

# CAPÍTULO 4

## DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA MÁQUINA CURVADORA DE TUBO REDONDO METÁLICO DE ½ IN A 1 IN

*Fecha: 15 de marzo del 2024*

*Data de aceite: 02/05/2024*

**José Heriberto Simental Vázquez**

Cd. Juárez, Chihuahua, Mx

**Alfonso Sierra Chacón**

Cd. Juárez, Chihuahua, Mx

**Rocío Alejandra Reyes Carlos**

Cd. Juárez, Chihuahua, Mx

**RESUMEN:** En este proyecto la finalidad fue desarrollar un diseño y simulación de una máquina curvadora de tubo redondo metálico de ½in a 1in, esto con la finalidad de proporcionar una herramienta con la cual se pueda tener varios usos en el plantel. Para este proyecto se tomaron consideraciones de diseño entre las cuales están las resistencias de los materiales, el comportamiento de la maquina considerando la fuerza que se requiere para poder deformar un tubo con una dimensión preestablecida, a su vez se manejó estudios de movimiento y cálculos basados en le mecánica de materiales para justificar por qué se escogen las fuerzas con las que va a interactuar la máquina.

### INTRODUCCIÓN

#### Antecedentes

Actualmente el uso de máquinas dobladoras de tubos es de mucha utilidad en la industria metalmeccánica, el uso de máquinas capaces de hacer curvaturas de tubos provee un avance significativo en la industria donde permite un proceso más simplificado para armar estructuras que requiera de elementos curvos, contribuyendo este tipo de máquina al desarrollo de construcciones mecánicas.

El doblado de tubo es un proceso de trabajo en frio que produce una curva en el tubo y que a su vez conserva su sección transversal, precisamente al trabajar con tubulares huecos no necesita maquinaria más compleja para poder lograr la curvatura del tubo como sería el caso contrario con tubulares completamente sólidos.

Este proyecto se enfoca en presentar una propuesta de diseño de una máquina para doblar tubulares, en donde se realizarán pruebas de movimiento mediante el software Solid Works, pruebas

de resistencia los cuales son simulaciones importantes para comprobar si con la propuesta de diseño y selección de materiales a trabajar serán viables para el diseño de la máquina.

La tubería curvada tiene una amplia aplicación en muchos sectores industriales, un tubo tal como sale de fábrica generalmente debe someterse a tratamientos post fabricación para que este sea utilizable, saber cómo usar una dobladora de tubos manual es muy fácil, ya que presenta una placa de medición donde se ajusta el ángulo de curvatura y, mediante su articulación, se procede a realizar la acción prevista. Hay diferentes tipos de máquinas según la necesidad para la que se requiera.

En el artículo de “Diseño de una dobladora de tubo manual de sección circular para el taller de fabricación del I.U.T Antonio José de Sucre” por Rosillon Kenneth (2014) explica como una 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, esto con su respectivo ángulo, también explica como el doblado del material debe tener un tiempo de duración de 30 segundos como mínimo para conseguir un rendimiento óptimo a las propiedades del tubo doblado y las de la máquina.

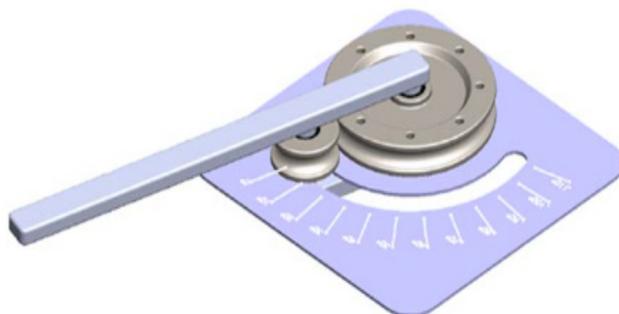


Figura 1: Diseño de Rosillon Kenneth

Con un diseño manual se sostiene que sería una herramienta más accesible para empresas pequeñas que se dediquen a este tipo de trabajo por el motivo que las maquinas CNC tienen un costo muy elevado por la programación correspondiente.

En otro artículo que menciona el análisis, funcionamiento y operación de máquinas curvadoras de tubos escrito por Molina y Rubio (2012). Donde menciona como a nivel mundial la industria de la mecánica ha ido creciendo tanto en conocimiento como en nivel competitivo por lo que se presenta el proyecto del análisis de funcionamiento de las maquinas dobladora de tubos donde al ser una máquina en un plantel educativo se busca la excelencia, la operación adecuada, un mantenimiento preventivo y correctivo lo cual hará que tanto el personal docente del plantel educativo como el alumnado se adentren al mundo de la mecánica.



Figura 2: Sistema de doblado

## Planteamiento del problema

### ¿Por qué hacer una máquina para curvar tubos redondos?

En la actualidad no se cuenta con una máquina de este tipo, para adquirir un maquina automatizada se requeriría de un elevado costo para poderla fabricar y para mantenerla. Se requiere de sombras para áreas verdes y a su vez que los estudiantes tengan una mejor preparación para diferentes áreas de la ingeniería al egresar del plantel educativo.

## Justificación

El uso de máquinas siempre otorgara beneficios al ser humano, la dobladora de tubos logra crear curvaturas en los tubulares y estos a su vez pueden utilizarse en diferentes áreas del plantel educativo, sin embargo, no solo con hacer curvaturas es suficiente, se requiere que la herramienta pueda hacer las curvas a una dimensión específica por lo que requiere de mediciones de grados para poder trabajar con ella, también la máquina se debe conocer los materiales con los que va a trabajar para que soporte la carga ejercida en el plato como la palanca y que estas tengan una larga vida útil., donde los tubulares funcionan como soporte para resistir las adversidades climáticas que se pueden presentar en un clima como es el de ciudad Juárez, esta máquina podría utilizarse en el área del laboratorio de metal mecánica para realizar prácticas y de esa manera ampliar el conocimiento de los alumnos con respecto a la mecánica y sus respectivos mantenimientos necesarios, lo cual hará que los estudiantes y docentes se adentren más en el mundo de la mecánica y estén más preparados para enfrentar las situaciones a las que está expuesto un ingeniero.

## Objetivos

### *Objetivo general*

Diseñar una máquina capaz de doblar tubos de ½" a 1" incluyendo simulación de movimiento y esfuerzo.

### *Objetivos específicos*

Seleccionar el tipo de material con el que se diseñara la máquina.

Diseñar el mecanismo para el proceso de doblado.

Dibujo de planos y ensamble de la máquina.

## Supuesto

Se espera que la máquina sea capaz de soportar las cargas de fuerza y momentos a las cuales estará sometida para llevar a cabo la curvatura del tubo teniendo una vida duradera de la misma y un manejo fácil de la operación.

## MARCO TEÓRICO

### Métodos para el doblado de tubos

Cuando se trata del doblado de tubos se deben tomar en cuenta diferentes factores como lo explica en el libro de (Groover, 2007, P. 448), el doblado de material tubular es más difícil que el de la lámina porque un tubo tiende a romperse o deformarse cuando se hacen intentos para doblarlo. Se usan mandriles flexibles especiales que se insertan en el tubo antes de doblarlo para que soporten las paredes durante la operación. Algunos de los términos que se usan en el doblado de tubos se definen en la figura 3-5. El radio del doblado  $R$  se define respecto a la línea central del tubo. Cuando el tubo se dobla, la pared interior del doblado se comprime y la pared exterior se tensa. Esta condición de esfuerzos causa adelgazamiento y elongación de la pared externa, y engrosamiento y acortado de la pared interna. Como consecuencia hay una tendencia en las paredes interna y externa de ser forzadas hacia el lado opuesto para causar el aplanamiento de la sección transversal del tubo.

### *Doblado por estirado*

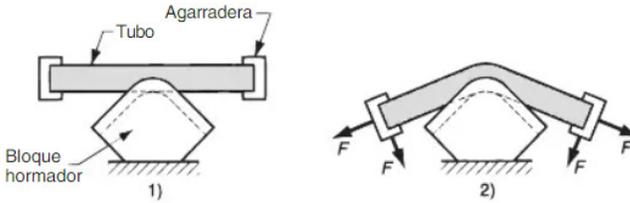


Figura 3: Doblado por estirado

El doblado por estirado se realiza tirando y doblando el tubo alrededor de un bloque de horma fija, como se muestra en la figura 3.

### *Doblado por arrastr*

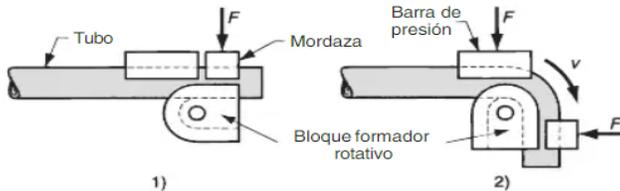


Figura 4: Doblado por arrastre

El doblado por arrastre se realiza fijando el tubo contra un bloque formador y arrastrando el tubo a través del doblado por rotación del bloque, como se muestra en la figura 4. Se usa una barra de presión para soportar el trabajo al ser doblado.

### *Doblado por compresión*

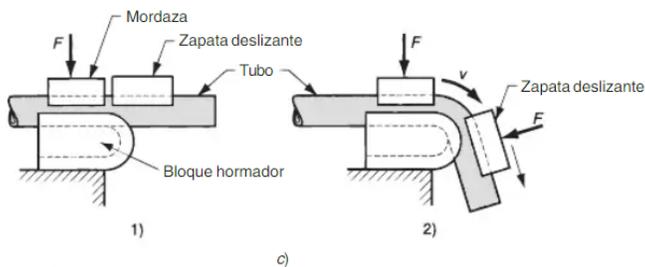


Figura 5: Doblado por compresión

En el doblado por compresión se usa una zapata deslizante para envolver el tubo alrededor del contorno de un bloque de forma fija, como se observa en la figura 5.

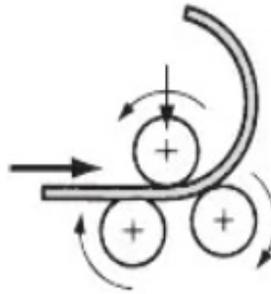


Figura 6: Doblado por rodillos

El doblado con rodillos (Figura 6) asociado generalmente con el formado de material laminar se usa también para doblar tubos y otras secciones.

## **Mecánica de la tubería**

### *Propiedades mecánicas en el doblado de tubos*

Al ser la tubería un material con muchas utilidades, en este caso la curvatura de tubos se debe tomar en cuenta el cómo el método de doblado afectara a la estructura física del tubular a trabajar, siendo así este tipo de trabajo en frio se alterarían las propiedades mecánicas del material original.

Tomando como referencia a (Edgar, 2003, p.18), Después del proceso de doblado la resistencia a la fluencia y a la tracción del material se elevan en un 10% aproximadamente, mientras que la elongación del material disminuye aproximadamente en un 15%. Dicho así, este tipo de trabajo deformaría la sección transversal del material tubular el cual dependería de diversos factores según el material con el que se esté trabajando, el espesor y diámetros de la pieza a trabajar. Dicho así, entonces las propiedades mecánicas del tubo cambiarían entre mayor sea el radio de doblado, menor será la deformación de la sección transversal; entonces al tratarse de un radio menor entonces este estaría sometido a una mayor deformación.

### *Esfuerzo-deformación*

Existen tres tipos de esfuerzo estáticos a los que se sujetan los materiales: tensión, compresión y cortante. Los esfuerzos de tensión tienden a estirar al material, las de compresión a compactarlo, y las cortantes comprenden tensiones que tienden a ocasionar que porciones adyacentes del material se deslicen una respecto a la otra.

La curva esfuerzo-deformación es la relación básica que describe las propiedades mecánicas para los tres tipos.

El esfuerzo deformación de ingeniería en una prueba de tensión que se define en relación con el área y longitud originales del espécimen de prueba. Dichos valores son de interés en el diseño debido a que el diseñador espera que las tensiones-deformaciones experimentadas por cualquier componente del producto no cambiarán su forma de manera significativa.

En la figura 7 se ilustra una curva común del esfuerzo-deformación de ingeniería de una prueba de tensión de un espécimen metálico. El esfuerzo de ingeniería en cualquier punto de la curva se define como la fuerza dividida entre el área original:

$$\sigma = \frac{F}{A} \dots \text{ecuación (1)}$$

donde  $\sigma$  = esfuerzo de ingeniería, MPa (lb/in<sup>2</sup>), F = fuerza aplicada durante la prueba, N (lb), y A<sub>o</sub> = área original del espécimen de prueba, mm<sup>2</sup> (in<sup>2</sup>). (Groover, 2007, P. 40)

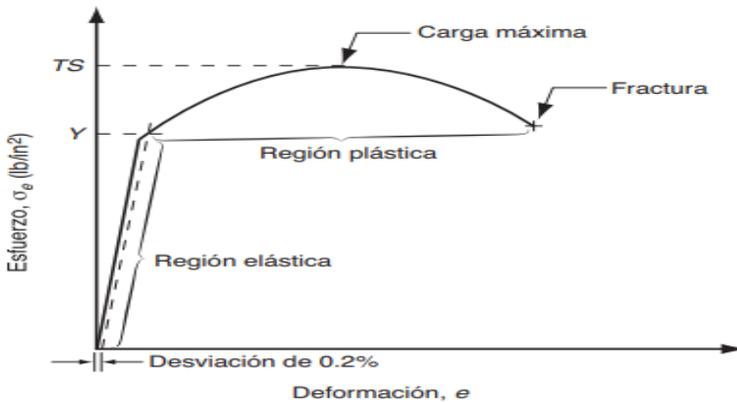


Figura 7: Gráfica normal del esfuerzo deformación

### *Esfuerzo de tensión y compresión*

El análisis siguiente se aplica a miembros sometidos a tensión o a compresión, como se muestra en la figura 8: Como interpretación gráfica, la magnitud de la fuerza interna resultante P es equivalente al volumen bajo el diagrama de esfuerzo; es decir,  $P = \sigma A$  (volumen = altura X base).

Además, como consecuencia del equilibrio de momentos, esta resultante pasa por el centroide de este volumen. (Hibbeler, 2006, p. 26)

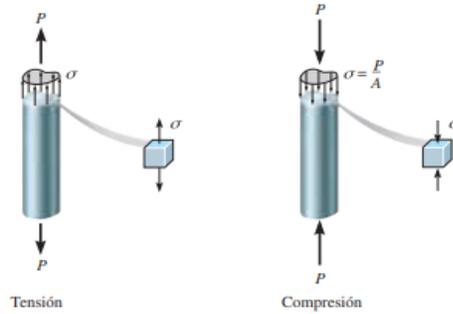


Figura 8: Ejemplo de esfuerzos a tensión y compresión

El esfuerzo de tensión es aquel que está sometido un cuerpo por la aplicación de dos fuerzas que actúan en sentidos opuestos, por lo que tienden a estirarlo.

A esto se le considera fuerzas normales a esa sección, debido a que poseen sentidos opuestos a las fuerzas que intentan alargar el cuerpo.

Por otro lado, el esfuerzo por compresión se puede ver como la resultante o consecuencia al ejercer una fuerza o presión sobre un sólido deformable. Una característica muy importante de este tipo de esfuerzo es los sólidos bajo estos efectos tienden a reducir su volumen del cuerpo dependiendo de la dirección en la que se le ejerce esta fuerza.

### *Esfuerzo cortante*

Un esfuerzo es una fuerza que actúa sobre un cuerpo para deformarlo, entre los tipos de esfuerzos variaran dependiendo de cómo se aplica la fuerza. De esta forma cada componente reaccionara diferente dependiendo de cómo se le aplique la fuerza, por lo que se tienen diferentes formas de aplicar una fuerza, en este caso el esfuerzo cortante que resulta de ejercer una fuerza perpendicular a la sección transversal de un prisma mecánico, como en su caso puede ser una viga o un pilar.

El esfuerzo cortante se describe como la consecuencia de aplicar dos fuerzas o más en sentido contrario la una de la otra.

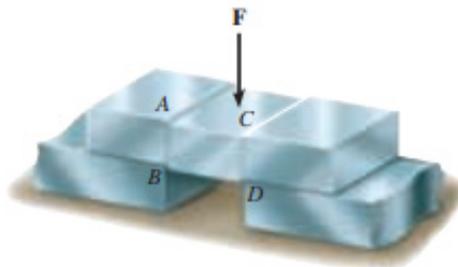


Figura 9: Ejemplo de un esfuerzo cortante

Fuente: (Hibbeler, 2006)

Al igual que en los casos anteriores es importante resaltar los tipos de esfuerzos que puede haber al trabajar con una máquina curvadora de tubos, en este caso siendo esfuerzos estáticos.

## Deformación unitaria

Puesto que, para el correcto análisis de la máquina, se considera necesario el entendimiento de la deformación unitaria que basándose en diferentes teorías queda mejor explicado que es el cambio de longitud por unidad de longitud, esta es una cantidad adimensional, debido a que se puede obtener por medio de una división entre longitudes.

Dicho de otra forma, este tipo de deformación es una relación que existe entre la deformación total y la longitud inicial del elemento, la ventaja de utilizar este tipo de dato para el diseño de la maquina es que permitirá determinar la deformación del elemento sometido a fuerzas de tensión, compresión o en su caso a momentos con los cuales cada acción conlleva una reacción.

Para el correcto entendimiento de este tipo de deformación es necesario conocer como se muestra en la siguiente figura, la consecuencia de ejercer una fuerza de tensión sobre un componente mecánico.

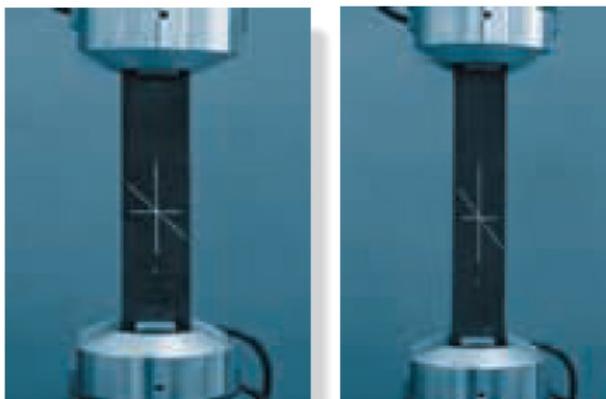


Figura 10: Ejemplo deformación unitaria

Fuente: (Hibbeler,2006, p.70)

En el ejemplo se puede observar el antes y después de una deformación sobre una membrana de hule en donde está sometida a tensión, la línea vertical se alarga, la horizontal se corta y la línea inclinada cambia de longitud y gira.

## Factor de seguridad

Para este tipo de concepto se sabe que los FoS (factores de seguridad), entre mayor sea el valor de este, proporcionaría mayor seguridad en el producto o estructura que se planea diseñar. Cuando se tiene un FoS menor o igual a 1 representaría que la estructura o componente fallara cuando se alcance las cargas de diseño, por lo que no sería capaz de soportar una carga de una magnitud mayor, dicho así, para garantizar que el diseño sea viable en cuestiones de seguridad se tienen estándares con los cuales trabajar dependiendo del trabajo que se desea realizar.

Para que un diseño sea óptimo, este debe estar diseñado para que soporte un peso o cargas mayores a las que se tienen establecidas para trabajar.

La importancia de este método para saber si la estructura es segura radica en que se mantiene la funcionalidad de la estructura, lo cual garantiza una seguridad para las personas, se pueden evitar daños a la propiedad y reduce las posibilidades de que el producto falle.

En la actualidad hay muchas teorías que se han ido reforzando con el paso del tiempo para garantizar que el factor de seguridad de trabajo sea el adecuado, según un libro del diseño de máquina, de R.S.Khurmi y J.K.Gupta (2005), se deben tener diferentes consideraciones para la selección de un factor de seguridad adecuado, las consideraciones a tomar en cuenta son:

- Material dúctil o frágil; los materiales dúctiles utilizan el límite elástico; los materiales frágiles utilizan el límite máximo.
- El límite elástico determina el FoS hasta el comienzo de la deformación.
- Resistencia última: determina la FoS hasta el fallo.
- Proceso de fabricación
- Tipo de estrés
- Condiciones generales de servicio
- Forma de las piezas

## Tipos de máquinas curvadoras de tubos

### *Máquina manual*

Este tipo de herramientas generalmente utilizan la fuerza aplicada por el ser humano con una palanca para crear un momento por el cual aplicando la fuerza necesaria podría torcer el tubo. Por lo general este tipo de máquinas cuentan con una matriz de presión y una matriz de doblado fija, esto debido a que el método requiere una pieza sujeta y con la presión necesaria para poder realizar el curvado. De esta forma la matriz de presión puede girar con referencia a la matriz de doblado.



Figura 11: Dobladora de tubos manual

Fuente: <https://www.istriacorp.cl/maquinas-nuevas-curvadoras-de-tubos/>

Por lo general este tipo de máquinas cuenta con una serie de componentes que, si bien tienden a variar dependiendo de la utilidad y el diseño de la máquina, es necesario mencionarlos a continuación:

#### *Matriz de seguimiento o presión:*

Es la que proporciona una contención durante el proceso del doblado y su longitud depende del grado de flexión y del radio del tubular. Es el encargado de ejercer una presión constante sobre el tubo y le da continuidad a lo largo de todo el proceso de doblado.

Gracias a este componente se pueden minimizar los desgarros y fisuras superficiales al disminuir la resistencia del avance.

#### *Matriz de sujeción:*

Es el componente que fija el tubo en un solo lugar, básicamente funciona como soporte, para este tipo de componente se diseñan en base a el diámetro de los tubulares a doblar.

#### *Matriz de doblado:*

Es la parte principal de la máquina, para el doblado correctamente es necesario que actúen todos los componentes apoyándose de esta matriz, ejerciendo como un molde para el tubo con un radio de curvatura diseñado según el rango de tubos que se quiera doblar.

Entre sus características es que poseen una porción curvada, debe estar firme para garantizar el doblado del tubo sin errores.

### *Palanca:*

En el caso de ser una máquina manual es necesario ejercer una fuerza por medio de una palanca la cual arrastrara la matriz de seguimiento por todo el perímetro del tubular hasta un tope puesto según el grado de curvatura que se requiera el tubular.

### *Maquina hidráulica*

Teniendo en cuenta que la hidráulica es una rama de la física que tiene como objetivo de estudio el comportamiento de los fluidos con la finalidad de realizar un trabajo, por ende, no es de extrañar que estos tipos de sistemas hidráulicos se implementaran en las maquinas curvadoras de tubos por lo que al trabajar con ella se ha mejorado la precisión y flexibilidad debido a la fuerza que estos sistemas pueden aplicar por sus accionamientos hidráulicos.

Por lo general este tipo de máquinas puede funcionar como una prensa vertical o en su caso horizontal, de esta forma la matriz de punzón aplica una fuerza con su respectivo radio el cual puede doblar la tubería al tener dos matrices funcionando como tope para realizar la curvatura del tubo.



Figura 12: Dobladora de tubos hidráulica

Fuente: <https://www.virax.com/es/2408-curvadora-hidraulica-electrica.html>

### *Máquina electromagnética (CNC)*

Por lo general este tipo de máquinas funcionan con un motor eléctrico que proporciona la fuerza necesaria para realizar el doblado, pueden controlar el ángulo de curvatura mediante fines de carrera, el operario únicamente se encarga del accionamiento del motor, y la carga y descarga del tubo.



Figura 13: Dobladora de tubos electromagnética

Fuente: <https://maquinaria-y-equipos.com/es/articulos/soluciones-de-dobladora-de-tubo.html>

### *Ventajas*

En la actualidad los tubos se utilizan para apoyar, encuadrar o soportar. Tiene una gran cantidad de usos por lo que la variedad de tubo doblado es muy basta. En este tipo de proceso de trabajo es importante saber con qué perfiles circulares se va a trabajar, la tarea para lo cual se requieren por lo que hay que saber el diámetro del tubo a doblar, grosor y el material, de no tener en cuenta dichas características se puede dañar los tubulares con fisuras o fracturas por el método equivoco de doblado, también por la fuerza ejercida en los mismos.

Este proceso de trabajo se obtienen bastantes ventajas, se pueden utilizar para la cerrajería, industria automotriz, estructuras metálicas, etc. Por lo que, al tener esta cantidad de usos, se vuelve en una opción viable el invertir en este tipo de maquinarias cuando se tiene negocios y ahora más en la actualidad por el avance tecnológico que se ha dado en el 2022.

En la industria se utilizan por lo general las maquinas electromecánicas, esto debido a que sale más redituable porque a su vez disminuyen los errores por el trabajo humano.

## **Materiales**

### *Acero inoxidable al cromo*

Para empezar a conocer completamente esta aleación primero se debe conocer por partes considerando primero el acero inoxidable el cual es un nombre que recibe la familia de aceros resistentes a la corrosión y resistentes a altas temperaturas, cabe destacar que el acero inoxidable ya cuenta con un mínimo del 10.5% de cromo.

Tomando como referencia el documento de (Zapata, 2019, p.3) donde menciona que, así como hay varios aceros al carbono estructurales e ingenieriles con diferentes requisitos de resistencia, soldabilidad y tenacidad, también hay una amplia gama de aceros inoxidables

con diferentes niveles de resistencia mecánica y a la corrosión. Este conjunto de propiedades del acero inoxidable es el resultado de dicciones controladas de elementos de aleación, que afectan a las propiedades mecánicas y a la capacidad de resistir en diferentes ambientes corrosivos. Es importante seleccionar un acero inoxidable que sea adecuado para una determinada aplicación sin que sea innecesariamente muy aleado y costoso.

**TABLA 1 Propiedades físicas de algunos materiales de ingeniería**  
 Datos provenientes de varias fuentes.\* Estas propiedades son esencialmente similares para todas las aleaciones del material específico

Material	Módulo de elasticidad <i>E</i>		Módulo de rigidez <i>G</i>		Razón de Poisson <i>v</i>	Peso específico $\gamma$ lb/in <sup>3</sup>	Densidad de masa $\rho$ Mg/m <sup>3</sup>	Gravedad específica
	Mpsi	GPa	Mpsi	GPa				
Aleación de aluminio	10.4	71.7	3.9	26.8	0.34	0.10	2.8	2.8
Cobre al berilio	18.5	127.6	7.2	49.4	0.29	0.30	8.3	8.3
Latón, bronce	16.0	110.3	6.0	41.5	0.33	0.31	8.6	8.6
Cobre	17.5	120.7	6.5	44.7	0.35	0.32	8.9	8.9
Hierro fundido gris	15.0	103.4	5.9	40.4	0.28	0.26	7.2	7.2
Hierro fundido dúctil	24.5	168.9	9.4	65.0	0.30	0.25	6.9	6.9
Hierro fundido maleable	25.0	172.4	9.6	66.3	0.30	0.26	7.3	7.3
Aleaciones de magnesio	6.5	44.8	2.4	16.8	0.33	0.07	1.8	1.8
Aleaciones de níquel	30.0	206.8	11.5	79.6	0.30	0.30	8.3	8.3
Acero al carbono	30.0	206.8	11.7	80.8	0.28	0.28	7.8	7.8
Aleaciones de acero	30.0	206.8	11.7	80.8	0.28	0.28	7.8	7.8
Acero inoxidable	27.5	189.6	10.7	74.1	0.28	0.28	7.8	7.8
Aleaciones de titanio	16.5	113.8	6.2	42.4	0.34	0.16	4.4	4.4
Aleaciones de zinc	12.0	82.7	4.5	31.1	0.33	0.24	6.6	6.6

\* Properties of Some Metals and Alloys, International Nickel Co., N.Y., Metals Handbook, American Society for Metals, Materials Park, Ohio.

Tabla 1: Propiedades mecánicas de materiales

Fuente: <https://ingemecanica.com/tutoriales/materiales.html>

Teniendo en cuenta las propiedades de los aceros inoxidables, entonces ¿por qué es importante el cromo? Esto se debe a que el contenido de cromo en el acero permite que sea resistente a la corrosión, lo cual disminuye drásticamente la oxidación, este a su vez aumenta la dureza y la resistencia a la tracción y la tenacidad en los aceros, mejora la templabilidad lo cual es importante el uso de este en herramientas que mantienen contacto con partes móviles, como beneficio extra les da una apariencia muy vistosa a los aceros inoxidables.

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	200000	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente de Poisson	0.28	N/D
Módulo cortante	77000	N/mm <sup>2</sup>
Densidad de masa	7800	kg/m <sup>3</sup>
Límite de tracción	413.613	N/mm <sup>2</sup>
Límite de compresión		N/mm <sup>2</sup>
Límite elástico	172.339	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente de expansión térmica	1.1e-05	/K
Conductividad térmica	18	W/(m·K)

Tabla 2: Propiedades mecánicas del acero inoxidable al cromo por SolidWorks

### Aleación de aluminio 6061

Este material siendo una aleación es conocido por su composición, en el cual cuenta con elementos de aluminio, silicio y magnesio. Entre sus características generales es que tiene una resistencia entre media y alta, es resistente a la corrosión y tiene una buena soldabilidad, ductilidad y maquinabilidad.

Este tipo de material es usado en todo el mundo, para los moldes de inyección y soplado, construcción de estructuras de aeronaves, como las alas y el fuselaje de aviones comerciales y de uso militar; en refacciones industriales, en la construcción de yates, incluidos pequeñas embarcaciones, en piezas de automóviles, en la manufactura de latas de aluminio para el empaquetado de comida y bebidas. Es fácil de maquinar y resistente a la corrosión.

En la siguiente tabla se muestra la composición química del aluminio 6061

Composición química en peso, (% wt.) , de la aleación de aluminio 6061.

Si (% wt.)	Mg (% wt.)	Fe (% wt.)	Cu (% wt.)	Mn (% wt.)	Zn (% wt.)	Ni (% wt.)	Cr (% wt.)	Ti (% wt.)	Sn (% wt.)
0,4 -0,8	0,8 -1,2	0,7	0,15 - 0,4	0,15	0,25	0,05	0,04 -0,35	0,15	0,05

Tabla 3: Composición química del aluminio 6061

Fuente: (Nelson, 2007.p.16)

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	69000	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente de Poisson	0.33	N/D
Módulo cortante	26000	N/mm <sup>2</sup>
Densidad de masa	2700	kg/m <sup>3</sup>
Límite de tracción	124.084	N/mm <sup>2</sup>
Límite de compresión		N/mm <sup>2</sup>
Límite elástico	55.1485	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente de expansión térmica	2.4e-05	/K
Conductividad térmica	170	W/(m·K)
Calor específico	1300	J/(kg·K)

Tabla 4: Propiedades mecánicas del aluminio 6061 por SolidWorks

Es importante conocer las propiedades mecánicas de los materiales debido a que gracias a ellas sabemos cómo afectara a la resistencia mecánica y en base a eso aplicar una fuerza que sea apropiada para la función que requerimos que haga la máquina.

## DESARROLLO

### Dibujo a mano alzada

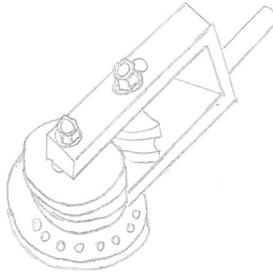


Figura 14: Dibujo a mano alzada  
Diseño por Carlos Gonzalez

Para empezar a diseñar se debe plasmar primero el concepto a mano alzada para que a partir de la investigación se puedan hacer mejoras e ir avanzando en el diseño. En este caso se realizaron dibujos para poder llegar a lo que es el diseño final, para esto aún no se tenían bien definidas las medidas en su totalidad, para llegar a ellas se tuvieron que ir avanzando conforme los movimientos de la máquina

### Subensambles

#### *Subensamble del soporte de la máquina*

Para empezar con el ensamble de esta máquina manual se toma principalmente el plato que contiene orificios con los cuales son esenciales en este método de doblado porque con ellos se especifica hasta que grado en un rango de  $180^\circ$  se podría realizar el doblado del tubo redondo.

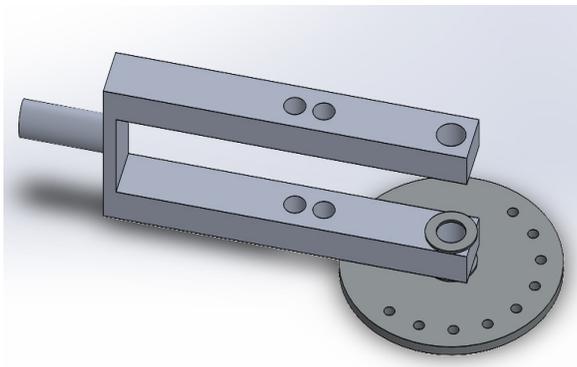


Figura 15: Subensamble del plato y palanca  
Diseño por Carlos Gonzalez, en SolidWorks 2022

A su vez se agregan arandelas en los orificios de la palanca y el plato para que de esta forma este mejor fijado los tornillos de fijación junto con la matriz de doblado y seguimiento.

#### *Subensamble de la matriz de doblado*

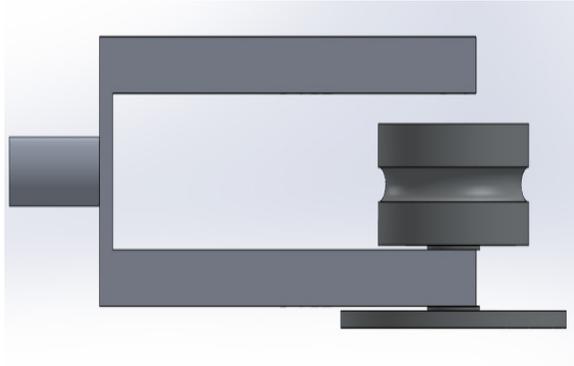


Figura 16: Matriz de doblado

Diseño por Carlos Gonzalez, en SolidWorks 2022

En la figura 15 se tiene el ensamble de la matriz principal del doblado de tubos con una arandela en la parte inferior para nivelar el componente mecánico y darle una fijación más segura.

#### *Subensamble de la matriz de sujeción*

En la figura 16 se tiene el ensamble de la matriz de sujeción, en donde esta debe soldada al plato, es importante este documento este nivelado junto con el radio interno de la matriz de doblado para que se soporte el tubular en él y mantenga firme el componente mecánico para evitar fisuras.

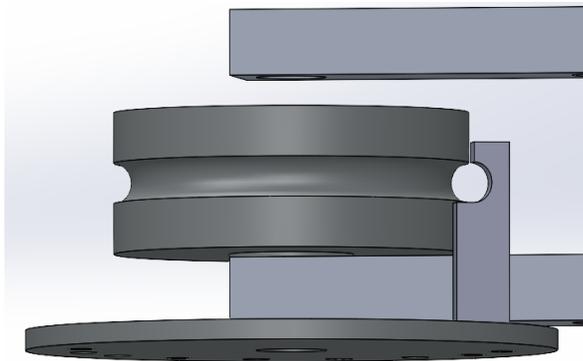


Figura 17: Matriz de sujeción.

### *Subensamble de tornillo para la matriz de doblado*

Para este ensamble se realizaron relaciones de posición entre las cuales se debe agregar una relación de centralidad junto con el plato, la palanca y la arandela. A su vez se le agrego la relación de posición de coincidente en la cara plana del tornillo junto con el plato para que esta permaneciera inmóvil debido a que es el componente que mantendrá unido tantos componentes se tomó la decisión de elegir un material resistente que soporte cargas para garantizar la correcta unión de los demás componentes.

Esto a su vez se le agrega una tuerca y una arandela en la parte superior para mantener unido el tubo.

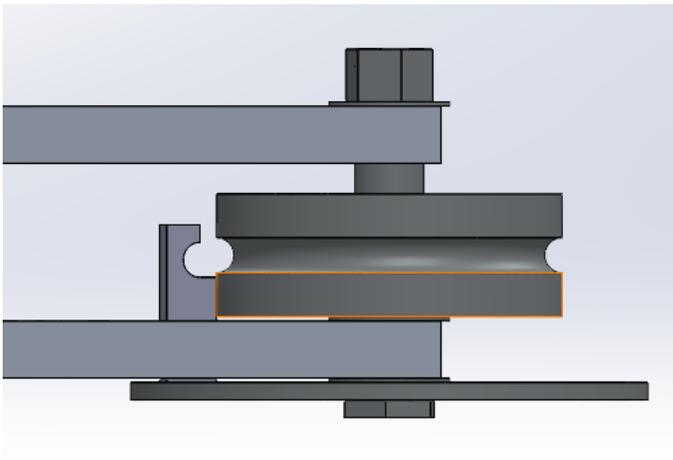


Figura 18: Tornillo de fijación

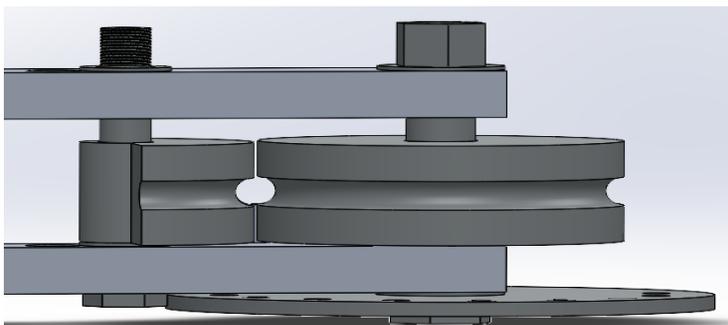


Figura 19: Matriz de presión

### *Subensamble de la matriz de presión*

Para ensamblar estos componentes se tomó el mismo principio que la matriz de doblado en donde se realizaron relaciones de posición de concéntrica, coincidencia. Al ser esta la matriz de seguimiento tiene que estar muy cerca del contacto con la matriz de doblado para evitar errores en el diseño.

## Ensamble final

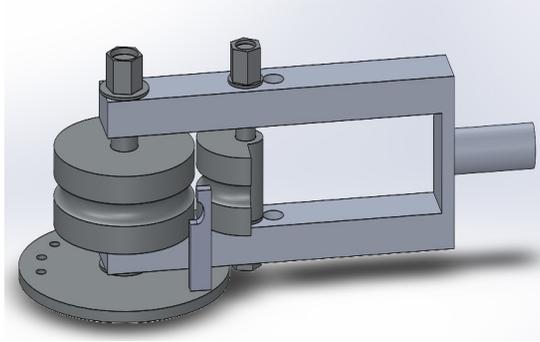


Figura 20: Ensamble final de la máquina curvadora de tubo redondo

Esta máquina cuenta con diferentes piezas maquinadas en las cuales están 2 matrices, una de doblado y una de presión, por otro lado, cuenta con una matriz dedo sujeción que funciona como soporte para los tubos que van a trabajar el cual esta soldado al plato graduado.

Por último, pero no menos importante esta la palanca con la cual cumple la función de realizar movimientos circulares para el doblado de tubos, para esta pieza se le realizaron dos perforaciones para trabajar con mayores diámetros en caso de ser necesario, esto con la finalidad de aprovechar al máximo el rendimiento de esta máquina y no se tenga que diseñar más componentes para efectuar el mismo trabajo, pero con piezas con diámetros mayores.

## Selección de Material para piezas mecánicas

Material	Piezas	Justificación
Acero inoxidable al cromo	Matriz de doblado Matriz de presión Tornillo Tuerca Arandela Plato graduado Tope	Este tipo de piezas al estar en contacto con otras piezas, y estar en constante movimiento se requiere de un material que sea resistente tanto a el trabajo mecánico como a la corrosión, oxidación y adversidades ambientales. Entre las ventajas de usar este material es que el contenido de cromo del acero permite la formación de una película de óxido de cromo resistente a la corrosión, rugosa, adherente e invisible en la superficie del acero. Si se daña mecánica o químicamente, esta película se cura por sí sola, siempre que haya oxígeno, incluso en cantidades muy pequeñas.
Aleación de aluminio 6061	Matriz de fijación Palanca	Es una aleación de una resistencia entre media y alta para lo cual conviene en estos diseños debido a que son piezas las cuales serán soldadas en el caso de la matriz de fijación. Por otro lado, es conveniente en la palanca porque tiene una resistencia media-alta lo cual soportará impactos, aunque en este caso la pieza no será comprometida a grandes fuerzas. Dicho así, resiste bien la corrosión, y tiene buena soldabilidad, ductilidad y maquinabilidad.

Tabla 5: Identificación de materiales

## Cálculo de momento

Como parte de la metodología se realizan los cálculos necesarios para saber la fuerza necesaria para que la maquina trabaje en óptimas condiciones, para esto se debe realizar análisis de cuerpo libre con el cual se tomara como referencia el perfil tubular.

Es importante destacar que para la obtención de cálculos es necesarios saber los diámetros con los cuales se va a trabajar, en este caso se obtuvo como referencia datos por medio de un documento en línea “Información técnica tubería y perfiles” (2012, julio), en donde se menciona los diámetros nominales, exteriores e interiores de tubería redonda estructural teniendo según ASTM A500 y TER HYL A500, en este caso se tomaron las medidas en mm para facilitar los cálculos mediante el sistema internacional (SI).

Diámetro nominal	Diámetro exterior		Espesor	
	pulgadas	mm	pulgadas	mm
1/2	0.840	21	0.109	2.8
			0.090	2.3
			0.075	1.9
			0.060	1.5
3/4	1.050	27	0.113	2.9
			0.095	2.4
			0.075	1.9
			0.060	1.5
1	1.315	33	0.133	3.4
			0.104	2.6
			0.075	1.9
			0.060	1.5
1 1/4	1.660	42	0.140	3.6
			0.110	2.8
			0.090	2.3
			0.075	1.9
1 1/2	1.900	48	0.145	3.7
			0.114	2.9
			0.090	2.3
			0.075	1.9
2	2.375	60	0.154	3.9
			0.120	3.1
			0.105	2.7
			0.090	2.3

Tabla 6: Diámetros de tuberías

Para obtener datos necesarios para saber que tanta fuerza se necesita aplicar en la máquina para lograr una deformación plástica en los perfiles circulares es necesario tomar en cuenta el trabajo de investigación de (Zuluaga,2019, pag.19), en donde se mencionan formulas y cálculos necesarios para obtener correctamente momentos para el doblado de tubos.

Trabajando con la mecánica de materiales se tiene que para el material de los tubos siendo Acero estructural A36 se tiene una resistencia máxima a la cadencia ( $S_y$ ) de 248 Mpa.

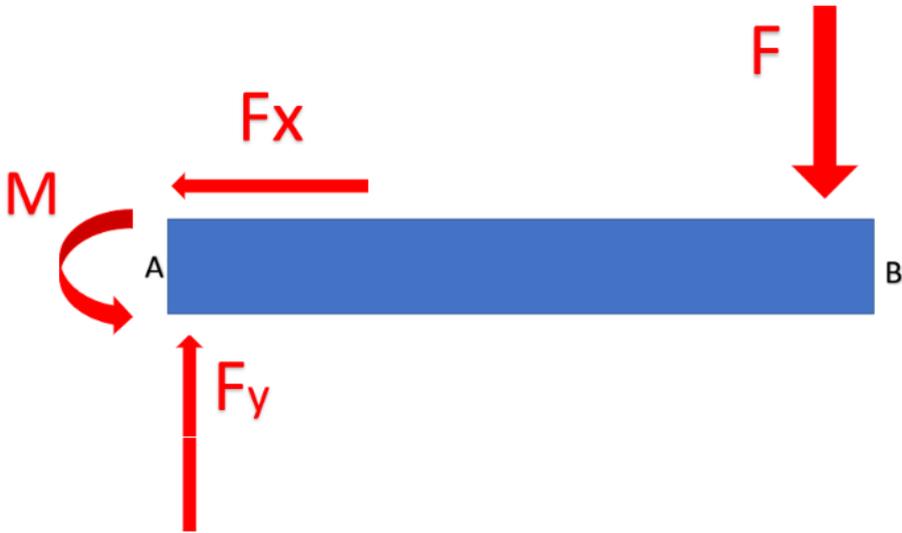


Figura 21: Análisis de cuerpo libre

Para poder trabajar es necesario utilizar un sistema de cuerpo libre, siendo así que el tubo al estar sujeta en el punto A y aplicándole una fuerza en el punto B, se realizaran los cálculos en base a este sistema de referencia.

De esta manera se pueden destacar por el sistema de cuerpo libre que el lugar donde se sufrirá mayor deformación es a partir del punto B, para poder doblar este tubo es necesario aplicar una fuerza tal que genere una deformación plástica en el material e impida su recuperación, para este trabajo se requieren los datos para evitar que al doblar el tubo cause daños superficiales como fisuras o en el peor de los casos fracturas en el material. Para obtener los cálculos se utilizarán las siguientes formulas.

$$\sigma_{max} = \frac{M}{S} \dots \text{ecuación (2)}$$

$$S = \frac{\pi}{32} \frac{D^4 - d^4}{D} \dots \text{ecuación (3)}$$

Una vez teniendo estas ecuaciones se puede proceder a aplicarlas, para empezar, se deben calcular los módulos de sección y el cual se pueden encontrar en la tabla número 7.

Tubo	Diámetro exterior (mm)	Diámetro interior (mm)	Módulo de sección $mm^3$
½ in	21	17.2	500.035
1 in	33	29.2	1365.3017

Tabla 7: Calculo del módulo de sección

Sabiendo que el material de los tubos es acero A36, se puede obtener como resultado un  $S_y$  de 248 Mpa, para asegurar que el doblado sea el adecuado se tendrá un factor de seguridad de 1.5.

$$\sigma_{max} = S_y \times F.S = 248 \text{ Mpa} \times 1.5 = 372 \text{ Mpa}$$

Para obtener los momentos solo hay despejar nuestra ecuación 1, dando como resultado la siguiente ecuación:

$$M = \sigma_{max} \times S \dots \text{ecuación (4)}$$

Esta ecuación se aplicará con respecto a cada tubo, siendo así que el diseño final tendrá que poder trabajar con el máximo momento del tubular de 1 pulgada debido a que es el perfil que opondrá mayor resistencia.

Tubo	Módulo de sección $mm^3$	Momento Nm
½ in	500.035	186.03
1 in	1365.3017	507.89

Tabla 8: Cálculo del momento

## Simulación de esfuerzo-deformación

Para hacer más entendible el proceso de la simulación se trabajó con las unidades en el sistema internacional (SI). Como se muestra en la sección anterior del cálculo de fuerzas para doblar los tubulares redondos, se busca por medio de las simulaciones que los componentes mecánicos no fallen para poder garantizar que la maquinaria cumpla su función principal.

### Análisis de esfuerzos

#### Sujeciones y cargas

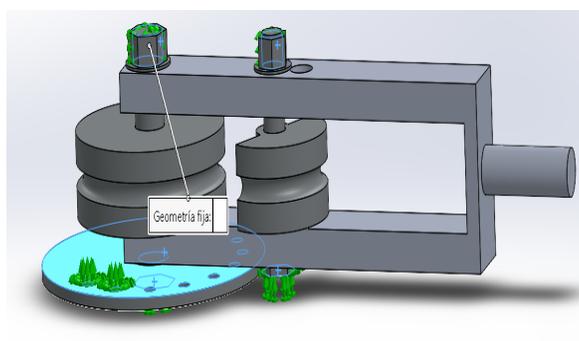


Figura 22: Fijaciones del análisis estático

Para el análisis primero se determinó en donde estarían las fijaciones de la máquina, debido a que funciona por medio de la palanca se requiere de un análisis de momentos en donde la matriz de doblado y la matriz de seguimiento donde cada componente reaccionara diferente a la fuerza aplicada debido a sus características físicas.

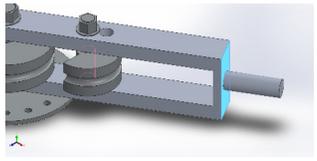
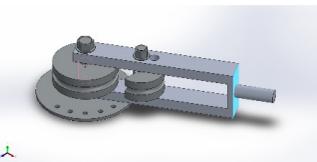
Nombre de carga	Imagen	Detalles de carga
Torsión-1		<b>Entidades:</b> 1 cara(s) <b>Referencia:</b> Cara< 1 > <b>Tipo:</b> Aplicar momento torsor <b>Valor:</b> -508 N.m
Torsión-2		<b>Entidades:</b> 1 cara(s) <b>Referencia:</b> Cara< 1 > <b>Tipo:</b> Aplicar momento torsor <b>Valor:</b> -508 N.m

Tabla 9: Cargas en la máquina curvadora de tubo

Como se puede ver en la tabla número 9 se muestra en donde se está tomando la carga siendo está en la cara plana de la palanca, a su vez se establece como pivote las caras cilíndricas interiores de la matriz de seguimiento y doblado respectivamente.

#### *Fuerzas de reacción*

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	1,119.35	-1.6976	1,887.01	2,194.03

Tabla 10: Resultados de las fuerzas de reacción

Como se puede observar en la tabla 10, la mayor fuerza de reacción esta en el eje Z, esto debido a que en el eje z es el mayor rango de movimiento que tiene el diseño de la máquina.

#### *Fuerzas de cuerpo libre*

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	0.81487	-1.72479	-0.848851	2.08793

Tabla 11: Resultados de las fuerzas de cuerpo libre

En esta tabla 11, se puede apreciar como la mayor magnitud está en el eje de las Y debido a al peso de la máquina y a sus rangos de movimiento.

## Tensiones

Para realizar la prueba de tensiones en el diseño se requiere de un gráfico para el mayor entendimiento de las reacciones de la máquina, como se puede observar en la figura 21, está la relación de colores entre donde se tiene la mayor tensión con un valor de  $4.891e07$  Mpa. Teniendo estos datos los componentes que sufren un mayor esfuerzo por tensión es en el área de la matriz de doblado, esto se debe a que este componente es el que está en mayor movimiento durante todo el proceso del doblado de tubos.

Por otro lado, los demás componentes de la maquina no sufren un gran esfuerzo teniendo su valor mínimo en  $6.720e-03$  Mpa,

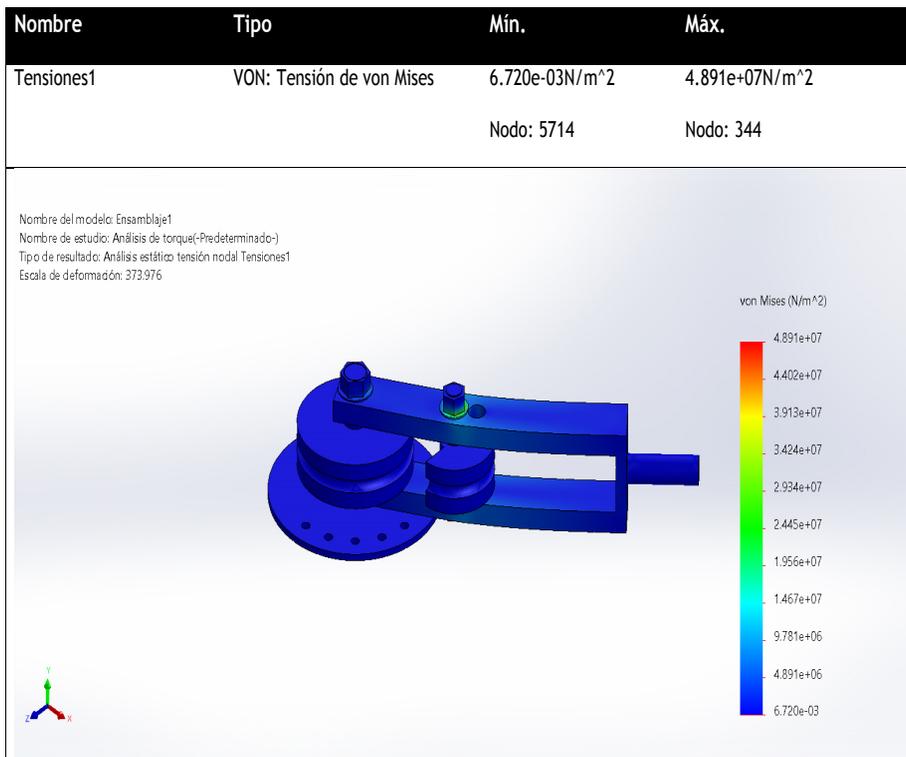


Figura 23: Von mises

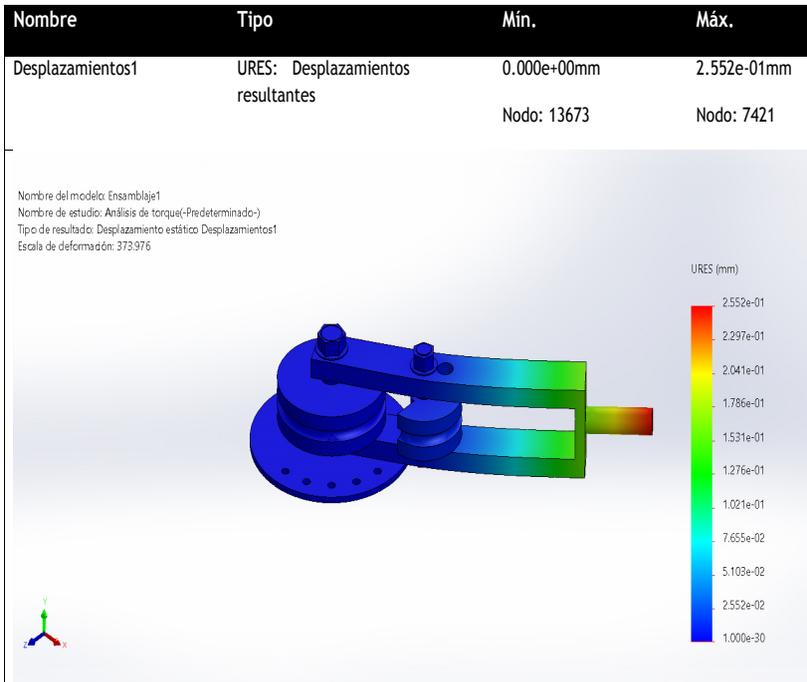


Figura 24: Desplazamiento

### *Desplazamientos*

En la figura 22 se puede apreciar como el mayor desplazamiento presentado en el diseño es de .255mm en donde este se presenta en la palanca, la cual está por color rojo, a partir de ese punto van disminuyendo los desplazamientos a lo largo de la palanca, esto manteniéndose invariable a partir de cierto punto en donde antes de llegar a las matrices de doblamiento se tiene un desplazamiento mínimo en la mayor parte de los componentes.

### *Deformación unitaria*

Para el análisis de la deformación unitaria se puede observar en la figura 23 que los componentes de la máquina no presentan un rango alto de deformaciones que considerando que este tipo de deformaciones se refiere a un cambio de longitud debido a una carga normal sobre algún material.

Las mayores deformaciones unitarias se presentan en la parte central de la palanca, estas siendo representadas con un color amarillo alrededor de la arandela y unos puntos rojos en la misma arandela.

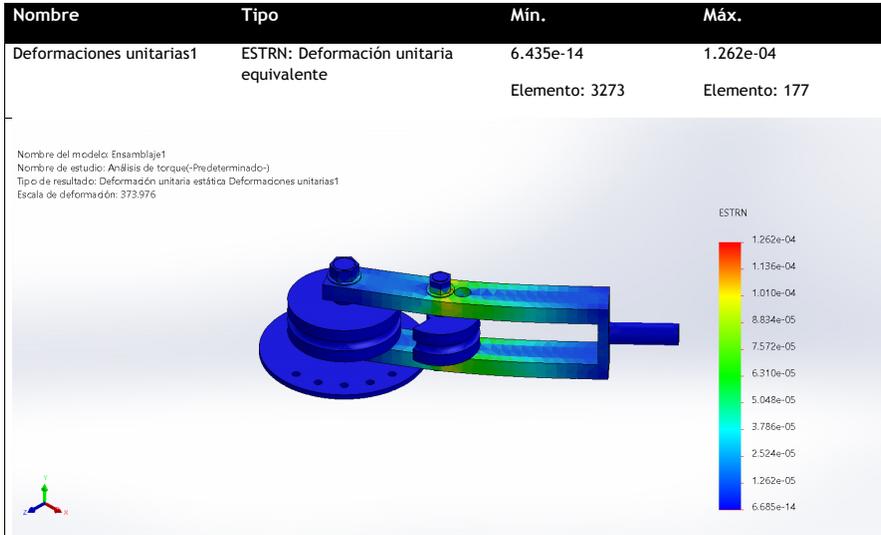


Figura 25: Deformación unitaria

### Factor de seguridad

Para este punto se debe indagar en que es el factor de seguridad, que siendo su función principal el garantizar que los componentes no fallen, siendo así el mínimo valor está presente en la mayor parte de la maquinaria siendo su valor mínimo de 3.52.

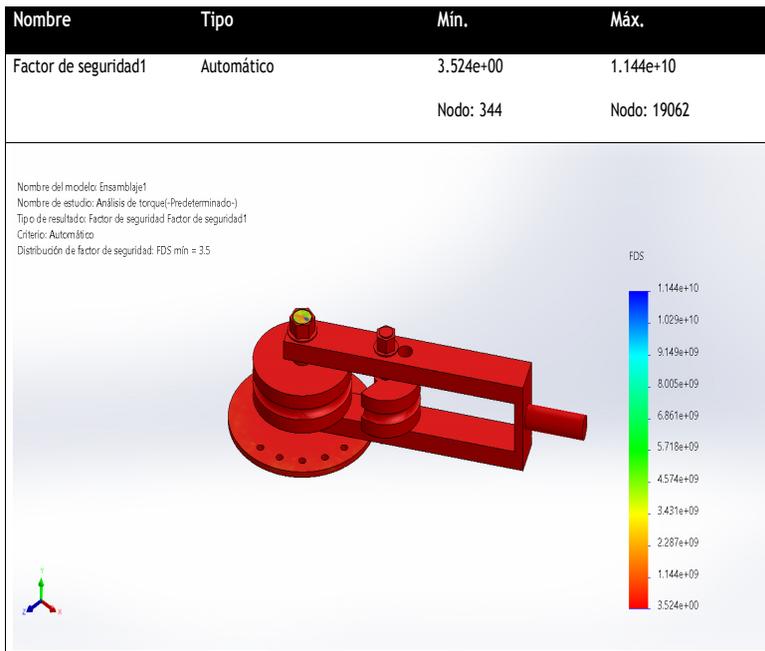


Figura 26:Factor de seguridad

### Análisis de impacto

Para el análisis de impacto se tomó como referencia menos componentes de la máquina, esto debido a que no son necesarios al momento de analizar el comportamiento debido a que no sufren este tipo de deformación, por lo que para este tipo de simulación es necesario tomar menos componentes como se muestra en la figura 25.

### Sujeciones y cargas

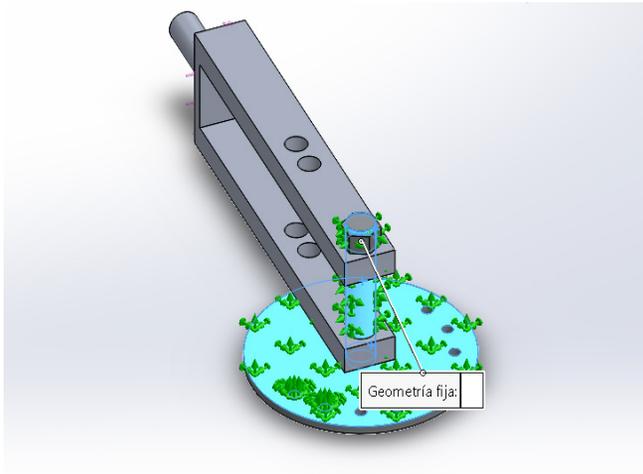


Figura 27: Sujeciones para impacto

En este ensamble es necesario analizar en donde se estará las fijaciones de los componentes, siendo así en el plato, el tornillo guía que es donde está el mayor soporte de la máquina.

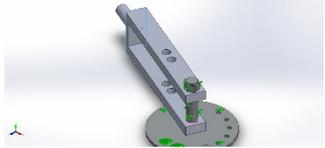
Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Torsión-1		<b>Entidades:</b> 1 cara(s) <b>Referencia:</b> Cara< 1 > <b>Tipo:</b> Aplicar momento torsor <b>Valor:</b> -508 N.m

Tabla 12: Cargas del subensamble

### Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-323.555	0.417799	783.759	847.919

Tabla 13: Fuerzas de reacción del subensamble

En este análisis estático se tiene registrado la mayor fuerza de reacción en el eje de las Z siendo este por el movimiento en el sentido de las manecillas del reloj.

### Fuerzas de cuerpo libre

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-0.207491	-0.418374	0.0615632	0.471041

Tabla 14: Fuerzas de cuerpo libre del subensamble

La mayor fuerza registrada está en el eje de las Y, siendo en sentido negativo debido al rango de movimiento de la máquina considerando también que está actuando la gravedad de la misma.

### Tensiones del subensamble

Como en esta simulación se quieren tomar en cuenta las reacciones del tope siendo este el que está sometido al mayor impacto, se consideraron ejecutar un momento en donde este componente actuaría como un componente de fijación puesto en el orificio del plato.

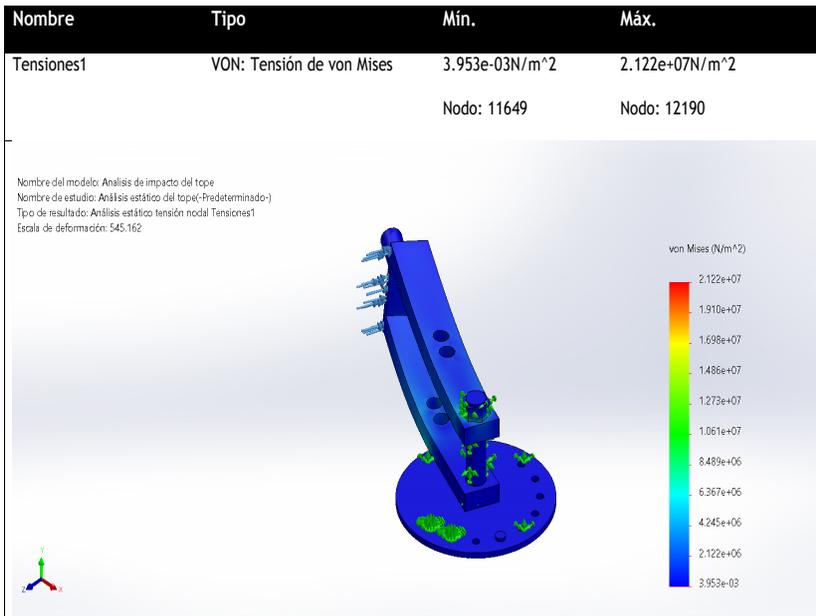


Figura 28: Tensiones del subensamble

## Desplazamientos del subensamble

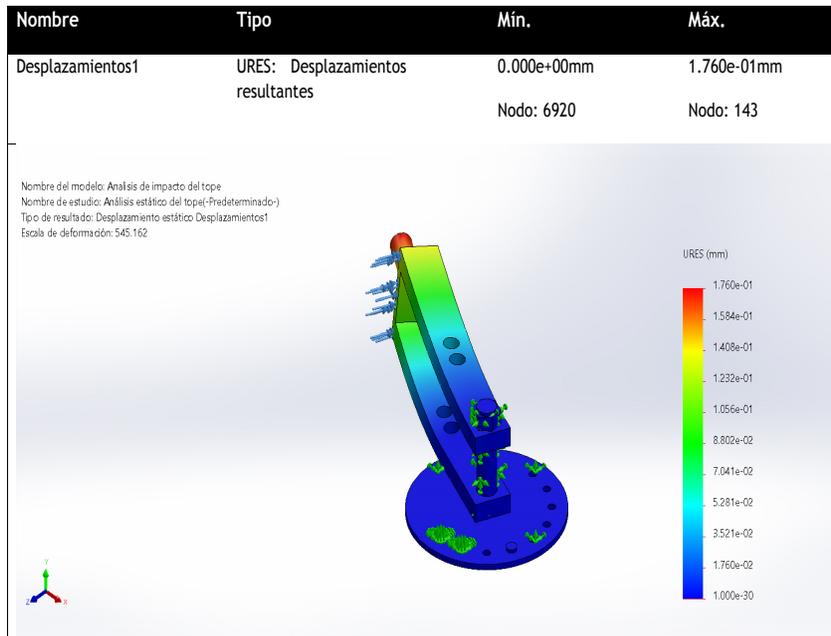


Figura 29: Desplazamientos del subensamble

Al igual que en la simulación de los componentes completos de la máquina, el desplazamiento mayor se presenta en la palanca, esto debido a que es principalmente donde se ejerce la fuerza y por el movimiento al que está sometida.

## Deformaciones del subensamble

Siendo este el análisis de un subensamble se puede mostrar en la figura 28, como las mayores deformaciones presentadas en los componentes se presentan en la parte central de la palanca, registrándose el valor máximo de  $9.463e-5$  y el valor mínimo de  $1.50e-14$  en la mayoría de los componentes.

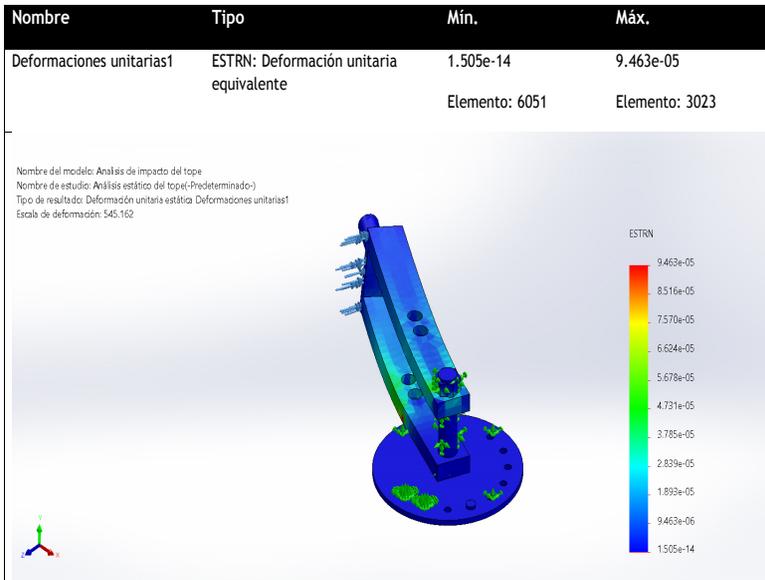


Figura 30: Deformaciones del subensamble

### Factor de seguridad del subensamble

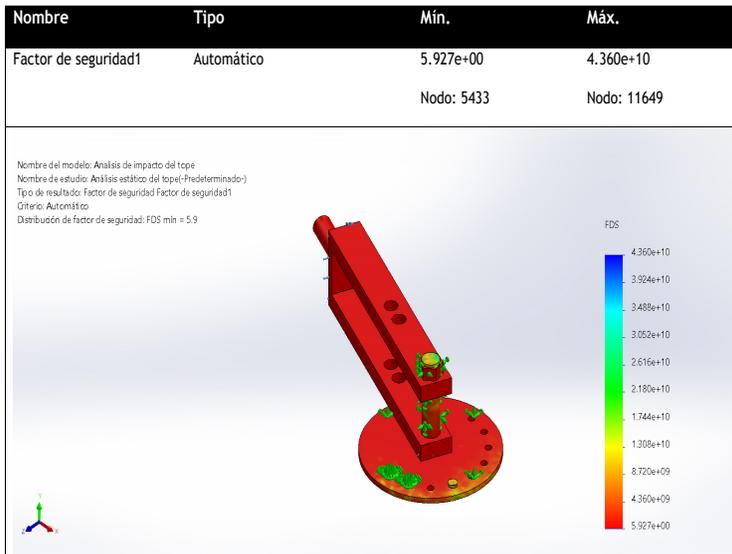


Figura 31: Factor de seguridad del subensamble

Teniendo un valor mínimo del factor de seguridad de 5.927 representado en la mayoría de la estructura de la máquina, también se tiene como resultado en el tope un valor máximo registrado de 17, en donde se toman como referencia las tonalidades en la cara plana del tope.

## Simulación de movimiento

Para este tipo de proceso, es necesario saber que los movimientos de la máquina son en el sentido de las manecillas del reloj o en sentido antihorario, de esta forma tomando como referencia la matriz de fijación, al momento de hacer la curvatura del tubo se tomó en consideración un sentido antihorario, pero eso podría cambiar dependiendo de qué lado se instale la matriz de fijación del diseño.

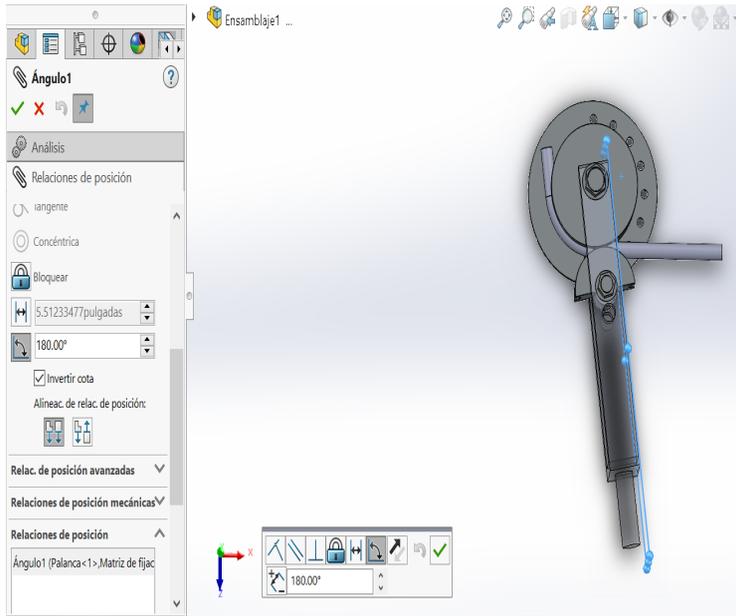


Figura 32: Rangos de movimiento

El Sistema de doblado tiene un rango de 180 grados en donde para se realizaron los movimientos teniendo como referencia la palanca y el tornillo guía. Por otro lado, se le realizó varias relaciones de posición para poder lograr el movimiento de la palanca acorde con el doblado del tubo.

Por otro lado, cabe aclarar que, para poder simular el movimiento de la máquina, en este caso a 90 grados el tubo se mueve junto con la palanca teniendo en cuenta su avance y retroceso.

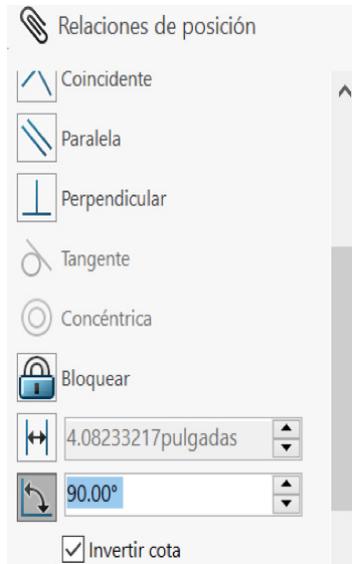


Figura 33: Relaciones de posición

Para poder realizar el movimiento se realizó un estudio de movimiento, proporcionado por SolidWorks en donde aquí se estableció un motor rotatorio en la palanca del mecanismo, con un movimiento oscilante a 90 grados como se muestra en la figura 33.

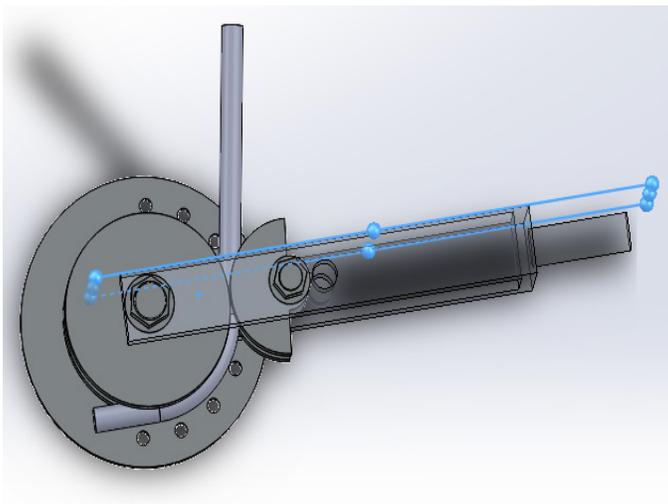


Figura 34: Movimiento a 90 grados

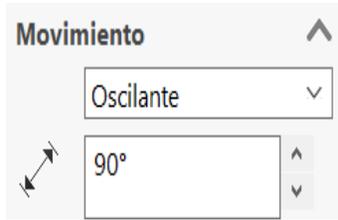


Figura 35: Movimiento oscilante

De esta forma se puede tener una moderación de movimiento, en este caso se puede ver representado en la figura 34 como avanza la palanca y en relación con ella se está generando un doblado del tubo a la par por el movimiento de la misma.

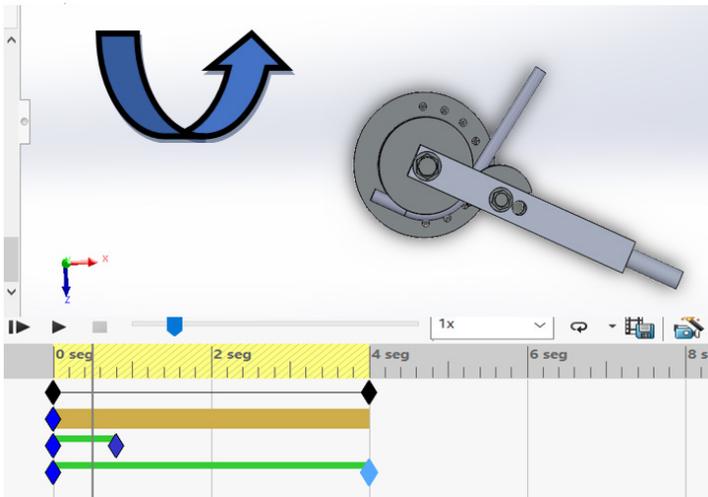


Figura 36: Estudio de movimiento

De esta forma, tomando en cuenta el movimiento rotatorio del motor que se le aplico a la cara de la palanca, con respecto al tornillo guía y haciendo sus respectivas relaciones de posición queda demostrado como conforme avanza la palanca, el tubo va generando un doblado a 90 grados.

## RESULTADOS

Después de toda la información recabada para llevar a cabo el diseño de la máquina curvadora de tubo redondo, es un hecho que el diseño funciona puesto que al realizar las simulaciones de torsión tomando como referencia la mayor carga para poder doblar el tubo de acero redondo A36, el factor de seguridad del ensamble y las simulaciones de esfuerzo-deformación dieron como resultado un buen valor manteniendo las deformaciones de la maquina al mínimo.

En cada uno de los estudios se experimentó con la mayor carga que debería soportar los componentes, y, aun así, analizando los datos se obtiene como resultado que todos los componentes resisten cargas elevadas tomando en consideración el material que se propuso para la simulación y el material del tubular a doblar.

Se alcanzaron los objetivos propuestos en el capítulo 1, por otro lado, también se logró que el diseño no fuera muy complejo lo cual por los materiales escogidos y la manera en que están ensamblados los componentes se viera bastante estético y sobre todo duraderos, esto comprobado por el factor de seguridad en donde teniendo el máximo valor en 5.9, se demuestra que no es una maquina sobre diseñada.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **Conclusiones**

En definitiva con una máquina manual como esta en las instalaciones del instituto tecnológico de ciudad Juárez será de bastante beneficio, teniendo en cuenta las carreras que se imparten en esta institución se tendrán alternativas para experimentos con lo cual el estudiante será beneficiado al obtener el aprendizaje no solo teórico, si no también empírico puesto que en la actualidad a un nivel de ingeniería, el tener conocimientos sobre la manufactura de este tipo de procesos de trabajo le otorgara una ventaja académica y profesional.

La máquina que se diseñó es un mecanismo fácil de utilizar por lo cual no requeriría de mucho gasto debido a que fue diseñado por el alumnado. El aprendizaje obtenido por el desarrollo de este proyecto se ve reflejado en el manejo de materiales, mediciones, estructuras y análisis en donde se comprobó la eficacia de la herramienta al estar sometida a la mayor carga para curvar el tubo, que son los puntos más importantes para garantizar que el diseño funciona.

### **Recomendaciones**

Mi recomendación sería que a futuro que se planee manufacturar esta máquina se tenga en consideración que la matriz de fijación debe ser soldada o bien podría ponerse con un tornillo fijada al plato, también considerar los materiales de la máquina, que si bien con este diseño funcionan teóricamente podría a llegar funcionar mejor con otras propuestas como en el caso de los tornillos que sean más resistentes.

## REFERENCIAS

Baddoo, N. (9 de Octubre de 2019). *Estructurando*. Obtenido de Manual de Diseño para Acero Inoxidable Estructural: <http://www.steel-stainless.org/media/1462/dmsss-4th-ed-spanish.pdf>

Calderon, E. A. (2019). *Repositorio Institucional de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE*. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/20823>

Flores, G. P. (Agosto de 2013). *Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana*. Obtenido de Diseño y construcción de una máquina dobladora de tubos hidráulica con accionamiento automático: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/5995>

Galbarro, H. R. (2022). *Ingemecanica* . Obtenido de Ingemecanica: <https://ingemecanica.com/tutoriales/materiales.html#tabla8>

Groover, M. P. (2007). *Fundamentos de manufactura moderna* . Mc Graw Hill.

Hibbeler, R. (2006). *Mecanica de materiales* . PEARSON PRENTICE HALL.

Hurtado , J., Santana, R., & Arzola , J. (Noviembre de 2012). *ResearchGate*. Obtenido de DETERMINACIÓN DE LOS INTERVALOS DE LAS VARIABLES DE CARGAS EN EL PROCESO DE DOBLADO DE TUBOS POR ARRASTRE: [https://www.researchgate.net/publication/273763212\\_DETERMINACION\\_DE\\_LOS\\_INTERVALOS\\_DE\\_LAS\\_VARIABLES\\_DE\\_CARGAS\\_EN\\_EL\\_PROCESO\\_DE\\_DOBLADO\\_DE\\_TUBOS\\_POR\\_ARRASTRE](https://www.researchgate.net/publication/273763212_DETERMINACION_DE_LOS_INTERVALOS_DE_LAS_VARIABLES_DE_CARGAS_EN_EL_PROCESO_DE_DOBLADO_DE_TUBOS_POR_ARRASTRE)

R.S. , K., & J.K GUPTA. (2005). *A Textbook of Machine Design*. NEW DELHI: EURASIA PUBLISHING HOUSE (PVT.) LTD.

Rosillon, K. (01 de Julio de 2014). *Revecitec Urbe*. Obtenido de Revista electronica Venezolana de ciencia y Tecnologia : <http://ojs.urbe.edu/index.php/revecitec/article/view/1498>

Rossello, N. M. (2007). *Estudio de las propiedades mecánicas y microestructurales de una aleación de aluminio 6061 sometida a un proceso de soldadura GMAW* . Obtenido de <http://documents.famaf.unc.edu.ar/institucional/biblioteca/trabajos/621/13641.pdf>

Rubio Tomalacelio , A., & Molina Leon, E. R. (Diciembre de 2012). *Universidad Tecnica de COTOPAXI*. Obtenido de <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/1347>

URIBE, E. A. (2003). *Universidad de los andes Colombia*. Obtenido de Repositorio insitucional Seneca : <http://hdl.handle.net/1992/20798>

Zapata, J. A. (2019) . *Manual de Diseño para Acero Inoxidable Estructural*. Cataluña: Acerinox.

# ANEXOS

Precio de máquinas manuales comerciales proporcionados por Amazon.



Pasa el mouse encima de la imagen para aplicar zoom



Woodward Fab Tube and Pipe Bender, Model# WFB2 by Woodward Fab

Marca: Woodward Fab

\$16,066<sup>51</sup>

Hasta 6 meses sin intereses de \$2,677.76. Ver mensualidades ▾



Pagos y Seguridad



Política de devoluciones

- Woodward Fab Tube and Pipe Bender, Model# WFB2
- 29 Inch

**Bocinas Inteligentes**

Todo para tu Smart Home

Ver más ▶



Nuevo

**Dobladora De Tubo Manual De Banco 1-3 Pulgadas, 7 Troqueles**

\$ 4,999

en 12x \$ 416<sup>58</sup> sin interés

IVA incluido

[Ver los medios de pago](#)

**Envío gratis a todo el país**

Conoce los tiempos y las formas de envío.

[Calcular cuándo llega](#)

**Devolución gratis**

Tienes 30 días desde que lo recibes.

[Conocer más](#)

**Disponible 10 días después de tu compra**

Cantidad: **1 unidad** ▾ (1000 disponibles)

