de producción. Su costo de fabricación es relativamente alto en comparación a las plegadoras manuales. Consume energía eléctrica ya que es accionado por un motor eléctrico.

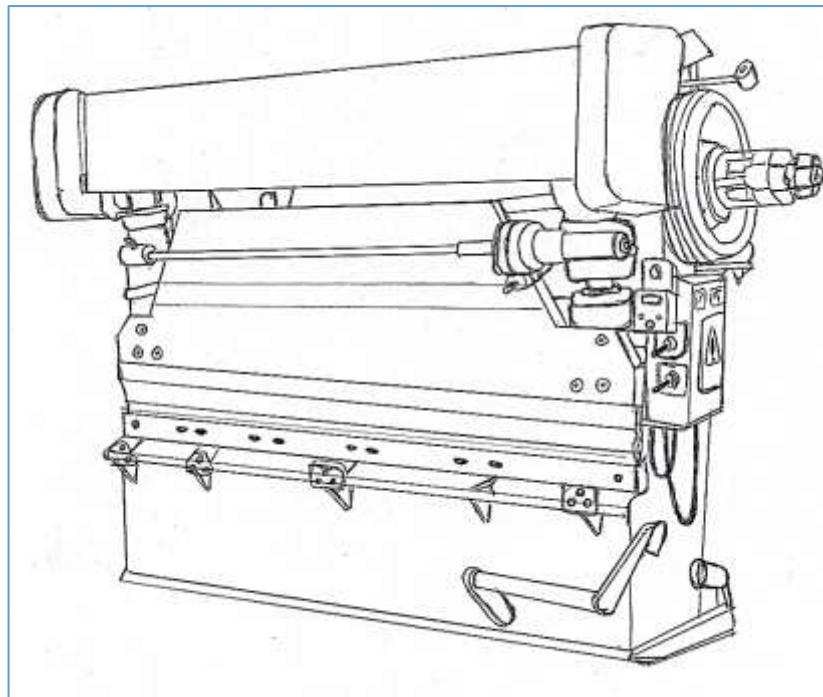


Figura 21. Plegadora mecánica

CONCEPTO DE SOLICION 5: PLEGADORA HIDRAULICA

Este concepto se basó en una prensa plegadora hidráulica (TORRES, 2008). Es accionado por medio de 2 cilindros hidráulicos en sus extremos laterales, de esta manera permite el desplazamiento de la mordaza superior. Al descender la mordaza superior dobla la plancha presionándola sobre la matriz inferior.

Las principales ventajas de esta máquina plegadora son las siguientes: se puede plegar planchas gruesas hasta 30 mm de espesor y 3 m de longitud. Por su geométrica esta máquina es fácil de transportar y almacenar. Por su peso no necesitan estar ancladas al piso. Las planchas no necesitan ser fijadas antes de plegar. Presenta menos piezas que una plegadora mecánica.

Las desventajas de este tipo de plegadora son: debido al gran número de piezas o elementos que la conforman dificultan su fabricación, ensamblaje y mantenimiento. Por no ser tan liviana la máquina, esto dificulta su traslado dentro de la misma planta de producción. Su costo de fabricación es relativamente alto en comparación a las plegadoras manuales. Consume energía eléctrica ya que es accionado por cilindros hidráulicos.

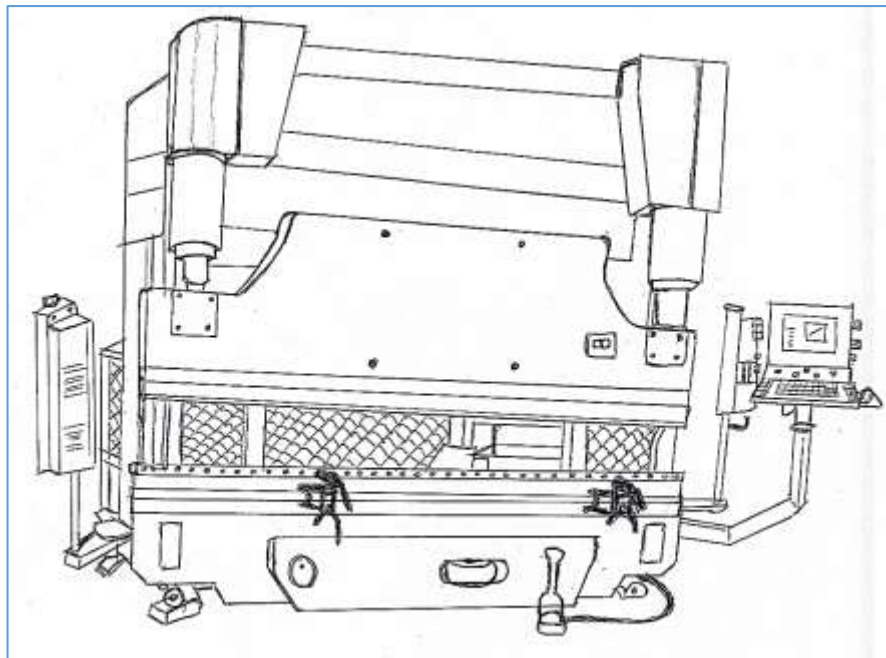


Figura 22. Plegadora Hidráulica

CONCEPTO DE SOLUCION 6: PLEGADORA HIDRAULICA CON EJES LATERALES

Este concepto se basó en una prensa plegadora hidráulica (TORRES, 2008). Es accionada por medio de 1 cilindros hidráulicos en el centro y 2 barras laterales como quías de ascenso y descenso de la mordaza superior, de esta manera permiten el plegado de la plancha presionándola sobre la matriz inferior.

Las principales ventajas de esta máquina plegadora son las siguientes: se puede plegar planchas gruesas hasta 30 mm de espesor. Debido al poco número de piezas que la conforman facilita su fabricación, ensamblaje y mantenimiento. Por su geométrica esta máquina es fácil de transportar y almacenar. Por su peso no necesitan están ancladas al piso. Las planchas no necesitan ser fijadas antes de plegar. Presenta menos piezas que una plegadora mecánica.

Las desventajas de este tipo de plegadora son: solo se puede plegar planchas hasta 1 m de longitud. Por no ser tan liviana la máquina, esto dificulta su trasladado dentro de la misma planta de producción. Su costo de fabricación es alto en comparación a las plegadoras manuales.

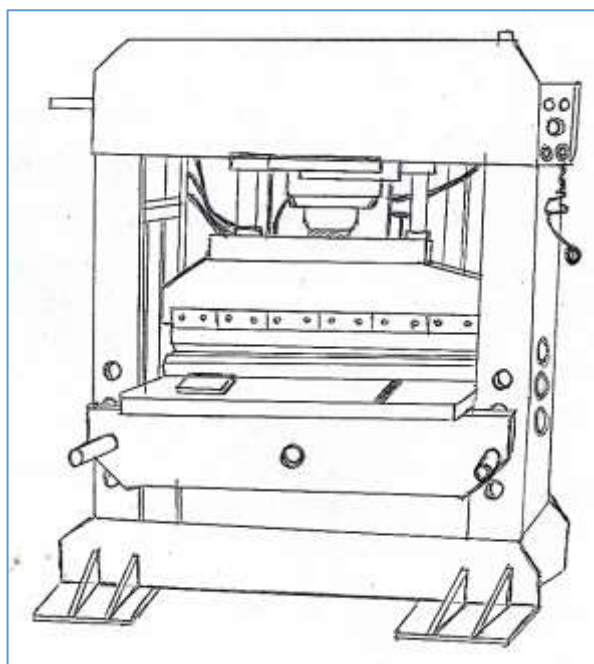


Figura 23. Plegadora Hidráulica con ejes laterales

3.5. MATRIZ DE SELECCIÓN

Para determinar el concepto de solución óptimo se consideró 9 criterios con un peso distinto cada uno. Según la necesidad de la empresa y la importancia de cada criterio se les dio los siguientes pesos: el más relevante es el criterio de la función con un 30% debido a que se desea plegar planchas de diversos espesores y con longitud de plegado hasta 3m, al criterio del costo se le dio un peso de 20%, al criterio de precisión se otorgó un peso de 15% porque la empresa considera importante la calidad de plegado, dado que la maquina plegadora debe ser fácil de fabricar se calificó al criterio de fabricación con un peso de 10%. A los criterios de seguridad, tamaño, ensamblaje, mantenimiento y transporte se les asignó un peso de 5%.

Los rangos de calificación varían entre 0 y 4, siendo la calificación de la siguiente manera:

Tabla 15. Calificación de la matriz de selección

ITEM	CALIFICACIÓN	PUNTAJE
1	Insatisfactorio	0
2	Apenas tolerable	1
3	Adecuado	2
4	Bueno	3
5	Muy bueno	4

A continuación se presenta la matriz de selección del concepto de solución óptimo.

Tabla 16. Matriz de selección de conceptos de solución

¡Error! Vínculo no válido.**PJ** = PUNTAJE

PO=PUNTAJE PONDERADO

Al realizar la evaluación de los 6 conceptos de solución, según la matriz de selección, el concepto de solución 5 (plegadora hidráulica) obtuvo el mayor puntaje ponderado con 2.95 puntos.

3.6. DISEÑO DE CONFIGURACION

Se considera que los principales elementos de una plegadora hidráulica son:

- Matriz de plegado
- Punzón de plegado
- Cilindros hidráulicos
- Estructura soporte
- Mordaza superior

Para el diseño de configuración de la plegadora hidráulica a diseñar en la presente investigación se elaboró 4 bocetos, variando las siguientes características:

- Ubicación de los cilindros hidráulicos
- Apoyo de la plancha a plegar
- Pedal móvil
- Tipo de tablero de control
- Sujeción de matriz de plegado

A continuación se presenta un diagrama de bloques lógicos de la configuración de la maquina plegadora con accionamiento hidráulico. En el grafico se puede observar el flujo de fuerza, flujo de material a plegar y flujo de señales.

DIAGRAMA DE BLOQUES LÓGICOS DE CONFIGURACIÓN PLEGADORA HIDRÁULICA

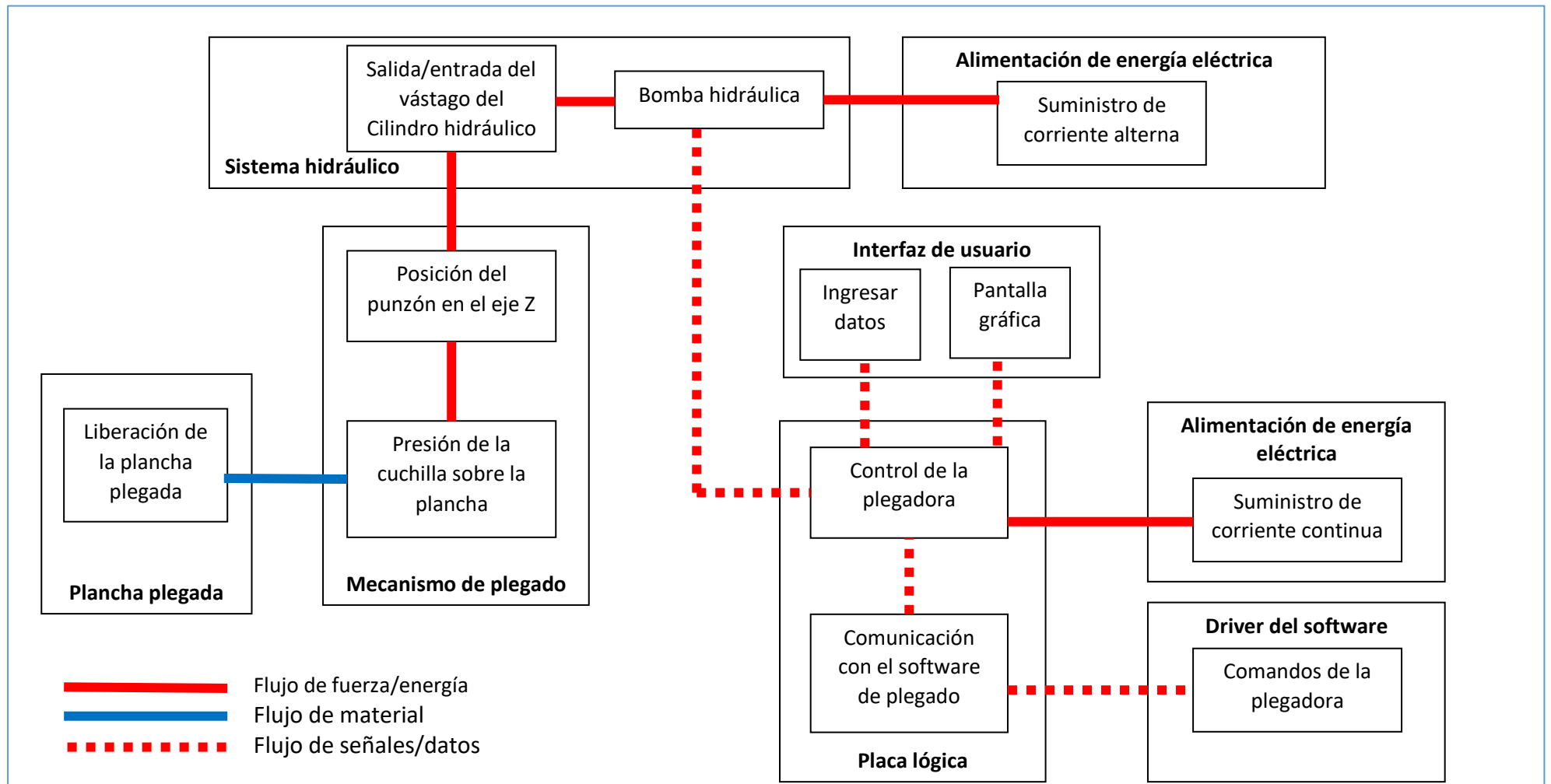


Figura 24. Diagrama de bloques lógicos-Plegadora Hidráulica

UNIDAD DE CONTROL HIDRAULICO

Una vez calculados la fuerza, presión, caudal y dimensiones geométricas de los cilindros hidráulicos, es factible realizar el esquema hidráulico de la máquina, el cual se muestra en la siguiente figura:

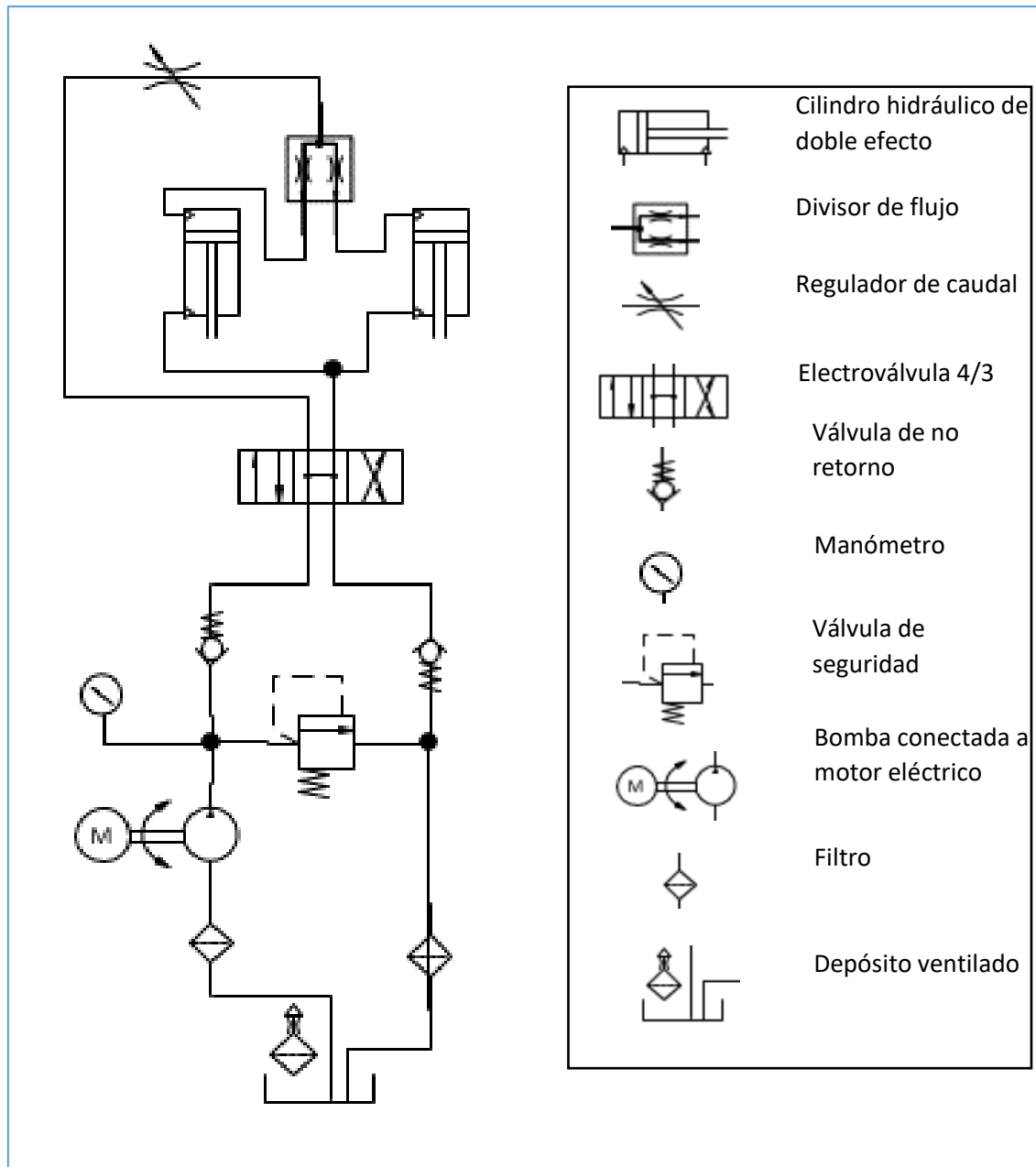


Figura 25. Diagrama hidráulico-Plegadora Hidráulica

El sistema consta de un depósito ventilado que provee de aceite para el funcionamiento de los cilindros, los cuales son alimentados por una bomba hidráulica que es accionada por un motor eléctrico (entre el depósito y la bomba hay un filtro que impide el ingreso de impurezas a esta última). A la salida de la

bomba hay un manómetro para medir la presión del sistema, así como una válvula de seguridad que retorna el fluido de nuevo al tanque en caso ocurriera una sobrecarga de presión; el fluido sigue su recorrido y pasa por una válvula antirretorno que impide que el fluido retorne por esa vía.

El fluido llega a la electroválvula la cual es la encargada de accionar la salida y el ingreso del vástago. Durante la salida el fluido atraviesa una válvula reguladora de caudal para controlar la velocidad de salida del vástago. Finalmente, el fluido retorna al depósito previamente filtrado.

A continuación se presenta la matriz morfológica de los 4 bocetos de diseño de configuración.

Tabla 17. Matriz morfológica de diseño de configuración

CARACTERISTICA	ALTERNATIVA			
	1	2	3	4
UBICACIÓN DE LOS CILINDROS	SUPERIOR	LATERAL	INCRUSTADO	
APOYO DE LA PLANCHA A PLEGAR	SIN APOYO	ESTRUCTURA DE APOYO	POLINES	MESA METALICA ACCIONADA POR PISTONES HIDRAULICOS
CONTROL DE CARRERA DE MORDAZA SUPERIOR	FIJA	MOVIL	ARTICULADA	
TABLERO DE CONTROL		PEDAL	SIN PEDAL	
SUJECION DE MATRIZ DE PLEGADO	SUJETADOR ENPERNADO	SUJETADOR CON REGULACION POR MEDIO DE PERNOS LATERALES	SUJETADOR CON PERNO DE AJUSTE SUPERIOR	

CONFIGURACION N°1

CONFIGURACION N° 2

CONFIGURACION N° 3

CONFIGURACION N° 4

CONFIGURACION N° 1

Los cilindros hidráulicos se ubican en los lados laterales de la mordaza superior, tablero de control fijo y la matriz de plegado se ajusta por medio de sujetadores empernados en la estructura soporte.

Las principales ventajas de esta configuración es que por tener tablero de control fijo tiene menor costo de fabricación.

Las desventajas en esta configuración son: se necesita un operario fijo en el tablero de control mientras la maquina se opera, al momento de girar la matriz de plegado se tiene que retirar los sujetadores luego volverlos a ajustar.

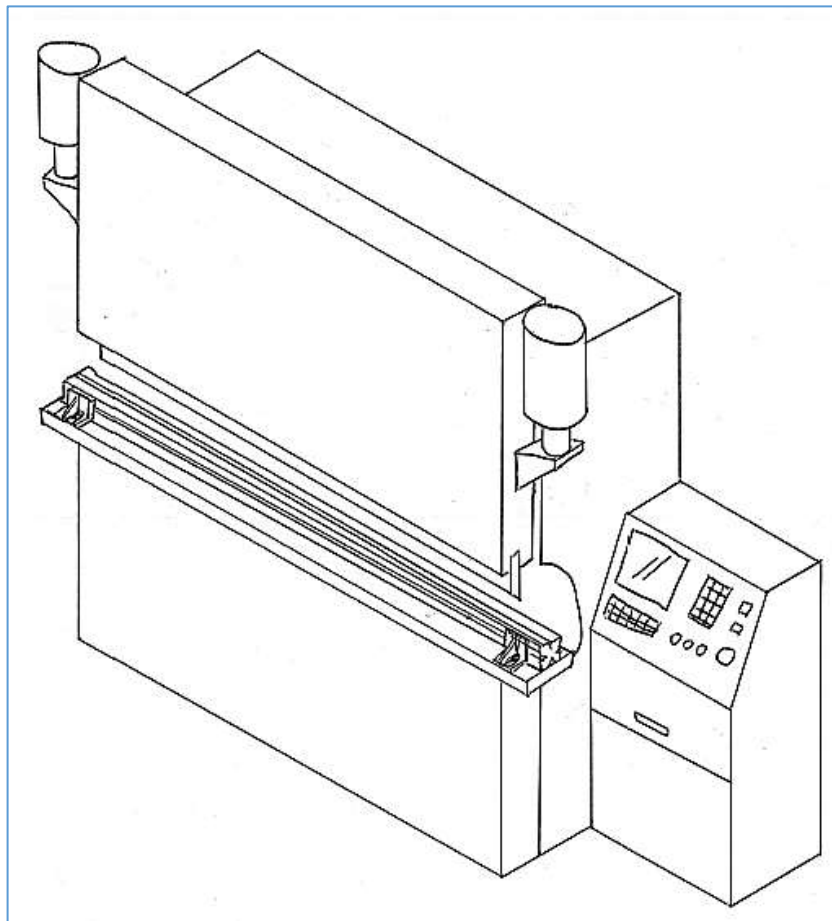


Figura 26. Boceto de la Configuración N° 1

CONFIGURACION N° 2

Los cilindros hidráulicos se ubican dentro de la mordaza superior, tablero de control articulado, pedal móvil que controla la carrera de la mordaza superior, la plancha a plegar se apoya sobre una pequeña plataforma y la matriz de plegado se ajusta por medio de sujetadores con regulación por medio de pernos laterales.

Las principales ventajas de esta configuración es que con el pedal móvil facilita el proceso de plegado, al momento de girar la matriz de plegado solo se giran los pernos de los sujetadores, la pequeña plataforma de apoyo de la plancha facilita a los operarios al momento de plegar y los sujetadores poseen dos pernos laterales facilitando la alineación de la matriz.

Las desventajas en esta configuración son: por tener tablero de control articulado, plataforma de apoyo de las planchas y pedal móvil su costo de fabricación es elevado.

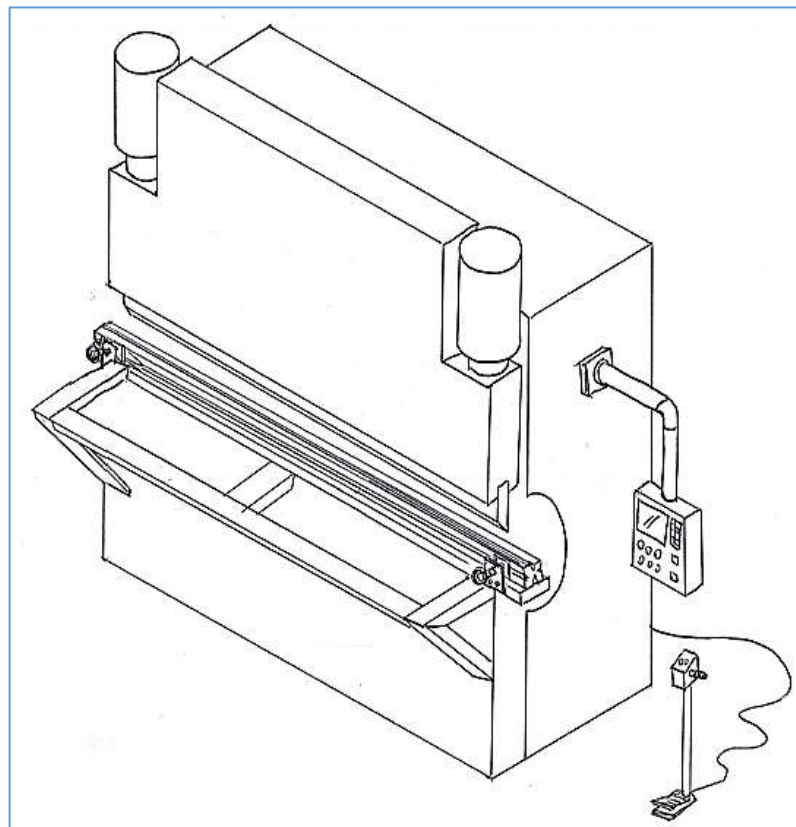


Figura 27. Boceto de la Configuración N° 2

CONFIGURACION N° 3

Los cilindros hidráulicos se ubican en la parte superior de la mordaza superior, tablero de control articulado, pedal móvil que controla la carrera de la mordaza superior, la plancha a plegar se apoya sobre una mesa de polines y la matriz de plegado se ajusta por medio de sujetadores con regulación por medio de pernos superiores.

Las principales ventajas de esta configuración es que con el pedal móvil facilita el proceso de plegado, al momento de girar la matriz de plegado solo se giran los pernos superiores de los sujetadores, la mesa de polines facilita el ingreso de la plancha a plegar y los sujetadores poseen 1 perno superior facilitando la alineación de la matriz.

Las desventajas en esta configuración son: por tener tablero de control articulado, mesa de polines y pedal móvil su costo de fabricación es elevado.

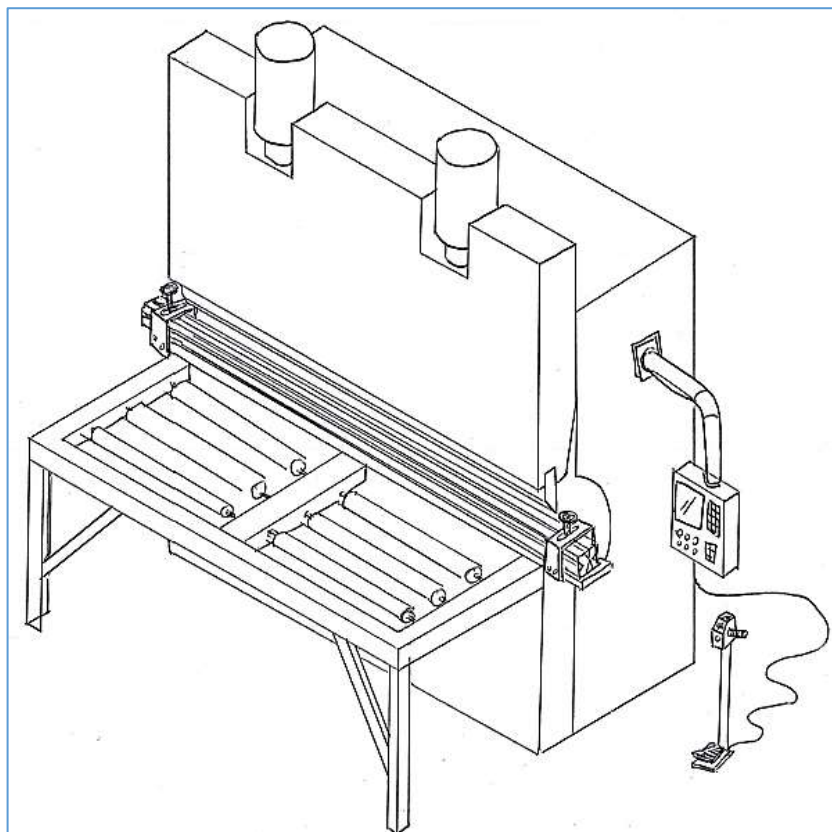


Figura 28. Boceto de la Configuración N° 3

CONFIGURACION N° 4

Los cilindros hidráulicos se ubican dentro de la mordaza superior, tablero de control móvil, la plancha a plegar se apoya sobre una mesa accionada por 2 pistones hidráulicos y la matriz de plegado se ajusta por medio de sujetadores con regulación por medio de pernos superiores.

Las principales ventajas de esta configuración es que con el tablero móvil facilita el proceso de plegado, al momento de girar la matriz de plegado solo se giran los pernos superiores de los sujetadores, la mesa facilita el ingreso de la plancha a plegar y los sujetadores poseen 1 perno superior facilitando la alineación de la matriz.

Las desventajas en esta configuración son: por tener tablero de control móvil, mesa con accionamiento hidráulico su costo de fabricación es elevado.

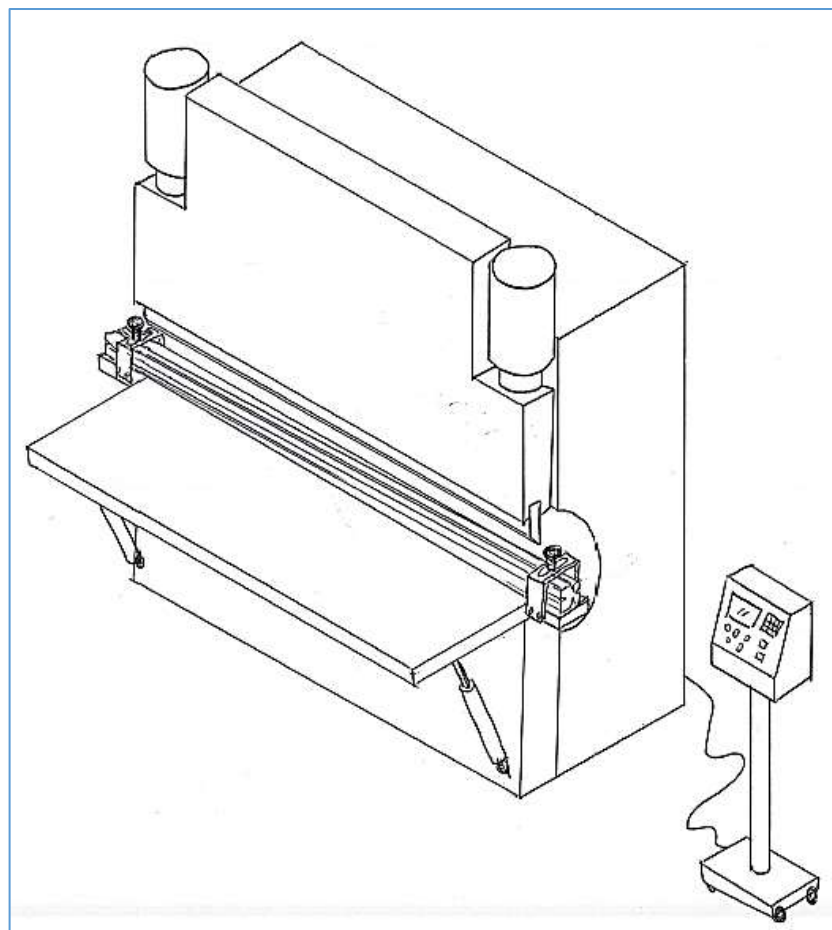


Figura 29. Boceto de la Configuración N° 4

Se realizó una matriz de selección a los 4 bocetos para determinar el mejor diseño de configuración. Los criterios y calificación se consideraron de la misma manera que para la selección del concepto de solución óptimo.

Tabla 18. Matriz de selección de configuración

		BOCETOS DE DISEÑO DE CONFIGURACION							
		BOCETO 1		BOCETO 2		BOCETO 3		BOCETO 4	
CRITERIO	PESO [%]	PJ	PO	PJ	PO	PJ	PO	PJ	PO
FUNCION	35	2	0.7	4	1.4	4	1.4	3	1.05
SEGURIDAD	10	3	0.3	4	0.4	4	0.4	4	0.4
TAMAÑO	5	4	0.2	3	0.15	2	0.1	3	0.15
FABRICACIÓN	10	4	0.4	3	0.3	2	0.2	3	0.3
ENSAMBLAJE	10	4	0.4	3	0.3	2	0.2	3	0.3
MANTENIMIENTO	10	4	0.4	3	0.3	3	0.3	3	0.3
COSTO	20	4	0.8	3	0.6	2	0.4	2	0.4
	100								
TOTAL			3.2		3.45		3		2.9

PJ = PUNTAJE

PO=PUNTAJE PONDERADO

Al realizar la evaluación de los 4 conceptos de solución, según la matriz de selección, el boceto 2 obtuvo el mayor puntaje ponderado con 3.45 puntos.

3.7. DIMENSIONAMIENTO GENERAL

Las planchas de acero al carbono y acero inoxidable se comercializan con longitud nominal de 3000 mm, con una variación de hasta +10 mm. Considerando el espacio de los fijadores laterales de la matriz la longitud total de la plegadora es de 3200 mm.

La altura en la que la plancha será plegada es de 1m.

Según la tabla N°6, resumen de la entrevista de necesidades de la empresa, el espesor promedio a plegar es de 12.7mm. Por lo tanto la plegadora hidráulica se diseñará para doblar planchas de 3m de largo con un espesor máximo de 12.7mm (1/2").

La altura máxima permitida con la mordaza superior elevada es 3m, para su fácil transporte y traslado dentro de las instalaciones de la empresa.

Según la tabla de necesidades de la empresa y las recomendaciones de diseño las dimensiones generales de la maquina son 3.2m de largo, 1.5m de ancho y 3m de alto. La carrera de la mordaza superior será de 200 mm.

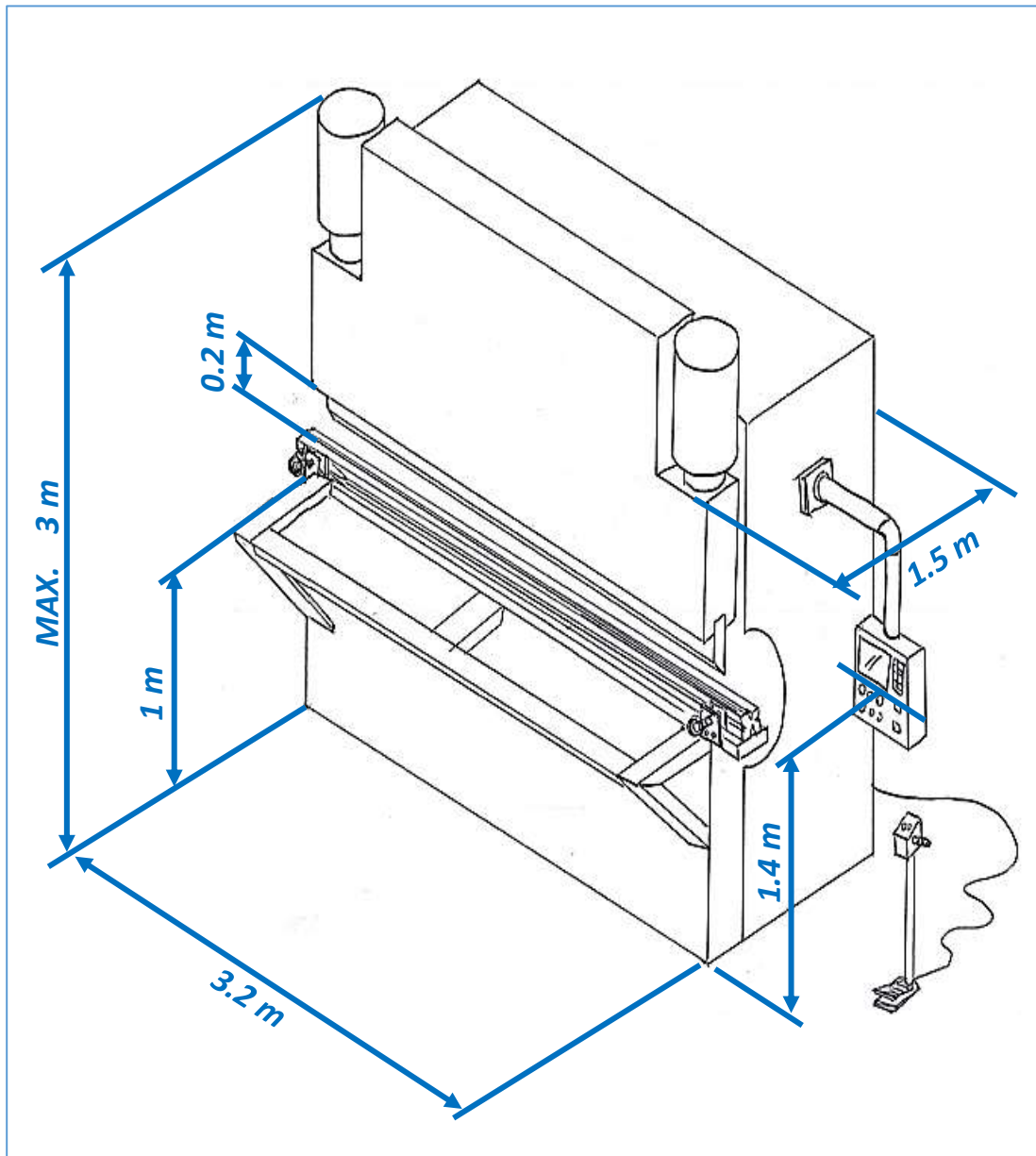


Figura 30. Dimensionamiento general de la maquina plegadora

3.8. SELECCIÓN DE MATERIALES

Según la aplicación de cada elemento a diseñar, se seleccionaran los materiales según las siguientes características.

Resistencia a la tracción

Límite de fluencia

Dureza de Brinell

Resistencia al desgaste

A continuación se presenta una tabla con las características de los materiales para los principales elementos de la plegadora hidráulica:

Tabla 19. Características de materiales de los principales componentes de la plegadora hidráulica

ELEMENTO	CARACTERISTICA	MATERIALES
Estructura Soporte	Porcentaje de carbono: bajo y medio.	ASTM A36 SAE 1020 SAE 1045 SAE 1060
	Resistente al desgaste.	
	Dureza de Brinell baja y media	
	Limite Elastico: bajo y medio.	
Mordaza superior	Porcentaje de carbono: bajo y medio.	ASTM A36 SAE 1020 SAE 1045 SAE 1060
	Dureza de Brinell baja y media.	
	Limite Elastico: bajo y medio	
Punzón	Porcentaje de carbono: medio y alto.	SAE 1020 SAE 1045 SAE 1060 SAE 4140
	Resistente al desgaste.	
	Dureza de Brinell media y alta.	
	Limite Elastico: medio y alto.	
Matriz de plegado	Porcentaje de carbono: medio y alto.	SAE 1020 SAE 1045 SAE 1060 SAE 4140
	Dureza de Brinell media y alta.	
	Limite Elastico: medio y alto.	
Barra de torsión	Porcentaje de carbono: alto.	SAE 1020 SAE 1045 SAE 1060 SAE 4340
	Dureza de Brinell alta.	
	Limite Elastico: alto.	

Tabla 20. Propiedades mecánicas de los aceros según la norma SAE/AISI.

Nº SAE o AISI	Resistencia a la tracción [MPa]	Límite defluencia [MPa]	Alargamiento en 50 mm	Dureza Brinell
1010	392,3	292,2	39	109
1015	420.7	313.8	39	126
1020	449.1	331.5	36	143
1025	491.3	338.3	34	161
1030	552.1	345.2	32	179
1035	586.4	377.5	29	190
1040	621.7	413.8	25	201
1045	673.7	413.8	23	215
1050	724.7	413.8	20	229
1055	769.8	449.1	19	235
1060	814.9	483.5	17	241
1065	853.2	509.0	16	254
1070	891.4	535.4	15	267
1075	928.7	560.9	13	280
1080	966.9	586.4	12	293

3.9. CÁLCULOS DE CARGAS DE DISEÑO

Para el diseño de la maquina plegadora hidráulica se realizó la secuencia de cálculos mencionadas en la sección 1.3 , cuyos desarrollos se detallan en el Anexo N°1.

Fuerza máxima de plegado

A continuación se presenta los valores calculados de la fuerza de plegado de diversos espesores, desde 1/8" hasta 1/2".

Tabla 21. Fuerza máxima de plegado para distintos espesores

ESPESOR (t)		Abertura (v) mm	LONGITUD (L)		
Pulg	mm		1m	2m	3m
1/8	3.175	25	198.4	396.9	595.3
3/16	4.763	38	297.7	595.4	893.1
1/4	6.350	51	396.9	793.8	1 190.6
3/8	9.525	96	476.3	952.5	1 428.8
1/2	12.700	127	635.0	1 250	1 905

En la sección 3.6. se determinó que el espesor máximo a plegar es de 12.7mm con una longitud máxima de 3m. Según la tabla N° 23 la fuerza máxima de plegado es de 1 905 KN. Por tanto la fuerza máxima de diseño se define como:

$$F_N = 2\,000\text{ KN.}$$

Fuerza de empuje de cilindro Hidraulico

Según la configuración de la maquina plegadora será accionada por 2 cilindros hidráulicos. Por lo tanto la fuerza de empuje del cilindro hidráulico es:

$$F_C = 1\,000\text{ KN}$$

Presión del Sistema

Según la geometría del cilindro hidráulico, fuerza de plegado y geometría de la maquina plegadora, la presión máxima del sistema será de:

$$P_S = 341\text{ bar}$$

Caudal de aceite de la bomba

Considerando máquinas en el mercado asumimos una velocidad de salida del vástago de 50 mm/s, además el caudal máximo requerido queda determinado en el momento en que sale el vástago, según la ecuación 15 tenemos:

$$Q_B = 0.05 \times 0.01986$$

$$Q_B = 0.0004965 \frac{m^3}{s} = 59.58\text{ l/min}$$

Debido a que en nuestro caso se tienen dos cilindros entonces el caudal total necesario será de $59.58 \times 2 = 119.16\text{ l/min}$. Para la selección debe considerarse una bomba con capacidad mayor a la calculada.

Potencia requerida de la bomba y del motor

La mordaza superior bajara a dos velocidades, primero a una velocidad de 50 mm/s antes de entrar en contacto con la plancha a plegar y luego entrará a una velocidad de operación de 7 mm/s. Para determinar la potencia necesaria

se considerará la fuerza nominal (F_N) como fuerza de accionamiento y la velocidad de salida del vástago (V_s), por tanto se emplea la ecuación 16:

$$Potencia\ cilindros = 2\ 000\ 000 * 0.007$$

$$Potencia\ cilindros = 14\ 000\ Watts$$

La potencia hallada corresponde a la de los cilindros, la potencia mecánica para accionar la bomba será mayor puesto que el rendimiento del sistema no es del 100%. Considerando un rendimiento mecánico de 90% (η) la potencia mecánica para el accionamiento de la bomba será:

$$Potencia\ mecánica = \frac{Potencia\ cilindro}{\eta}$$

Reemplazando valores:

$$Potencia\ mecánica = \frac{14\ KW}{0.9} = 15.6\ KW$$

3.10. DISEÑO PARAMETRICO

En esta sección se realizaron programas en MATLAB, un software de cálculo numérico. Y se verificó mediante el uso del software SOLIDWORKS, un software especializado en ingeniería basado en el Método de análisis por Elementos Finitos (FEM).

Diseño Paramétrico mediante GUI MATLAB

Mediante el software Matlab se desarrolló la Interfaz gráfica de usuario (GUI) "GUI_diseno_plegadora_hidraulica" (Fig. N° 28) como presentación de la Interfaz "plegadora_hidraulica" la cual tiene el programa de calculo (Anexo N° 7) y se verifico mediante calculo manual (Anexo N° 6). El programa se utilizó para calcular la fuerza máxima de plegado. Una vez obtenida la fuerza máxima de plegado la GUI calcula y grafica las variables de solución de los siguientes elementos: Matriz de plegado, Punzón de plegado, Mordaza superior, Barra de torsión y estructura soporte.



Figura 31. 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 32. Interfaz gráfica de usuario – Diseño Paramétrico

Los parámetros que se variaron en la Interfaz son los siguientes:

Tabla 22. Valores de Parametrización GUI - Matriz de plegado

VARIABLES DE DISEÑO	
Abertura de matriz	5 mm – 150 mm
Radio interior	2 mm – 25 mm
Profundidad	5 mm – 100 mm
Ángulo	88°
VARIABLES DE DEFINICION DE PROBLEMA	
Material	SAE 1020 SAE 1045 SAE 1060 SAE 4140
Espesor de la plancha a plegar	2mm – 12.7 mm
Longitud de plegado	3000 mm
VARIABLE DE SOLUCION	
Factor de Seguridad	Por determinar

Tabla 23. Valores de Parametrización GUI - Punzón de plegado

VARIABLES DE DISEÑO	
Espesor del punzón	5 mm – 150 mm
Altura del punzón	100 mm – 300 mm
Ángulo de cuña	5 mm – 100 mm
Radio de contacto	3 – 6mm
VARIABLES DE DEFINICION DE PROBLEMA	
Material	SAE 1020 SAE 1045 SAE 1060 SAE 4140
Espesor máximo a plegar	12.7 mm
Longitud de plegado	3000 mm
VARIABLE DE SOLUCION	
Factor de Seguridad	Por determinar

Tabla 24. Valores de Parametrización GUI - Mordaza superior

VARIABLES DE DISEÑO	
Espesor	20 mm – 100 mm
Altura	100 mm – 500 mm
VARIABLES DE DEFINICION DE PROBLEMA	
Material	ASTM A36 SAE 1020 SAE 1045 SAE 1060
Fuerza de empuje del cilindro hidráulico	1 000 KN
Diámetro del vástago	165 mm
VARIABLE DE SOLUCION	
Factor de Seguridad	Por determinar

Tabla 25. Valores de Parametrización GUI - Estructura Soporte

VARIABLES DE DISEÑO	
Espesor	20 mm – 100 mm
Ancho	1200 mm – 1500 mm
Abertura	100 mm – 500 mm
VARIABLES DE DEFINICION DE PROBLEMA	
Material	ASTM A36 SAE 1020 SAE 1045 SAE 1060
Fuerza de empuje del cilindro hidráulico	1 000 KN
Diámetro del vástago	165 mm
VARIABLE DE SOLUCION	
Factor de Seguridad	Por determinar

Tabla 26. Valores de Parametrización GUI - Barra de torsión

VARIABLES DE DISEÑO	
Diámetro exterior	100 mm – 3000 mm
Diámetro interior	100 mm 250 mm
Brazo de palanca	250 mm – 300 mm
VARIABLES DE DEFINICION DE PROBLEMA	
Material	SAE 1020 SAE 1045 SAE 1060 SAE 4340
Fuerza de empuje del cilindro hidráulico	1 000 KN
VARIABLE DE SOLUCION	
Factor de Seguridad	Por determinar

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

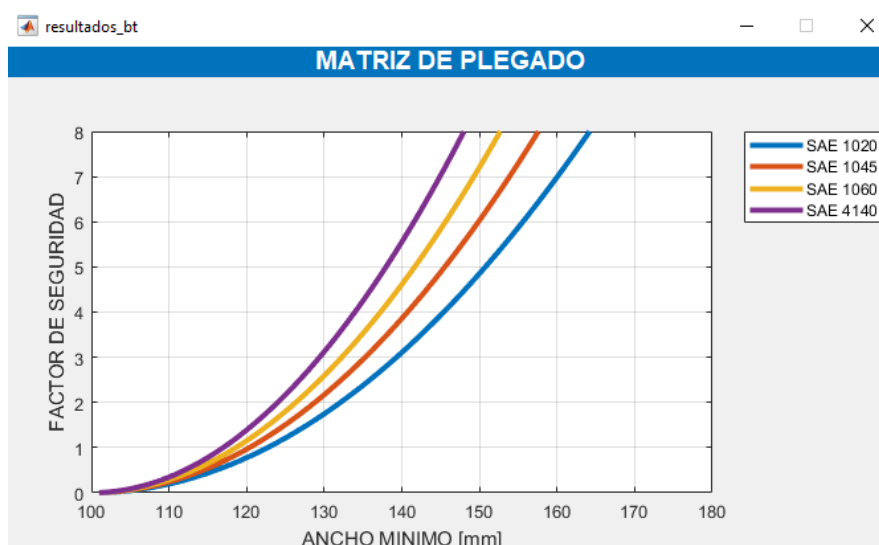


Figura 33. Ancho mínimo – Factor de seguridad de la matriz de plegado

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 punzón se plegado se presenta dos graficos:

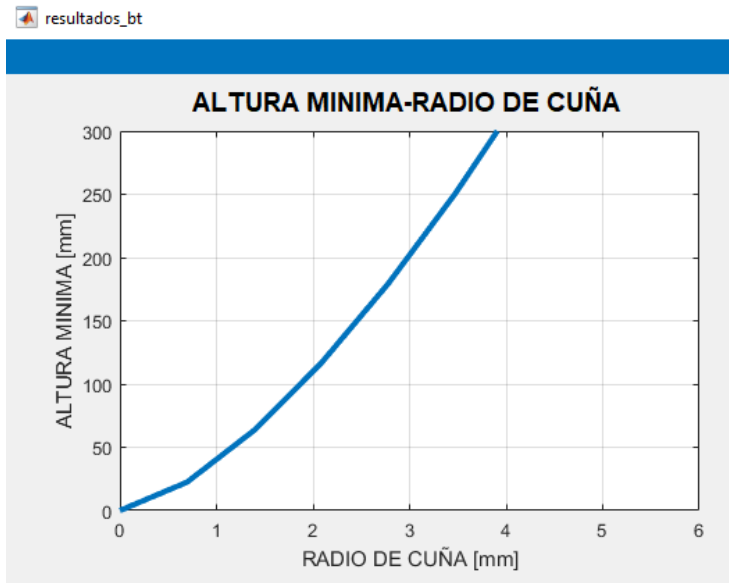


Figura 34. Radio de cuña- Ancho mínimo de punzón de plegado

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 35. 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.

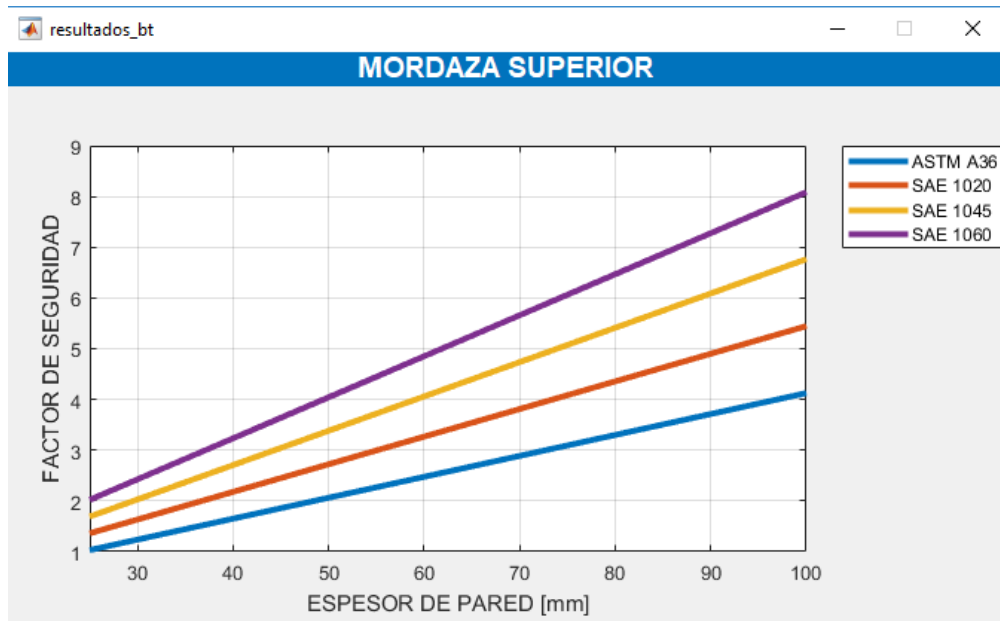


Figura 36. Espesor de pared – Factor de seguridad de mordaza superior

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.

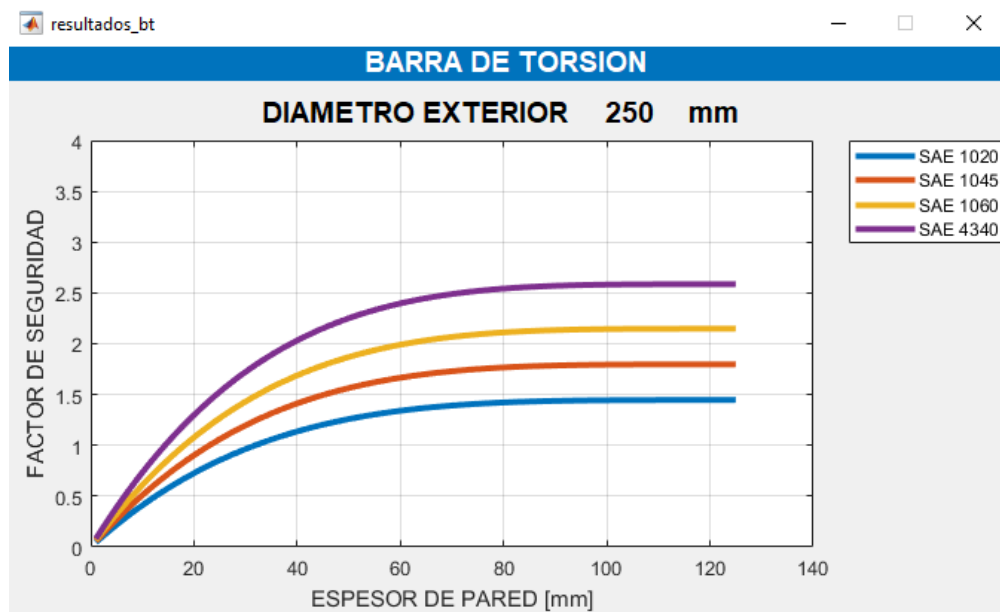


Figura 37. Espesor de pared – Factor de seguridad de barra de torsión

Para la barra de torsión se ingresó un diámetro exterior de 250 mm, un brazo de palanca de 300 mm y según la imagen 38 el espesor recomendado para un factor de seguridad de 2.5 en acero SAE 4340 es de 70 mm.

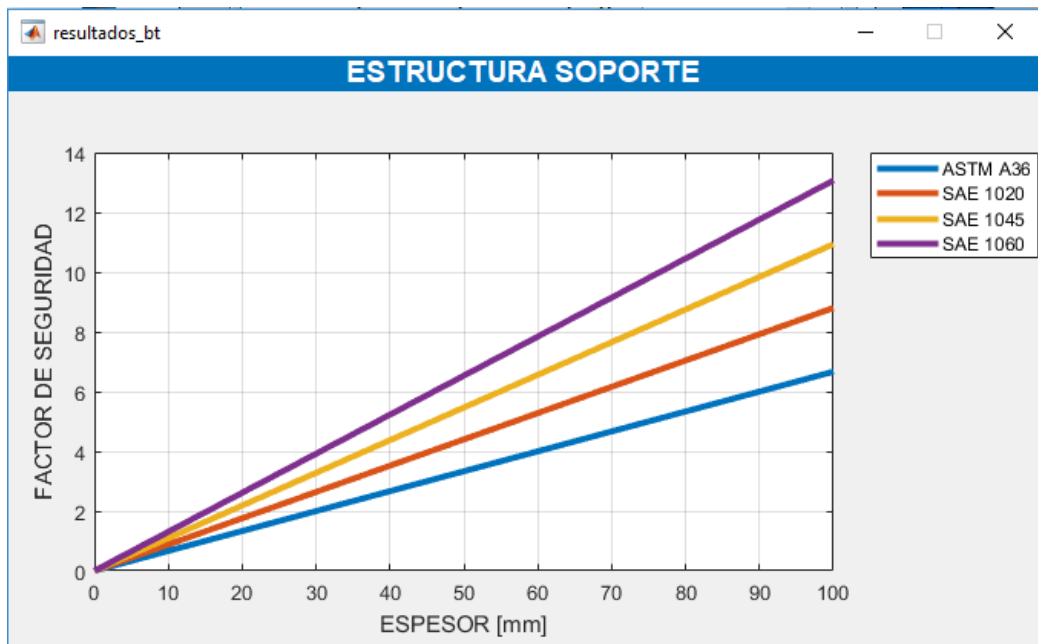


Figura 38. Espesor de pared – Factor de seguridad de estructura soporte

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. Los cuáles serán analizados mediante FEM Solidworks.

Diseño Paramétrico mediante FEM SOLIDWORKS

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.

Los valores de las variables a trabajar en las simulaciones mediante el software Solidworks se presenta antes de cada matriz en la que se presenta los resultados de las simulaciones. En algunos casos solo se variaron uno o dos parámetros debido a que en esta etapa algunas dimensiones ya están definidas.

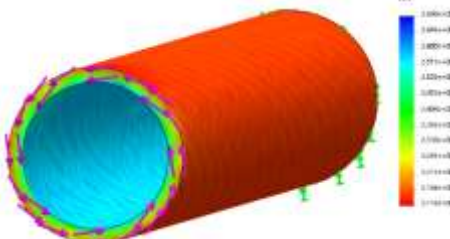
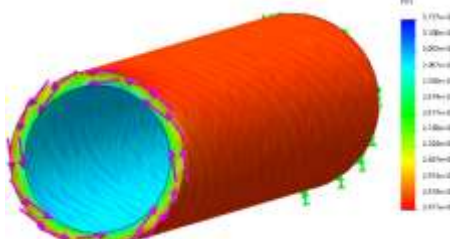
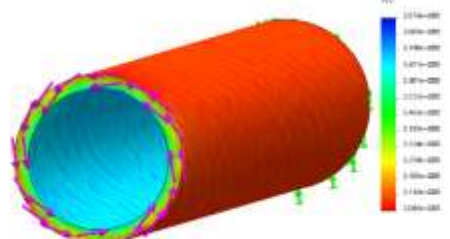
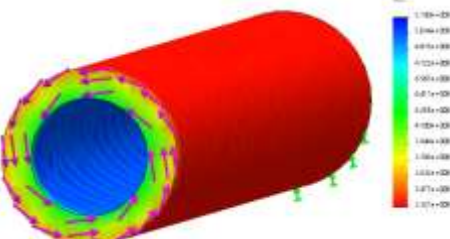
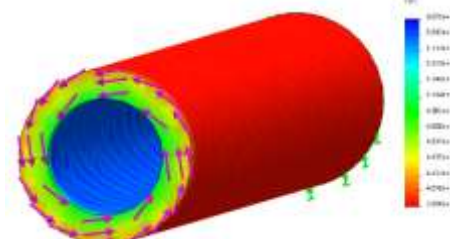
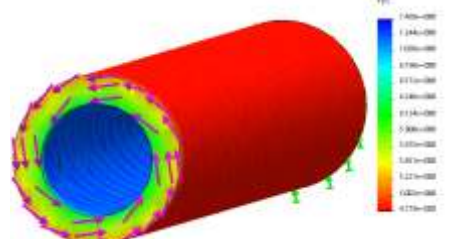
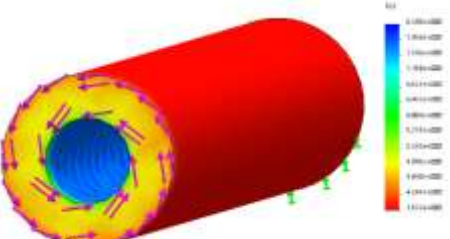
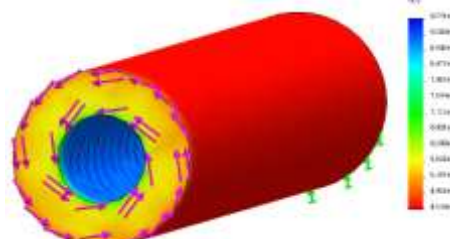
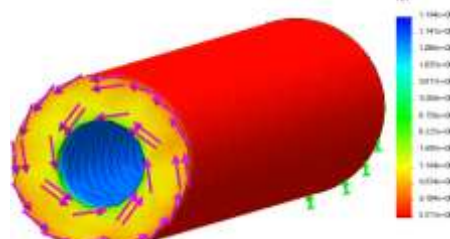
Siguiendo el diseño paramétrico y según la caja negra las variables a trabajar en la barra de torsión se indican en la siguiente tabla:

Tabla 27. Valores de parametrización - Barra de torsión

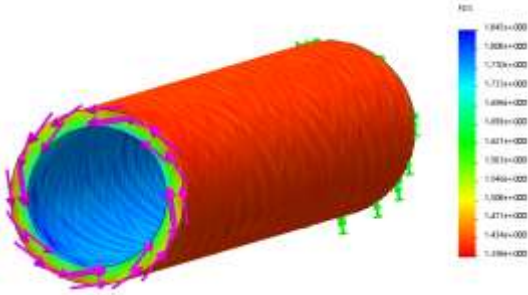
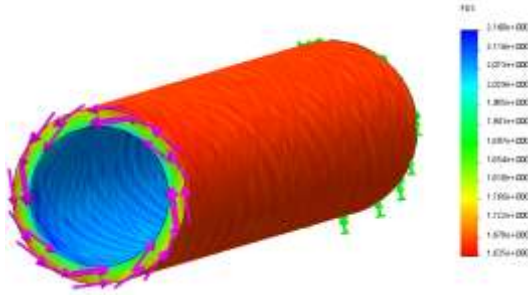
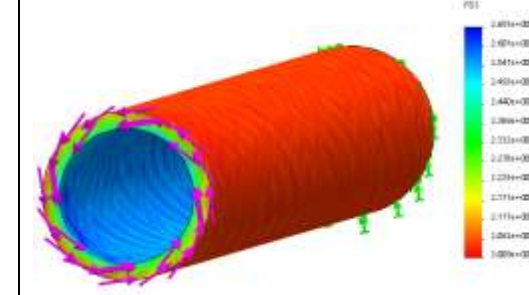
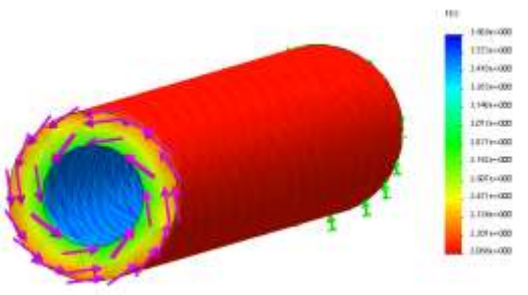
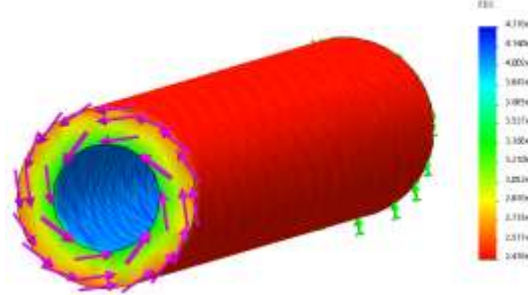
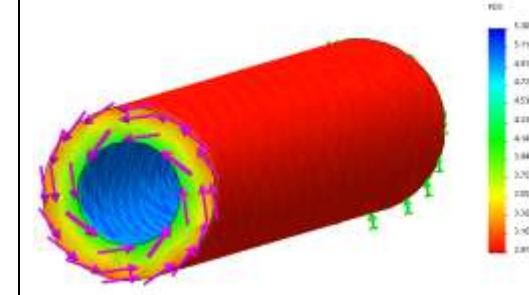
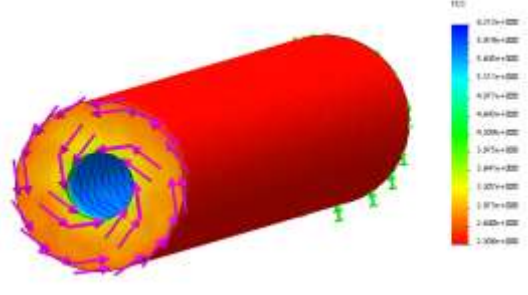
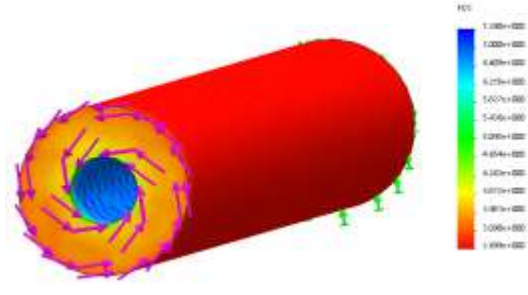
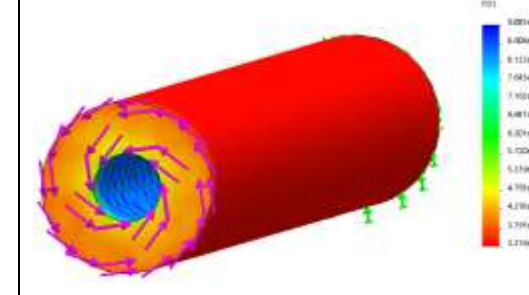
VARIABLES DE DISEÑO	
Diámetro exterior	100 mm – 3000 mm
Diámetro interior	100 mm 250 mm
Brazo de palanca	250 mm – 300 mm
VARIABLES DE DEFINICION DE PROBLEMA	
Material	SAE 1045 SAE 1060 SAE 4340
Fuerza de empuje del cilindro hidráulico	1 000 KN
VARIABLE DE SOLUCION	
Esfuerzo de Von Mises	Por determinar
Deformación total	Por determinar
Factor de Seguridad	Por determinar

En la Tabla 28 se presenta los resultados obtenidos de las simulaciones mediante el Metodo de Elementos Finitos en el software Solidworks para la barra de torsion, en ellos se visualiza el esfuerzo de Von Mises de cada elemento y se indica el factor de seguridad de cada resultado. En la siguiente tabla se puede observar que al aumentar el diámetro exterior y el espesor el factor de seguridad también incrementa permitiéndonos así seleccionar un material que permita que la geometría de la barra no interfiera con los componentes adyacentes.

Tabla 28. Matriz Gráfica Paramétrica para evaluar la variable de solución: Factor de Seguridad. Las variables de diseño parametrizadas son: Material de la barra y el espesor de pared de la barra determinadas por el diámetro exterior y el diámetro interior– Simulación en análisis estático.

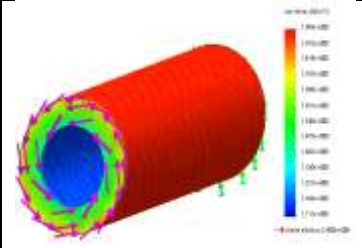
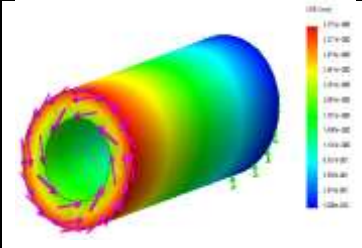
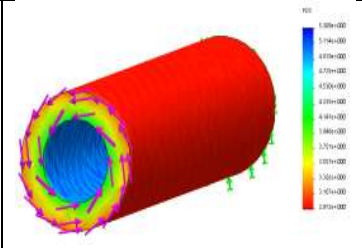
DIAMETRO		MATERIAL		
EXT.	INT.	SAE 1045	SAE 1060	SAE 4340
300	250	 <p>Factor de Seguridad = 2.12</p>	 <p>Factor de Seguridad = 2.48</p>	 <p>Factor de Seguridad = 3.2</p>
300	200	 <p>Factor de Seguridad = 3.32</p>	 <p>Factor de Seguridad = 3.89</p>	 <p>Factor de Seguridad = 4.78</p>
300	150	 <p>Factor de Seguridad = 3.87</p>	 <p>Factor de Seguridad = 4.53</p>	 <p>Factor de Seguridad = 5.57</p>

Continuación de Tabla 28

DIAMETRO		MATERIAL		
EXT.	INT.	SAE 1045	SAE 1060	SAE 4340
250	200	 <p>Factor de Seguridad = 1.4</p>	 <p>Factor de Seguridad = 1.64</p>	 <p>Factor de Seguridad = 2.0</p>
250	150	 <p>Factor de Seguridad = 2.07</p>	 <p>Factor de Seguridad = 2.42</p>	 <p>Factor de Seguridad = 2.97</p>
250	100	 <p>Factor de Seguridad = 2.31</p>	 <p>Factor de Seguridad = 2.7</p>	 <p>Factor de Seguridad = 3.32</p>

Debido a que la barra de torsión garantiza la calidad de plegado manteniendo paralelo el punzón con la matriz, se selecciona un factor de seguridad mayor a 2.5 y que el diámetro exterior sea 250mm debido a al espacio interior de la plegadora. De la tabla 37 se selecciona una barra de diametro exterior 250 mm, diametro Interior 100 mm y material SAE 4340. En efecto las variables de solución se presentan a continuación.

Tabla 29. Variables de solución de Barra de torsión

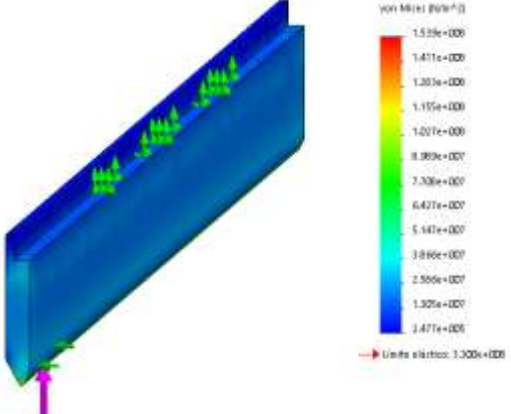
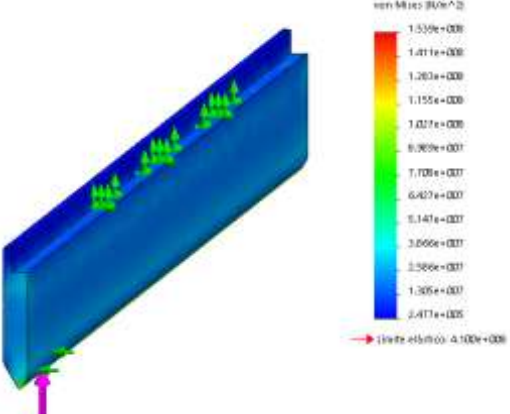
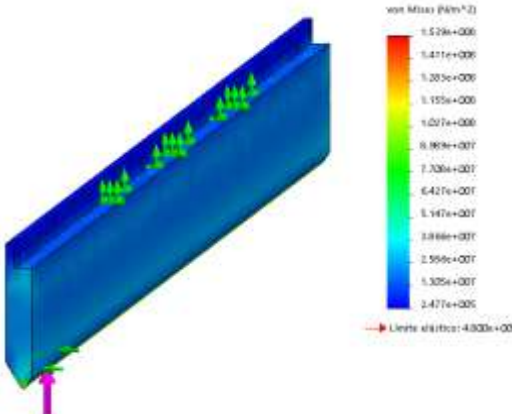
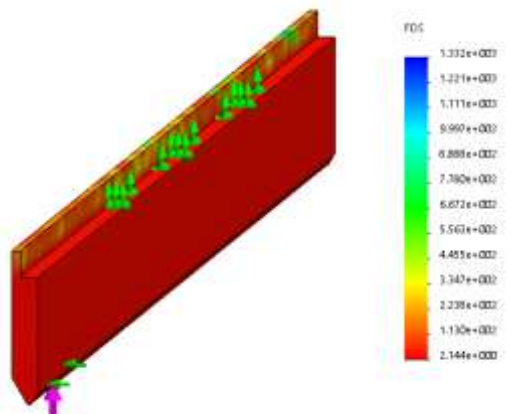
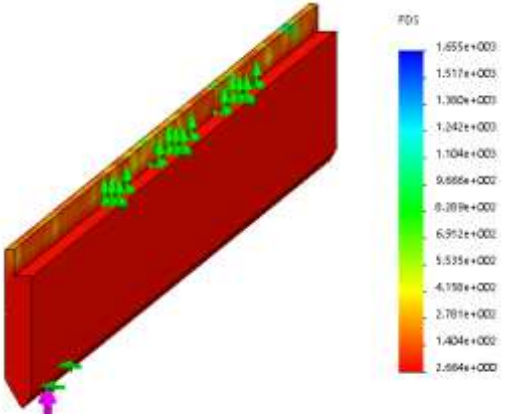
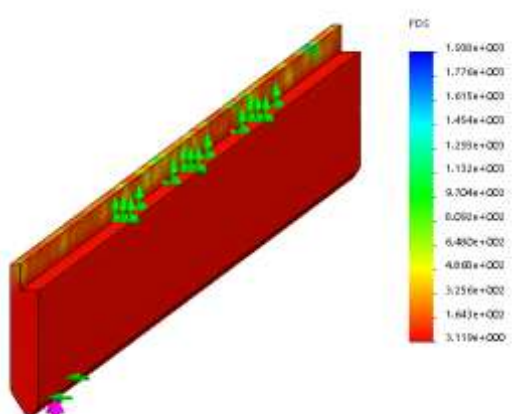
BARRA DE TORSION		
Esfuerzo de Von Mises	Deformacion Total	Factor de Seguridad
198.5 MPa	3 mm	2.97
		

Continuando con el diseño paramétrico los valores de las variables de diseño para el punzon de plegado se indican en la tabla 30 y los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 31 donde se observa que el esfuerzo máximo se ubica en la cuña del punzon y de los resultados mostrados se buscará un material resistente y que evite fallas por desgaste.

Tabla 30. Valores de parametrización - Punzón de plegado

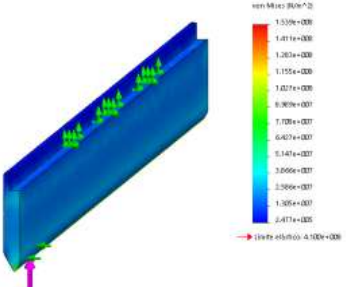
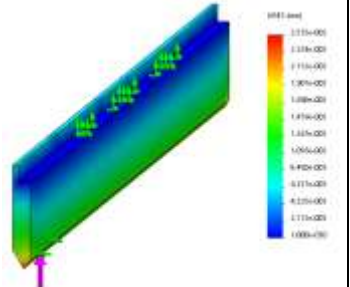
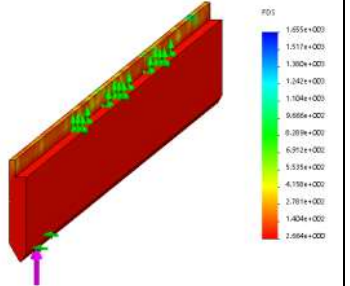
VARIABLES DE DISEÑO	
Espesor del punzón	20 mm – 75 mm
Altura del punzón	150 mm
Ángulo de cuña	5 mm – 100 mm
Radio de contacto	3 – 6mm
VARIABLES DE DEFINICION DE PROBLEMA	
Material	SAE 1020 SAE 1045 SAE 1060
Espesor máximo a plegar	12.7 mm
Longitud de plegado	3000 mm
VARIABLE DE SOLUCION	
Esfuerzo de Von Mises	Por determinar
Deformación total	Por determinar
Factor de Seguridad	Por determinar

Tabla 31. Matriz Gráfica Paramétrica para evaluar las variables de solución: Esfuerzo de Von Mises y Factor de Seguridad. La variable de diseño parametrizada es el Material del Punzón – Simulación en análisis estático.

		MATERIAL		
		SAE 1020	SAE 1045	SAE 1060
VM	 <p>von Mises (Pa/m²)</p> <p>→ Límite elástico: 1.300e+006</p>	 <p>von Mises (Pa/m²)</p> <p>→ Límite elástico: 4.100e+005</p>	 <p>von Mises (Pa/m²)</p> <p>→ Límite elástico: 4.000e+005</p>	
	<p>Esfuerzo de Von Mises = 153 MPa</p> <p>Esfuerzo de Von Mises = 153 MPa</p> <p>Esfuerzo de Von Mises = 153 MPa</p>			
FS	 <p>FOS</p>	 <p>FOS</p>	 <p>FOS</p>	
	<p>Factor de Seguridad = 2.14</p> <p>Factor de Seguridad = 2.66</p> <p>Factor de Seguridad = 3.6</p>			

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. Para garantizar fallas por desgaste la punta debe ser tratada térmicamente. Según los resultados mostrados en la tabla 31 se elige el diseño del punzón con 150 mm de altura y 30 mm de espesor con el fin de obtener un factor de seguridad mayor a 2.5. En consecuencia las variables que estaban por determinar se definen como sigue:

Tabla 32. Variables de solución de Punzon de Plegado

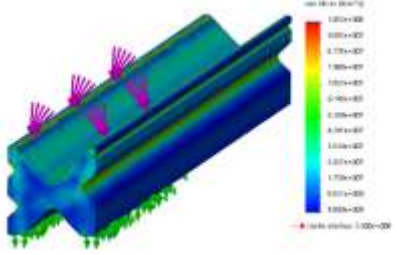
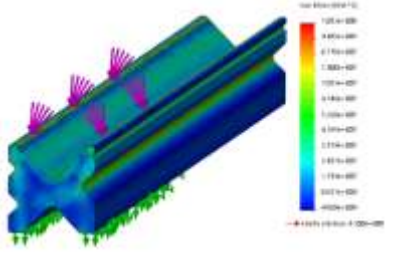
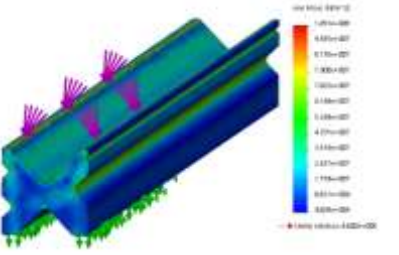
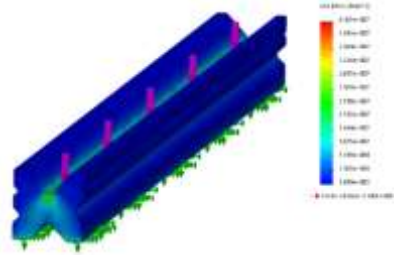
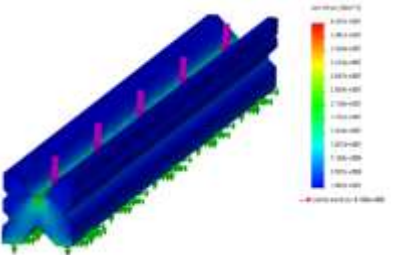
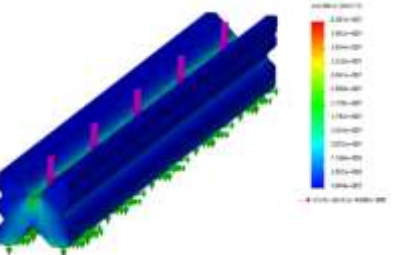
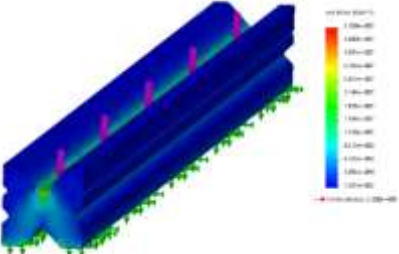
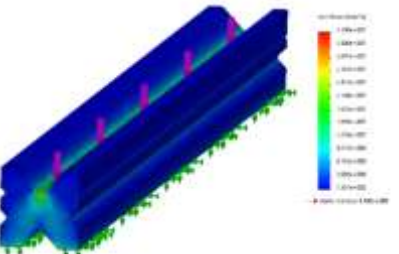
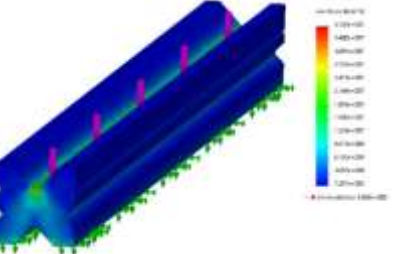
PUNZON DE PLEGADO		
Esfuerzo de Von Mises	Deformacion Total	Factor de Seguridad
153.9 MPa	0.0025 mm	2.66
		

En el diseño paramétrico para la matriz de plegado en la tabla 33 se indican las variables con la que se trabajaron para obtener los resultados mostrados en la la tabla 34 en la que se observa que geoméricamente garantiza un factor de seguridad mínimo de 3.13 para un ancho de 150 mm.

Tabla 33. Valores de parametrización - Matriz de plegado

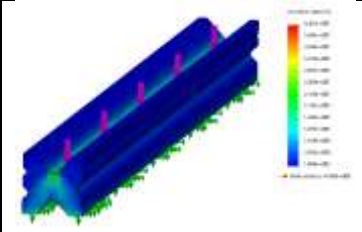
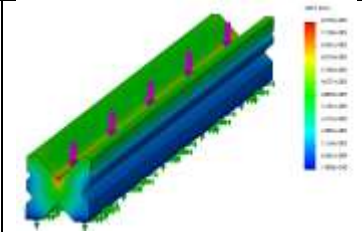
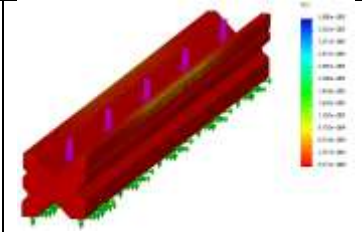
VARIABLES DE DISEÑO	
Abertura de matriz	5 mm – 150 mm
Radio interior	2 mm – 25 mm
Profundidad	5 mm – 100 mm
Ángulo	88°
VARIABLES DE DEFINICION DE PROBLEMA	
Material	SAE 1020, SAE 1045, SAE 1060
Espesor a plegar	2mm – 12.7 mm
Longitud de plegado	3000 mm
VARIABLE DE SOLUCION	
Esfuerzo de Von Mises	Por determinar
Deformación total	Por determinar
Factor de Seguridad	Por determinar

Tabla 34. Matriz Gráfica Paramétrica para evaluar la variable de solución: Factor de Seguridad. La variable de diseño parametrizada es el ancho de la matriz – Simulación en análisis estático.

A (mm)	MATERIAL		
	SAE 1020	SAE 1045	SAE 1060
150	 <p>Factor de Seguridad = 3.13</p>	 <p>Factor de Seguridad = 3.89</p>	 <p>Factor de Seguridad = 4.56</p>
180	 <p>Factor de Seguridad = 7.67</p>	 <p>Factor de Seguridad = 9.53</p>	 <p>Factor de Seguridad = 11.2</p>
200	 <p>Factor de Seguridad = 8.89</p>	 <p>Factor de Seguridad = 11.0</p>	 <p>Factor de Seguridad = 12.9</p>

La matriz de plegado está diseñada para doblar 6 espesores distintos y es por ello que se selecciona un ancho de 180 mm para garantizar la estabilidad de la matriz al momento de plegar. Al igual que el punzon de plegado el material seleccionado es SAE 1045 por tener mayor dureza de Brinell y la superficie de las 6 aberturas deben ser endurecidos térmicamente para evitar desgaste. A continuación se presenta las 3 variables de solución de la matriz de plegado las cuales se indicaron en su respectiva caja negra.

Tabla 35. Variables de solución de Barra de torsión

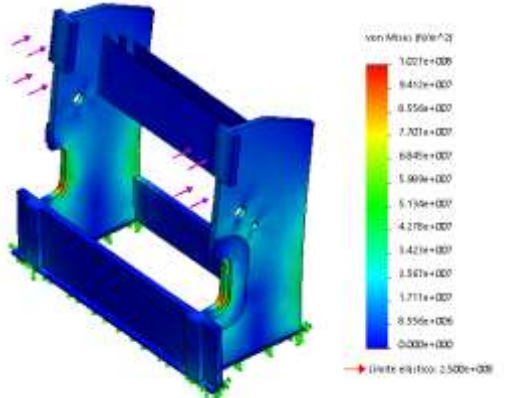
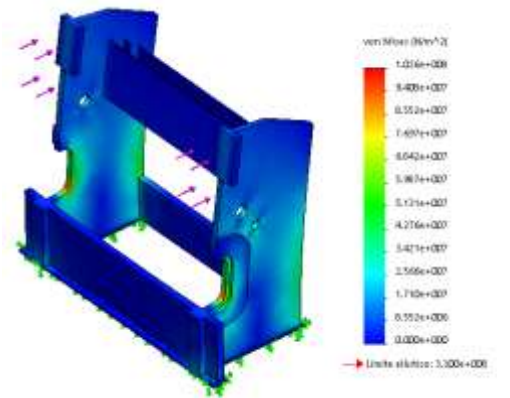
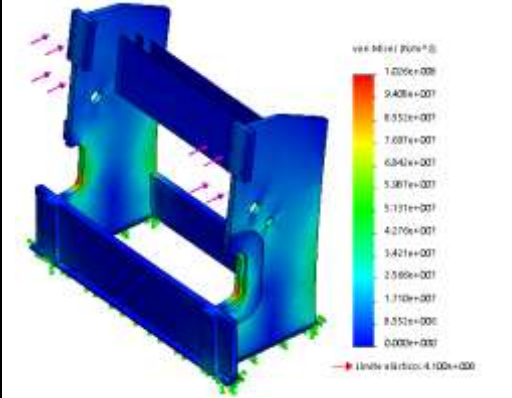
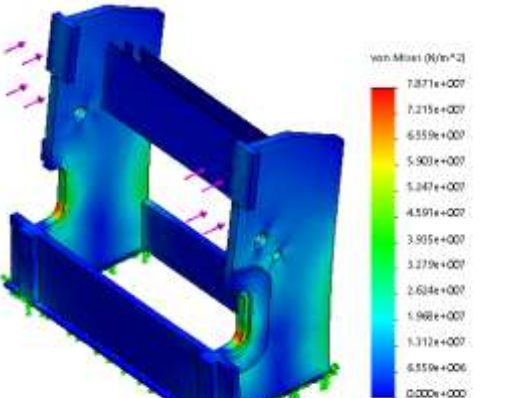
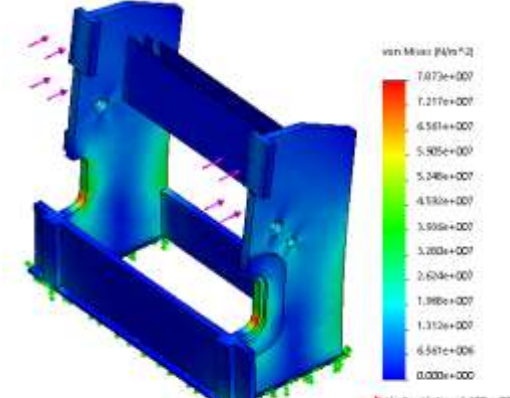
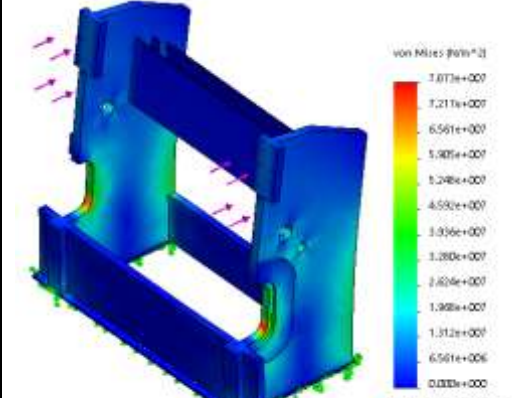
MATRIZ DE PLEGADO		
Esfuerzo de Von Mises	Deformación Total	Factor de Seguridad
43 MPa	0.008 mm	9.53
		

Para la estructura soporte los valores de las variables paramétricas se indican en tabla 36, los cuales permitieron realizar las simulaciones cuyos resultados se observan en la tabla 37 donde se muestra 3 materiales distintos variando el espesor de 75 mm a 100 mm.

Tabla 36. Valores de parametrización - Estructura Soporte

VARIABLES DE DISEÑO	
Espesor	50 mm – 100 mm
Ancho	1200 mm – 1500 mm
Abertura	100 mm – 500 mm
VARIABLES DE DEFINICION DE PROBLEMA	
Material	ASTM A36, SAE 1020, SAE 1045
Fuerza de empuje del cilindro hidráulico	1 000 KN
Diámetro del vástago	165 mm
VARIABLE DE SOLUCION	
Esfuerzo de Von Mises	Por determinar
Deformación total	Por determinar
Factor de Seguridad	Por determinar

Tabla 37. Matriz Gráfica Paramétrica para evaluar la variable de solución: Factor de Seguridad. La variable de diseño parametrizada es el espesor de pared de la estructura soporte – Simulación en análisis estático.

E (mm)	MATERIAL		
	ASTM A36	SAE 1020	SAE 1045
75	 <p>Factor de Seguridad = 2.53</p>	 <p>Factor de Seguridad = 3.3</p>	 <p>Factor de Seguridad = 4.5</p>
100	 <p>Factor de Seguridad = 3.22</p>	 <p>Factor de Seguridad = 4.2</p>	 <p>Factor de Seguridad = 5.2</p>

La estructura soporte permite la estabilidad de la maquina por ello se emplea espesores gruesos para 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 fabricado en acero ASTM A36. En la Tabla 38 se indica las variables de solución del diseño paramétrico de la estructura soporte.

Tabla 38. Variables de solución de la estructura soporte

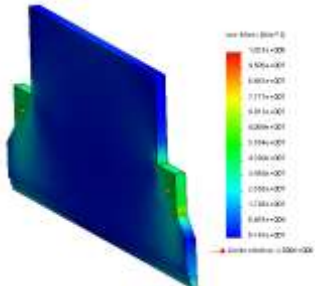
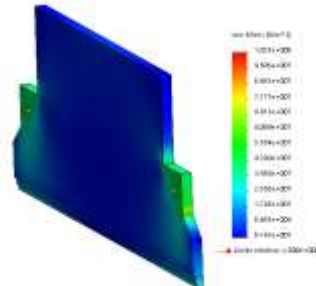
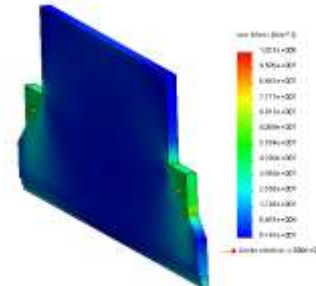
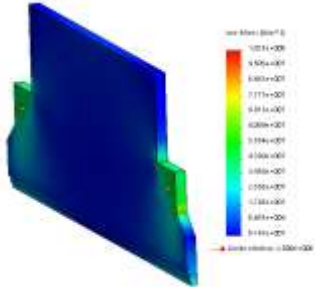
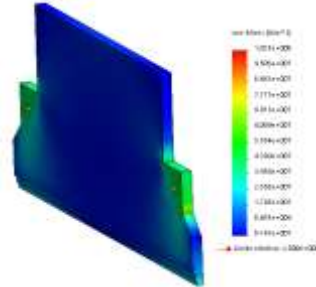
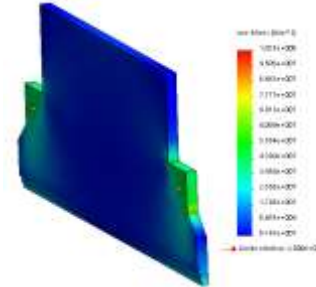
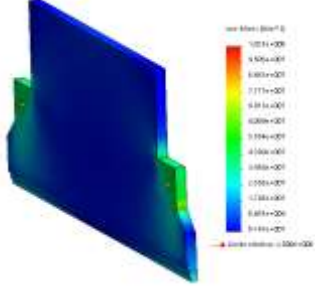
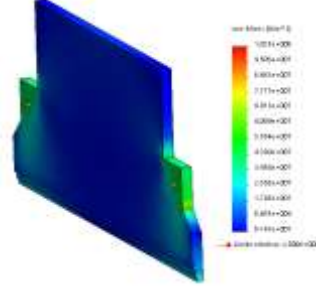
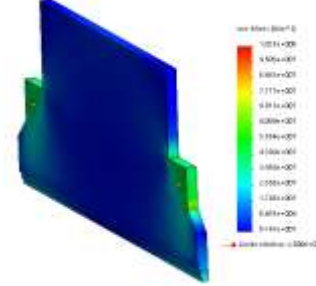
ESRUCTURA SOPORTE		
Esfuerzo de Von Mises	Deformacion Total	Factor de Seguridad
98.7 MPa	0.94 mm	2.53

Según la caja negra las variables paramétricas en la mordaza superior se indican en la tabla 39. Los resultados obtenidos de las simulaciones las encontramos en la tabla 40 en la que se observa que al aumentar el espesor de pared el factor de seguridad aumenta aproximadamente el doble para un mismo material.

Tabla 39. Valores de parametrización - Mordaza superior

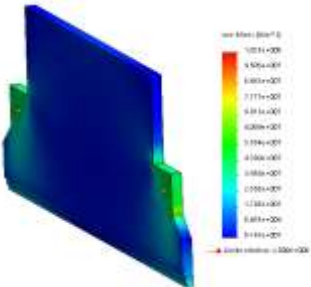
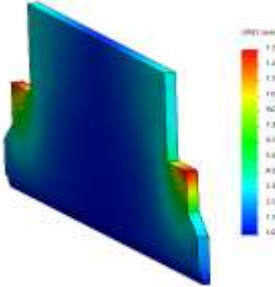
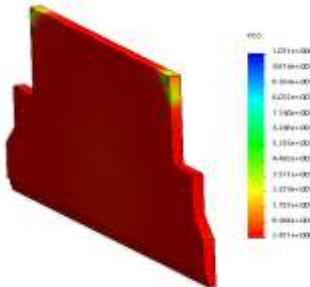
VARIABLES DE DISEÑO	
Espesor	20 mm – 100 mm
Altura	100 mm – 500 mm
VARIABLES DE DEFINICION DE PROBLEMA	
Material	ASTM A36, SAE 1020, SAE 1045
Fuerza de empuje del cilindro hidráulico	1 000 KN
Diámetro del vástago	165 mm
VARIABLE DE SOLUCION	
Esfuerzo de Von Mises	Por determinar
Deformación total	Por determinar
Factor de Seguridad	Por determinar

Tabla 40. Matriz Gráfica Paramétrica para evaluar la variable de solución: Factor de Seguridad. La variable de diseño parametrizada es el espesor de pared de la mordaza superior – Simulación en análisis estático.

E (mm)	MATERIAL		
	ASTM A36	SAE 1020	SAE 1045
50	 <p>Factor de Seguridad = 1.5</p>	 <p>Factor de Seguridad = 1.8</p>	 <p>Factor de Seguridad = 2.2</p>
75	 <p>Factor de Seguridad = 2.41</p>	 <p>Factor de Seguridad = 3.2</p>	 <p>Factor de Seguridad = 4.1</p>
100	 <p>Factor de Seguridad = 4.2</p>	 <p>Factor de Seguridad = 5.2</p>	 <p>Factor de Seguridad = 6.4</p>

Según los resultados obtenidos en el diseño paramétrico por medio de FEM en Solidworks para lograr un factor de seguridad mayor a 2 se puede seleccionar un material de mayor resistencia mecánica y menor espesor. Siendo que para la estructura soporte se seleccionó un acero ASTM A36 y con el fin de uniformizar los materiales también se seleccionó un acero de bajo costo y un espesor de pared de 75 mm. . Las variables de solución definidas se presentan en la tabla 41 donde se observa los resultados obtenidos del análisis estático.

Tabla 41. Variables de solución de Mordaza Superior

MORDAZA SUPERIOR		
Esfuerzo de Von Mises	Deformacion Total	Factor de Seguridad
103.7 MPa	0.135 mm	2.41
		

De esta manera queda definida las dimensiones y los materiales de los principales componentes de la maquina plegadora mediante el diseño paramétrico realizado en Matlab y Solidworks.

3.11. DISEÑO DE SELECCION

Selección de Cilindro Hidráulico

Según la configuración de la maquina se requiere un cilindro hidráulico de alta presión. Según la recomendación de diseño la carrera del bastago no debe exceder los 250 mm de carrera y según el cálculo detallado en el Anexo N° 1 el diámetro mínimo del vástago es de 150mm.

Tabla 42. Características de Cilindros Hidráulicos

Modelo	Diám. Exterior D (mm)	Diám. Interior E (mm)	Diám. vástago F (mm)	Carrera (mm)	Capacidad de aceite (cm ²)		Altura Retraído A (mm)	Altura extendido B (mm)
					Empuje	Tracción		
CLRG-1508	205	159	114	200	3971	1930	346	546
CLRG-15010	205	159	114	250	4964	2412	396	646
CLRG-15012	205	159	114	300	5957	2895	446	746
CLRG-2002	235	184	133	50	1330	635	212	262
CLRG-2006	235	184	133	150	3989	1905	312	462
CLRG-20012	235	184	133	300	7977	3809	462	762
CLRG-2502	275	216	165	100	1832	763	235	285
CLRG-2506	275	216	165	200	5497	2289	335	485
CLRG-25012	275	216	165	300	10993	4578	485	785
CLRG-3002	310	241	197	50	2281	757	322	372

Fuente: Cilindros Enerpac (s.f.)

El cilindro hidráulico seleccionado tiene las siguientes características:

Modelo CLRG – 2506

Carrera = 200 mm

Diámetro exterior de cilindro = 275 mm

Diámetro interior de cilindro = 216 mm

Diámetro de vástago = 165 mm

Selección de la bomba hidráulica

Según el cálculo del sistema hidráulico detallado en el Anexo N°1, la bomba a seleccionar debe cumplir con las siguientes características de operación: Presión nominal de 273 bar, presión máxima de 341 bar y un flujo de 117 litros/min.

Tabla 43. Características de Bombas Hidráulicas

PVX	RATED PRESSURE	PEAK PRESSURE	MINIMUM PRESSURE	
464	4000 lb/in ² (276 bar)	5000 lb/in ² (345 bar)	500 lb/in ² (34 bar)	
580	4000 lb/in ² (276 bar)	5000 lb/in ² (345 bar)	500 lb/in ² (34 bar)	
PVX	DISPLACEMENT	THEORETICAL FLOW @ 1800 rpm	MAXIMUM SPEED @ ATM. PRESSURE	MINIMUM SPEED
464	4.0 in ³ /rev (64 cm ³ /rev)	31.2 gal/min (118.0 l/min)	2800 rpm	600 rpm
580	5.0 in ³ /rev (80 cm ³ /rev)	39.0 gal/min (147.6 l/min)	2800 rpm	600 rpm
PVX	INPUT TORQUE @ RATED PRESSURE	SHAFT SIZE	RECOMMENDED TORQUE LIMIT	
464	2,547 in-lb (286.8 N-m)	SAE C	5,328 in-lb (600.0 N-m)	
580	3,184 in-lb (230.0 N-m)			

Fuente: Bombas HARTMANN (s.f.)

La bomba hidráulica seleccionada tiene las siguientes características:

Modelo PVX 464

Presión Nominal = 276 bar

Presión Máxima = 345 bar

Flujo = 118.0 litros /min

Selección del motor hidráulico

Según las características de la bomba hidráulica y el cálculo de la potencia realizada por los cilindros hidráulicos, detallado en el Anexo N°1, la potencia máxima es de 15.7 KW.

Para determinar la potencia del motor vamos a considerar un Factor de servicio de 1.2 (F.S.), por tanto la Potencia se determina de la siguiente manera:

$$\text{Potencia de motor} = \text{Potencia mecánica} * F.S.$$

$$\text{Potencia de motor} = 15.6 * 1.2 = 18.7 \text{ KW} = 25 \text{ HP}$$

Tabla 44. Datos eléctricos de motores trifásicos de 4 polos

Potencia		Carcasa	Par nominal (kgfm)	Corriente con rotor trabado II/In	Par con rotor trabado TI/Tn	Par máximo Tb/Tn	Momento de Inercia J (kgm²)	Tiempo máximo con rotor trabado (s)		Peso (kg)
KW	HP							Caliente	Frio	
1,5	2	L90S	0,832	7,7	2,8	3,3	0,0066	15	33	23,0
2,2	3	100L	1,23	7,6	3,8	3,7	0,0097	24	53	33,0
3	4	112M	1,66	7,8	2,6	3,5	0,0156	27	59	42,0
3,7	5	112M	2,05	7,6	2,4	3,3	0,0181	23	51	44,0
4,5	6	112M	2,51	7,0	2,4	3	0,0180	17	37	44,0
5,5	7,5	132S	3,04	8,4	2,4	3,6	0,0488	16	35	67,0
7,5	10	132S	4,14	8,2	2,3	3,5	0,0563	13	29	72,0
9,2	12,5	132M/L	5,08	8,5	2,4	3,5	0,0676	9	20	86,0
11	15	160M	6,04	7,6	2,9	3,4	0,1188	15	33	112
15	20	160M	8,23	7,7	3	3,5	0,1471	13	29	133
18,5	25	160L	10,2	7,3	2,7	3,2	0,1813	12	26	148
22	30	180M	12,1	7,2	3	3	0,1919	20	44	176
30	40	200M	16,5	6,6	2,5	2,8	0,3202	22	48	215
37	50	200L	20,3	6,4	2,5	2,7	0,3728	20	44	243
45	60	225S/M	24,6	7,5	2,4	2,8	0,6367	14	31	404
55	75	225S/M	30,1	7,5	2,4	2,8	0,7346	12	26	430
75	100	250S/M	41,0	8,5	3,4	3,6	1,01	12	26	505

Fuente: Motores Weg (s.f.)

El motor eléctrico seleccionado tiene las siguientes características:

Modelo W22-IE3-160L

Potencia Nominal	=	25 HP
RPM	=	1 770
Peso	=	148 Kg
Tensión	=	380 V
Numero de Polos	=	4
Corriente Nominal	=	36.9 A

Selección de Manómetro

Según la configuración de la maquina se empleara un manómetro de pared de alta presión. En la sección 3.9 según la geometría del cilindro hidráulico y la fuerza de plegado la presión máxima del sistema es de 341 bar.

Tabla 45. Datos Generales de Manómetro de Pared



MPG63600	1/4	0-600
MPG10001,6	1/2	0-1,6
MPG10002,5	1/2	0-2,5
MPG10004	1/2	0-4
MPG10006	1/2	0-6
MPG10010	1/2	0-10
MPG10012	1/2	0-12
MPG10016	1/2	0-16
MPG10025	1/2	0-25
MPG10040	1/2	0-40
MPG10060	1/2	0-60
MPG100100	1/2	0-100
MPG100160	1/2	0-160
MPG100250	1/2	0-250
MPG100315	1/2	0-315
MPG100400	1/2	0-400
MPG100600	1/2	0-600

Fuente: Manómetros Nordair (2017)

Según la presión de nuestro sistema, el modelo a seleccionar es:

MPG 100400

Conexión = 1/2 "

Presión Máxima = 400 bar

3.12. ANALISIS ECONOMICO

Inversión total en el proyecto: A continuación se detalla el presupuesto de la fabricación de una maquina plegadora con accionamiento hidráulico.

Tabla 46. Presupuesto – Plegadora Hidráulica

DESCRIPCION	UNID	CANT	PRECIO UNITARIO (\$)	PRECIO TOTAL (\$)
EQUIPOS Y MATERIALES				
MOTOR ELECTRICO DE 25 HP	UND	1.00	7,452.55	7,452.55
BOMBA HIDRAULICA PRESION MAXIMA 345 BAR	UND	1.00	3,380.00	3,380.00
CILINDRO HIDRAULICO ØE 275MM ØI 216MM VASTAGO Ø165MM CARRERA 200MM	UND	2.00	1,100.00	2,200.00
PLANCHA DE ACERO ASTM A36 1500X3000x75 MM	UND	4.00	470.00	1,880.00
PLANCHA DE ACERO AISI 1045 1500X3000x35 MM	UND	2.00	350.00	700.00
BARRA REDONDA DE ACERO SAE 1080 ØE 250MM X ØI 100MM	UND	2.00	380.00	760.00
BARRA CUADRADA DE ACERO AISI 1045 150MM X 150MM	UND	2.00	230.88	461.76
TABLERO DE CONTROL	UND	1.00	90.00	90.00
ELECTROVALVULA HIDRAULICA	UND	2.00	200.00	400.00
ACCESORIOS HIDRAULICOS	JGO	1.00	500.00	500.00
PEDAL DE CONTROL	UND	1.00	30.00	30.00
MANOMETRO	UND	1.00	30.00	30.00
TUBO INOXIDABLE Ø 1/2"	UD	2.00	75.00	150.00
MALLA METALICA Ø1/8" X COCADA 50 MM	M	3.00	5.00	15.00
SERVICIOS Y MANO DE OBRA				
MAQUINADO	DIA	15.00	5.00	75.00
SOLDADURA	KG	10.00	4.50	45.00
MANO DE OBRA	DIA	20.00	40.00	800.00
			TOTAL (\$)	18,969.31

Mediante el listado de materiales y equipos, introducimos los datos en una base de cálculos en Excel para determinar el monto total de la inversión que nos da la suma de \$ 18,969.31

Tabla 47. Beneficio anual bruto obtenido por el uso de la plegadora

BENEFICIOS	\$
INGRESOS POR FABRICACION DE ANGULOS (\$)	15,100.00
INGRESOS POR AHORRO DE SERVICIO EXTERNO (\$)	11,700.00
INGRESO TOTAL (\$)	26,800.00

Del cuadro anterior tenemos el beneficio bruto total de \$ 26,800.00 al año.

ANÁLISIS FINANCIERO

El banco puede prestar el 68.8% de la inversión **Fuente especificada no válida.**, por lo que se tendrá entonces un total de \$18,969.31. Se considera un total de costo de operación y mantenimiento del 3% de la inversión inicial y se construye la siguiente tabla:

Tabla 48. Análisis financiero

AÑO	INVERSION	COSTO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	BENEFICIO ANUAL BRUTO	FLUJO DE FONDOS
0	-18,969.31	-569.08		-19,538.39
1		-569.08	26,800.00	26,230.92
2		-569.08	26,800.00	26,230.92
3		-569.08	26,800.00	26,230.92
4		-569.08	26,800.00	26,230.92
5		-569.08	26,800.00	26,230.92
6		-569.08	26,800.00	26,230.92
7		-569.08	26,800.00	26,230.92
8		-569.08	26,800.00	26,230.92
9		-569.08	26,800.00	26,230.92
10		-569.08	26,800.00	26,230.92

Mediante las funciones financieras del software Excel, obtenemos el flujo de caja del proyecto y también analizamos los indicadores financieros para evaluar la viabilidad económica del proyecto, entonces se tiene:

Tabla 49. Resultados de Análisis económico

INDICADOR	VALOR
VAN	107241.6174
TIR	134%
B/C	6.488764492
VAE	S/ 22,188.41
K0	16%
ROI	1.54

Mediante el análisis financiero se establece un retorno de la inversión en 1.54 años de los 10 años de análisis del proyecto, demostrándose que el proyecto es viable económicamente.

CAPITULO IV

DISCUSIÓN

IV. DISCUSIÓN

- 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 Ángeles (2010) 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. 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 2.4. Una diferencia con el trabajo de Ángeles (2010) 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 ha 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 encontro ninguno que siga una metodología similar como por ejemplo Khairul (2012), Durnes (2010), Espín (2013).

- En la investigación de Castro (2014), 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. 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.

CAPITULO V

CONCLUSIONES

V. 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 maquinas y así desarrollar el diseño conceptual, de configuración y paramétrico. Esto permitio tener un buen punto de referencia inicial para el resto del trabajo.
- Los resultados alcanzados por medio de la interfaz grafica 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.

CAPITULO VI

RECOMENDACIONES

VI. RECOMENDACIONES

- La matriz de plegado solo se diseñó para un ángulo requerido de 90° , para mejorar la funcionalidad de la máquina se puede emplear diversas matrices de plegado en V o redondas para distintos ángulos de plegado.
- Si se desea plegar planchas con mayor resistencia mecánica de 450 MPa se debe recalcular la fuerza máxima de plegado según el espesor de la plancha.
- Para mejorar la precisión del plegado se podría utilizar cilindros hidráulicos con reguladores de carrera, los cuales serían accionados por un motor eléctrico y un eje de transmisión sobre los cilindros.
- Para mejorar la precisión en la línea de plegado se recomienda instalar topes regulables en el interior de la plegadora, accionada por un motor eléctrico y controlado según el desarrollo de la línea neutra de una pieza plegada.
- En la presente investigación no se profundizó sobre el sistema de control semiautomático, el cual permite controlar la profundidad de plegado, ángulo de plegado y tipo de material a plegar.

REFERENCIAS

VII. REFERENCIAS

CUESTA, Eduardo. Conformado de la Plancha por Plegado. Universidad de Oviedo, 2000.

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.

REAL ACADÉMIA ESPAÑOLA DE LA LENGUA. Diccionario de la RAE. RAE, Diccionario Actualizado RAE, 2013.

ESPIN, Claudio; OÑA, José. Diseño e implementación de un sistema de control semiautomático para una plegadora hidráulica vertical con panel operador e interfaz de comunicación para la empresa Carrocería Centauro ubicada en el sector San Gerardo Parroquia 11 de Noviembre "Latacunga". 2013.

EGGERT, Rudy. Engineering design. Pearson/Prentice Hall, 2005.

FLORES, Javier. Diseño de una herramienta: cuchilla para trabajo en frío. 1999.

FLORIT, Antonio. Fundamentos de matricería: corte y punzonado. Grupo Planeta (GBS), 2005.

GROOVER, Mikell. Fundamentos de manufactura moderna: materiales, procesos y sistemas. Pearson Educación, 1997.

GWANGWAVA, Norman; MUGWAGWA, Lameck; NGOMA, S. Design of a Dual Operating Mode Sheet Folding Machine. 2013.

KALPAKJIAN, Serope; SCHMID, Steven R. Manufactura, ingeniería y tecnología. Pearson Educación, 2002.

LOBJOIS, Ch. Transformación de la plancha: trazado, corte, curvado y plegado. Grupo Planeta (GBS), 2004.

MOLERA, Pere. Tratamientos térmicos de los metales. Marcombo, 1991.

PIÑEIRO, María. Metrología: introducción, conceptos e instrumentos. Universidad de Oviedo, 2000.

PLATES, A. Steel. Shapes, and Bars: ASTM A 36. A 36M.

QUISPE, Héctor. Diseño del sistema de transmisión de potencia hidráulica de un alimentador de mineral de 150 HP. 2008.

ROWE, Geoffrey. Conformado de los metales. Urmo, 1972.

SALAZA, Edgar. Capacidad de carga de cilindros oleohidráulicos. Universidad Politécnica de Catalunya, 2006.

TORRES, Javier. Automatización y mejora de una planta plegadora de plancha. 2008.

VÍLCHEZ, Ángeles y ALBERTO, Ronald. Diseño de una máquina plegadora de paneles corrugados para intercambiadores de calor en transformadores. 2012.

YEVES, Emilio. Diseño y desarrollo mecánico de una plegadora industrial. 2017.

ANEXOS

**Anexo N° 1: Entrevista De Necesidades De Una Maquina Plegadora
Hidráulica**

**ENTREVISTA DE NECESIDADES DE UNA MAQUINA PLEGADORA
HIDRAULICA**

ENTREVISTADO

Nombre : _____
Cargo : _____
Profesión : _____
Empresa : _____
Ubicación : _____

ENTREVISTADOR

Nombre : _____
Universidad : _____
Escuela : _____
Tesis : _____

CUESTIONARIO

Pregunta 1: ¿Con que frecuencia necesita plegar planchas?

Pregunta 2: ¿En caso de realizar plegado manual, que dificultades encuentra al momento de realizarlo?

Pregunta 3: ¿Según su opinión, que dificultades presenta el tercerizar los trabajos de plegado?

Pregunta 4: ¿Cuáles son los espesores de plancha más comunes que requiere plegar?

Pregunta 5: ¿Estaría interesado en adquirir una máquina plegadora hidráulica? ¿De qué tipo desearía que sea la máquina? (Ejemplo: manual, semiautomática, automática)

Pregunta 6: ¿Qué características principales desea que tenga la máquina plegadora?

Pregunta 7: ¿Cuál es el espesor máximo de la plancha que desearía plegar?

Pregunta 8: ¿Cuál es la longitud máxima de plancha que desearía plegar?

Pregunta 9: ¿Qué norma conoce para este tipo de máquinas?

Pregunta 10: ¿Qué norma conoce para este tipo de operación de plegado?

Pregunta 11: ¿Cuánto estaría dispuesto a pagar por una maquina plegadora con accionamiento hidráulico?

Pregunta 12: ¿En cuánto tiempo piensa que podría recuperar la inversión de comprar una maquina plegadora?

Anexo N° 2: Respuestas de las 6 entrevistas

ENTREVISTA 01 DE NECESIDADES DE UNA MAQUINA PLEGADORA HIDRAULICA

ENTREVISTADO

Nombre : Rodolfo Morocco Huayta
Cargo : Gerente General
Profesión : Ingeniero Mecánico Electricista
Empresa : Metal Sur del Perú E.I.R.L.
Ubicación : Mza. E7 Lote. 31 Parque Industrial, La Esperanza
Trujillo - La Libertad

ENTREVISTADOR

Nombre : Javier Nicolas Laguna Avila
Universidad : Cesar Vallejo
Escuela : Ingeniería Mecánica Eléctrica
Tesis : 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.

CUESTIONARIO

Pregunta 1: ¿Con que frecuencia necesita plegar planchas?

.....**De 5 a 10 veces al mes**.....

Pregunta 2: ¿En caso de realizar plegado manual, que dificultades encuentra al momento de realizarlo?

..... **Mayor tiempo de plegado y baja calidad de plegado**.....

Pregunta 3: ¿Según su opinión, que dificultades presenta el tercerizar los trabajos de plegado?

..... **Problemas en el tiempo de entrega del producto**.....

Pregunta 4: ¿Cuáles son los espesores de plancha más comunes que requiere plegar?

..... **10 mm**.....

Pregunta 5: ¿Estaría interesado en adquirir una máquina plegadora hidráulica? ¿De qué tipo desearía que sea la máquina? (Ejemplo: manual, semiautomática, automática)

..... **Si, máquina plegadora hidráulica semiautomática**.....

Pregunta 6: ¿Qué características principales desea que tenga la máquina plegadora?

..... **Que tenga tablero de control articulado y pedal**.....

Pregunta 7: ¿Cuál es el espesor máximo de la plancha que desearía plegar?

..... **12.7 mm**.....

Pregunta 8: ¿Cuál es la longitud máxima de plancha que desearía plegar?

..... **3 m**.....

Pregunta 9: ¿Qué norma conoce para este tipo de máquinas?

..... **Desconoce**.....

Pregunta 10: ¿Qué norma conoce para este tipo de operación de plegado?

..... **Desconoce**.....

Pregunta 11: ¿Cuánto estaría dispuesto a pagar por una maquina plegadora con accionamiento hidráulico?

..... **\$ 20 000**.....

Pregunta 12: ¿En cuánto tiempo piensa que podría recuperar la inversión de comprar una maquina plegadora?

..... **1 año**.....

ENTREVISTA 02 DE NECESIDADES DE UNA MAQUINA PLEGADORA HIDRAULICA

ENTREVISTADO

Nombre : Jair Cruz Martinez
Cargo : Gerente Operaciones
Profesión : Ingeniero Mecánico Electricista
Empresa : Metal Sur del Perú E.I.R.L.
Ubicación : Mza. E7 Lote. 31 Parque Industrial, La Esperanza
Trujillo - La Libertad

ENTREVISTADOR

Nombre : Javier Nicolas Laguna Avila
Universidad : Cesar Vallejo
Escuela : Ingeniería Mecánica Eléctrica
Tesis : 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.

CUESTIONARIO

Pregunta 1: ¿Con que frecuencia necesita plegar planchas?

..... **De 10 a 15 veces al mes**.....

Pregunta 2: ¿En caso de realizar plegado manual, que dificultades encuentra al momento de realizarlo?

..... **mala calidad del producto**.....

Pregunta 3: ¿Según su opinión, que dificultades presenta el tercerizar los trabajos de plegado?

.....**Afecta el tiempo de entrega del producto**.....

Pregunta 4: ¿Cuáles son los espesores de plancha más comunes que requiere plegar?

.....**10mm**.....

Pregunta 5: ¿Estaría interesado en adquirir una máquina plegadora hidráulica? ¿De qué tipo desearía que sea la máquina? (Ejemplo: manual, semiautomática, automática)

.....**Si, máquina plegadora hidráulica automática**.....

Pregunta 6: ¿Qué características principales desea que tenga la máquina plegadora?

.....**Que tenga pedal móvil**.....

Pregunta 7: ¿Cuál es el espesor máximo de la plancha que desearía plegar?

.....**25.4 mm**.....

Pregunta 8: ¿Cuál es la longitud máxima de plancha que desearía plegar?

.....**3m**.....

Pregunta 9: ¿Qué norma conoce para este tipo de máquinas?

.....**Desconoce**.....

Pregunta 10: ¿Qué norma conoce para este tipo de operación de plegado?

.....**Desconoce**.....

Pregunta 11: ¿Cuánto estaría dispuesto a pagar por una maquina plegadora con accionamiento hidráulico?

.....**\$ 18000**.....

Pregunta 12: ¿En cuánto tiempo piensa que podría recuperar la inversión de comprar una maquina plegadora?

.....**18 meses**.....

ENTREVISTA 03 DE NECESIDADES DE UNA MAQUINA PLEGADORA HIDRAULICA

ENTREVISTADO

Nombre : Alfredo Sanchez Ipanaque
Cargo : Jefe del departamento de Ingeniería
Profesión : Ingeniero Mecánico
Empresa : Metal Sur del Perú E.I.R.L.
Ubicación : Mza. E7 Lote. 31 Parque Industrial, La Esperanza
Trujillo - La Libertad

ENTREVISTADOR

Nombre : Javier Nicolas Laguna Avila
Universidad : Cesar Vallejo
Escuela : Ingeniería Mecánica Eléctrica
Tesis : 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.

CUESTIONARIO

Pregunta 1: ¿Con que frecuencia necesita plegar planchas?

.....**De 8 a 10 veces al mes**.....

Pregunta 2: ¿En caso de realizar plegado manual, que dificultades encuentra al momento de realizarlo?

.....**mayor tiempo de producción y mala calidad**.....

Pregunta 3: ¿Según su opinión, que dificultades presenta el tercerizar los trabajos de plegado?

.....**afecta los costos y calidad del producto**.....

Pregunta 4: ¿Cuáles son los espesores de plancha más comunes que requiere plegar?

..... **6 mm**.....

Pregunta 5: ¿Estaría interesado en adquirir una máquina plegadora hidráulica? ¿De qué tipo desearía que sea la máquina? (Ejemplo: manual, semiautomática, automática)

.....**Si, máquina plegadora mecánica manual**.....

Pregunta 6: ¿Qué características principales desea que tenga la máquina plegadora?

.....**Que tenga precisión de plegado**.....

Pregunta 7: ¿Cuál es el espesor máximo de la plancha que desearía plegar?

.....**9.5 mm**.....

Pregunta 8: ¿Cuál es la longitud máxima de plancha que desearía plegar?

.....**1.5 m**.....

Pregunta 9: ¿Qué norma conoce para este tipo de máquinas?

.....**Desconoce**.....

Pregunta 10: ¿Qué norma conoce para este tipo de operación de plegado?

.....**Desconoce**.....

Pregunta 11: ¿Cuánto estaría dispuesto a pagar por una maquina plegadora con accionamiento hidráulico?

.....**\$ 20 000**.....

Pregunta 12: ¿En cuánto tiempo piensa que podría recuperar la inversión de comprar una maquina plegadora?

.....**2 años**.....

ENTREVISTA 04 DE NECESIDADES DE UNA MAQUINA PLEGADORA HIDRAULICA

ENTREVISTADO

Nombre : Hanns Chavez Campos
Cargo : Ingeniero de obra
Profesión : Ingeniero Mecánico Electricista
Empresa : Metal Sur del Perú E.I.R.L.
Ubicación : Mza. E7 Lote. 31 Parque Industrial, La Esperanza
Trujillo - La Libertad

ENTREVISTADOR

Nombre : Javier Nicolas Laguna Avila
Universidad : Cesar Vallejo
Escuela : Ingeniería Mecánica Eléctrica
Tesis : 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.

CUESTIONARIO

Pregunta 1: ¿Con que frecuencia necesita plegar planchas?

.....**De 10 a 15 veces al mes**.....

Pregunta 2: ¿En caso de realizar plegado manual, que dificultades encuentra al momento de realizarlo?

.....**se necesita contratar más personal en caso de plegar varias plancha...**

Pregunta 3: ¿Según su opinión, que dificultades presenta el tercerizar los trabajos de plegado?

.....**mala calidad de plegado**.....

Pregunta 4: ¿Cuáles son los espesores de plancha más comunes que requiere plegar?

.....**6 mm**.....

Pregunta 5: ¿Estaría interesado en adquirir una máquina plegadora hidráulica? ¿De qué tipo desearía que sea la máquina? (Ejemplo: manual, semiautomática, automática)

.....**Si, máquina plegadora hidráulica semiautomática**.....

Pregunta 6: ¿Qué características principales desea que tenga la máquina plegadora?

.....**Que tenga tablero de control articulado**.....

Pregunta 7: ¿Cuál es el espesor máximo de la plancha que desearía plegar?

.....**6 mm**.....

Pregunta 8: ¿Cuál es la longitud máxima de plancha que desearía plegar?

.....**3 m**.....

Pregunta 9: ¿Qué norma conoce para este tipo de máquinas?

.....**Desconoce**.....

Pregunta 10: ¿Qué norma conoce para este tipo de operación de plegado?

.....**Desconoce**.....

Pregunta 11: ¿Cuánto estaría dispuesto a pagar por una maquina plegadora con accionamiento hidráulico?

.....**\$ 15000**.....

Pregunta 12: ¿En cuánto tiempo piensa que podría recuperar la inversión de comprar una maquina plegadora?

.....**Desconoce**.....

ENTREVISTA 05 DE NECESIDADES DE UNA MAQUINA PLEGADORA HIDRAULICA

ENTREVISTADO

Nombre : Miguel Angel Rubio Vargas
Cargo : Maestro Calderero
Profesión : Maestro Calderero
Empresa : Metal Sur del Perú E.I.R.L.
Ubicación : Mza. E7 Lote. 31 Parque Industrial, La Esperanza
Trujillo - La Libertad

ENTREVISTADOR

Nombre : Javier Nicolas Laguna Avila
Universidad : Cesar Vallejo
Escuela : Ingeniería Mecánica Eléctrica
Tesis : 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.

CUESTIONARIO

Pregunta 1: ¿Con que frecuencia necesita plegar planchas?

.....**De 5 a 8 veces al mes**.....

Pregunta 2: ¿En caso de realizar plegado manual, que dificultades encuentra al momento de realizarlo?

.....**Plegar planchas gruesas demanda de mayor esfuerzo físico**.....

Pregunta 3: ¿Según su opinión, que dificultades presenta el tercerizar los trabajos de plegado?

.....**mayor tiempo de producción**.....

Pregunta 4: ¿Cuáles son los espesores de plancha más comunes que requiere plegar?

.....**2.4m x 9.5mm**.....

Pregunta 5: ¿Estaría interesado en adquirir una máquina plegadora hidráulica? ¿De qué tipo desearía que sea la máquina? (Ejemplo: manual, semiautomática, automática)

.....**Si, máquina plegadora mecánica manual**.....

Pregunta 6: ¿Qué características principales desea que tenga la máquina plegadora?

.....**Desconoce**.....

Pregunta 7: ¿Cuál es el espesor máximo de la plancha que desearía plegar?

.....**9.5 mm**.....

Pregunta 8: ¿Cuál es la longitud máxima de plancha que desearía plegar?

.....**2.4 m**.....

Pregunta 9: ¿Qué norma conoce para este tipo de máquinas?

.....**Desconoce**.....

Pregunta 10: ¿Qué norma conoce para este tipo de operación de plegado?

.....**Desconoce**.....

Pregunta 11: ¿Cuánto estaría dispuesto a pagar por una maquina plegadora con accionamiento hidráulico?

.....**S/. 25 000**.....

Pregunta 12: ¿En cuánto tiempo piensa que podría recuperar la inversión de comprar una maquina plegadora?

.....**Desconoce**.....

ENTREVISTA 06 DE NECESIDADES DE UNA MAQUINA PLEGADORA HIDRAULICA

ENTREVISTADO

Nombre : Yofre Cipiran Pinillo
Cargo : Responsable del Departamento Eléctrico
Profesión : Electricista
Empresa : Metal Sur del Perú E.I.R.L.
Ubicación : Mza. E7 Lote. 31 Parque Industrial, La Esperanza
Trujillo - La Libertad

ENTREVISTADOR

Nombre : Javier Nicolas Laguna Avila
Universidad : Cesar Vallejo
Escuela : Ingeniería Mecánica Eléctrica
Tesis : 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.

CUESTIONARIO

Pregunta 1: ¿Con que frecuencia necesita plegar planchas?

.....**Desconoce**.....

Pregunta 2: ¿En caso de realizar plegado manual, que dificultades encuentra al momento de realizarlo?

.....**mala calidad de plegado**.....

Pregunta 3: ¿Según su opinión, que dificultades presenta el tercerizar los trabajos de plegado?

.....**Una plegadora es una de las principales maquinas que debería tener una empresa de fabricación de estructuras metálicas**.....

Pregunta 4: ¿Cuáles son los espesores de plancha más comunes que requiere plegar?

.....**1.5m x 6mm**.....

Pregunta 5: ¿Estaría interesado en adquirir una máquina plegadora hidráulica? ¿De qué tipo desearía que sea la máquina? (Ejemplo: manual, semiautomática, automática)

.....**Si, máquina plegadora mecánica manual**.....

Pregunta 6: ¿Qué características principales desea que tenga la máquina plegadora?

.....**Desconoce**.....

Pregunta 7: ¿Cuál es el espesor máximo de la plancha que desearía plegar?

.....**6 mm**.....

Pregunta 8: ¿Cuál es la longitud máxima de plancha que desearía plegar?

.....**1.5 m**.....

Pregunta 9: ¿Qué norma conoce para este tipo de máquinas?

.....**Desconoce**.....

Pregunta 10: ¿Qué norma conoce para este tipo de operación de plegado?

.....**Desconoce**.....

Pregunta 11: ¿Cuánto estaría dispuesto a pagar por una maquina plegadora con accionamiento hidráulico?

.....**S/. 30000**.....

Pregunta 12: ¿En cuánto tiempo piensa que podría recuperar la inversión de comprar una maquina plegadora?

.....**Desconoce**.....

Anexo No. 4: Portada de Norma ISO/TS 13725



norma española

UNE-EN 12622:2011+A1

Diciembre 2013

TÍTULO

Seguridad de las máquinas-herramienta
Prensas plegadoras hidráulicas

Safety of machine tools. Hydraulic press brakes.
Sécurité des machines-outils. Pressez plieuses hydrauliques.

CORRESPONDENCIA

Esta norma es la versión oficial, en español, de la Norma Europea EN 12622:2009+A1:2013.

OBSERVACIONES

Esta norma anula y sustituye a la Norma UNE-EN 12622:2011.

ANTECEDENTES

Esta norma ha sido elaborada por el comité técnico AEN/CTN 15 *Máquinas-herramienta* cuya Secretaría desempeña INVEMA.

Editada e impresa por AENOR
Depósito legal: M. 36258.2013

© AENOR 2013
Reproducción prohibida

LAS OBSERVACIONES A ESTE DOCUMENTO HAN DE DIRIGIRSE A:

AENOR Asociación Española de
Normalización y Certificación

Génova, 6
28004 MADRID-España

info@aenor.es
www.aenor.es

Tel.: 902 102 201
Fac.: 913 104 032

70 Páginas

Anexo No. 6: Portada de Norma UNE-EN 639

norma española

UNE-EN 693

Noviembre 2001

TÍTULO

Máquinas-herramienta
Seguridad
Prensas hidráulicas

Machine tools. Safety. Hydraulic presses.

Machines-outils. Sécurité. Presses hydrauliques.

CORRESPONDENCIA

Esta norma es la versión oficial, en español, de la Norma Europea EN 693 de enero de 2001.

OBSERVACIONES

ANTECEDENTES

Esta norma ha sido elaborada por el comité técnico AEN/CTN 15 *Máquinas-herramienta* cuya Secretaría desempeña INVEMA.

Editada e impresa por AENOR
Depósito legal: M 51176/2001

© AENOR 2001
Reproducción prohibida

LAS OBSERVACIONES A ESTE DOCUMENTO HAN DE DIRIGIRSE A:

AENOR

C Génova, 6
28004 MADRID-España

Asociación Española de
Normalización y Certificación.

Teléfono 91 43 2 60 00
Fax 91 31 0 40 32

55 Páginas

Grupo 33

Anexo N° 3: Cálculo de cargas de diseño

Cálculo de Fuerza máxima de plegado

La empresa Metal Sur del Perú está dedicada en su mayoría al trabajo en acero al carbono pero también realiza trabajos en acero inoxidable. Entonces tomaremos el acero inoxidable como material de análisis para el presente proyecto porque es más resistente que el acero comercial:

Tabla 50. Propiedades Mecánicas del acero inoxidable

Material	Acero inoxidable
Código	AISI 304
Resistencia a la tracción (σ_{ut})	500 MPa
Esfuerzo de fluencia (σ_y)	215 Mpa
Coefficiente de elasticidad (E)	190 000 MPa
Coefficiente de elasticidad (ϵ)	568 Mpa
Densidad (ρ)	7930 Kg/m ³

Se calculó la fuerza máxima de plegado para distintos espesores, según la ecuación 3. Variando la longitud de plegado desde 1m hasta 3m y los espesores desde 3.175mm hasta 12.7mm.

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

Por ejemplo; para una plancha de 12.7mm de espesor y 3m de longitud la fuerza máxima es:

$$F_{max} = \frac{500 * 3 * (12.7)^2}{127}$$

$$F_{max} = 1\ 905\ KN$$

Fuerza de empuje del cilindro hidráulico

Debido a que en nuestro caso tenemos dos cilindros hidráulicos, entonces la fuerza de empuje de cada cilindro es la mitad de la fuerza de plegado.

Reemplazando valores en la ecuación 5 tenemos:

$$F_C = \frac{2\,000\,000}{2}$$

$$F_C = 1\,000\,000\text{ N}$$

Para asumir una presión conforme a la norma DIN 24334 se debe calcular la presión real del sistema para compararla con las presiones que recomienda la norma. El valor del diámetro del cilindro es 216 mm.

Primero calculamos el área interior del cilindro, reemplazando los valores en ecuación 6:

$$A_{IC} = \frac{\pi * 216^2}{4}$$

$$A_{IC} = 36\,643.54\text{ mm}^2$$

Presión en el cilindro hidráulico

Reemplazando en la ecuación 6 para calcular la presión en el cilindro tenemos:

$$P_C = \frac{1\,000\,000\text{ N}}{36\,643.54\text{ mm}^2}$$

$$P_C = 27.29\text{ MPa}$$

Diámetro máximo del vástago

La carga total que soportará el cilindro durante el retorno del vástago es un valor de 5 000Kg, considerando la gravedad y que son dos cilindros cada uno soportará $2\,500 \times 9.81\text{ m/s}^2 = 24\,525\text{ N}$.

Despejando la ecuación 8 tenemos:

$$\frac{\pi x (d_{ic}^2 - d_v^2)}{4} = \frac{F_{rc}}{P}$$

$$d_{v-max} = \sqrt{216^2 - \frac{4 * 24\ 525}{\pi * 27.29}}$$

$$d_{v-max} = 213.33\ mm$$

Por lo tanto nuestro cilindro si cumple con los requerimientos de diseño.

Presión de aceite del sistema y presión de la bomba

De lo anteriormente calculado, por norma seleccionamos la presión del sistema como 27.29 MPa o su equivalente de 273 bar.

Para la selección de la bomba se trabajara con un factor de servicio de 1.25 por tanto la presión máxima de la bomba (PB) será calculada a partir de la ecuación 14:

$$P_B = 273 * 1.25$$

$$P_B = 341\ bar$$

Caudal de aceite para activar los dos cilindros o caudal de la bomba

Considerando máquinas en el mercado asumimos una velocidad de salida del vástago de 50 mm/s, además el caudal máximo requerido queda determinado en el momento en que sale el vástago, según la ecuación 15 tenemos:

$$Q_B = 0.05 * 0.01986$$

$$Q_B = 0.0004965 \frac{m^3}{s} = 59.58\ l/min$$

Debido a que en nuestro caso se tienen dos cilindros entonces el caudal total necesario será de $59.58 * 2 = 119.16\ l/min$. Para la selección debe considerarse una bomba con capacidad mayor a la calculada.

Potencia requerida de la bomba y del motor

La mordaza superior bajara a dos velocidades, primero a una velocidad de 50 mm/s antes de entrar en contacto con la plancha a pelgar y luego entrará a una velocidad de operación de 7 mm/s. Para determinar la potencia

necesaria se considerará la fuerza nominal (F_N) como fuerza de accionamiento y la velocidad de salida del vástago (V_s), por tanto se emplea la ecuación 16:

$$Potencia\ cilindros = 2\ 000\ 000 * 0.007$$

$$Potencia\ cilindros = 14\ 000\ Watts$$

La potencia hallada corresponde a la de los cilindros, la potencia mecánica para accionar la bomba será mayor puesto que el rendimiento del sistema no es del 100%. Considerando un rendimiento mecánico de 90% (η) la potencia mecánica para el accionamiento de la bomba será:

$$Potencia\ mecánica = \frac{Potencia\ cilindro}{\eta}$$

Reemplazando valores:

$$Potencia\ mecánica = \frac{14\ KW}{0.9} = 15.6\ KW$$

**Anexo N° 4: Interfaz Gráfica de Usuario
"GUI_diseno_plegadora_hidraulica.fig"**



Anexo N° 5: Interfaz Gráfica de Usuario “plegadora_hidraulica.fig”

INTERFAZ GRAFICA DE USUARIO - DISEÑO DE UNA PLEGADORA HIDRAULICA

PLEGADORA HIDRAULICA



VER VARIABLES

Material a plegar

Espesor máximo mm

Longitud máxima mm

Ángulo de plegado °

CALCULAR

Abertura de matriz mm

Radio interior mínimo mm

Fuerza máxima KN

Ángulo de matriz °

FUERZA NOMINAL

2 000 KN

MATRIZ DE PLEGADO

Espesor de plancha a plegar



VER VARIABLES

Ángulo de plegado °

CALCULAR

Abertura mm

Radio mm

Profundidad mm

Ángulo °

RESULTADOS

BARRA DE TORSION



VER VARIABLES

Diámetro exterior mm

Brazo de palanca mm

RESULTADOS

PUNZON DE PLEGADO



VER VARIABLES

Altura máxima mm

Espesor mínimo mm

Espesor máximo mm

Ángulo de cuña °

RESULTADOS

MORDAZA SUPERIOR



VER VARIABLES

Espesor mínimo mm

Espesor máximo mm

Diam. Vástago mm

RESULTADOS

ESTRUCTURA SOPORTE



VER VARIABLES

A mm

B mm

H mm

RESULTADOS

Anexo N° 6: Calculo Manual de Diseño de los Elemntos principales de la Plegadora Hidraulica

CALCULO DE FUERZA MÁXIMA

para acero AISI 304: $\sigma_{ut}=500$ MPa, $\sigma_y=220$ MPa, $\epsilon=0.45$ y $E=180000$ MPa.

Espesor máximo=12.7 mm, entonces:
 $t=12.7$ mm, $V=10*t=127$ mm.

Longitud máxima=3000 mm (L)

$$F_{m\acute{a}x} = \frac{\sigma_{ut} \times L \times t^2}{V} = \frac{500 \times 3000 \times 12.7^2}{127} = 1905000 \text{ N}$$

$$F_{m\acute{a}x} = 1\,905 \text{ KN}$$

Se trabaja con una fuerza nominal de: $F_N = 2000$ KN

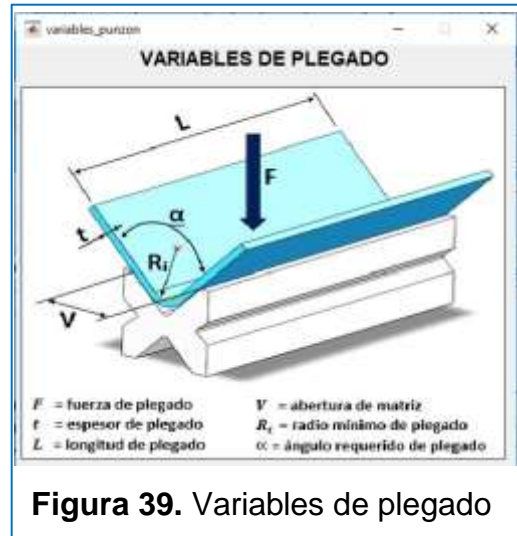


Figura 39. Variables de plegado

RADIO INTERIOR MINIMO (Ri)

$$R_i = \frac{t}{2} \left(\frac{1}{\epsilon} - 1 \right)$$

$$R_i = \frac{12.7}{2} \left(\frac{1}{0.45} - 1 \right)$$

$$R_i = 7.76 \text{ mm}$$

ANGULO DE MATRIZ DE PLEGADO

α =Angulo requerido

α' =Angulo de matriz

para $\alpha=90^\circ$:

$$\alpha' = \alpha \left[4x \left(\frac{R_i x \sigma_y}{E x t} \right)^3 - 3x \left(\frac{R_i x \sigma_y}{E x t} \right) + 1 \right]$$

$$\alpha' = 90 \left[4x \left(\frac{7.76 \times 220}{180000 \times 12.7} \right)^3 - 3x \left(\frac{7.76 \times 220}{180000 \times 12.7} \right) + 1 \right]$$

$$\alpha' = 88^\circ$$

MATRIZ DE PLEGADO

t (mm)	V (mm)
0.5 - 2.5	6 * t
3 - 8	8 * t
9 - 12	10 * t
> 12	12 * t

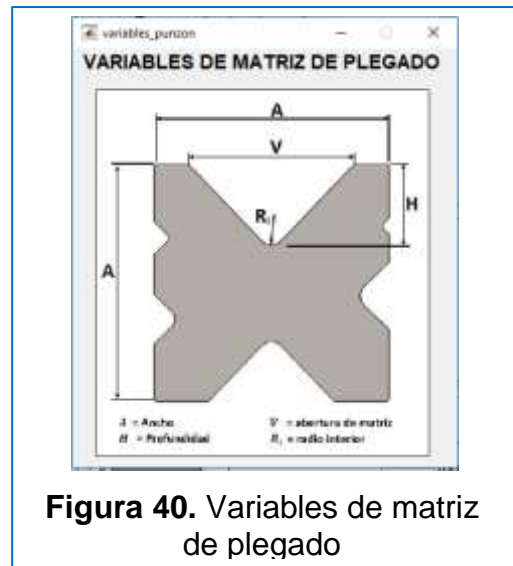
V = Abertura(mm)

Ri = Radio Interior (mm)

α' = Angulo de Matriz (°)

H = Profundidad (mm)

A = Ancho (mm)



Espesor	Abertura de Matriz	Radio Interior	Profundidad
t ₁ = 2 mm	V ₁ = 12 mm	R ₁ = 3 mm	H ₁ = 5 mm
t ₂ = 1/8" = 3.175 mm	V ₂ = 25.4 mm	R ₂ = 5 mm	H ₂ = 11 mm
t ₃ = 3/6" = 4.7625 mm	V ₃ = 38.1 mm	R ₃ = 8 mm	H ₃ = 16 mm
t ₄ = 1/4" = 6.35 mm	V ₄ = 50.8 mm	R ₄ = 10 mm	H ₄ = 22 mm
t ₅ = 3/8" = 9.525 mm	V ₅ = 95.25 mm	R ₅ = 15 mm	H ₅ = 43 mm
t ₆ = 1/2" = 12.7 mm	V ₆ = 127 mm	R ₆ = 20 mm	H ₆ = 57 mm

$$M_{\text{máx}} = \frac{F_N * H_6}{2 * 6_S 44^\circ} = \frac{2000000 * 57}{2 * 0.719} = 84.92 * 10^6 \text{ Nmm}$$

$$I = \frac{1}{12} * L * T = \frac{1}{12} * 3000 * (50)^3 = 31.25 * 10^6 \text{ mm}^4$$

T = Distancia entre Ranuras

$$c = \frac{T}{2} = \frac{50}{2} = 25 \text{ mm}$$

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{(84.92 * 10^6) * 25}{31.25 * 10^6} = 67.2 \text{ MPa}$$

SAE 1045

$$\sigma_y = 410 \text{ MPa}$$

Factor de Seguridad

$$N = \frac{\sigma_y}{\sigma_{\text{máx}}} = \frac{410}{61.97} = 6.03$$

$$A = H_6 + H_5 + T = 57 + 43 + 50 = 150 \text{ mm}$$

PUNZON DE PLEGADO

$L =$ Longitud de Punzon = 3000 mm

$F_N = 2000$ KN

$E =$ Modulo de Young = 20000 MPa

$\alpha = 88^\circ$ $\beta = 180 - 88 = 92^\circ$

$A = L * t = 3000 t$

$I = \frac{1}{12} * L * t^3 = 250 t^3$

$K =$ Factor de Pandeo = 0.7

$$\sigma_{\max} = \left[\frac{2}{3000t} \right] * 10^6$$

$$R = \frac{t}{2 * \text{sen} \left(\frac{\beta}{2} \right)} = \frac{t}{2 \text{sen} \left(\frac{92}{2} \right)} = 1.438 t$$

Asumiendo para un $t = 4$ $R = 3$ mm

$$\sigma_{\max} = \frac{2 * 10^6}{3000 (4)} = 166.67 \text{ MPa}$$

$$N = \frac{410}{166.67} = 2.46$$

Para un acero SAE 1045

$\sigma_y = 410$ MPa

$$H = \sqrt{\frac{\pi^2 * E * I}{K * F_N}} = \sqrt{\frac{\pi^2 * 200000 * 250 (4^3)}{0.7 (2000000)}} = 200 \text{ mm}$$

MORDAZA SUPERIOR

$F_C =$ Fuerza de Cilindro

$$F_C = \frac{F_N}{2} = \frac{2000 \text{ KN}}{2} = 1000 \text{ KN}$$

Área Aproximada

$A = D * t = 114 * t$

Según cilindro seleccionado el $D_{\text{vástago}} = 114$ mm

Para un espeso de $t = 75$ mm

Material ASTMA36: $\sigma_y = 250$ MPa

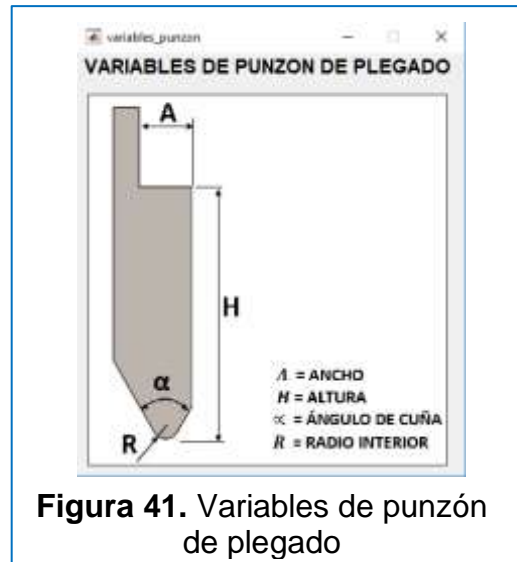


Figura 41. Variables de punzón de plegado

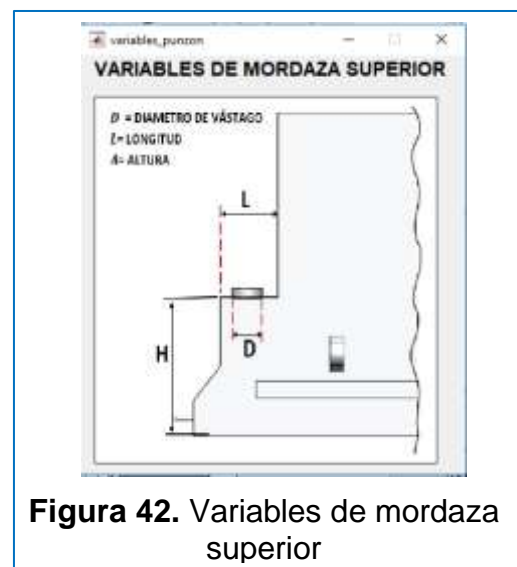


Figura 42. Variables de mordaza superior

$$\sigma_{max} = 1000 * \frac{F_c}{A} = \frac{10^6}{114 * t} = \frac{10^6}{114 * 75} = 116.96 \text{ MPa}$$

$$N = \frac{250}{116.96} = 2.14$$

BARRA DE TORSION

$e = \text{espesor} = (D_2 - D_1)/2$

$F_c = 1000 \text{ kn}$

$D_2 = 250 \text{ mm}$

$d = 350 \text{ mm}$

$D_1 = 150 \text{ mm}$

$$T = F_c * d = 1000 * 350 * 10^3 = 350\,000 * 10^3 \text{ Nmm}$$

$$e = \frac{250 - 100}{2} = 50 \text{ mm}$$

$$J = \frac{\pi}{32} * (D_2^4 - D_1^4) = \frac{\pi}{32} (250^4 - 150^4) = * 10^6 \text{ mm}^4$$

$$T = F_c * d = 1000 * 350 * 10^3 = 350\,000 * 10^3 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{T * D_2}{J} = \frac{350 * 10^6 + 250}{333.79 * 10^6} = 262.7 \text{ MPa}$$

Para un material SAE 4340 $\sigma_y = 590 \text{ MPa}$

$$N = \frac{\sigma_y}{\sigma_{m\acute{a}x}} = \frac{590}{262.7} = 2.2$$

ESTRUCTURA SOPORTE

$$F_c = 10^6 \text{ KN}$$

Asumimos

$$A = 400$$

$$B = 1200$$

$$H = 900$$

$$C = B - A = 1200 - 400 = 800$$

$$M = F_c * A = 10^6 * 400 = 400 * 10^6 \text{ Nmm}$$

$$I = \frac{1}{12} t c^3 = \frac{1}{12} (t)(800^3) = 42.7$$

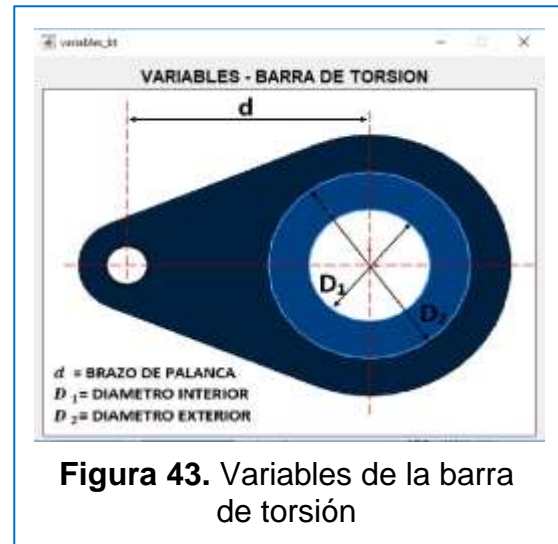


Figura 43. Variables de la barra de torsión



Figura 44. Variables de la barra de torsión

$$y = \frac{c}{2} = \frac{800}{2} = 400$$

Asumimos:

$$t = 75 \text{ mm}$$

$$\sigma_y = 250 \text{ MPa}$$

ASTM A36

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{400 * 10^6 * 400}{42.7 (t) * 10^6} = \frac{3747}{75} = 49.96$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{3747}{t} [\text{MPa}]$$

$$N = \frac{250}{49.96} = 5$$

$$\sigma = \frac{F_c}{D * t}$$

$$t_{min} = \frac{F_c}{\sigma_y * D} = \frac{10^6}{250 * 102}$$

Asumimos

$$D = 102 \text{ mm} \approx 4''$$

$$N = 2$$

$$\sigma_y = 125 \text{ MPa}$$

$$t = \frac{10^6}{125 * 102} = 78 \text{ mm}$$

Anexo N° 7: Programa Matlab “plegadora_hidraulica.m”

```
function varargout = plegadora_hidraulica(varargin)

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',   gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @plegadora_hidraulica_OpeningFcn,
                  ...
                  'gui_OutputFcn',  @plegadora_hidraulica_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',   [] , ...
                  'gui_Callback',    []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

% set(handles.figure1,'resize','on');

% --- Executes just before plegadora_hidraulica is made visible.
function plegadora_hidraulica_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles,
varargin)
%-----CENTRAR GUI EN PANTALLA-----
movegui(hObject,'center')

%----- Leer imagenes-----
esquema1=imread('barra_torsion.jpg');
esquema2=imread('punzon_pl.jpg');
esquema3=imread('pleg_ucv.jpg');
esquema4=imread('matriz_pl.jpg');
esquema5=imread('estructura_sop.jpg');
esquema6=imread('mordaza_sup.jpg');

% -----Graficar imagen-----
image(esquema1,'Parent',handles.axes1)
image(esquema2,'Parent',handles.axes2)
image(esquema3,'Parent',handles.axes3)
image(esquema4,'Parent',handles.axes4)
image(esquema5,'Parent',handles.axes7)
image(esquema6,'Parent',handles.axes5)

%----- Quitar ejes de el axes de graficaciion-----
set(handles.axes1,'XTick',[],'YTick',[])
set(handles.axes2,'XTick',[],'YTick',[])
set(handles.axes3,'XTick',[],'YTick',[])
set(handles.axes4,'XTick',[],'YTick',[])
set(handles.axes5,'XTick',[],'YTick',[])
set(handles.axes7,'XTick',[],'YTick',[])
```



```

% Choose default command line output for plegadora_hidraulica
handles.output = hObject;

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = plegadora_hidraulica_OutputFcn(hObject, eventdata,
handles)

varargout{1} = handles.output;

function edit1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit1 (see GCBO)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit3_Callback(hObject, eventdata, handles)
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit3_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit4_Callback(hObject, eventdata, handles)
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit4_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit5_Callback(hObject, eventdata, handles)
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit5_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit9_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit9 (see GCBO)
function edit9_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit9 (see GCBO)

```

```

% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit8_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit8 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit8 as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit8 as a
double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit8_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit8 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit7_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit7 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit7 as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit7 as a
double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit7_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit7 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.

```

```

if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit6_Callback(hObject, eventdata, handles)
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit6_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

%%%%%%%%%                CALCULO PRINCIPAL - PLEGADO                %%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%          VER VARIABLES DE BARRA DE TORSION          %%%%%%%%%%%%%%
% --- Executes on button press in pushbutton2.
function pushbutton2_Callback(hObject, eventdata, handles)
variables_bt;

%%%%%%%%%%%%%          RESULTADOS DE BARRA DE TORSION          %%%%%%%%%%%%%%
% --- Executes on button press in pushbutton1.
function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
%PARAMETROS DE ENRADA
%frazo de palanca
d=str2double(get(handles.edit5,'String'));
    global dex
    %diametro exterior
dex=str2double(get(handles.edit1,'String'));
global esp

%ESPESOR DE BARRA
esp1=1;
esp2=(dex/2);
esp=esp1:esp2;
%DIAMTERO INTERIOR
    din=dex-(2*esp);

%%%%%%%%%%%%%
contents = cellstr(get(handles.popupmenu5,'String'));
F_m=get(handles.popupmenu5,'Value');

switch F_m
    case 1

        case 2
            Fmax=1000;
        case 3
            Fmax=1500;
        case 4
            Fmax=2000;
        case 5
            Fmax=2500;
        otherwise

end

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
Fp=Fmax;
Fc=1000*Fp/2;
T=Fc*d;

J=((pi/32)*((dex^4)-(din.^4)));

global Omax
Omax=T*dex./J; %MPa

resultados_bt;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% VER VARIABLES DE PUNZON %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% --- Executes on button press in pushbutton4.
function pushbutton4_Callback(hObject, eventdata, handles)
variables_punzon
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% RESULTADOS DE PUNZON %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% --- Executes on button press in pushbutton3.
function pushbutton3_Callback(hObject, eventdata, handles)
%PARAMETROS DE ENTRADA
%altura maxima (mm)
global Hmax
Hmax=str2double(get(handles.edit6,'String'));
%espesor minimo (mm)
es_min=str2double(get(handles.edit24,'String'));
%espesor maximo (mm)
es_max=str2double(get(handles.edit25,'String'));
%angulo de cui:¼a (i:¼)
an_pz=str2double(get(handles.edit7,'String'));
global Fn_pl
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
contents = cellstr(get(handles.popupmenu5,'String'));
F_m=get(handles.popupmenu5,'Value');

switch F_m
    case 1

        case 2
            Fmax=1000;
        case 3
            Fmax=1500;
        case 4
            Fmax=2000;
        case 5
            Fmax=2500;
        otherwise

    end

%FUERZA NOMINAL DE PLEGADO
Fn_pl=Fmax;

global L_pl
%LONGITUD MAXIMO DE PLEGADO
L_pl=str2double(get(handles.edit16,'String'));

```

```

E=200000; %MPa
b=180-an_pz;
t=0:es_max;

A=t.*L_pl; %mm2
I=(1/12)*L_pl*(t.^3); %mm4
K=0.7;

global Omax_pz
Omax_pz=1000*Fn_pl./A; %MPa

global H_pz
H_pz=(((pi^2)*E*I)/((K^2)*Fn_pl*1000)).^(1/2));

global R_pz
R_pz=(t/(2*sind(b/2)));
resultados_punzon

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% --- Executes on selection change in popupmenu2.
function popupmenu2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function popupmenu2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit13_Callback(hObject, eventdata, handles)
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit13_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to edit13 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit14_Callback(hObject, eventdata, handles)

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit14_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit10_Callback(hObject, eventdata, handles)
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit10_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');

```

```

end

function edit11_Callback(hObject, eventdata, handles)
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit11_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit12_Callback(hObject, eventdata, handles)
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit12_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit15_Callback(hObject, eventdata, handles)
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit15_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit16_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit16_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
% --- Executes on button press in pushbutton5.
function pushbutton5_Callback(hObject, eventdata, handles)
variables_pleg_ucv

%:.....
%
%          CALCULO DE PELGADO
% --- Executes on button press in pushbutton6.
function pushbutton6_Callback(hObject, eventdata, handles)
contents = cellstr(get(handles.popupmenu2,'String'));
pl_ucv=get(handles.popupmenu2,'Value');

switch pl_ucv
    case 1

        case 2
            Oy_pl=250;
            Out_pl=400;
            e_pl=0.2;
            E_pl=200000;
            den_pl=7850;
        case 3
            Oy_pl=215;
            Out_pl=500;
            e_pl=0.45;
            E_pl=180000;

```

```

        den=7930;
    case 4
        Oy_pl=110;
        Out_pl=150;
        e_pl=0.16;
        E_pl=70000;
        den_pl=2700;
    otherwise
        set(handles.edit20,'String','Material Sin Datos');
    end

%CALCULO DE ABERTURA "V"
t_pl = str2double(get(handles.edit39,'String'));

if 0<t_pl && t_pl<=2.5
    V=6*t_pl;
elseif 2.5<t_pl && t_pl<=8
    V=8*t_pl;
elseif 8<t_pl && t_pl<=12.7
    V=10*t_pl;
elseif 12.7<t_pl
    V=12*t_pl;
else
    set(handles.edit18,'String',ERROR);
end

set(handles.edit18,'String',V);

%-----
%CALCULO DE RADIO INTERIOR MINIMO
Ri_pl=0.5*t_pl*((1/(e_pl))-1);

set(handles.edit19,'String',Ri_pl)

Lmax = str2double(get(handles.edit16,'String'));
%CALCULO DE FUERZA DE PLEGADO
Fmax=((Out_pl*Lmax*(t_pl^2))/(1000*V));
% F=((4*Mmax)/V);
set(handles.edit20,'String',Fmax)

% CALCULO DE ANGULO REAL DE PLEGADO
%angulo requerido
anf=str2double(get(handles.edit51,'String'));

RRd=((4*((Ri_pl*Oy_pl/(E_pl*t_pl))^3)-(3*(Ri_pl*Oy_pl/(E_pl*t_pl))))+1);
%angulo de matriz de plegado
ani=(anf*RRd*0.98);
set(handles.edit52,'String',round(ani))
function edit17_Callback(hObject, eventdata, handles)
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit17_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
end

```

```

function edit18_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit18_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit19_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit19_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit20_Callback(hObject, eventdata, handles)
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit20_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function edit21_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit21_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
%:.....
%          CALULO DE MATRIZ DE PLEGADO
% --- Executes on button press in pushbutton8.
function pushbutton8_Callback(hObject, eventdata, handles)

clc
contents = cellstr(get(handles.popupmenu2,'String'));
m_ucv=get(handles.popupmenu2,'Value');

switch m_ucv
    case 1

        case 2
            Oy_pl=250;
            Out_pl=400;
            e_pl=0.2;
            E_pl=200000;

        case 3
            Oy_pl=215;
            Out_pl=500;
            e_pl=0.45;
            E_pl=180000;

        case 4
            Oy_pl=110;

```



```

        Out_pl=150;
        e_pl=0.16;
        E_pl=70000;

        otherwise
            set(handles.edit20,'String','Material Sin Datos');
    end

%:.....
contents = cellstr(get(handles.popupmenu3,'String'));
t_plancha=get(handles.popupmenu3,'Value');

switch t_plancha
    case 1

        case 2
            t=2;
        case 3
            t=3.175;
        case 4
            t=4.7625;
        case 5
            t=6.35;
        case 6
            t=9.525;
        case 7
            t=12.7;

        otherwise

    end

%CALCULO DE ABERTURA "v"

if 0<t && t<=2.5
    VM=6*t;

elseif 2.5<t && t<=8
    VM=8*t;

elseif 8<t && t<=12.7
    VM=10*t;

elseif 12.7<t
    VM=12*t;

else
    set(handles.edit28,'String','ERROR');
end

set(handles.edit28,'String',VM);

%CALCULO DE RADIO INTERIOR MINIMO
Rin=0.5*t*((1/(e_pl))-1);

%RADIO INTERIOR DE MATRIZ
RM=Rin+t;

```

```

set(handles.edit27,'String',round(RM));

%angulo requerido
anf=str2double(get(handles.edit17,'String'));

RRd=((4*((Rin*Oy_pl/(E_pl*t))^3)-(3*(Rin*Oy_pl/(E_pl*t)))+1);
%angulo de matriz de plegado
ani=(anf*RRd*0.98);
set(handles.edit21,'String',round(ani))

%PROFUNDIDAD

b=180-ani;

c1=(RM*cosd(ani/2));

m1=VM/2;
h1=(m1/sind(ani/2))*sind(b/2);
m2=(m1-c1);

h2=(m2*h1)/m1;
n=(RM*sind(ani/2));
PM=h2+RM-n;
set(handles.edit26,'String',round(PM))
function edit23_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit23_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function edit22_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit22_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
white background on Windows.
%     See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
% --- Executes on button press in pushbutton7.
function pushbutton7_Callback(hObject, eventdata, handles)
variables_matriz

function edit24_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit24 (see GCBO)
function edit24_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit24 (see GCBO)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit25_Callback(hObject, eventdata, handles)

function edit25_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function edit26_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit26_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit27_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit27_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit28_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit28_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function popupmenu3_Callback(hObject, eventdata, handles)
function popupmenu3_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function pushbutton9_Callback(hObject, eventdata, handles)
resultados_matriz
function edit33_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit33_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit32_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit32_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function pushbutton12_Callback(hObject, eventdata, handles)
contents = cellstr(get(handles.popupmenu5,'String'));
F_m=get(handles.popupmenu5,'Value');
switch F_m
    case 1

    case 2
        Fmax=1000;
    case 3
        Fmax=1500;
    case 4
        Fmax=2000;
    case 5
        Fmax=2500;
    otherwise
end
end

```

```

Fc=Fmax/2;
t=0:200;
global tmin_mor
tmin_mor=str2double(get(handles.edit42,'String'));
global tmax_mor
tmax_mor=str2double(get(handles.edit43,'String'));

Diam=str2double(get(handles.edit44,'String'));
A=Diam.*t;

global Omax_mr
%Esfuerzo maximo en mordaza
Omax_mr=1000*Fc./A;

resultados_mordaza;
% --- Executes on selection change in popupmenu4.
function popupmenu4_Callback(hObject, eventdata, handles)

function popupmenu4_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit31_Callback(hObject, eventdata, handles)
str2double(get(hObject,'String'))
returns contents of edit31 as a double

function edit31_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function edit30_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit30_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function edit29_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit29_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function pushbutton11_Callback(hObject, eventdata, handles)
variables_mordaza_sup
function pushbutton10_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit37_Callback(hObject, eventdata, handles)

function edit37_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function edit36_Callback(hObject, eventdata, handles)
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit36_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function pushbutton16_Callback(hObject, eventdata, handles)
variables_estructura_sop
function edit35_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit35_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function pushbutton15_Callback(hObject, eventdata, handles)
contents = cellstr(get(handles.popupmenu5,'String'));
F_m=get(handles.popupmenu5,'Value');

switch F_m
    case 1

        case 2
            Fmax=1000;
        case 3
            Fmax=1500;
        case 4
            Fmax=2000;
        case 5
            Fmax=2500;
        otherwise

    end

Fc=1000*Fmax/2;

t=0:100;
LA=str2double(get(handles.edit35,'String'));
LB=str2double(get(handles.edit37,'String'));

AB=LB-LA;
Mmax=Fc*LA;
c=AB/2;

I=(1/12)*(AB^3).*t;

global Omax_sop
Omax_sop=Mmax*c./I;

resultados_estructura_sop
function edit38_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit38_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function pushbutton14_Callback(hObject, eventdata, handles)
function pushbutton13_Callback(hObject, eventdata, handles)

function edit39_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit39_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit42_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit42_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function edit43_Callback(hObject, eventdata, handles)

function edit43_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit44_Callback(hObject, eventdata, handles)
.
function edit44_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function edit45_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit45_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function edit47_Callback(hObject, eventdata, handles)
.
function edit47_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function edit48_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit48_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit48 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function edit50_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit50_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function edit51_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit51_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function edit52_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit52_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit53_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit53_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function edit54_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit54_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function edit55_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit55_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function popupmenu5_Callback(hObject, eventdata, handles)
function popupmenu5_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

**Anexo N° 8: PLEGADORA HIDRAULICA 2000 KN
SOLIDWORKS**



Anexo N° 9: Planos

A continuación se adjunta los siguientes planos:

NOMBRE	N° PLANO
PLANO GENERAL	PH-200-01
DESPIECE	PH-200-02
MATRIZ DE PLEGADO	PH-200-03
PUNZON DE PLEGADO	PH-200-04
MORDAZA SUPERIOR	PH-200-05
ESTRUCTURA SOPORTE	PH-200-06
SOPORTE DE MATRIZ DE PLEGADO	PH-200-07
BARRA DE TORSION	PH-200-08
SOPORTE DE MOTOR	PH-200-09
CAJON DE CILINDRO	PH-200-10