



DISEÑO DE UNA DOBLADORA DE TUBO MANUAL DE SECCION CIRCULAR PARA EL TALLER DE FABRICACION DEL I.U.T. ANTONIO JOSE DE SUCRE

(Design of circular section pipe Bending for the Manufacturing workshop at I.U.T. Antonio José de Sucre)

Recibido: 13/03/2014 Aceptado: 26/09/2014

Rosillón, Kenneth

I.U.P. Santiago Mariño, Venezuela

krosillon@urbe.edu.ve

RESUMEN

La presente investigación es desarrollada con el objetivo de diseñar un prototipo de máquina dobladora de tubo manual de sección circular, que pueda trabajar para tubos de sección circular de una pulgada. Esto es una propuesta para el taller de fabricación del I.U.T. Antonio José de Sucre y que beneficiará indirectamente al I.U.P. Santiago Mariño, con la finalidad de equipar el taller con un equipo novedoso y con la mejor tecnología de punta. La investigación toma un diseño experimental, con un tipo de investigación de manera proyectiva, bajo la modalidad de proyecto factible. Por otra parte, se utilizó el método de búsquedas bibliográficas y la realización de algunas encuestas no estructuradas a especialistas en el área de la construcción y metalmecánica, con la cual se logró obtener información de los requerimientos y ensayos que se practican actualmente en esta casa de estudios. Los resultados demostraron, mediante simulaciones, el comportamiento teórico-experimental que tendrá la máquina una vez construida, además se dejó como aporte los planos para su fabricación y cálculos asociados para certificar la fuerza de doblez y el factor de seguridad necesario que se consiguió para un buen experimento de doblez.

Palabras claves: prototipo, máquina dobladora, desviaciones, palanca, poleas

ABSTRACT

The present research is developed with the aim of designing a prototype tube bending machine manual circular section; you can work for tubes of circular cross section of an inch. This is a proposal for the workshop manufacturing I.U.T. Antonio José de Sucre and indirectly benefits the I.U.P. Santiago Mariño in order to equip the workshop with art equipment and the best technology. The investigation takes an experimental design, a type of research projective way in to the form of feasible project; Moreover the method of literature searches and perform some survey unstructured specialists in the area of construction and metalworking was used to which it was possible to obtain information on the requirements and tests that are currently practiced in the home studio. Results demonstrated through simulations the theoretical -experimental machine will behave once built, also allowed as input for manufacturing drawings and calculations associated to



certify the bending strength and the safety factor needs to be managed for a good experiment fold.

Keywords: prototype, bending machine, deviations, lever, pulleys.

INTRODUCCIÓN

Actualmente en las instituciones zulianas las propuestas de opciones que permitan mejorar la calidad en las actividades que se realizan constantemente, la misión de innovar en la propuesta de un nuevo diseño manual de dobladora de tubos de sección circular que permita manejar diferente ángulos y diámetros, para el taller de fabricación en la I.U.T. Antonio José de Sucre e I.U.P. Santiago Mariño para que sea una opción a priori factible de adquirir económicamente hablando y así lograr mejorar significativamente la precisión, reducir el esfuerzo físico por parte del operador y que sea una herramienta práctica y sencilla de usar en las prácticas de laboratorio.

De este modo, todo el planteamiento y desarrollo de esta investigación se fundamenta en el diseño de una herramienta que realice el doblado de tubos bajo métodos que buscan no aplastarlos ni deformarlos en la sección de las curvaturas, para ello se consideran características operativas, técnicas, cálculos de precisión, fuerza de dobles, que se deben considerar para el diseño de la máquina.

Se utiliza la técnica DTG para montar toda la estructura del diseño, la cual permite visualizar en las dimensiones de un dibujo la dobladora a través de un prototipo, utilizando para ello el programa AutoCAD® y SolidWorks®, respectivamente.

Esta investigación se encuentra conformada por tres (3) fases debidamente estructuradas. En la fase I se presentará la descripción del problema a través de su problemática. En la fase II permitirá ubicar el tema objeto de estudio dentro del conjunto de teorías existentes sobre el doblado de tubos.

Finalmente, en la fase III se analizarán los resultados obtenidos en la investigación, señalando las concordancias entre problemática y su respuestas en este apartado, para finalmente establecer las conclusiones y recomendaciones pertinentes, para así de este modo evaluar si el prototipo a diseñar impulsará una alternativa en función de las necesidades actuales del mercado industrial metalmecánico y en especial para el taller de fabricación de las instituciones: I.U.T. Antonio José de Sucre y I.U.P. Santiago Mariño.

FASE I

CONTEXTUALIZACIÓN DEL PROBLEMA

En Venezuela al igual que en el resto de América Latina, se ha observado una economía inflacionaria que afecta y limita los diferentes sectores económicos en el logro de avances y objetivos. Esta economía perjudica sobre todo a las pequeñas y medianas industrias, que se ven en la necesidad de implantar nuevos diseños para mejorar el desarrollo de sus actividades metalmecánicas.



La dobladora de tubos redondo de sección circular presentada en este artículo es una opción para estas empresas de pocos recursos que no pueden adquirir una dobladora automatizada debido a su alto costo.

Se puede resumir que es una herramienta relativamente sencilla, de fácil uso, que pueden adquirir estas empresas con una menor inversión y con la finalidad de obtener productos terminados de mejor calidad.

Existen un sin fin de empresas dedicadas a la construcción de dobladoras de tubo, puesto que el uso intensivo que tiene y ha tenido el acero para la construcción metálica ha conocido grandes éxitos que permitieron el avance de la ciencia de materiales. El acero constituye un elemento importante en el mundo para la población, la industria y el comercio.

Por ejemplo, en el año 1950, Santiago Zeziola (Timoshenko, 2000), diseñó y fabricó la primera dobladora de caño, en esa oportunidad un modelo hidráulico manual para tubos de paredes gruesas; sin saber que esto sería el primer paso de una actividad que marcaría su trayectoria industrial en el país por siempre. Zeziola se constituyó como una industria para las industrias, con más de 40 modelos dispuestos para cada necesidad instalada, participando además en la fabricación y comercialización de las mismas.

En la actualidad, el taller de fabricación del I.U.T. Antonio José de Sucre (Ampliación Maracaibo) se encuentra en bases de proyecto para organizarse y reordenar todos los equipos. La actual falta de la dobladora de tubo en dicho taller y el uso intensivo que se le da en el área de la mecánica industrial requiere desarrollar dobladoras de tubo manuales accesibles para este laboratorio, que permitan realizar la actividad de manera eficiente, eliminando el doblado de tubos con la técnica manual, puesto que los trabajadores realizan demasiado esfuerzo físico y se exponen a grandes riesgos.

En ocasiones, el descuido por parte de los docentes en su fase investigativa, aunado a la falta de inversión y personal en la institución en general (técnicos, ingenieros) solo reduce de manera significativa el logro de los objetivos planteados, además de la pérdida de tiempo en realizar el trabajo sin la máquina dobladora, porque que la inexactitud en el ángulo de dobles acarrea muchas complicaciones para terminar un producto o pieza, ya que amerita que el obrero deba verificar en muchas ocasiones para corregir el ángulo de dobles mediante técnicas no muy certeras. Esta dobladora simplifica en gran proporción la actividad a realizar e incluso alcanzar mejor técnica en el acabado final, lo que justifica la inversión para su adquisición.

La dobladora de tubos redondos es una herramienta tecnológica que realiza su trabajo mediante un plato accionado manualmente y que ejerce la fuerza necesaria desde una palanca que gira un tubo a través de una matriz para obtener el doblado deseado, con su respectivo ángulo.

El doblado del material debería tener un tiempo de duración de 30 segundos como mínimo, para conseguir un rendimiento óptimo respecto a las propiedades del tubo doblado y las de la máquina. El propósito del mecanismo a diseñar es la transmisión de

movimiento y fuerza, considerando un conjunto de elementos rígidos, móviles unos con respecto a otros, unidos entre sí mediante diferentes tipos de uniones.

Las razones para el diseño de una dobladora de tubos de sección circular de diámetros variables es cubrir varios parámetros según las necesidades que puedan darse en el I.U.T. Antonio José de Sucre en su sede en Maracaibo, específicamente en el taller de fabricación, estableciendo procesos de calidad y exactitud, para de esta manera poder resolver de forma eficiente algunos requerimientos y tener un mejor control sobre el ángulo de dobles de tubos.

Debido a esta problemática, surge la interrogante: ¿Cómo establecer unas buenas bases de diseño para una maquina dobladora de tubo de sección circular?

FASE II

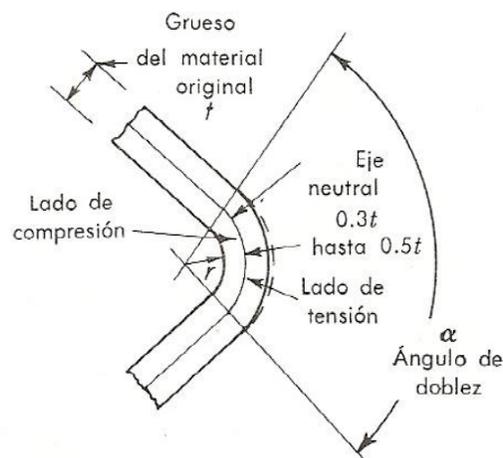
FUNDAMENTOS DEL DOBLADO DE METALES

Para Molina y Rubio (2012):

“El doblado de metales es un proceso que ocurre al aplicarle a un metal de superficie recta esfuerzos superiores al límite elástico o punto de cedencia, en una dirección diferente al eje neutral del material, así se consigue una deformación plástica permanente en forma de curva”

Con un eje neutro los esfuerzos serán nulos y el equilibrio vendrá dado por el centro de masa e inercia del mismo. (Ver Figura 1).

Figura 1. Naturaleza de doblado de un tubo metálico



Fuente: Molina y Rubio (2012).

Continúa Molina y Rubio (2012) agregando que, aunque al metal al que se le aplicó un esfuerzo “más allá del límite elástico es capaz de manifestar cierta cantidad de



recuperación elástica. Si se hace un doblez hasta cierto ángulo puede esperarse que regrese hasta un ángulo un poco menor cuando se deja libre el material”.

Para el autor, este retroceso es mayor en radios más pequeños, materiales más gruesos, ángulos de doblez más grandes o materiales endurecidos. Comúnmente, se devuelven entre 2° y 4°.

Al realizar dobleces en los metales es preferible trabajar en temperatura ambiente, evitando aumentar el calor en el material, ya que aunque esto puede incrementar su plasticidad, el acto de subir la temperatura afecta la estructura interna del elemento, cristalizándolo y causando una disminución de la resistencia mecánica.

FACTORES QUE INTERVIENEN EN UN CURVADO DE TUBO

De acuerdo a Doyle (2009), la siguiente lista corresponde a las características físicas que intervienen en el proceso de curvatura de un tubo:

- “Espesor del tubo: Variable determinada por el tipo de material usado, el posible uso de la pieza fabricada y que está expresado generalmente en calibre o milímetros. De este valor depende mucho el resultado del doblado.
- Diámetro interno y externo de las paredes: Esta variable permite evaluar significativamente hasta que radio puede ser curvado un tubo.
- Radio Mínimo y Máximo: Por lo general está asociado al grado de curvatura del tubo.
- Dureza: Materiales sintéticos polímeros que permiten una curvatura perfecta sin ningún tipo de alteración o cambio visible en el material, son los ideales para esta aplicación”.

PRINCIPIO DEL CURVADO

La Norma DIN 8582 determina que el curvado es la deformación plástica o permanente que sufre un material tras aplicarle un esfuerzo flector. El curvado se efectúa en frío, ya que sólo los espesores muy gruesos requieren un calentamiento previo.

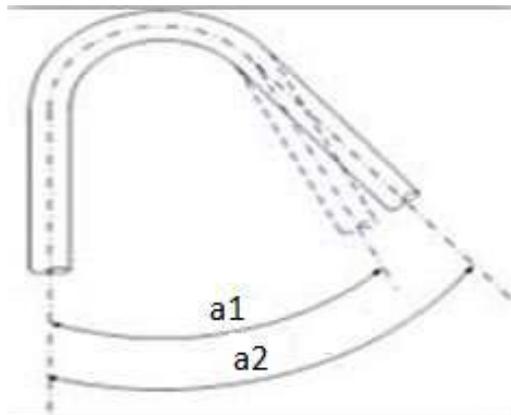
La deformación plástica se produce tras sobrepasar la tensión de fluencia (R_e), propia de cada material. Esto se evidencia propiamente en el diagrama esfuerzo-deformación del material al superar esta zona los materiales pasan de una zona elástica a una zona plástica simultáneamente.

Así mismo, como la deformación elástica es reversible, el material recupera parte de su forma inicial tras el curvado. La suma de ambos procesos genera una serie de fenómenos colaterales, como la reducción del ángulo de curvado, elongación del tubo, pérdidas de espesor, reducción de bordes entre otros.

Los principios de diseño de máquinas se enfocan en la creación de piezas o modificación a través de ensayos, destructivos o no destructivos, partiendo de la zona elástica del mismo.

Por otra parte, la recuperación elástica se da debido al carácter elástico del material, la pieza curvada recupera parcialmente su forma inicial disminuyendo ligeramente su ángulo de curvado final (de a_1 a a_2) presentándose en ella una deformación unitaria cronometrada bajo la acción de una fuerza, como se observa en la Figura 2.

Figura 2. Angulo de curvado



Fuente: Molina y Rubio (2012).

FASE II

DESARROLLO DE LA PROPUESTA

DIAGNOSTICO LA SITUACIÓN ACTUAL Y REQUERIMIENTOS DEL TALLER DE FABRICACIÓN DEL I.U.T.A.J.S

Se realizó una Inspección visual al lugar donde se encuentra el laboratorio de proceso de fabricación, con la finalidad de realizar un recorrido en el área del local y poder constatar las condiciones actuales de este recinto, para lograr así una visión concreta de la operatividad del sitio.

A continuación, se puede apreciar una imagen en la que se muestra cómo está organizado el salón de clases del Laboratorio de proceso de fabricación. Se encuentran dos equipos que se utilizan para el ensayo de impacto y tracción de materiales de acero, también, una mesa y algunos pupitres.

Figura 3. Salón de clases del Laboratorio de proceso de fabricación



Fuente: elaboración propia.

En la siguiente imagen se muestra la entrada del laboratorio. Existen unas máquinas de combustión interna ubicadas en todo el espacio de acceso al taller, las cuales restringen el libre paso al interior del sitio.

Por lo general, esto debe tener un rígido cumplimiento de las normas de seguridad e higiene en este caso dictadas por el Instituto Nacional de Prevención, Salud y Seguridad Laborales (INPSASEL).

Figura 4. Entrada al laboratorio de proceso de fabricación



Fuente: elaboración propia.

Se puede visualizar otra imagen en la que se observa una vista general del taller y se verificaron diferentes tipos de equipos, máquinas y herramientas, entre las cuales, algunas se encuentran operativas y otras obsoletas, por lo que más adelante se especificarán cada una de sus características técnicas-operativas y su nueva codificación.

Figura 5. Vista ampliada del laboratorio de proceso de fabricación



Fuente: elaboración propia.

En la siguiente gráfica se percibe el área destinada a las prácticas de soldadura. El espacio es muy reducido para esta actividad y no se encuentra organizado adecuadamente para tal fin. Las actividades de soldadura, por lo general, se realizan en la parte exterior del laboratorio para evitar la acumulación de gases u intoxicaciones del personal obrero, estudiantes y profesores.

Figura 6. Área de Soldadura del laboratorio de proceso de fabricación



Fuente: elaboración propia.

Por otra parte, en la siguiente imagen se observa que existe un taladro de tipo vertical, que se encuentra fuera de servicio debido a su obsolescencia. A su alrededor se ubican otros equipos que no corresponden a este Laboratorio, pero que pueden servir de soporte para el dictado de prácticas aledañas al proceso de perforación mediante el taladro. Actualmente se utiliza un taladro de mano convencional para realizar las prácticas de este equipo y así visualizar los tipos de brocas, su función y sus aplicaciones a distintos materiales.

Figura 7. Taladro Vertical del laboratorio de proceso de fabricación



Fuente: elaboración propia.

Así mismo, se pudo observar que se encuentran algunas máquinas herramientas en condiciones inservibles y entre los espacios de estos equipos están otros que no deberían estar ubicados en ese lugar.

En la siguiente imagen se aprecia lo que es una grúa de izamiento en buen estado, así como una máquina fresadora y una cepilladora, ambas fuera de servicio respectivamente por la falta de herramientas para estos procesos.

Figura 8. Maquinas del laboratorio de proceso de fabricación



Fuente: elaboración propia.

Finalmente, se muestra un torno horizontal operativo, sin embargo, se apreció que requiere un mantenimiento para preservar las superficies donde se desplazan los componentes móviles. Del mismo modo, se encuentra en una posición poco favorable y el plato inferior cuenta con suciedades y aceites que ya no se utilizaran para el proceso de lubricación, es decir, aceites de desecho.

Figura 9. Torno Horizontal del laboratorio de proceso de fabricación



Fuente: elaboración propia.

A continuación, se realizó una encuesta a una población de estudiantes que abarcan desde el cuarto semestre hasta el quinto de las carreras de tecnología mecánica e ingeniería en mantenimiento mecánico en las cátedras de resistencia de materiales y mantenimiento industrial de ambas instituciones, pudiendo elegir una muestra de 16 personas a quienes se les realizaron cinco preguntas estructuradas con la finalidad de catalizar las necesidades existentes en el taller de fabricación, así como también en la necesidad del personal de mantenimiento que esta institución labora.

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Según lo mencionado por Tamayo y otros (1997), la población se define como la totalidad del fenómeno a estudiar donde las unidades de población poseen una característica común la cual se estudia y da origen a los datos de la investigación.

De acuerdo a los autores mencionados, se expresa que la población u objeto de estudio es el universo de la investigación sobre el cual se pretende generalizar los resultados.

En el estudio es muy importante tomar los datos de una muestra en base a la población, ya que representa un respaldo de la veracidad de los hechos que implica la problemática en el estudio y del mismo modo respalda la acción o propuesta al problema, como por lo menos la más eficaz para el caso en estudio.

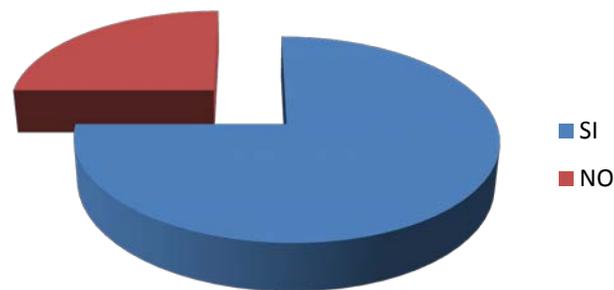
También afirman que la muestra es el grupo de individuos que se toma de la población, para estudiar un fenómeno estadístico, es decir, cuando seleccionamos algunos elementos con la intención de averiguar algo sobre una población determinada.

Tomando como base la explicación de los autores, la aplicación de un instrumento es fundamental para recolectar información sobre el hecho que se desea investigar, por lo que en este caso la presente investigación realizó una

serie de preguntas estructuradas como parte de las actividades para lograr los objetivos planteados que den respuesta a la problemática enunciada anteriormente. Esta encuesta fue aplicada a los estudiantes de las escuelas de Ingeniería en Mantenimiento Mecánico (IUPSM) y estudiantes de tecnología mecánica (IUTAJS) respectivamente.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos con la encuesta.

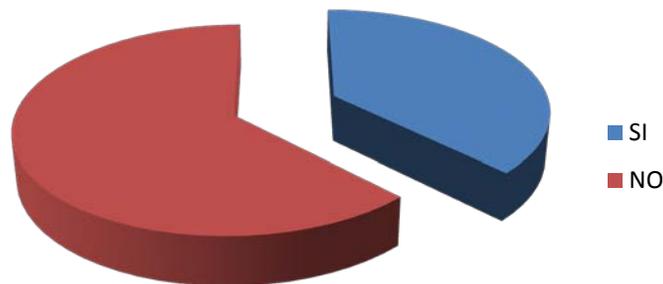
Gráfico 1. ¿Conoce el funcionamiento de una dobladora de tubo?



Fuente: elaboración propia.

Esta repuesta representa un sondeo inicial sobre si conocen o no qué es una dobladora de tubos, cuáles son sus partes y/o componentes, por lo que la mayoría de estos estudiantes de ambas casas de estudio respondió acertadamente, conociendo en totalidad la maquina dobladora, constituyendo así un 75% aproximadamente de estudiantes expertos en el área.

Gráfico 2. ¿Conoce la función de una dobladora de tubo dentro de la industria?

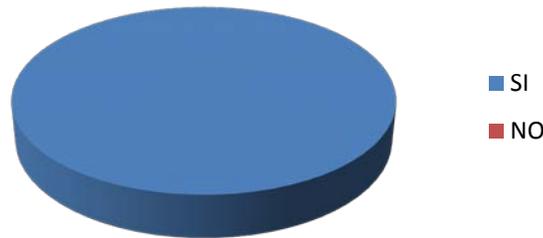


Fuente: elaboración propia.

Esta pregunta relata que los encuestados tienen un poco de conocimiento de las funciones de una dobladora dentro de la industria. Esta incidencia representó un 63% de los encuestados, el cual desconoce el fenómeno de doblez en los tubos, además del funcionamiento automático o manual de la misma.

Esto origina como conclusión que se impartan prácticas de laboratorio una vez finalizada la investigación en la etapa de construcción para facilitar las actividades del proceso de enseñanza y aprendizaje de los estudiantes con el único fin de informarles sobre el proceso que llevarán a cabo en el campo laboral.

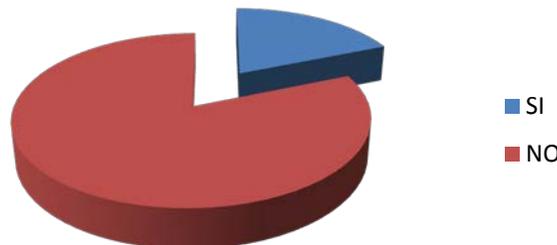
Gráfico 3. ¿Cree usted que con la implementación de una dobladora de tubo en el taller se podría mejorar la calidad del aprendizaje en materias como las ofrecidas por la rama de fabricación de la carrera?



Fuente: elaboración propia.

Los estudiantes encuestados afirman que no existe tal máquina dentro del taller de fabricación y que sería un gran adelanto la instalación de una, ya que su función está ligada a afianzar sus conocimientos de cómo y de qué forma trabajar con la misma, fortaleciendo la producción individual para el instituto mediante la optimización de tiempo y recursos, así como facilitar el dictado de prácticas para distintas cátedras.

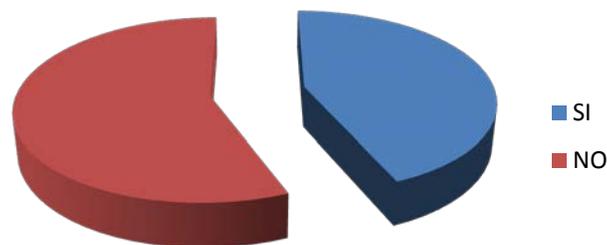
Gráfica 4. ¿Conoce las herramientas necesarias para el funcionamiento de una dobladora de tubo?



Fuente: elaboración propia.

En función a las respuestas de los encuestados, se puede decir que el 81% de los estudiantes no conoce las herramientas que les permitirán manipular este dispositivo. Por el contrario, el 19% restante son estudiantes que laboran en el área y conocen perfectamente las funcionalidades y los útiles de trabajo que utiliza la máquina. Como idea general, podemos decir que es necesario impartir charlas o cátedras que hablen en función de la tecnología de herramientas de corte o deformación en ensayos destructivos localizados en el área de resistencia de materiales.

Gráfico 5. ¿Cree usted que una dobladora de fábrica tiene las mismas condiciones técnicas que una construida manualmente?



Fuente: elaboración propia.

Según Molina y Rubio (2012):

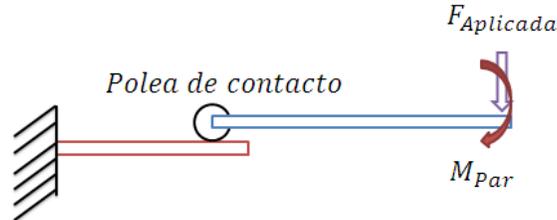
“La máquina dobladora de tubo es construida y considerada de fabricación manual para el uso y operación de severos trabajos de forma mecánica o eléctrica ya que contamos con cálculos que nos permiten una función con adecuada y correcta producción”.

De los estudiantes encuestados, aproximadamente el 56% respondió que esta máquina a construir no posee las mismas características o especificaciones que una máquina comercial mientras que el restante 45% respondió lo contrario. Esto llama a la reflexión en función del diseño de máquinas puesto que los fabricantes poseen sus propios diseños y sus técnicas avanzadas de construcción, pero la funcionalidad de la máquina sigue siendo la misma, y aplicaría los ensayos de acuerdo a las normativas nacionales e internacionales para ello.

CÁLCULOS DE FUERZA Y PRESIÓN DE DOBLEZ PARA LA MÁQUINA DOBLADORA DE TUBOS

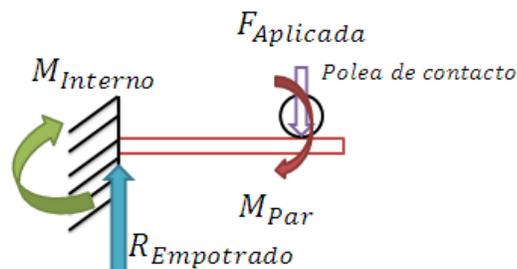
De acuerdo a Molina y Rubio (2012): “Para calcular la fuerza necesaria para doblar un tubo, teniendo en cuenta las partes de la máquina que tienen contacto directo con éste, se modela como una viga empotrada en uno de sus extremos”. Esto se puede visualizar en las siguientes figuras:

Figura 10. Diagrama del proceso de doblez



Fuente: elaboración propia.

Figura 11. Transformación Par-Fuerza en un diagrama de Cuerpo Libre del proceso de doblez



Fuente: elaboración propia.

Cuando se analizan las Figuras 10 y 11 puede notarse cómo el tubo cambia con los esfuerzos de flexión en la sección transversal a lo largo de toda su longitud (Molina y Rubio, 2012).

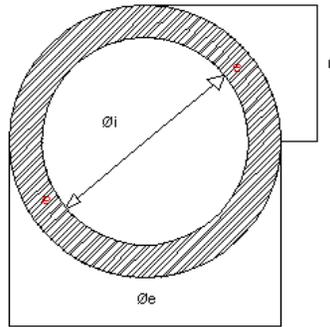
Según Beer, Russell, DeWolf, y Mazurek (2009), “para doblar el tubo es necesario aplicarle a éste una fuerza tal que genere un esfuerzo mayor que el esfuerzo de fluencia del material, para que haya deformación plástica”.

La ecuación para calcular el esfuerzo de flexión es la siguiente:

$$\sigma = \frac{M \times C}{I}$$

CÁLCULO DEL MOMENTO AXIAL DE INERCIA DEL TUBO A DOBLAR

Figura 12. Tubo de 1 pulgada estándar a doblar



Fuente: elaboración propia.

Para calcular el momento axial de inercia se emplea la siguiente ecuación:

$$I = \frac{\pi}{64} (D_e^4 - D_i^4)$$

Tubo de 1" Estándar

$$D_e = 25.4\text{mm}$$

$$D_i = 22.4\text{mm}$$

$$e = 1.5\text{mm}$$

Reemplazando los datos en la ecuación anterior se tiene:

$$I = \frac{\pi}{64} (D_e^4 - D_i^4) = \frac{\pi}{64} (2.54^4 - 2.24^4) = \mathbf{0.81\text{cm}^4}$$

Para calcular la distancia desde el eje neutro hasta el punto en el que se calculará el esfuerzo se tiene la siguiente ecuación:

$$C = \frac{D_e}{2}$$

$$C = \frac{2.54\text{cm}}{2} = \mathbf{1.27\text{cm}}$$

Para el cálculo de la fuerza de doblar, se realizaría utilizando las características del material del tubo a doblar. En este caso, utilizaremos un Acero A-36 el cual tiene un esfuerzo de fluencia de aproximadamente 250Mpa por lo que:

$$A = \frac{\pi}{4}(D_e^2 - D_i^2) = \frac{\pi}{4}(2.54^2 - 2.24^2) = 1.12 \times 10^{-4} m^2$$

$$F = A \times \sigma = 1.12 \times 10^{-4} m^2 \times 250 \times 10^6 = 28000 N \approx 2800 Kgf$$

$$M_{par} = F \times L = 3640000 N.cm$$

Teniendo en cuenta que la barra a diseñar aproximadamente tendrá una longitud entre los apoyos es de 20cm y la barra es de 130cm, lo que equivale a 1.3 metros aproximadamente:

$$M_{Flexion} = F \times L = 28000 N \times 20 cm = 560000 N.cm$$

$$\sigma = \frac{M \times C}{I} = \frac{560000 N.m \times 1.27 cm}{0.81 cm^4} = 878024.69 \frac{KN}{cm^2} \approx 8.78 Gpa$$

Determinamos el esfuerzo cortante como:

$$\tau_{max} = \frac{3V}{2A} \quad (4)$$

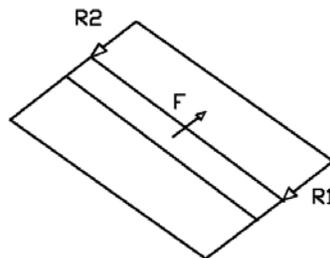
$$\tau_{max} = \frac{3V}{2A} = \frac{3(28000 N)}{2(1.12 \times 10^{-4} m^2)} = 375 Mpa$$

Definimos el esfuerzo de Von misses como:

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\sigma_{max}^2 + 3\tau_{max}^2} = \sqrt{(8.78 Gpa)^2 + (1.125 Gpa)^2} = 8.851 Gpa$$

Cálculo de la fuerza de la plancha donde va asentada la polea matriz:

Figura 13. Plancha porta polea-matriz



Fuente: elaboración propia.

Empezando con un análisis estático tenemos:

$$\sum F_h = 0$$

$$F = R_1 + R_2$$

$$\sum M_2 = 0$$

$$-R_1(63cm) + F(24cm) = 0$$

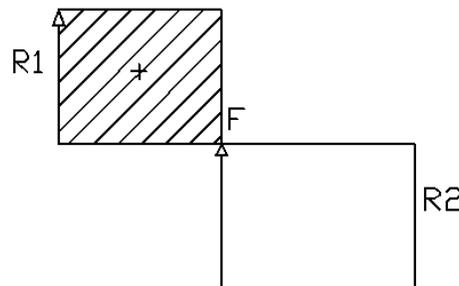
$$R_1 = \frac{24cm}{63cm} \times F = \frac{24cm}{63cm} \times 28000N = 10666.66N$$

Sustituyendo tenemos:

$$R_2 = F - R_1 = 28000 - 10666.66 = 17333.34N$$

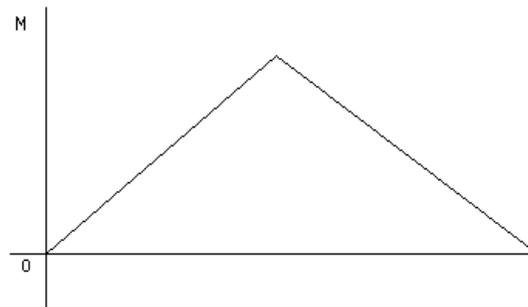
Tenemos entonces las siguientes figuras:

Figura 14. Diagrama de fuerza cortante de la plancha



Fuente: elaboración propia.

Figura 15. Diagrama de momento flector de la plancha



Fuente: elaboración propia.

$$M_{max} = R_1 \times 24cm = 10666.66N \times 0.24m = 2559.9984N.m$$

Para calcular el momento de inercia de la plancha donde va asentada la matriz se emplea la siguiente fórmula, debido a que pasa por su centro de gravedad.



$$I = \frac{b \times h^3}{12} \quad (5)$$

$$I = \frac{b \times h^3}{12} = \frac{0.63m \times (0.015m)^3}{12} = 0.000000177m^4$$

Se calcula el esfuerzo por flexión del siguiente modo:

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

Dónde:

$$M = 2559.9984 \text{ N.m}$$

$$C = \frac{h}{2} = \frac{0.015}{2} = 0.0075m$$

$$\sigma = \frac{MC}{I} = \frac{2559.9984 \text{ N.m} \times 0.0075m}{0.000000177m^4} = 108.47Mpa$$

Por lo tanto, si la mesa fue realizada a partir de una lámina de fundición gris ASTM A-48 entonces su esfuerzo último es de 170Mpa, por lo que el factor de seguridad del sistema es el siguiente:

$$\eta = \frac{\sigma_u}{\sigma} = \frac{170Mpa}{108.47Mpa} = 1.56$$

Por lo tanto, se puede decir que el factor de seguridad es mayor que la unidad y se declara que es totalmente seguro en términos de diseño, ya que cualquier material superior en esfuerzo último a una fundición gris, por ejemplo un acero A36, un 1080, 1020 entre otros, podrán ser mejores materiales de construcción para la mesa soporte de la maquina dobladora de tubos.

SIMULACIONES Y LOS PLANOS DE CONSTRUCCIÓN DE LA MAQUINA DOBLADORA DE TUBOS

Para las simulaciones, hemos dividido la maquina en dos grandes partes: una parte que conforma la barra tipo palanca que se conectará a las poleas y generará una fuerza para así girar la polea menor y producir el movimiento circular que doblará el tubo; y una segunda parte que sería el estudio de las poleas por individual, sus esfuerzos y sus factores de seguridad.

SELECCIÓN DE MATERIALES

Los materiales seleccionados fueron: dos poleas y una barra pasante de fundición gris, así como una barra o palanca de Acero 1018 HR. Los mismos corresponden a la designación que se muestra en la Tabla 1 a continuación:

Tabla 1. Materiales a utilizar para la maquina dobladora

Pieza	Material	Sut	Suc	Módulo de Elasticidad
Poleas	Fundición gris (ASTM)- 20	22KPsi	83Kpsi	10Kpsi
Barra	Acero AISI SAE 1018 HR	58Kpsi	32Kpsi	30Kpsi

Fuente: Catálogos ASTM AISI (2000).

Los elementos de sujeción, desmontables utilizados fueron:

- (a) Pernos (1/2 – 20 – UNC – 2A), con una longitud total de 3½ pulgadas SAE 5.
- (b) Tuercas SAE 5.
- (c) Arandelas planas.

Todos estos elementos usados para la fijación de nuestras poleas a la mesa y los demás elementos mecánicos presentes, así como las propiedades mecánicas, se muestran a continuación en las Tablas 2 y 3:

Tabla 2. Propiedades de los pernos

Pieza	Hilos por Pulgadas	Área Roscada	Diámetro mayor nominal	Resistencia Prueba Mínima	Resistencia a la tensión	Resistencia a la fatiga
Pernos	13	0.1419 in ²	0.500 in	85Kpsi	120Kpsi	92Kpsi

Fuente: Catálogos SAE (2000).

Tabla 8. Propiedades de arandelas y tuercas

Piezas	Grados SAE	Resistencia a la tensión	Resistencia a la fatiga	Resistencia Prueba Mínima
Arandelas Planas	4	115Kpsi	100Kpsi	65Kpsi
Tuercas	5	120Kpsi	92Kpsi	85Kpsi

Fuente: Catálogos SAE (2000).

A continuación se muestran las simulaciones respectivas, de acuerdo a las partes por separado, por lo cual en cada una se dice los esfuerzos y deflexiones que generan estas fuerzas que a priori se aplicarán de manera directa en la dobladora de tubos:

SIMULACIÓN DEL BRAZO O PALANCA

A continuación, nos basamos en una herramienta computacional muy poderosa en el ámbito del diseño y simulación de los procesos y equipos o piezas, llamada Solidworks

2010, el cual nos brindó seguridad a la hora de presentar las simulaciones. Dichas simulaciones se muestran a continuación como respuesta a un análisis de los resultados:

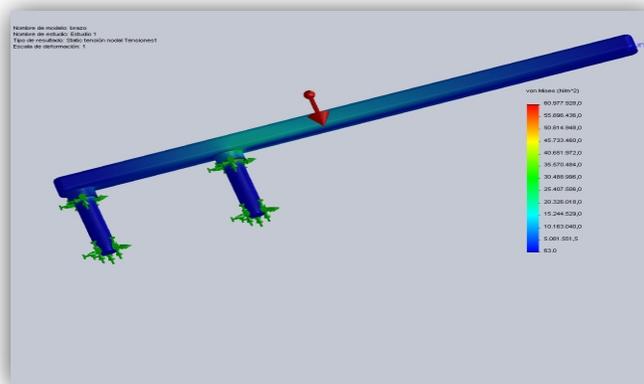
Tabla 9. Resultados predeterminados de la barra palanca

Nombre	Tipo	Mín.	Ubicación	Máx.	Ubicación
Tensiones 1	VON: Tensión de von Mises	63.0467 N/m ² Nodo: 3337	(0.220817 mm, 188.153 mm, 95.8497 mm)	6.09779 e+007 N/m ² Nodo: 15563	(-12.8524 mm, 187.939 mm, 16.235 mm)
Desplazamientos 1	URES: Desplazamiento resultante	0 mm Nodo: 47	(-12.7 mm, 1.5553e-015 mm, 108 mm)	1.17522 mm Nodo: 1069	(14.2419 mm, 707.99 mm, 20.2066 mm)
Deformaciones unitarias 1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	6.06519e- 010 Elemento: 4325	(-0.599845 mm, 0.058109 mm, 80.1625 mm)	0.00054 2668 Element o: 8899	(3.6278 mm, 198.638 mm, 15.79 mm)

Fuente: elaboración propia.

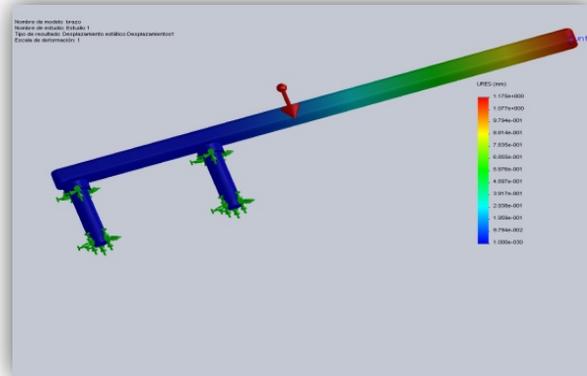
A continuación se muestran las figuras producto de estos cálculos arrojados por el programa donde ellas muestran la aplicación de diversas cargas a lo largo de sus puntos de contacto definiendo así la zona crítica y peligrosas así como también las zonas donde no se produce algún peligro o generación de altos esfuerzos que puedan comprometer la durabilidad o el esfuerzo a la hora del doblez.

Figura 16. Brazo-Estudio 1-Tensiones-Tensiones1



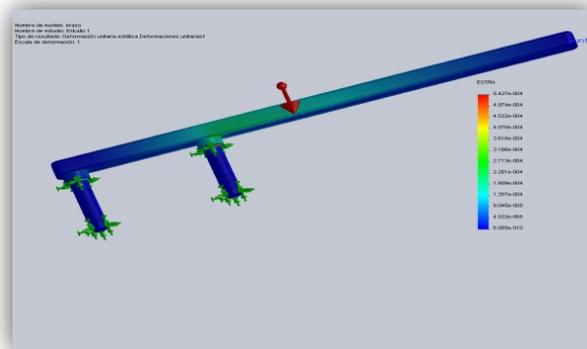
Fuente: elaboración propia.

Figura 17. Brazo-Estudio 1-Desplazamientos-Desplazamientos1.



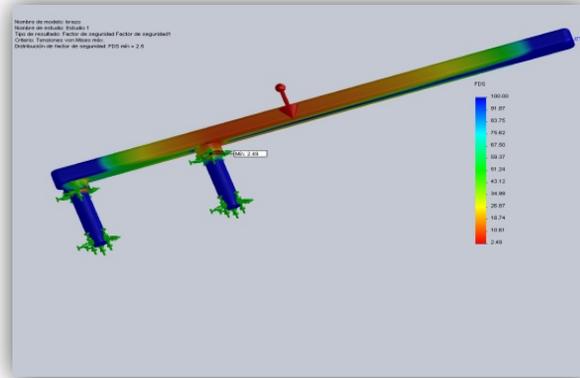
Fuente: elaboración propia.

Figura 18. Brazo-Estudio 1-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1



Fuente: elaboración propia.

Figura 18. Brazo-Estudio 1-Factor de seguridad-Factor de seguridad1



Fuente: elaboración propia.

SIMULACIÓN DE LAS POLEAS

A continuación, nos basamos nuevamente en el Solidworks 2010 para realizar las simulaciones en las que se muestra el diseño y cálculo preliminar de las poleas.

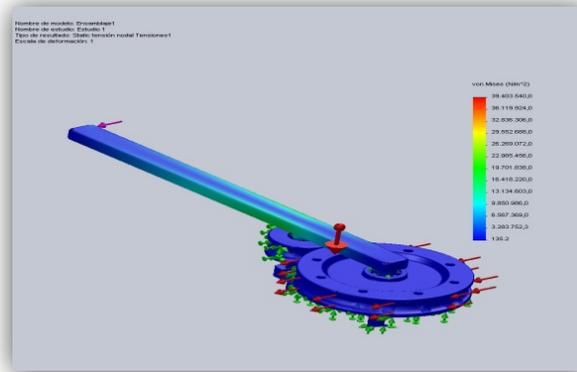
Tabla 10. Resultados del estudio de las poleas

Nombre	Tipo	Mín.	Ubicación	Máx.	Ubicación
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	135.232 Nodo: 25571	(-32.7236 mm,- 82.5493 mm,- 181.069 mm)	3.94035e+ 007 N/m^2 Nodo: 30654	(-18.6453 mm,42.7187 mm,- 190.269 mm)
Desplazamientos 1	URES: Desplazamiento resultante	0 mm Nodo: 192	(-68.0773 mm,- 0.951685 mm, -80.9456 mm)	1.19378 mm Nodo: 24647	(-170.972 mm,77.9195 mm,- 682.981 mm)
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	1.19186e- 009 Elemento: 13907	(-31.5001 mm,- 86.0073 mm,- 182.669 mm)	0.0003770 98 Elemento: 14949	(-35.6456 mm,44.3476 mm,- 192.916 mm)

Fuente: elaboración propia.

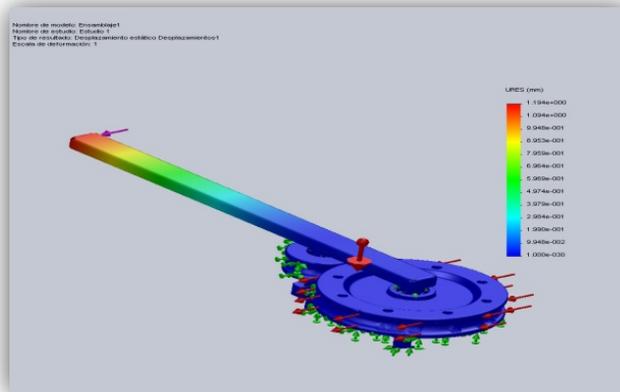
A continuación, se muestran las figuras producto de estos cálculos arrojados por el programa. En las mismas se muestra la aplicación de diversas cargas a lo largo de sus puntos de contacto, definiendo así las zonas críticas y peligrosas, así como también las zonas donde no se produce algún peligro o generación de altos esfuerzos que puedan comprometer la durabilidad o el esfuerzo a la hora del doblado en el sistema de poleas, tanto conductora como la fija respectivamente.

Figura 19. Ensamblaje1-Estudio 1-Tensiones-Tensiones1



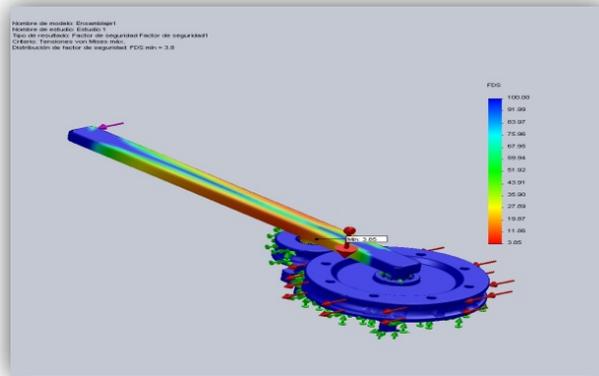
Fuente: elaboración propia.

Figura 20. Ensamblaje1-Estudio 1-Desplazamientos-Desplazamientos1



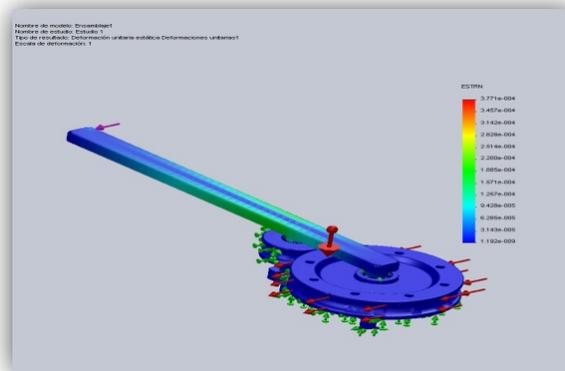
Fuente: elaboración propia.

Figura 21. Ensamblaje1-Estudio 1-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1



Fuente: elaboración propia.

Figura 22. Ensamblaje1-Estudio 1-Factor de seguridad-Factor de seguridad1



Fuente: elaboración propia.

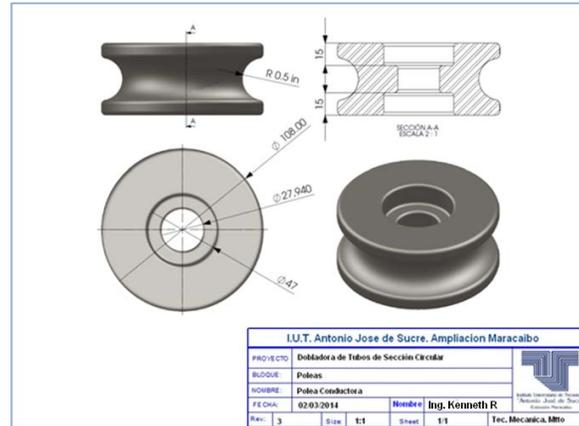
PLANOS DE LA MAQUINA DOBLADORA

A continuación, se muestra un despiece de la dobladora de tubos en planos en los que se muestran las dimensiones de cada una de las piezas, además de la ubicación de las mismas en un sólido completo en tercera dimensión. Se mostrarán 5 planos:

- (a) Plano de la polea conductora.
- (b) Plano de la polea matriz.

- (c) Plano de la barra tipo palanca.
- (d) Plano del seguidor inferior de la barra tipo palanca.
- (e) Plano general de la maquina (Parasólido).

Figura 23. Plano de la polea conductora



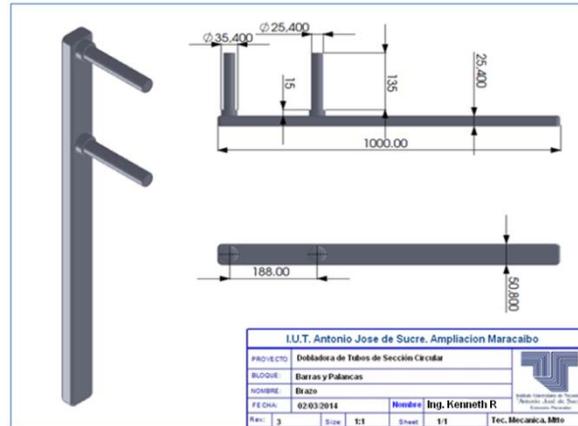
Fuente: elaboración propia.

Figura 24. Plano de la polea matriz



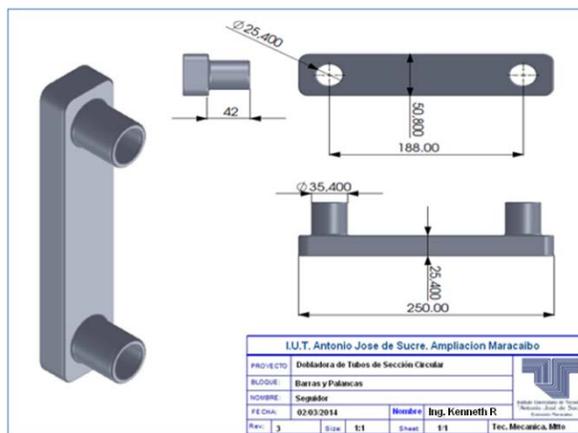
Fuente: elaboración propia.

Figura 25. Plano de la barra tipo palanca (a)



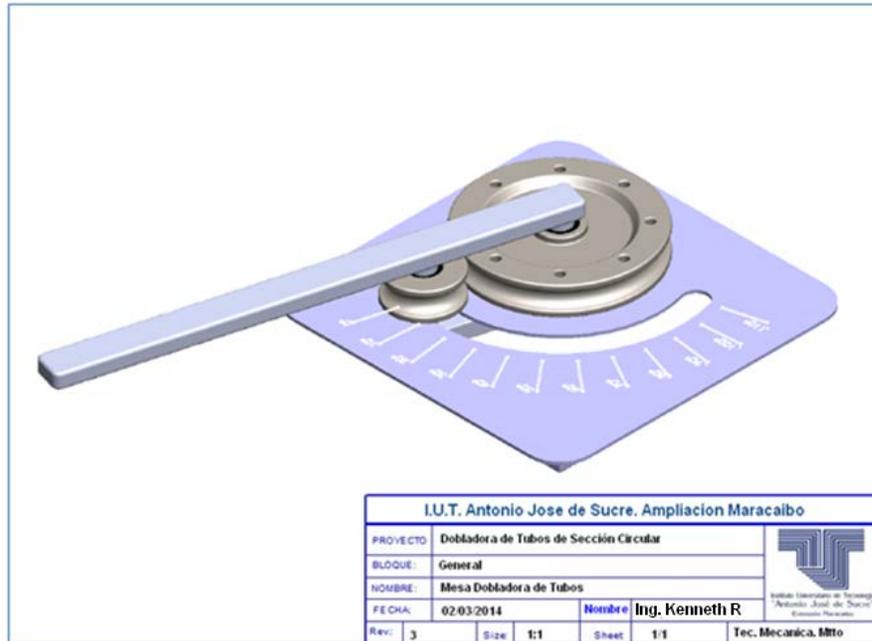
Fuente: elaboración propia.

Figura 26. Plano de la barra tipo palanca (b)



Fuente: elaboración propia.

Figura 27. Plano de la Máquina Dobladora de Tubos



Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

A lo largo de la investigación se pudo observar que, en primera instancia, las organizaciones del laboratorio y el taller de fabricación no se consideran adecuadas para el dictado de prácticas o para ejercer algún trabajo que en sí mismo se considere riesgoso.

Se aplicó la herramienta del cuestionario para obtener información sobre el conocimiento de una dobladora de tubos y su clara importancia para el taller de fabricación. Los resultados positivos de los estudiantes permiten considerar que ellos están en pleno conocimiento de lo que es una máquina, para qué sirve y la aplicabilidad que tendría si esta se fabricara para este taller.

En otro orden de ideas, una vez recolectada la información de las necesidades se determinaron una serie de cálculos de fuerza, esfuerzos, factores de seguridad y condiciones geométricas, que permitieron crear un modelo de una dobladora convencional y muy sencilla de fabricar, con tecnología de punta y materiales que apuntan hacia ellos, economizando así los elementos y partes que la constituyen.

Finalmente, una vez seleccionados los materiales, se realizaron las simulaciones pertinentes en base a los cálculos realizados de fuerza para doblar los tubos, dando como resultado un proyecto factible, ya que las tensiones, desplazamientos y factores de seguridad están en sus valores permisibles de acuerdo a la cantidad de cargas y al

material que se eligió para una fabricación futura, por lo que esta máquina sería ideal para su construcción y puesta en marcha.

Esta tecnología colaboraría, de sobremanera, con los técnicos de mantenimiento de estos institutos antes mencionados, así como el favorecimiento a los estudiantes para el dictado de prácticas, trabajos de grados, inclusive estudios de postgrado.

RECOMENDACIONES

Basado en estas conclusiones mostradas anteriormente, se recomienda de manera urgente establecer nuevas codificaciones para los equipos del taller, además de aplicar un mantenimiento productivo total diario en limpieza, ordenamiento, entre otros factores, que actualmente prevalecen en este recinto.

De igual manera, se recomienda lo mismo para el salón de clases adyacente ya que en él se dicta la teoría de los procedimientos a realizar en las prácticas. Este debe ser un espacio libre de máquinas y acondicionado para los estudiantes y el personal técnico que opera en esta área.

Seguidamente, se recomienda que se profundicen los cálculos en pro de optimizar la dobladora, agregándole un componente neumático-hidráulico para reducir los impactos de fuerzas humanas, cambiándolas así por fuerzas realizadas por otros equipos.

Finalmente, se puede recomendar que, en base a los nuevos diseños hidráulicos que se proponen, realizar nuevamente las simulaciones con las fuerzas requeridas y límites para estas configuraciones y en base a esto seleccionar los equipos más pertinentes para este labor y, si es posible, automatizar todo el sistema mediante un control embebido u otras modelos de implantación de controladores en tiempo real para facilitar la labor de doblado en este equipo.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Beer, F.; Russell, J.; DeWolf, J. y Mazurek, D. (2009). Mecánica de materiales. Estados Unidos. Mc Graw-Hill.

Instituto Alemán de Normalización (DIN) (2000). Norma DIN 8582. Alemania. Instituto Alemán de Normalización (DIN).

Doyle, L. (2009). Manufacturing processes and materials for engineers. Estados Unidos. Prentice Hall.

Molina, E. y Rubio, A. (2012). Análisis de funcionamiento, operación y mantenimiento e implementación de una dobladora de tubo para el centro de producción y servicios de la Universidad Técnica de Cotopaxi. Documento en línea. Disponible en: <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/1347/1/T-UTC-0939.pdf>. Consulta: 12/02/2014.

Timoshenko, S. (2004). Resistencia de Materiales. España. Ediciones Paraninfo.