

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

ARTÍCULO CIENTÍFICO

1. DATOS INFORMATIVOS

Título	REDISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE PARTES DE LA MÁQUINA HIDRÁULICA SEMIAUTOMÁTICA DE TIPO UNIVERSAL PARA CONFORMADO METÁLICO EN FRÍO, DEL LABORATORIO DE PROCESOS DE MANUFACTURA METALMECÁNICOS DEL DECEM
Tipo de investigación	Iniciación científica
Líneas de investigación	Materiales y tecnologías de producción
Presupuesto (USD)	1200
Director del proyecto	Carlos Naranjo G.
Departamento/centro	Ciencias de la Energía y Mecánica
Investigador asistente	Diego Sánchez

2. RESÚMEN

Este proyecto consiste en la ejecución del levantamiento técnico de la máquina para determinar su estado de operabilidad, la solución de problemas presentes en el funcionamiento de la máquina, así como el rediseño del sistema de conformado para lograr dobleces adecuados en tubos redondos de 1 1/2 pulgadas, 1 pulgada de diámetro exterior y tubos cuadrados de 3/4 de pulgada de lado, finalmente se dispondrá de una máquina capaz de ser utilizada en general por los estudiantes del DECEM y particularmente por aquellos que cursan la materia de procesos de manufactura, para ejecutar prácticas de laboratorio y para el desarrollo de los diversos proyectos propios de la formación académica de los futuros ingenieros.

Además la máquina estará en capacidad de ser empleada para brindar el servicio de doblado de tubo al sector metalmecánico del cantón Rumiñahui permitiendo de esta manera que el departamento y la ESPE obtengan recursos económicos por concepto de autofinanciamiento.

3. INTORDUCCIÓN

3.1. Antecedentes

actualmente, en el laboratorio de procesos de manufactura metal mecánicos existen varios equipos que si bien es cierto no son nuevos, reúnen todas las características que les permiten ser utilizados de manera idónea dentro del proceso de formación de los alumnos de la carrera de Ingeniería Mecánica, sin embargo algunos de éstos equipos por la influencia de ciertos factores tales como el uso excesivo, diseño incompleto o tiempo de vida de sus diferentes componentes han llegado a requerir una revisión, mejoramiento, y

actualización que les permita continuar operando de manera eficiente y principalmente eliminar la necesidad de adquirir máquinas nuevas, optimizando así los equipos ya existentes, toda vez que los recursos y asignaciones económicos disponibles actualmente se encuentran limitados.

En el año 2003 se advirtió que en los laboratorios del DECEM se encontraban dispersos pero en muy buen estado varios elementos y accesorios tales como motores eléctricos, cilindros, recipientes y colectores hidráulicos los mismos que individualmente no tenían una real utilidad pero que reunidos y acoplados adecuadamente presentaban todas las condiciones para ser utilizados como parte de un nuevo equipo que brindara servicio y utilidad en los laboratorios, es así que surgió el proyecto de diseñar y construir una máquina hidráulica semiautomática utilizando o reciclando los elementos nombrados anteriormente.

3.2. Definición del problema

La máquina inicial fue concebida y diseñada para tener la capacidad de doblar tubo mecánico cuadrado de 3/4 de pulgada, tubo mecánico redondo de 1 pulgada y tubo mecánico redondo de 1 1/2 pulgadas con un radio de doblado de 100 mm y un ángulo de doblez de hasta 180 grados, de igual forma la máquina doblaría chapa metálica de hasta 6.35 mm de espesor en un ángulo de 90 grados. Sin embargo al iniciarse el presente proyecto, ésta máquina no estaba siendo utilizada en toda su capacidad ya que varios de sus componentes se encuentran deteriorados y por que presentaba tres problemas fundamentales:

- El sistema de conformado no poseía una precisión apropiada.
- La máquina no contaba con un sistema que le permita un control adecuado de los ángulos de doblado en tubos mecánicos.
- Los tubos doblados por esta máquina presentaban distorsiones excesivas.

3.3. Justificación e importancia

La E.S.P.E con una trayectoria de más de 80 años en el ámbito de la educación superior en el Ecuador se encuentra inmersa dentro de los cambios y reformas emprendidas por parte de los organismos reguladores de la educación superior en el país, dichas reformas imponen la necesidad de impulsar la investigación como parte de la oferta académica hacia los estudiantes y la juventud ecuatoriana en general y todo esto enmarcándose en la realidad económica austera que el Ecuador vive no solo en la educación si no en todos los ámbitos del convivir nacional. Es justamente en éstos aspectos, en los cuales el presente proyecto se justifica y cobra importancia puesto que el propósito general es el de evitar la adquisición de maquinaria nueva, fomentar la investigación científica y optimizar los recursos disponibles mejorando un equipo existente en el laboratorio procesos de manufactura metal mecánicos del DECEM, empleando en este proceso una cantidad mínima de recursos económicos pero asegurando a la vez la disponibilidad de equipos y herramientas confiables que permitan la adecuada e integral formación de sus alumnos, cumpliendo así de forma eficaz y eficiente tanto la

misión cuanto la visión que el DECEM y la ESPE le imponen a la Carrera de Ingeniería Mecánica.

3.4. Alcance

La presente investigación se propone realizar un levantamiento técnico de la máquina para establecer los problemas que presenta puntualmente en la parte hidráulica y la solución de los mismos así como el rediseño del sistema de conformado para permitir realizar dobleces en tubos redondos de 1 1/2 pulgadas, 1 pulgada de diámetro exterior y tubos cuadrados de 3/4 de pulgada de lado.

4. OBJETIVOS

4.1. General

Mejorar y potenciar la funcionalidad de la máquina hidráulica semiautomática de tipo universal para conformado metálico en frío ubicada en el laboratorio de procesos de manufactura metal mecánicos del DECEM, rediseñando, construyendo e implementando las piezas y partes que fueran necesarias.

4.2. Específicos

1. Ejecutar un análisis técnico del estado de operabilidad en el que se encontraba la máquina hidráulica semiautomática de tipo universal para conformado metálico en frío del laboratorio de procesos de manufactura metal mecánicos del DECEM.
2. Rediseñar el sistema de conformado y control de ángulos de doblado de dicha máquina.
3. Construir y controlar dimensionalmente los elementos y ensambles resultantes del rediseño.
4. Realizar pruebas de operación y poner a punto la máquina para que ejecute correctamente las diferentes operaciones de conformado para las cuales ha sido rediseñada

5. FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN

5.1. Parámetros del conformado mecánico

El conformado mecánico se basa principalmente en los efectos producidos por la aplicación de una carga sobre un elemento determinado, éstos efectos varían en función del tipo de material del que esté constituido dicho elemento y de la forma en que sea aplicada la carga; más adelante en el presente trabajo se efectuará un análisis detallado de estos aspectos y se los interpretará en función de la curva esfuerzo - deformación y de cada una de las regiones que dicha curva presenta; por ahora es importante señalar que durante las operaciones de conformado mecánico se encuentran presentes muchos otros principios físicos que determinan la mayor o menor dificultad para lograr que el material que está siendo conformado adquiera la forma final deseada. Es por

ello que a continuación se efectúa un breve análisis de algunos de éstos principios considerados como los más importantes.

5.2. Consideraciones básicas en el proceso de doblado

En el trabajo de láminas metálicas el doblado puede ser definido como la deformación del metal alrededor de un eje recto, así lo muestra la figura 1. Dentro de los diferentes métodos de conformado que existen el doblado es uno de los más importantes pues permite obtener formas tridimensionales con la utilización de láminas metálicas en las cuales ciertos sectores de material son obligados a deformarse por movimiento o flujo plástico, conservando en lo posible sus dimensiones y evitando la aparición de fracturas. Así pues el metal es obligado a sobrepasar su zona elástica es decir a deformarse plásticamente lo cual implica que al ser removidos los esfuerzos que causaron el doblado el material toma una forma permanente.

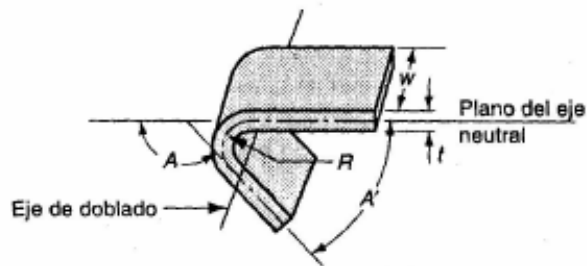


Figura 1 Doblando de una lámina metálica

Durante el proceso de doblado, las fibras internas del metal se comprimen longitudinalmente, mientras que las fibras exteriores se estiran o alargan, este proceso da lugar a que en una parte del material aproximadamente en la mitad de su espesor, aparezca un plano cuya longitud no varía con la operación de doblado, a éste plano se lo llama plano neutro (figura 2) y a una fibra ubicada allí se la denomina como línea neutra de doblado. Como se verá más adelante, la ubicación de dicha línea depende fundamentalmente de la relación existente entre el radio del doblado y el espesor del material.

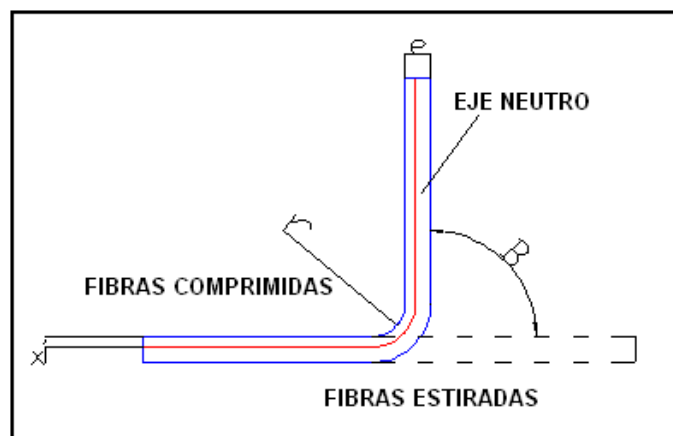


Figura 2 Apareamiento de la fibra neutra durante el doblado

En el caso puntual de los tubos, estos se doblan por muchas razones. Un motivo frecuente es la necesidad de transportar líquidos, otra razón es permitir la expansión o contracción de sistemas de tubería. Las espirales para transferencia de calor y los componentes tubulares para calderas requieren doblado. Las piezas tubulares se usan con frecuencia también como componentes estructurales en vehículos y máquinas, muebles, rieles, manijas, etc.

5.3. Parámetros que influyen en el doblado

Las operaciones de doblado están sujetas a la influencia de los mismos factores que intervienen en cualquiera de los procesos de conformado mecánico en general y los cuales fueron descritos anteriormente, sin embargo para la ejecución del doblado en particular cobran importancia ciertos parámetros de los cuales depende en gran medida el diseño de un mecanismo que permita alcanzar el objetivo de doblar con exactitud un elemento metálico es por ello que a continuación se describen dichos parámetros los cuales se tomarán en cuenta posteriormente durante las fases del diseño de la máquina.

5.3.1. Relación radio de doblado-espesor

Como se vio anteriormente el doblado de un elemento metálico entorno a un eje recto produce el apareamiento de la línea neutra cuya ubicación depende fundamentalmente de la relación entre el radio de dobles y el espesor del material que está siendo doblado. La tabla 2.1 muestra la ubicación aproximada de la línea neutra para ciertos valores de espesor y radios de doblado.

5.3.2. Fuerza de doblado

La fuerza que se requiere para realizar el doblado depende de varios parámetros como son: la geometría del punzón y del dado, espesor y ancho de la lámina de metal que se dobla y la resistencia del material.

La fuerza máxima de doblado se puede estimar por medio de un análisis, basado en el doblado de una viga empotrada en uno de sus extremos

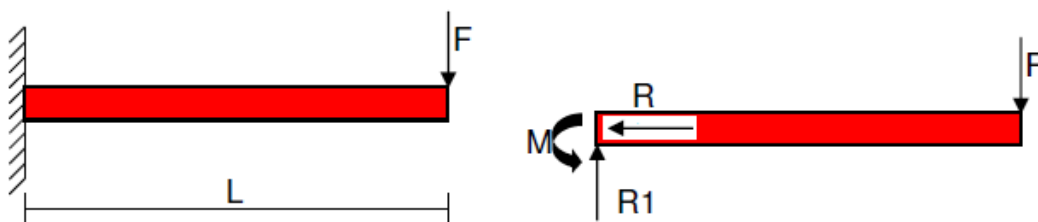


Figura 3 Diagrama de cuerpo libre de una viga empotrada en un extremo

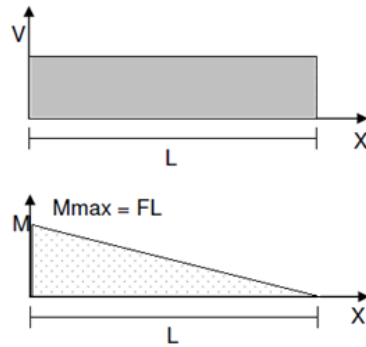


Figura 4 Diagrama de fuerza cortante y momento flector

Al analizar los diagramas de cuerpo libre y momento flexionante, mostrados en figuras 2.8 y 2.9, puede advertirse que la viga experimenta esfuerzos de flexión en la sección transversal a lo largo de toda la longitud, además puede observarse que el esfuerzo de flexión tiene un valor máximo en el extremo izquierdo, es decir en el extremo opuesto al cual es aplicada la fuerza F , pues allí el valor del momento flexionante es máximo.

5.4. Fundamentos de los sistemas hidráulicos

Actualmente el empleo de la hidráulica se ha generalizado en innumerables campos del desarrollo humano, empezando por simples aplicaciones domésticas, pasando por aplicaciones bélicas y llegando inclusive a estar presentes en complejos mecanismos de aplicación aeroespacial. Hoy en día se utiliza la potencia hidráulica para hacer funcionar muchas y variados mecanismos y herramientas. En un garaje por ejemplo un mecánico puede levantar el extremo de un automóvil con un gato hidráulico, la mayoría de automóviles se equipan con direcciones hidráulicas, los trabajadores de la construcción dependen de la energía hidráulica para operar varios componentes de sus equipos como palas o niveladoras.

5.4.1. Leyes de Pascal

Las leyes más elementales de la física referidas a la hidráulica fueron formuladas por Blas Pascal en el año 1653 y su enunciado dice:

- “La presión actúa uniformemente en todas direcciones sobre un pequeño volumen de fluido”.
- “En un fluido confinado entre fronteras sólidas, la presión actúa perpendicularmente a la frontera”.

5.4.2. Compresibilidad de los fluidos

Todos los materiales en estado gaseoso, líquido o sólido son compresibles en mayor o menor grado, la compresibilidad se refiere al cambio de volumen de una sustancia que está sujeta a un cambio en la presión que está siendo

ejercida sobre ella. La cantidad usada normalmente para medir éste fenómeno es el módulo volumétrico de elasticidad o simplemente, módulo volumétrico **E**.

5.4.3. Componentes de los sistemas hidráulicos

En un sistema hidráulico se genera, transmite y controla la aplicación de potencia a través de la circulación de aceite dentro de un circuito determinado.

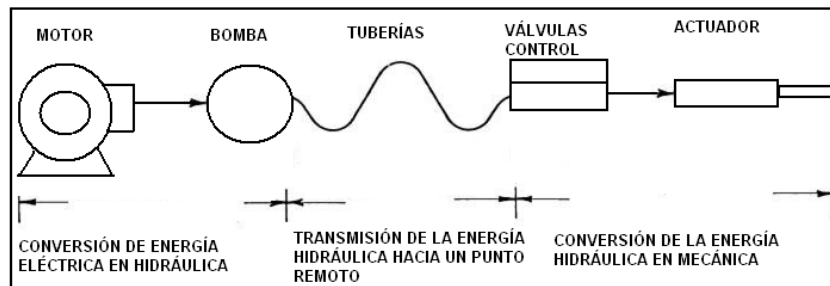


Figura 5 Esquema general de un sistema hidráulico

La figura 5 muestra el esquema típico de un sistema hidráulico, la primera sección del diagrama corresponde a la primera transformación de la energía desde un motor (generalmente eléctrico) vinculado a una bomba hidráulica en cuya salida se obtiene un cierto caudal de aceite con una determinada presión. En la parte central del diagrama se aprecia en cambio como el fluido de trabajo es conducido hacia su lugar de utilización empleando una determinada tubería y finalmente en la última sección del diagrama se deduce que el fluido en movimiento produce una reconversión en energía mecánica mediante su acción sobre un cilindro o en general un actuador. Con las válvulas y otros tipos de controles presentes en ciertos puntos del sistema se logran controlar parámetros como la velocidad o la dirección del movimiento.

6. LEVANTAMIENTO TÉCNICO DE LA MÁQUINA

6.1. Pruebas de funcionamiento

Para realizar el rediseño de la máquina fue necesario determinar el estado en el cual se encontraba, para ello se llevaron a cabo varias pruebas operativas tanto del trabajo de doblado que ejecuta la máquina como de sus diferentes componentes a fin de identificar los problemas que no permitían que el equipo funcione eficientemente. Con los resultados obtenidos se enfocó el rediseño hacia la materialización de una máquina que presente características similares a la que se usó como prototipo.

6.2. Problemas detectados en el doblado de tubo cuadrado de 3/4 de pulgada

Cuadro 1 Principales problemas detectados en la prueba de doblado de tubo cuadrado de 3/4 de pulgada

PROBLEMA DETECTADO	POSIBLE CAUSA	ACCIÓN CORRECTIVA
Falta de control en el ángulo de doblado	No existe un sistema de control de ángulos	Implementar un sistema de control de ángulos
Achatamiento en la parte interna del tubo	Los rodillos de doblado y la matriz no coinciden correctamente con el diámetro del tubo	Reconstruir la matriz y los rodillos para que se amolden al contorno del tubo
El tubo no sigue la forma de la matriz	Ejes porta rodillos desalineados	Alinear los ejes porta rodillos
Marca de la herramienta en los costados internos del tubo	Ejes porta rodillos desalineados	Alinear los ejes porta rodillos
	La matriz no coinciden correctamente con el diámetro del tubo	Reconstruir la matriz para que se amolde al contorno del tubo

6.3. Problemas detectados en el doblado de tubo redondo de 1 pulgada

Cuadro 2 Principales problemas detectados en el doblado de tubo redondo de 1 pulgada

PROBLEMA DETECTADO	POSIBLE CAUSA	ACCIÓN CORRECTIVA
No existe una matriz de doblado propia del equipo	No se construyó una matriz para tubo redondo de 1 pulgada	Diseñar y construir una matriz para tubo redondo de 1 pulgada
Falta de control del ángulo de doblado	No existe un sistema de control de ángulos de doblado	Implementar un sistema de control de ángulos de doblado

6.4. Problemas detectados en el doblado de tubo redondo de 1 1/2 pulgadas

Cuadro 3 Principales problemas detectados en la prueba de doblado de tubo redondo de 1 1/2 pulgadas

PROBLEMA DETECTADO	POSIBLE CAUSA	ACCIÓN CORRECTIVA
Falta de control en el ángulo de doblado	No existe un sistema de control de ángulos	Implementar un sistema de control de ángulos
Achatamiento en la parte externa del tubo y pliegues en la parte interna del doblado	Los rodillos de doblado y la matriz no coinciden correctamente con el diámetro del tubo	Reconstruir la matriz y los rodillos para que se amolden al contorno del tubo
Marca de la herramienta en los costados internos del tubo	Ejes porta rodillos desalineados	Alinear los ejes porta rodillos
	La matriz no coinciden correctamente con el diámetro del tubo	Reconstruir la matriz para que se amolde al contorno del tubo

6.5. Condiciones de los componentes hidráulicos

Cuadro 4 Datos técnicos de la bomba hidráulica

BOMBA HIDRÁULICA	
MARCA	REXROTH
TIPO	PALETAS
VELOCIDAD DE OPERACIÓN	900 – 1750 RPM
CAUDAL	5.21 Gln /min
PRESIÓN MÁXIMA	800 PSI
EFICIENCIA VOLUMÉTRICA	71 %
EFICIENCIA MECÁNICA	53 %
EFICIENCIA TOTAL	37 %

Cuadro 5 Clasificación del estado físico del cilindro hidráulico

ACCESORIOS Y PARTES	CLASIFICACIÓN				
	1	2	3	4	5
Camisa o tubo					x
Vástago					x
Tapas					x
Pistón o émbolo				x	
Juntas metálicas					x
Pintura				x	

Cuadro 6 Clasificación del estado físico del colector hidráulico

ACCESORIOS Y PARTES	CLASIFICACIÓN				
	1	2	3	4	5
Orificio de retorno					x
Orificio de succión					x
Tapa					x
Tabique separador					x
Juntas o uniones soldadas					x
Pintura				x	

Cuadro 7 Clasificación del estado físico de la válvula de control 4 / 3

ACCESORIOS Y PARTES	CLASIFICACIÓN				
	1	2	3	4	5
Palanca de accionamiento				x	
Acoples para manguera					x
Pernos y uniones					x
Pintura exterior				x	

Cuadro 8 Características de los manómetros

UBICACIÓN	TIPO	PSI		BAR	
		Min - max	subdivisión	Min - max	subdivisión
Entre la válvula direccional y el cilindro	bourdón	0 - 1000	20	0 - 70	1
Entre la bomba y la válvula direccional	bourdón	0 - 5000	200	0 - 350	5

Cuadro 9 Características del motor eléctrico

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Marca	SIEMENS
Tipo	1 LA 4 186
Voltaje	220/440
Amperaje	43
Frecuencia	60 Hz
Tamaño constructivo	180 L
Potencia	34 HP
Velocidad	1750 RPM
Factor de potencia	$\text{Cos } \varphi = 0.85$

Cuadro 10 Diagnóstico de la máquina

ELEMENTO	DIAGNÓSTICO	OBSERVACIONES
Motor eléctrico	Buen estado	Rebobinado en el año 2003
Bomba de paletas	Regular estado	Se llevó a cabo la alineación de las paletas
Cilindro hidráulico	Buen estado	
Válvula direccional	Buen estado	

Tanque o reservorio	Excelente estado	
Bandas de transmisión	Mal estado	Requieren cambio
Tuberías	Buen estado	
Barra de acople	Excelente estado	
Corredera	Excelente estado	
Elemento porta matriz	Excelente estado	
Sistema de conformado	Mal diseño	Requiere ser rediseñado
Sistema de control de ángulos de doblado	No existe	Requiere ser diseñado

7. REDISEÑO Y MODIFICACIÓN DEL SISTEMA DE CONFORMADO

Originalmente la máquina contaba con la siguiente configuración:

- Sistema eléctrico
- Sistema hidráulico
- Barra de acoplamiento entre el sistema hidráulico y el sistema de conformado
- Sistema de conformado con una matriz móvil y dos rodillos fijos
- Estructura de soporte

Luego del rediseño la máquina ha mantenido los mismos elementos y sistemas los cuales como se indicó con anterioridad fueron corregidos y sometidos al mantenimiento respectivo, la gran diferencia radica en que el sistema de conformado es totalmente diferente manteniéndose únicamente la matriz móvil igual al diseño original pero cambiándose el sistema de rodillos fijos por dos brazos giratorios o pivotantes, un par de zapatas posteriores y un acoplamiento con resortes que le da una contra presión a los brazos para ayudar al doblado del tubo. De igual manera la máquina cuenta ahora con un sistema que permite controlar el ángulo de doblado.

A continuación se muestra una secuencia de imágenes que ayudan a comprender de mejor manera las diferencias entre el modelo original y el rediseño.





Figura 6 Modelo original y componentes de la máquina previo al rediseño



Figura 7 Vistas de los componentes y elementos de la máquina rediseñada

7.1. Comparación y evaluación de resultados

A continuación se presenta una tabla comparativa que permite comparar los resultados obtenidos en las pruebas de doblado con la máquina original y la máquina rediseñada.

Cuadro 11 Comparación de resultados

Tipo de tubo	Diseño original			Rediseño				
	Dobla		Ángulo	Observaciones	Dobla		Ángulo	Observaciones
Redondo 1 pulgada	Si		90 °	No se controla ángulo y no dispone de matriz propia	Si		80 °	
Redondo 1 ½ pulgadas		No		No posee fuerza y el tubo se arruga		No		No posee fuerza
Cuadrado ¾ de pulgada		No		El tubo no se amolda a la matriz	Si			Requiere ajustes en la matriz

8. ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LA MÁQUINA

Una vez efectuado el rediseño de la máquina se procedió a efectuar las pruebas de doblado en los tubos de diferentes características de acuerdo a los objetivos planteados al inicio del proyecto.

Las pruebas iniciales demostraron que los tubos cuadrados de 3/4 y de 1/2 pulgada se doblan sin inconvenientes y de acuerdo a los resultados esperados, sin embargo el momento de realizar el doblado de tubos de 1 1/2 pulgada la estructura tendía a deformarse lo que provocaba una desalineación significativa entre la barra que conecta el pistón y la corredera que desplaza a la matriz lo que no permitía que estos tubos sean doblados por lo que se analizó la estructura mediante el software SOLID WORKS determinándose que las deformaciones de la estructura estaban entorno a los dos milímetros lo cual era suficiente para provocar el problema de desalineación tal como lo muestra la figura 8.

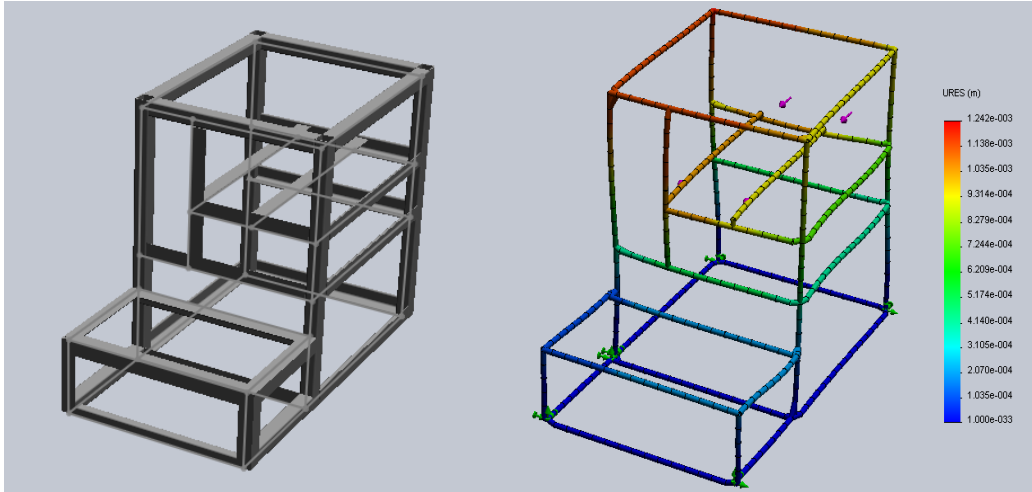


Figura 8 Simulación de las deformaciones de la estructura original de la máquina

Con los resultados de esta simulación se procedió a efectuar un análisis de las deformaciones y se estableció la necesidad de efectuar ciertos refuerzos que disminuyan las deformaciones, determinándose que dichos refuerzos permitirían lograr el objetivo de doblar los tubos más grandes, la figura 9 muestra los refuerzos efectuados en la máquina.

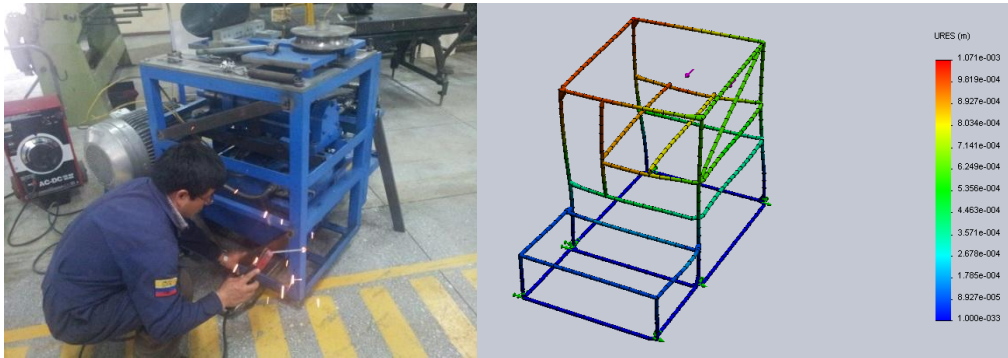


Figura 9 refuerzos en la máquina y estudio simulado de las deformaciones

Estos refuerzos redujeron las deformaciones existentes sin embargo al probar nuevamente la máquina con tubo de 1 1/2 pulgada la desalineación persistió llegándose a determinar que la estructura en todo su contexto debe ser modificada para lograr al 100 % los objetivos planteados ya que el mecanismo original para mover la corredera no es el más adecuado para lograr el doblado de los tubos más grandes y esto conlleva las deformaciones de la estructura, por lo que se debería realizar un nuevo rediseño de este mecanismo para lograr el objetivo.

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

9.1. Conclusiones

1. El proyecto cumplió con el objetivo de realizar el levantamiento técnico de la máquina y de solucionar los problemas existentes principalmente en la parte hidráulica de la máquina.
2. Se efectuó con éxito el rediseño del sistema de conformado de la máquina considerando un nuevo mecanismo con matrices, zapatas, tensores y resortes los mismos que mejoraron en un 90% el diseño original.
3. Se realizó el refuerzo de la estructura de la máquina.
4. Se cumplieron en un 85 % los objetivos planteados en cuanto al doblado de tubos considerando que la máquina dobla tubos cuadrados de 3/4 de pulgada y tubos redondos de 1 pulgada, mientras que persiste el problema en cuanto al doblado de tubos de 1 1/2 pulgadas.
5. El mecanismo original que dispone la máquina para mover la corredera junto con la matriz para el doblado de los tubos no es el más adecuado para el objetivo de doblar tubos de dimensiones mayores a 1 pulgada por lo que se hace imperante la necesidad de realizar un nuevo estudio y rediseño de dicho mecanismo

9.2. Recomendaciones

1. Es necesario ampliar el estudio del mecanismo de doblado y realizar un nuevo rediseño ya que al momento con las mejoras realizadas a la máquina no fue posible alcanzar a doblar tubos mayores a 1 pulgada de diámetro.

10. REFERENCIAS

- [1.] Gere, J.M. Mecánica de materiales. Traducido del inglés por José de la Cera, Virgilio González y Sergio Durán. 5ta. Ed. México, Thomson Editores. 2002.
- [2.] LA PAZ. UNIVERSIDAD MAYOR SAN SIMÓN, Tecnología mecánica, Facultad de ciencia y tecnología.
- [3.] Bahamonde, N. y Guaranda, W. Simulación del proceso de estampado en chapas metálicas y su recuperación elástica a través del software por elementos finitos Stampack. Tesis Ing. Mec. Quito. Escuela Politécnica Nacional. Escuela de Ingeniería. 2007
- [4.] Endara, S. y Silva, R. Diseño mecánico de una dobladora manual. Tesis Ing. Mec. Sangolquí. Escuela Politécnica del Ejército. Facultad de Ingeniería Mecánica. 2000
- [5.] Mott, R.L. Mecánica de fluidos aplicada. Traducido del inglés por Carlos Cordero y Homero flores. 4ta. Ed. México, Prentice Hall Hispanoamericana, S.A. 1996

- [6.] Anchapaxi P. Diseño y construcción de una máquina hidráulica semiautomática de tipo universal. Tesis Ing. Mec. Sangolquí. Escuela Politécnica del Ejército. Facultad de Ingeniería Mecánica. 2003
- [7.] Centro de servicios y accesorios Dipac. Catálogo de acero. Dipac Cía. Ltda. S.f.
- [8.] Norton, R.L. Diseño de Máquinas. Traducido del inglés por Gabriel Sánchez García. 1ra. Ed. México, Prentice Hall. 1999
- [9.] Shigley, J.E y Mischke, C.R. Diseño en Ingeniería mecánica. Traducido del inglés por Javier León cárdenas. 6ta. Ed. México, McGRAW-HILL. 2002